



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2018 30 stp

Fakultet for realfag og teknologi
Jon Arne Engan

Lokal overvannshåndtering i bygater – et casestudie i Olav Vs gate, Oslo

Sustainable drainage systems (SuDS) in city streets
– a case study in Olav Vs gate, Oslo

Trine-Lise Hillestad

Vann- og miljøteknikk
Fakultet for realfag og teknologi

Forord

Denne masteroppgaven er skrevet ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU) og markerer avslutningen av min mastergrad i Vann- og miljøteknikk ved Fakultetet for realfag og teknologi. Oppgaven tilsvarer 30 studiepoeng og arbeidet har pågått våren 2018.

Målsettingen med oppgaven har vært å belyse hvilke lokale overvannstiltak som kan anvendes i bygater der eksisterende infrastruktur og bebyggelse er begrensende faktorer for tiltakets utstrekning. Det er gjennomført et litteraturstudie og en caseoppgave for å undersøke hvilke tiltak som kan være anvendelig i Olav Vs gate i Oslo sentrum.

En stor takk rettes til min veileder Jon Arne Engan for god veiledning og konstruktive forslag i løpet av skriveperioden. Jeg vil også rette en takk til min biveileder Svein O. Åstebøl, vann- og miljørådgiver i COWI AS, for tips under skriveprosessen og initiering og fremskaffelse av caseoppgaven.

En stor takk rettes til samtlige som har bidratt med nødvendig informasjon i skriveperioden. Til slutt rettes en takk til Christian S. Andersen for konstruktiv tilbakemelding samt hjelp til prosjektering av oppgaven i Novapoint.

Ås, 14.05.2018

Sammendrag

Som følge av klimaendringer er det forventet mer og intense nedbørshendelser som kombinert med økt urbanisering og andel tette flater i dagens byer, resulterer i økte mengder overvann. Konvensjonelt ledes overvannet direkte til sluk for videre transport i avløpsnett, som i de fleste tilfeller er overbelastet. Resultatet er hyppigere overvannsflommer som medfører skade på miljø, helse, bebyggelse og infrastruktur. For å løse problemet har det i de senere årene vært et økt fokus rettet mot lokal overvannsdiskonering (LOD) som et supplement til dagens rørsystem. LOD – tiltak skal håndtere overvannet lokalt og tilrettelegger for mer naturlige avrenningssystemer.

Det finnes lite litteratur på LOD-tiltak i bygater. Planlegging og dimensjonering er en kompleks og utfordrende prosess ettersom grunnforhold, eksisterende bebyggelse og infrastruktur begrenser tiltakets størrelse og teknisk oppbygning. Målet med oppgaven er å undersøke hvilke løsninger som er anvendelige i bygater med hensyn til vannets kvalitet og kvantitet. Utgangspunktet til vurderingen har derfor vært en caseoppgave fra Olav Vs gate. Gaten er en svært sentral bygate i Oslo sentrum med mye infrastruktur under overflaten. COWI AS, heretter omtalt som COWI, har på oppdrag fra Oslo kommune prosjektansvar for overvannshåndteringen, og ønsker å se på muligheten for hvordan og hvilke blå-grønne LOD-tiltak som kan samkoordineres med eksisterende infrastruktur og bebyggelse samt tilpasses de eksisterende grunnforhold.

Gjennomført litteraturstudie danner grunnlaget for videre analyse. Dimensjoneringen av tiltakene er utført i henhold til Oslo kommunes retningslinjer. Resultatet av beregningene viste at en kombinasjon av et permeabelt dekke på 1410 m², et regnbed på 52 m², et rørmagasin på 68,5 m³ og 12 bytrær plantet i celledsystemer håndterer nødvendig (20-års hendelse) overvannsmengder i området på 5444 m². For å oppnå ønsket resultat er tiltakene satt i system, og for å sikre at installasjonen dreneres til neste nedbørshendelse er det 2 l/s påslipp til kommunalt overvannledningsnett. De blå-grønne løsningene tilfører byrommet og miljøet merverdi ved å gi gaten et grønt estetisk uttrykk. Løsningene fremmer biologisk mangfold, renser overvannet og reduserer overvannsmengder gjennom evapotranspirasjon.

Olav Vs gate er i umiddelbar nærhet til Oslofjorden, og fungerer som en flomveg ut over dimensjonerende hendelse opp til 100-års nedbørshendelsen. For å redusere konsekvensen av nedbørshendelser utover 20-års regnet er gaten derfor utformet med et v-profil med lavpunkt sentrert i gaten for trygg transport av overvannet ut av bygaten. Ved overvannsdiskonering på overflater og tilrettelagt flomveger kreves det tilrettelegging av veger, bygninger og infrastruktur slik at de tåler vann på overflaten.

Abstract

As a consequence of climate changes, more severe incidents caused by rain are expected. Combined with increased urbanisation, and the higher density of today's cities, results in increased instances of flow exceeding sewer capacity. As a result of the increased frequency of sewage overflow, floods that cause damage to the environment, health, housing and infrastructure have become more prevalent. In an effort to solve the problem, in recent years there has been an increased focus on sustainable drainage systems (SuDS) as a supplement to today's water and sewerage systems. With SuDS, mitigating measures will be handled locally and facilitate a more natural drainage systems.

There is little literature on SuDS measures in urban areas within Norway, and planning and implementing is a complex and challenging process, as existing population, geographical restrictions, buildings and infrastructure can limit the size and type of solutions that are possible. The objective of this assignment is to investigate which solutions are more applicable to the urban areas, providing a high level of health security whilst achieving the lowest environmental impact. Comparing the quantity of sewerage water dealt with, and the resulting quality of the water passed through the system. This paper expands on the works carried out within the case «Olav Vs gate», which is a central street in Oslo city center with a lot of infrastructure underground. COWI AS, hereinafter referred to as COWI, has been awarded project management responsibility by the municipality of Oslo to investigate waste water management, looking at suitable SuDS measures that can be coordinated with existing infrastructure and housing.

The calculations is based on a desk-top study dimensioned according to Oslo Municipality's guidelines. The result showed that a combination of a permeable cover of 1410 m², a rain bed of 52 m², a 68,5 m³ pipe magazine and 12 city trees planted in a cell system handles the necessary amount of overflow (20th event). in the area of 5444 m². To achieve the desired result, measures are put in place to ensure that the area has sufficient drainage to meet the next precipitation event (note: there are 2 l/s of flow capacity for storm-water drains within the municipal networks). The blue-green solutions add value to the space and the environment

by giving the street a green aesthetic expression, promotes biodiversity, cleans storm-water run-off, and reduces overflow amounts through evapotranspiration.

Olav Vs gate is in close proximity to the Oslo Fjord, and acts as a flood course during major precipitation events. To reduce the impact of precipitation events beyond the 20 years precipitation event, the street was designed with a low profile v- profile centered in the street for transport of surface water.

Innholdsfortegnelse

Forord	I
Sammendrag	III
Abstract	V
Innholdsfortegnelse	VII
Figurliste	IX
Tabelliste	XIII
Formelliste	XV
Ordforklaringer og forkortelser	XVII
1 Innledning	1
1.1 Problemstilling	2
1.2 Oppgavens oppbygning	2
2 Teori	3
2.1 Vannets kretsløp	3
2.2 Urbanhydrologi	7
2.3 Vegetasjon	10
2.4 Vannkvalitet	11
2.5 Urban jord	12
2.6 Byens tekniske vannkretsløp	14
2.7 Et klima i endring	14
2.8 Lokal overvannshåndtering	17
2.9 Nedbør og avrenning	21
2.10 Infiltrasjonsprosessen	24
3 Metode	25
3.1 Beskrivelse av prosjektområdet	26
3.2 Mulighetsstudie	32
3.3 Prioriteringstrekanter – et orienteringsverktøy	33
3.4 Bytrær - et verktøy for overvannshåndtering	34
3.5 Permeabelt dekke	37
3.6 Gateutforming	43
3.7 Regnbed	51

3.8	Beregningsgrunnlag	57
4	Resultater	61
4.1	Delfelt 1- Øvre del av Olav Vs gate.....	63
4.2	Delfelt 2 og 3: Nedre del av Olav Vs gate	67
4.3	Krysning av Klingenberggata.....	71
5	Diskusjon.....	73
5.1	Permeabelt dekke.....	73
5.2	Bytrær.....	74
5.3	Regnbed.....	76
5.4	Gateutforming.....	77
5.5	Usikkerhet og feilkilder.....	78
6	Konklusjon.....	79
7	Videre arbeid.....	81
8	Referanser	83
	Vedlegg.....	89

Figurliste

Figur 2-1: Skjematisk fremstilling av det hydrologiske vannkretsløpet.....	3
Figur 2-2: Generalisert porøsitet i forholdsvis sandig jord (t.v.) og leirete jord (t.h.)	5
Figur 2-3: Når jorden er mettet er alle porene fylt og den maksimale vannmengden jorden kan holde er nådd. Jordens feltkapasitet er omtrentlig halvparten av mettet vannmengde. Feltkapasiteten til jorden varierer og avhenger av jordens struktur og porestørrelse	6
Figur 2-4: Urbaniseringens påvirkning på infiltrasjon og avrenning	8
Figur 2-5: Illustrasjon av treledds-prinsippet.....	18
Figur 3-1: Situasjonsskart med prosjektavgrensning av caseområde (rødt omriss)	27
Figur 3-2: Vannets naturlige avrenningsveger (lys blå) og flomveger under store nedbørshendelser (mørk blå).....	27
Figur 3-3: Eksisterende VA-ledninger, EL-ledninger og fjernvarme i prosjektområdet (rødt omriss).	29
Figur 3-4: Løsmassekart (t.v.) og infiltrasjonsevne i løsmasser (t.h.) av prosjektområdet (rødt omriss)	30
Figur 3-5: Bilder fra tidligere gravearbeid i tiltaksområdet.....	31
Figur 3-6: Eksisterende bytrær i øvre del av Olav Vs gate.....	31
Figur 3-7: Prioriteringstrekant markert med tre nivåer som angår vannets volum (V), vannets kvalitet (K), og attraksjonsverdien (A).....	33
Figur 3-8: Vekstcellesystemet «Rootspace» danner strukturen for rotvekstvolum for å sikre gode vekstforhold.....	34
Figur 3-9: Prinsipiell oppbygning av permeabelt dekke.....	38
Figur 3-10: Prinsippskisse for fullstendig infiltrasjon.....	39
Figur 3-11: Prinsippskisse for delvis infiltrasjon i grunnen	39
Figur 3-12: Prinsippskisse for ingen infiltrasjon etablert med drenerør.....	40
Figur 3-13: Permeable dekkers infiltrasjonsevne som funksjon av tid	40
Figur 3-14: Prinsippskisse for utforming av taktverrfall som viser oppsamling av vann under store nedbørshendelser.	44
Figur 3-15: Vegprofil med ensidig fall. Blå linje illustrere vegprofilet for å hente opp fallet med 2% helning, og stiplet linjer illustrerer hvordan en kan hente opp høydeforskjellen slik at vegen fortsatt fremstår med ensidig fall.	45
Figur 3-16: Prinsippskisse for utforming av v-profil i kjørebane	45

Figur 3-17: Prinsippskisser for krysning av veger	46
Figur 3-18: Prinsippskisse for avrenningsmønster ved taktverrfall på overflaten og overbygningmassene.....	47
Figur 3-19: Prinsippskisse for avrenningsmønster med ensidig tverrfall i overbygningen med taktverrfall på overflaten.....	47
Figur 3-20: Prinsipp for vannoppstuvning i lavbrekk og vanngjennomtrengning til overflaten	48
Figur 3-21: Prinsipp for strømningskontroll i terskel. Impermeabel fundament med rør(1), permeabel terskel (2), og permeabel terskel med rør (3).....	49
Figur 3-22: Avrenningsmønster ved lengdefall og ensidig tverrfall (t.v.) og terskelmønster for optimalisert fordrøyning (t.h.).....	50
Figur 3-23: Prinsippskisse for utforming av regnbed i leirholdig jord anlagt med utskiftet filtermedium og drenering	52
Figur 3-24: Innløp til regnbed som fungerer som en vegrabatt	52
Figur 3-25: Innløp utformet med lave åpne kantsteiner.	52
Figur 3-26: Utløp: til venstre er det brukt vanlig inntaksrist, og til høyre er det brukt blendet drenerør	53
Figur 3-27: Avrenningsareal danner grunnlaget for inndeling av delfelt.....	57
Figur 3-28: IVF-kurve for målestasjon: Blinder PLU, Oslo.....	58
Figur 4-1: Oversiktstegning over LOD-tiltak i delområde 1,2 og 3.....	62
Figur 4-2: Tverrsnitt av delfelt 1 - helning på overflaten, permeabelt dekke, drenskum og etablert rotsone.....	63
Figur 4-3: Delfelt 1 - Utløp fra vekstcelle (stratacell) er tilkoblet drenskum 021, 022 og 023 før kum 042 med mengderegulator for påslipp til offentlig overvannsnett (påslipp 1).	63
Figur 4-4: Vekstcellesystem utformes med rotvekstbarriere, luftinntak, overløp og drenslag med overløp til kommunalt overvannsnett.	65
Figur 4-5: Ganghelle Dren er en belegningsstein i betong som i fargen grå og koks som gir mulighet til å legge spennende mønster	66
Figur 4-6: Tverrsnitt av delområde 2 og 3 som viser helning på overflaten, sandfang, fordrøyningsmagasin samt etablert rotsone.....	67
Figur 4-7: Plan: Utløp fra stratacell er tilkoblet drenskum 041 og 042. SF41, SF42, SF43 og SF44 er anlagt i vegens sentrum(lavpunkt) med innløp til fordrøyningsmagasin. Overløp fra regnbed er tilkoblet O42. I 042 er det en mengderegulator før påslipp til kommunalt nett i punkt «påslipp 2».....	67

Figur 4-8: Rennesystem for å sikre vannavrenning til rotbarriere.	69
Figur 4-9: Langsgående renne med innløp til vekstcellesystemet.	69
Figur 4-10: Rennesystem for avrenning til regnbed.....	70
Figur 4-11: Regnbedet fungerer også som en benk.....	70
Figur 4-12: Krysningpunktet mellom Klingenberggata og Olav Vs gate. Eksisterende terreng (stiplet strek) og prosjektert terreng (tykk strek).....	71
Figur 4-13: Nytt avrenningsmønster under store nedbørshendelser	71

Tabelliste

Tabell 2-1: Fraksjonsinndeling av mineralske jordarter	5
Tabell 2-2: De vanligste forurensingsparameterne påvist i overvann i urbane områder	12
Tabell 2-3: Oversikt over noen LOD-tiltak.	19
Tabell 3-1: Generell renseeffekt i permeabel dekke. Prosentene er dekkende for begge kilder	42
Tabell 3-2: <i>Delfeltareal</i>	57
Tabell 4-1: Nødvendig fordrøyningsvolum for respektive delfelt beregnet med Aron og Kiblers metode.	61
Tabell 4-2: Resultater fra beregninger av tiltak i delfelt 1.....	64
Tabell 4-3: Oppbygning av permeabelt dekke.	65
Tabell 4-4: Resultater fra beregning av tiltak i delfelt 2.....	68
Tabell 4-5: Regnbedets oppbygning.....	69

Formelliste

Formel 1: Vannbalanseligningen	4
Formel 2: Rasjonelle formel	24
Formel 3: Overflateareal regnbed.....	58

Ordforklaringer og forkortelser

Ord/uttrykk	Forklaring
<i>Klimagasser</i>	Gasser som påvirker strålingsbalansen og bidrar til oppvarming ved økt konsentrasjon
<i>Urbant område</i>	Et tettbebygd område, en by
<i>Overvann</i>	Nedbør og smeltevann som renner av på tette overflater
<i>Pluvial flom</i>	Overvannsflom
<i>Evapotranspirasjon</i>	Summen av fordampning fra jordsmonn, vannmasser og plantoverflater samt transpirasjon som er fordampning gjennom planter
<i>Urbanhydrologi</i>	Vannets kretsløp i et urbant miljø
<i>Nedbørsfelt</i>	Er et areal som bidrar med vann til samme utløp/vannforekomst (hav, elv, innsjø eller en bekk)
<i>Avløpsnett</i>	Det samlede system av ledninger i et avløpsanlegg eller innen et avgrenset område
<i>Spillvann</i>	Sanitært og industrielt avløpsvann. Særlig benyttet om avløpsvann som ledes bort i egen ledning ved separatsystem.
<i>Resipient</i>	Vannforekomster som mottar avløpsvann eller overvann
<i>Konsentrasjonstid</i>	Den tiden det tar for en regndråpe som faller i feltets fjerneste punkt til å nå utløpet
<i>Gjentaksintervall (20)</i>	Den nedbørshendelsen som statistisk forekommer hvert 20 år
<i>Vannømfintlig materiale</i>	Inneholder mer enn 7% materiale mindre enn 0,063 mm
<i>Telefarlig materiale</i>	Inneholder mer enn 3% materiale mindre enn 0,02 mm
<i>MET</i>	Metrologisk institutt
<i>NVE</i>	Norges vassdrag-og energidirektorat
<i>VA</i>	Vann- og avløp
<i>T</i>	Transpirasjon
<i>ET</i>	Evapotranspirasjon
<i>E</i>	Evaporasjon

1 Innledning

Klimaendringer medfører endringer av det globale nedbørsmønsteret. Områder som er tørre vil bli tørrere, og områder preget av mye nedbør vil få mer intense nedbørshendelser. I Norge vil endringene medføre økt totalnedbør og nedbørintensitet og som en konsekvens vil regnflommen og styrtregneepisodene bli kraftigere og hyppigere. Med en stadig økende trend av urbanisering vil byene bli tettere og større, og andel tette overflater øke. Økningen av tette overflater kombinert med forutsatte klimaendringer vil føre til mer overvann og skape stor utfordringer for dagens og fremtidens byer.

Eksisterende ledningsnett er ofte underdimensjonert for dagens nedbørshendelser og forårsaker kjelleroversvømmelser og vannskade på infrastruktur og bebyggelse, samtidig som overløp trer i kraft og forurenser vannforekomster. Analyser av norske byers avløpssystemer tilsier at effekten av klimaendringene vil medføre en økning av mengden flomskadd bebyggelse på opptil 50-100% frem mot slutten av dette århundret (Lindholm et al. 2007). Som et ledd i klimatilpasningen for å avlaste ledningsnett skal overvannet fra disse områdene håndteres lokalt gjennom infiltrasjon og fordrøyning, og for de ekstreme nedbørshendelsene skal vannet ledes på overflaten i flomveger trygt gjennom byen.

Det finnes flere ulike løsninger for lokal overvannshåndtering (LOD), og det blir stadig flere. Derimot krever flere av løsningene store arealer og tilstøtende områder som kan ta imot overvann. I byområder er det derimot begrenset tilgjengelig areal og samtidig flere konkurrerende fag. Det er derfor viktig å vurdere nytten av det fortrengte arealet i forhold til tiltakets effekt. I byer er overvannet forurenset og direkte infiltrasjon kan føre til forurensning av jordsmonn og vannforekomster over tid. I lang tid har overvannshåndtering vært rettet mot kvantitativ håndtering, men vannets kvalitet er i det siste blitt en viktig del av løsningen.

1.1 Problemstilling

Formålet med oppgaven er å undersøke hvilke LOD-tiltak i bygater som kan redusere påslipp til kommunalt overvannsnett, samt redusere flomtopper og skadevirkninger på infrastruktur og bebyggelse. Følgende problemstilling og spørsmål ønskes besvart av denne oppgaven:

Hvordan kan en sentral bygate etableres med blågrønne løsninger for håndtering av overvann?

- Hvilke løsninger er anvendelige i case «Olav Vs gate», og på hvilken måte håndterer de nødvendige mengder overvann?
- På hvilken måte i case «Olav Vs gate» kan de foreslåtte blå-grønne løsninger tilpasses/koordineres med annen infrastruktur og de eksisterende grunnforhold?

1.2 Oppgavens oppbygning

Oppgaven består av 8 hovedkapitler:

Kapittel 1: Innledning - en presentasjon av oppgavens formål og problemstilling.

Kapittel 2: Teori - en gjennomgang av relevant teori basert på litteraturstudiet med relevans for oppgaven.

Kapittel 3: Metode - beskriver metoden for prosessen, beskrivelse av caseoppgave, gjennomgang av relevant tekniske LOD-løsninger samt beskrivelse av dimensjoneringsparametere.

Kapittel 4: Resultater - fremlegger oppgavens resultater på bakgrunn av metodedelen.

Kapittel 5: Diskusjon - diskuterer resultater og usikkerhet.

Kapittel 6: Konklusjon - på bakgrunn av problemstilling og resultat fremlegges en konklusjon.

Kapittel 7: Videre arbeid - presenterer forslag til videre arbeid som ville gitt flere rammer for oppgaven og mindre antakelser

Kapittel 8: Referanser - referanseliste

2 Teori

2.1 Vannets kretsløp

Begrepet hydrologi omfatter studiet av vannets hydrologiske kretsløp på jorden. Dette innebærer vitenskapen om vannets forekomst, opptreden, fordeling og sirkulasjon, samt fysiske og kjemiske egenskaper som endrer seg i forhold til naturlige omgivelser og menneskelig aktivitet. Den naturlige syklusen drives av solenergi som driver evaporasjon av vann fra havområder, elver og innsjøer, evaporasjon fra jordens overflate og transpirasjon gjennom planter. Evapotranspirasjon omfatter den totale mengden vann som fordampes fra vannflater på land, jord og våte overflater, og transpirasjon som er fordamping fra levende vegetasjons overflater. I atmosfæren kondenserer vannet og tilbakeføres til hav og landområder som nedbør. Prosessen er kontinuerlig og nødvendig for alt liv på jorden. Figur 2-1 viser en skjematisk fremstilling av prosessen.



Figur 2-1: Skjematisk fremstilling av det hydrologiske vannkretsløpet. (USGS 2016).

På landområder vil deler av nedbøren trenge gjennom jordsmonnet og bringe vann til markvannssonen og videre ned til grunnvannet. Derifra går vannet til avrenning med utløp til havet eller til overflatekilder (Tollan 2002). Bare en liten del av avrenningen strømmer på overflaten (Pazwash 2011). Gjennom syklusen veksler vannet mellom ulike tilstandsformer, og kan magasineres over lang tid i snødekke, isbreer, innsjøer eller i grunnvannet. Over et visst tidsrom vil det være balanse mellom vannmengdene som tilføres et område, og det som føres ut av et område.

Forholdet er gitt av vannbalanseligningen beskrevet av Dingman (2002):

$$P + GW_{in} - (Q + ET + GW_{out}) = \Delta S \quad (1)$$

der:

P = nedbør i alle tilstandsformer

GW_{in} = innstrømning til grunnvann

GW_{out} = utstrømning fra grunnvann

Q = overflateavrenning

ET = evapotranspirasjon

ΔS = endring i magasinert vannmengde

Forholdet mellom parameterne varierer over tid og sted, og er avhengig av nedbørsfeltets vegetasjon, grunnforhold og topografi.

Jordartenes egenskaper er et viktig element i det hydrologiske kretsløp. Det faktum at jordarter er porøse, som vil si at de inneholder et stort antall porer, gjør at vann og luft kan strømme gjennom mediet (McCauley et al. 2005). Dette påvirker vannets avrenningsforhold på og under jordoverflaten. Når vann treffer bakken infiltrerer det jordens overflate, og videre transport ned gjennom porene omtales som perkolasjon. Jordprofilet i grunnen er delt opp i umettet og mettet sone separert av grunnvannsspeilet. Umettet sone, også kalt for markvannssonen, karakteriseres som der porerommene i jorden er fylt med både vann og luft. I denne sonen foregår infiltrasjon og perkolasjon. I mettet sone under grunnvannsspeilet er derimot alle porerom fullstendig fylt med vann (Ødegaard et al. 2014). Videre i denne oppgaven omtales infiltrasjon og perkolasjon som en samlet prosess. Dette for å unngå misforståelser da prosessene ofte omtales slik i det daglige.

Jord omtales som løsmateriale som ligger over fast fjell, og består av mineraler, organisk materiale, vann og luft. Sammensetningen er varierende og knyttet til hva jorden har gjennomgått siden dens opprinnelse. Jorden fungerer som et naturlig resirkuleringssystem for nedbrytning av organisk materiale som blir tilgjengelig for gjenbruk av neste generasjons levende organismer. Organisk materiale består delvis av dødt dyre- og plantemateriale, som er lett nedbrytelig materiale, og delvis humus som er et stabilt molekyl med en langsom

nedbrytningsprosess. For planter utgjør jorden et vekstmedium med naturlig vanning og næring, og for en myriade av levende organismer utgjør det et habitat. I tillegg til disse naturlige funksjonene spiller jorden en viktig rolle som fundament for menneskelig utbygging (Brady & Weil 2002).

Jordens tekstur defineres av innholdet av finstoffpartiklene leire, silt og sand. De mineralske jordartene inndeles i fraksjoner ut fra kornstørrelse gitt i Tabell 2-1.

Tabell 2-1: Fraksjonsinndeling av mineralske jordarter. (Brady & Weil 2002)

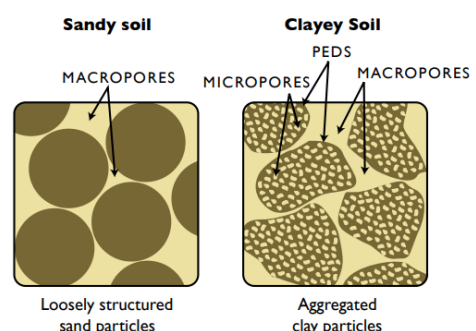
Jord Partikkel	Diameter (mm)
Grus	>2,0
Sand	0,05 – 2,0
Silt	0,002 – 0,05
Leire	<0,002

Teksturen er et resultat av forvitring av mineraler og steinarter, og forvitringen av ulike materialer vil danne ulik tekstur. Eksempelvis vil lett forvitrende stein danne leirrike jord og granitt, som er en langsom værende stein, vanligvis danne sandige grove jordarter. Bindinger på mineralenes overflater binder sammen jordpartikler i større klumpe, såkalt aggregater.

Mekanismen danner struktur i jorden med makroporer mellom aggregatene, og mikroporer i aggregatene som illustrert i Figur 2-2. Når jorden

utsettes for fukt og tørke formeres sprekker i jordens masser som holdes på plass gjennom vedhefte av organisk materiale, karbonater eller leire. Aggregatene og sprekkeene er viktig for å øke jordens stabilitet mot erosjon, men også for å danne porer for transport av vann og luft, som sekundært påvirker plantevekst. Porøsiteten n , beskriver forholdet mellom porevolumet og totalt volum av

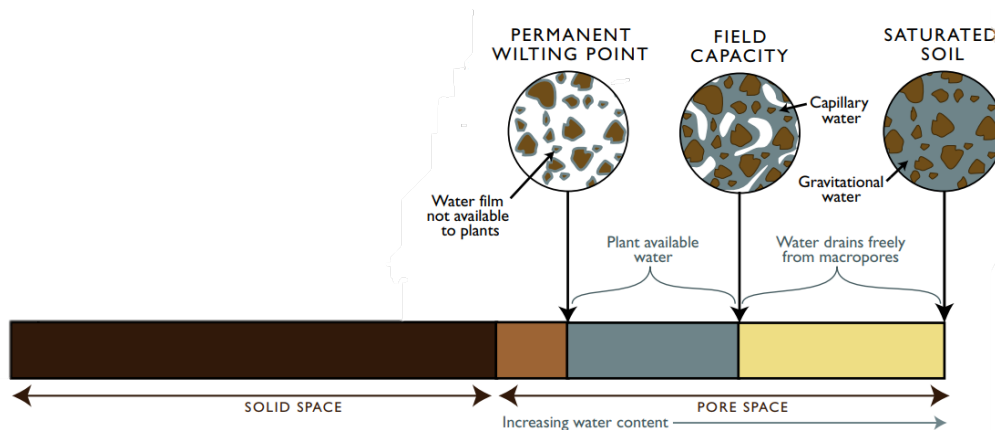
en jordprøve. Et dårlig sortert jordprofil vil ha en relativt lav porøsitet da de mindre kornene vil fylle hulrommene mellom de større kornene. Derimot vil et velsortert jordprofil ha en høyere porøsitet. Permeabilitet uttrykker hvor enkelt vann kan strømme gjennom jordprofillet,



Figur 2-2: Generalisert porøsitet i forholdsvis sandig jord (t.v.) og leirete jord (t.h.). (McCauley et al. 2005)

og avhenger av konnektivitet mellom hulrommene, tekstur, sorteringsgrad og pakningsgrad. Jo høyere porøsitet og partikkelstørrelse, desto bedre permeabilitet (Brady & Weil 2002). Begrepet permeabilitet ble først omtalt av Henry Darcy i 1856 som et resultat av hans forskning på vannstrømninger gjennom ulike sorteringer av sand. Løst pakket grus og sand har relativt stor kornstørrelse med god konnektivitet, og anses å ha god permeabilitet. Etersom leire består av små mineralpartikler, og det samlede porevolumet i stor grad består av små porer, vil vannet fysisk hindres i å trenge rasket gjennom. I motsetning til jordens tekstur, er jordens porøsitet og struktur egenskaper som kan endres av fysiske påkjenninger og kjemiske prosesser (Brady & Weil 2002).

Når alle porene i jorden er fylt er jorden mettet, og vannet i makroporene vil dreneres fritt grunnet gravitasjonskreftene. Vannmengden som holdes tilbake i jordens makroporer omtales som jordens feltkapasitet. Kapillære krefter holder vannet tilbake i porene og overflatespenning binder vannet til jordaggregatenes overflate. I motsetning til gravitasjonsvann, kan kapillært vann bare fjernes gjennom opptak fra planters røtter og evaporasjon. Vannet er plantetilgjengelig inntil det når et punkt hvor vannet er for sterkt bundet til jordpartikkelen. Jordens vannlagringsevne er den vannmengden som er tilgjengelig for planteopptak (Brady & Weil 2002). Konseptet er illustrert i Figur 2-3.



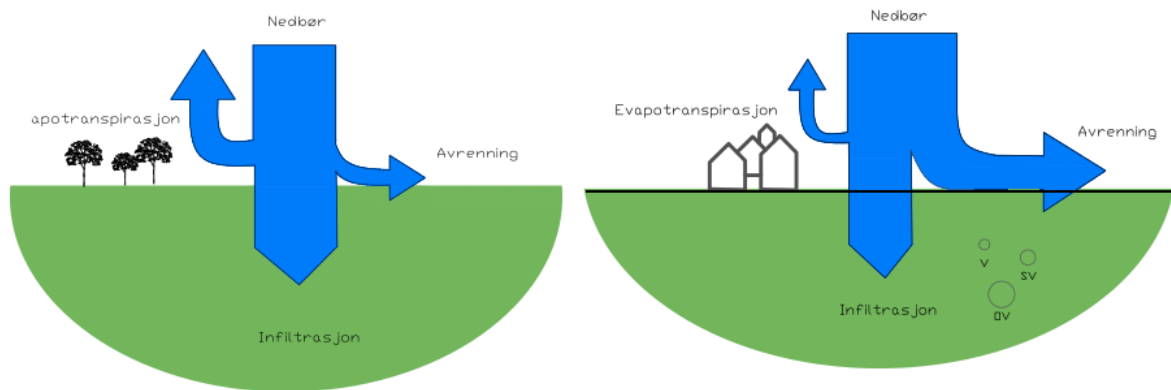
Figur 2-3: Når jorden er mettet er alle porene fylt og den maksimale vannmengden jorden kan holde er nådd. Jordens feltkapasitet er omtrentlig halvparten av mettet vannmengde. Feltkapasiteten til jorden varierer og avhenger av jordens struktur og porestørrelse. (McCauley et al. 2005)

Jordens evne til å forsyne planter tilstrekkelig med vann er i hovedsak basert på dens struktur. Jordprofiler med mange makroporer som eksempelvis grov sand har god infiltrasjonsevne, men holder dårlig på plantetilgjengelig vann. Derimot vil jord med finere struktur, som leirholdig jord, inneholde en stor andel mikroporer som binder en større mengde

plantetilgjengelig vann. Disse jordartene er derimot utsatt for lite luftgjennomstrømning og anaerobe forhold som er lite optimalt for plantevekst. En optimal jordstruktur for plantevekst er godt aggregert leirholdig jord som forsyner røttene med vann grunnet tilstrekkelig mengder mikroporer, men som også har nok makroporer til drenering og lufting i våte perioder (Brady & Weil 2002). På lik linje som leire kan organisk materiale absorbere store vannmengder, og studier viser at tilstedeværelse av organisk materiale øker jordens vannlagringsevne, porøsitet og infiltreringsevne samt styrker jorden mot komprimering (McCauley et al. 2005).

2.2 Urbanhydrologi

Over flere tiår har mennesker flyttet til byer og i dag bor mer enn halvparten av verdens befolkning i et urbant område. Trenden er økende og innen 2050 antas det at to tredjedeler av verdens befolkning bor i urbane områder. Med en forventet befolkningsvekst til 9,1 milliarder innen 2050 betyr at dagens byer vil bli tettere og større (United Nations 2014). Begrepet urbanhydrologi beskriver det hydrologiske kretsløpet i urbane områder, og omhandler hydrologiske effekter knyttet til urbanisering (Ødegaard et al. 2014). Menneskelig virksomhet og utbygging av naturlige områder har en radikal og kompleks innvirkning på vannets naturlige kretsløp (Tollan 2002). Bruksendring av arealer har medført økt andel tette overflater i form av boligområder, gater, veger og annen infrastruktur på bekostning av naturlige permeable dekker og vegetasjon. Med en stadig økende trend av urbanisering vil byene bli tettere og større, og andel tette overflater øke. Tette impermeable overflater reduserer vannets fysiske mulighet til å trenge gjennom overflaten for videre perkolasjon til grunnen. Endringene i infiltrasjonsforholdene påvirker nedbørsfeltets karakteristikk og vannbalanse, og medfører en betydelig økning av overflateavrenningen, redusert grunnvannspåfylling og evapotranspirasjon (Pitt et al. 2002; Praskievicz & Chang 2009). Vann som ikke infiltrerer, men renner av på tette overflater betegnes som overvann (Ødegaard et al. 2014). Begrepet innebærer også stormflo og smeltevann. Det er utført flere studier for å undersøke arealendringenes betydning for avrenning i urbane strøk. Et retrospektivt studie utført i Texas over perioden 1974 til 2002 viser at en økning av impermeable dekker på 10%-38% økte tilfellet av 100-års flommen med 20% (Praskievicz & Chang 2009), og flere studier viser liknende sammenheng (Nirupama & Simonovic 2006). Figur 2-4 illustrer urbaniseringens innvirkning på infiltrasjon- og avrenningsforhold.



Figur 2-4: Urbaniseringens påvirkning på infiltrasjon og avrenning. Gjengitt etter Butler og Davies (2000).

Overvannsmengden i urbane områder avhenger av flere faktorer, og er ikke lineært avhengig av nedbørmengden. Både andelen og plassering av tette overflater er avgjørende variabler, i tillegg til nedbørens intensitet og forløp. Nedbørsfeltets størrelse påvirker også den hydrauliske sensitiviteten ovenfor urban utvikling, og mindre nedbørsfelt er mer sensitiv ovenfor endringer enn større felt (Praskievicz & Chang 2009).

Konvensjonell overvannshåndtering er basert på å lede overvann raskest mulig bort fra overflater til lukkede rørsystemer for å sikre byen mot oversvømmelser, og for å skape et godt bymiljø (Ødegaard et al. 2014). I praksis er det gjennomført ved å lage et system for oppsamling av overvann som ledes til rør for videre transport til et renseanlegg eller en vannkilde. Drenering og omlegging av naturlige vannforekomster har også vært vanlige inngrep som en del av konvensjonell overvannshåndtering. Tiltaket reduserer naturlige avrenningsveger i nedbørsfeltet og kan bidra til økt mengde overvann. Naturlige overflater har en fordrøyning- og forsinkelseeffekt ved å kunne magasinere uanselige mengder vann som fuktighet i jorden. Ujevnt terreng med mindre groper og sprekker bidrar med oppmagasinering av vannet i form av gropmagasinering, og vannet holdes tilbake på overflaten til det infiltreres og/eller fordamper (Chin 2013). Ved utbygging jevnes terreng ut med fyllinger eller massefjerning, og muligheten for gropmagasinering forsvinner. I tillegg til å begrense mulighetene for naturlig fordrøyning, vil de tette, jevne overflatene bidra til å øke strømningshastigheten på overflaten. Arealendringene sett i sammenheng med et konvensjonelt overvannssystem, vil medføre en raskere avrenningsrespons med høyere avrenningshastighet og et økt konsentrert totalt volum (Pazwash 2011).

En pluvial flom er en urban overvannsflom som oppstår som følge av at kapasiteten til avløpsnett og naturlig infiltrasjon i et område overskrides under store nedbørshendelser. En pluvial flom forårsaker store skader på bebyggelse og infrastruktur og medfører betydelige samfunnskostnader. Hendelsen skyldes ofte nedbørshendelser med varighet fra noen minutter til noen timer, og skiller seg med det fra fluviale flommer som er forårsaket av vassdrag som går over side bredder grunnet langvarige nedbørshendelser eller snøsmelting. Flombegrepet er tradisjonelt knyttet til fluviale flommer, men i senere tid har hendelser med ekstremnedbør i urbane områder økt fokuset på å forstå og håndtere pluviale flommer (Ødegaard et al. 2014). Et eksempel er ekstremhendelsen (200-års regn) i Asker kommune 6. august 2016 hvor det selv med store mørketall fra forsikringsselskapene ble registrert 300 skadehendelser i Asker, og 550 i Bærum som følge av overvannsproblematikk (Andersen 2017).

Som følge av urbanisering og redusert infiltrasjon minsker tilførselen av vann til grunnvannet og grunnvannsnivået kan synke. Når grunnvannsnivået senkes kan jorden komprimeres og setningsskader forekomme med konsekvenser for infrastruktur, bebyggelse og vegetasjon (Norges Geologiske Undersøkelser 2017). Grunnvann står for vannforsyning til ca. 15% av den Norske befolkning (Ødegaard et al. 2014), men globalt sett utgjør det nærmest halvparten av verdens drikkevannsforsyning, og 43% av vannforbruket i jordbruket (Gun 2012). Dette viser viktigheten av ressursen, og en bærekraftig byutvikling med fokus på å tilbakeføre vannet av god kvalitet til det naturlige kretsløpet er et viktig mål.

Under bakken i urbane områder er det en kompleks infrastruktur som tilrettelegger for et effektivt og velfungerende samfunn. Dette kan være vannforsyningsrør, avløp- og/eller overvannsrør, trekkekabler og fjernvarmerør. Installasjonen fortrenger jord og reduserer infiltrasjonsarealet i grunnen. I tillegg antas det at det forekommer lekkasje på ledningsnett grunnet aldring og skader. I Norge er store deler av ledningsnett bygd før 1970, og det formodes en lekkasjeprosent på opptil 33% ifølge tall fra Norsk Vann (Skjærstad 2013). En konstant lekkasje fra rørsystemet vil lokalt føre til en fuktig jordprofil med en redusert kapasitet for infiltrasjon og jordvannmagasinerings når nedbørshendelser inntreffer, og utgjøre en fare for jord- og vannkvaliteten. Vanning av hager, parker og rekreasjonsområder kan utgjøre en betydelig vannbelastning på det hydrologiske systemet og forårsake endringer i vannspeilnivået (Hazelton & Murphy 2011).

2.3 Vegetasjon

En annen viktig hydrologisk effekt urbanisering medfører er redusert fordamping knyttet til arealendringer på bekostning av vegetasjon. Gjennom planters transpirasjon forflyttes vann ut av jorden som fordamper tilbake til atmosfæren. Et studie utført av Schlesinger og Jasechko (2014) indikerer at transpirasjon fra planter utgjør ca. 61% ($\pm 15\%$) av global evapotranspirasjon, og transpirasjon returnerer ca. 39% ($\pm 10\%$) av terrestrisk nedbørsfallet tilbake til atmosfæren. Dette tyder på at transpirasjon utgjør en betydelig rolle i den globale vannsyklusen, og endringer av areal forventes å ha en betydelig innvirkning på globale avløpsforhold.

Bruk av trær i urban landskapsutforming kan forbedre jordens evne til å infiltrere vann, og derav være en viktig faktor for å redusere overflateavrenning. Trær kan forbedre infiltrasjon ved å modulere jordens økosystem via rotvekst, ekspansjon og aldring av røtter som kan skape store sammenhengende makroporer, organisk materiale, høyere mikrobiell aktivitet og dannelse eller stabilisering av jordens struktur. Et eksperiment utført av Bartens et al. (2008) konkluderte med at tilstedeværelse av trær i komprimert urbansimulert jord økte infiltrasjonen med 63% i gjennomsnitt sammenlignet med jord uten trær.

Det er utført flere omfattende studier som fremhever effekten av trær i rurale områder. Ellis et al (2006) påviste at et tredekket gressområde kan redusere avrenningen med 32 - 68% under en 1-10 års nedbørshendelse (24,5 mm i 30 min), og 100% ved en 1-2 års nedbørshendelse (48 mm/t i 13 min). Beplanting kan også bidra til redusert avrenning grunnet intersepsjon. Begrepet omfatter den delen av nedbør som ikke når bakken, men magasineres på plantens overflater før det fordamper (Chin 2013). Studiene viser viktigheten av trær for redusert avrenning i rurale områder. Å forflytte denne kunnskapen til urbane områder, der avrenning er et stadig økende problem, kan være vanskelig grunnet ulike vekstforhold. Urbane områder er normalt svært forskjellig fra trees naturlige vekstområder (Armson et al. 2013). Optimale vekstbetingelser er næringsholdig og ukomprimert jord for rotvekst, tilgang til vann, sollys og et beskyttet og avskjernet mikroklima. I byen derimot innebærer beplanting store utfordringer grunnet impermeable overflater, unaturlig høye temperaturer om sommeren, forurensing, vind, trafikk, beskjæring og vandalisering. Under bakken møter røttene omgivelser som komprimert jord, mangel på vekstplass og oksygen. For en vellykket integrering av trær i menneskeskapte omgivelser er det viktig å beskytte dem både over og under jorden samt å gi røttene gode vekstvilkår. For å oppnå dette vil det være viktig å foreta grunnundersøkelser,

undersøke treets plassering i bygater, påvise og om mulige forhindre forurensning samt tilrettelegge for gode vekstvilkår.

2.4 Vannkvalitet

Vannets kvalitet uttrykkes gjennom fysiske, kjemiske og biologiske parametere som kontinuerlig er i endring. Ettersom vannmolekylet er en dipol har det en enestående evne til å løse opp andre stoffer, og helt rent vann finnes knapt naturlig (Tollan 2012). I urbane områder tilføres overvannet en rekke ulike forurensinger fra kilder som atmosfærisk avfall, lufttrafikk, avgasser og slitasje fra motorisert kjøretøy, nedslitning og korrosjon av bygninger, konstruksjoner og vegbaner (Ødegaard et al. 2014). Studier viser at det er en betydelig høyere konsentrasjoner av suspendert stoff, næringsstoffer, miljøgifter og andre forurensinger i urbant overvann sammenlignet med avrenning fra uberørte områder (Sartor et al. 1974). Forurensingene i overvannet er lokalt varierende avhengig av tørkeperiodens lengde, arealbruk, befolkningstetthet, trafikkmengder, nedbørsmengder m.m. Data indikerer at oppbygningen av forurensing skjer relativt hurtig etter en regnhendelse og er avtagende etter noen dager. Mengden forurensing et regnskyll tar med seg fra gatene avhenger av nedbørintensitet, avrenningsforhold og forurensingens partikkelstørrelse (Sartor et al. 1974). Forurensningskonsentrasjonen i vannet er høyest ved starten av en nedbørshendelse ettersom akkumulert forurensingen siden foregående regnskyll følger med i den første overflateavrenningen. Dette omtales som "first-flush" effekten, og fører til en høy og uforutsigbar forurensingsbelastning på renseanlegg, resipient eller jorden.

Når nedbør renner av forurensede overflater som veier og tak kontamineres vannet. Sterkt trafikkerte områder og belastede sentrale bystrøk har en høy forurensningsgrad og er derfor forskjellig fra takvann som betraktes som «rent». Takoverflater er typisk forurensningskilde til metallene kobber, tinn, sink og bly, og overvann fra trafikkerte områder har høyt innhold av miljøstoffer, oljer, og tungmetaller (Ødegaard et al. 2014). Forurensningsgraden i overvann er preget av den lokale situasjonen, og hvilke overflater vannet har vært i kontakt med. Miljøgiftene påvist i overvann er gjengitt i Tabell 2-2.

Tabell 2-2: De vanligste forurensningsparameterne påvist i overvann i urbane områder. (Pitt et al. 2002; VA/Miljøblad 2015)

Grupper	Elementer
Partikulært materiale	
Næringsstoffer	Fosfor, Nitrogen, Organisk materiale
Tungmetaller	Nikkel, Kadmium, Kobber, krom, Bly, sink, kvikksølv
Organiske miljøgifter	PAH ₁₆ (Polysykliske aromatiske hydrokarboner), PCB ₇ , Pesticider
Salter	Klorid (sesongmessig høy i vinterhalvåret)
Olje	

Store deler av forurensningen er knyttet til partikulært materiale (kolloidale partikler). Dette gjelder både PAH og metaller, som er de meste betenkte forurensningsstoffene i overvannet (Ødegaard et al. 2014).

2.5 Urban jord

En viktig, og ofte neglisjert årsak til redusert infiltrasjon er urbaniseringens påvirkning på jordens egenskaper. Urbanisering medfører store endringer av jordens fysiske, biologiske og kjemiske egenskaper (Hazelton & Murphy 2011). Over tid har områders karakter gått fra å være naturlig til dyrket mark, for så å bli erstattet med veger, bygninger og andre tette overflater (Dighton & Kruminis 2014). Belastninger fra konstruksjonsmaskiner, urban aktivitet og infrastruktur fører til komprimering og forstyrrelser av jordens struktur og porøsitet. De fysiske endringene vil ha en direkte negativ innvirkning på infiltrasjon og lufting i jorden ettersom komprimering er den mest kritiske faktoren for jordens infiltrasjonsevne (Pitt et al. 2002). Som en følge av menneskelig utforming av landskapet har terreng blitt jevnet ut med fyllinger og masser blitt fjernet. Å fjerne det øvre naturlige jordprofilen resulterer i å fjerne viktige komponenter som organisk materiale, veletablerte rotsystemer, habitat for virvelløse dyr og jorden i seg selv. Det underliggende laget som vanligvis har en lavere infiltrasjonskapasitet eksponeres, og den naturlige infiltrasjonsevnen reduseres (Hazelton & Clements 2014).

Mange organiske stoffer som er giftig for planter og dyr kan finne sin veg til jorden. Noen av disse stoffene er bi-produkter av metabolske prosesser, og noen kommer fra menneskelig kontaminering. Akkumulering av forurensning i jorden kan føre til store økologiske skader,

men jorden og jordorganismene kan produsere enzymer som tillater dem å bruke toksidene som mat. Denne prosessen skjer i aller størst grad i den øvre delen av jordprofilen der det er tilgang til oksygen og organisk materiale (Brady & Weil 2002).

Jord har en naturlig forurensingsbarriere som fjerner partikulært materiale gjennom filtrasjon og løst forurensning gjennom assimilasjon, sorpsjonsprosesser og utfelling. Som et resultat av store forurensningsmengder vil jorden mettes med kontaminering og miste sin renseevne. I tillegg kan slam fra avløpslekkasjer tette igjen jorden og som et resultat redusere jordens infiltrasjonsevne (Hazelton & Murphy 2011).

Organisk materiale i jorden består av et bredt spekter av organiske karbon substanser inkludert levende organismer (biomasse), dødt organisk materiale og organisk materiale som er et produkt av nåværende og tidligere metabolisme i jorden (Brady & Weil 2002). Tilstedeværelse av organisk materiale i det øvre jordprofilen er viktig ettersom mikroorganismer i denne regionen bryter ned dødt organisk materiale og danner plantetilgjengelig næring som fosfor og nitrogen. Samtidig blir organisk materiale omdannet til humus som spiller en sentral rolle i oppbygningen av jordens struktur. På lik linje som leire er en kolloide av mineralfraksjoner, er humus en kolloide av organisk materiale. Elektrisk ladning på overflaten til humusmolekylet binder vann langt bedre enn leire, og et høyt innhold av organisk materiale øker jordens kapasitet til å magasinere vann. Molekylet kan også binde negativt ladede ioner som plantenæringsstoffet nitrat, som ellers ville vært utsatt for utvasking i jorden (Hazelton & Murphy 2011). Over tid brytes organisk materiale ned og forsvinner ut av jorden som karbondioksid (CO_2), og det er derfor nødvendig å tilføre nytt organisk materiale til jorden (Brady & Weil 2002). I urbane områder får organisk materiale som faller på jordoverflaten sjeldent bli liggende i tillegg til at tette overflater hindrer materiale å trenge ned til jorden. I et studie utført av Wei et al. (2013) ble jordprofiler under impermeable overflater sammenlignet med jord av samme karakter fra åpne områder. Forsøket viste en betydelig lavere andel organisk materiale i jorden under impermeable dekker med 6,5 g/kg sammenlignet med 18,5 g/kg i «åpen» jord. På lik linje var tilstedeværelsen av mikrobiell biomasse, som påvirker jordens næringsinnhold, betraktelig redusert i jorden under tette overflater. Funnene viser at jordens funksjon som vekstmedium endres i urbane miljøet, og redusert innhold av humus og organisk materiale kan redusere jordens evne til å magasinere og infiltrere vann.

Jordens pH er et mål for den kjemiske aktiviteten i jorden. Parameteren måler surhet og alkalitet, og skalaen strekker seg fra verdien 1-14. En pH-verdi mindre enn 6,0 tilsier at jorden er sur, nøytral ved en pH-verdi på 6,0 – 8,0, og alkalisk dersom pH-verdien er større enn 8,0. Vegsalt kan gjennom vannvegen infiltrere jorden og føre til høy alkalitet. En høy pH påvirker planteveksten negativt og redusere jordens fruktbarhet, og det samme gjør en høy pH. pH-verdien er viktig for at næringen kan nyttiggjøres av planter, og den mest ideelle pH-verdien ligger mellom pH 5 – 6,5. Jordens pH er av stor betydning for evnen til å absorbere forurensningsstoffer. Tungmetaller bindes til jorden ved en nøytral pH og oppover, men på den andre siden er organisk materiale mer utsatt for utvasking ved en høyere pH (Hazelton & Murphy 2011).

2.6 Byens tekniske vannkretsløp

Dagens avløpsnett kan håndtere overvann og spillvann samlet i et fellessystem, eller atskilt i et separatsystem. Tradisjonelt sett er avløpsnettet bygget som et fellessystem, men erstattes gradvis av separatsystemer. Fellessystemet utsettes tidvis for stor belastning, og ved store regnskyll overskrides kapasiteten dersom tilført avrenning er større enn det som bortledes. Dette kan føre til oppstuvning i rørene og oversvømmelse i kjellere og gater. I Storbritannia omtales dette som «sewer flooding», og vannets kvalitet kan utgjøre en fare for helse og miljø. Samtidig trer nedstrøms overløp i kraft og fører til utlipp av forurenset avløpsvann til resipienter. Separatsystemer er derfor å foretrekke i byer ettersom det blir en jevn belastning på spillvannsledningen, og faren for tilbakeslag i kjellere reduseres. Betydningen av å omlegge til separatsystem er særlig viktig med hensyn til klimaendringer og økt hyppighet av intense regnvær. I et separatsystem ledes ofte overvannet direkte til en resipient ute videre rensing og kan føre til forurensing av vannforekomster (Ødegaard et al. 2014).

2.7 Et klima i endring

Med en stadig økende urbaniserings- og fortetningsgrad i byene, vil klimaendringer føre til stadig større utfordringer knyttet til overvannshåndtering i urbane strøk. Klimaet har, og vil alltid være i stadig endring grunnet naturlige årsaker. Dette er forårsaket av at solinnstrålingen og refleksjon av innstrålingen fra jorden varierer, og fordelingen av energi mellom havområder og atmosfæren endres (Tollan 2002). Klima er en statistisk representasjon av været og beskriver hvilke rammer været varierer innenfor ved bruk av hyppighet, maksimum-, minimum- og middelvei (Dannevig & Hartveit 2017). Når det er snakk om klimaendringer

innebefatter dette endringer av hvor ofte ulike type vær forekommer som kan gi utslag på endring i temperatur, nedbør, vind eller gjennomsnittstemperatur (Benestad et al. 2017). Siden målingene startet i 1860 er det observert betydelige endringer av klimaet, og globalt sett er det målt en stigning av middeltemperaturen på +0,85 °C fra 1860 frem til 2012. Det finnes flere teorier om klimaendringene. En anerkjent og akseptert teori argumenterer for at de økte mengdene av klimagasser har påvirket strålingsforholdet i atmosfæren, og resultert i en global temperaturstigning. Ettersom metningstrykket i luften øker med temperaturen, forventes det at mengden vanndamp i luften øker i takt med temperaturstigningen. Dette vil få en global betydning, og generelt sett vil varme, tørre strøk bli tørrere med økt fordamping, og kalde områder vil preges av mer nedbør av høyere intensitet (IPCC 2013).

Geografiske forhold og en langstrakte kystlinjen preger Norges klima. Langs kysten er det forholdsvis milde vintre og kjølige somre grunnet den relativt jevne havtemperaturen som påvirker klimaet. I innlandet er klimaet mer direkte preget av solinnstrålingen med varme somre og kalde vintre. Nedbørsmengden i landet er ujevnt fordelt over tid og sted, men normalt sett utgjør snøfall en tredjedel av nedbørsmengden over året. Våren er en forholdsvis tørr periode preget av vårflommer som forekommer regelmessig i størstedeler av landet (Norges vassdrags- og energidirektorat 2017). Sommeren er preget av intenst sommervær som følge av høye dagtemperaturer, og høsten er den tiden på året med mest nedbør. Med et klima i stadig endring beregnes det at årstemperaturen vil stige med ca. 4 °C frem mot år 2100 sammenlignet med normalperioden 1971-2000. Som en følge av temperaturøkningen vil det bli flere smelteperioder om vinteren, og mer nedbør vil falle i form av regn (Norsk Klimaservicesenter 2017). Den estimerte gjennomsnittlige nedbørsøkningen i Norge er 5-20% med lokale variasjoner. Den største endringen vil være på Vestlandet og i nord, og om høsten antas det en nedbørsøkning på over 20%. På Sør- og Østlandet vil somrene bli tørrere med en reduksjon av nedbør på opptil 15%, og Østlandet vil ha en økt nedbørsmengde på 15-20% om høsten og vinteren. Framskrivning av klima er beheftet med stor usikkerhet, og endringene avhenge av menneskets virksomhet, utslipp av klimagasser, klimamodellenes pålitelighet og andre naturlige fenomener (RegClim 2005).

Klimaendringene vil ha en betydelig innvirkning på det naturlige kretsløpet. Av størst betydning for urbane avløpsforhold er den økte hyppighetene av kraftige regnbyger som fører til større nedbørsmengde og økt intensitet (Hanssen- Bauer et al. 2015). Dette vil skape utfordring for dagens avløpssystemer som allerede er overbelastet og ikke er dimensjonert for

så store vannmengder. De senere årene er det observert mer ekstremnedbør i urbane områder som har ført til flom og store skader. Mengden nedbør vil over året øke, og metningsgraden i jorden vil i lengre perioder inneholde vann og således øke sannsynligheten for redusert avrenningskoeffisient. Av praktisk betydning vil det si at de antatte klimaendringene vil føre til at samme regnintensitet vil kunne gi større flommer enn før (Ødegaard et al. 2014). Som følge av klimaendringer og smelting av verdens is magasiner er det observert og fremskrevet en havstigning. Landheving etter forrige istid dominerer den relative havnivåendringene i Norge og medfører at havstigningen er noe lavere enn det globale gjennomsnittet. Over landet er det store regionale ulikheter, men over de siste tiårene er det observert tegn på at akselererende havstigning har tatt igjen landhevingen flere steder i landet. Framskrivningens middelerdi for endringer av havnivå relativt til landheving i Norge er på 15-55 cm økning mot det neste århundre (Hanssen- Bauer et al. 2015). Havstigningen vil resultere i en lavere hydraulisk kapasitet i avløpssystemer langs kysten, med konsekvenser for økt risiko for oversvømmelse og overløpsutslipp (Ødegaard et al. 2014).

Økningen av tette overflater kombinert med forutsatte klimaendringer vil føre til mer overvann og skape større utfordringer for dagens avløpssystemer. Analyser av norske byers avløpssystemer tilsier at effekten av klimaendringene vil kunne føre til en økning av antall bygninger som flomskades på opptil 50-100% frem mot slutten av dette århundre (Lindholm et al. 2007). Med et klima i stadig endring er sannsynligheten for mer nedbør i Norge stigende. Konsekvensen kan medføre store økonomiske skader på infrastruktur, helse og miljø. Risikoen for at en hendelse skal inntreffe er et produkt av sannsynlighet og konsekvens. Med klimaendringer og urbanisering tatt i betraktning vil risikoen for ødeleggelse og oversvømmelser i byer skyte i været i takt med økende sannsynlighet for ekstremnedbør. Som en respons for å redusere risikoen må tiltak settes inn for å redusere både sannsynligheten og konsekvensen for flom. Sannsynligheten reduseres med riktig dimensjonerte LOD-tiltak i samspill med tradisjonelle rørsystemer, og konsekvensen for flom reduseres med riktig planlagte, dimensjonerte og utførte LOD-systemer på terreng inn i flomveger til resipient.

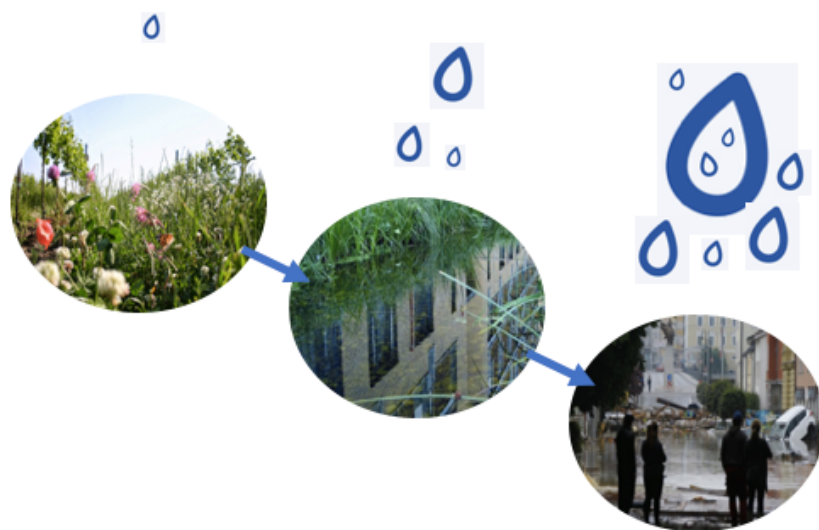
2.8 Lokal overvannshåndtering

En kapasitetsoppgradering av dagens avløpssystem for å unngå flommer ved ekstremnedbør er et dyrt og uhensiktsmessig tiltak (The Scottish Government 2008). Store nedbørsmengder og voldsomme oversvømmelser vitner om at det må nytenkning til når det gjelder å planlegge og utvikle fremtidens byer. For å løse problemet har metoder som håndterer vannet lokalt bli tatt i bruk, og i stedet for å transportere overvannet i rør under bakken, benyttes åpne systemer på overflaten. En «bærekraftig utvikling er en samfunnsutvikling som imøtekommer dagens behov, uten å ødelegge mulighetene for at kommende generasjoner skal kunne dekke sine behov» (World Commission on Environment and Development 1987). Begrepet «bærekraftig utvikling» ble allment kjent i kjølevannet av Brundtland kommisjonens rapport «Vår felles fremtid om bærekraftig utvikling» fra 1987. I tråd med en bærekraftig utvikling må økonomiske, miljømessige og sosiale forhold ses i sammenheng, og begrepet har bidratt til et mer helhetlig samfunnsrettet miljøarbeid der langsiktige miljøhensyn er viktigere enn kortsiktige økonomiske hensyn.

De mange fordelene åpen overvannshåndtering gir sammenlignet med avledning til rør er opphavet til begrepet bærekraftig overvannshåndtering (Stahre 2008). Et system basert på bærekraftteorien skal planlegges og forvaltes slik at den tiltenkte funksjonen kan opprettholdes over tid og samtidig ivaretar jordens ressursgrunnlag. Gode tekniske løsninger representerer økonomiske hensyn gjennom redusert skadeomfang og mindre kostbare oversvømmelser ved nedbørshendelser. Sosiale forhold ivaretas gjennom tiltak som skaper et mangfoldig bymiljø åpent for rekreasjon, og miljøaspektet presenteres av tiltak som etterstreber naturlige avrenningsforhold for å opprettholde naturlige økologiske systemer. De senere årene har det vært et økt fokus rettet mot LOD med naturbaserte tiltak som tilrettelegger for naturlige avrenningssystemet fremfor lukkede systemer. Det finnes flere strategier som tar utgangspunkt i dette, og flere norske kommuner basere seg på LOD. LOD bygger på lokal håndtering i form av fordrøyning og/eller infiltrasjon med hensyn til lokale forhold, og dimensjoneres for å håndtere både flom og tørrværsavrenning. Infiltrasjon reduserer overflateavrenning, og fordrøyning forsinker og utjevner varierende vannføring for å avlaste nedstrøms ledningsnett eller resipient. LOD bidrar til å opprettholde den naturlige vannbalansen i området samtidig som jordens selvrensingsevne utnyttes. Følgende tre hovedmål legges til grunne:

- > Forebygge skade slik at sikkerheten for liv, helse og miljø ivaretas. Forurensing av vannforekomster skal reduseres
- > Utnytte overvannet som en ressurs
- > Styrke biologisk mangfold i bymiljøet

Treleddsstrategien (Figur 2-5) er en veileder for hvordan nedbørsmengder av ulike størrelser skal håndteres. Prinsippet ved første ledd er at nedbørsmengdene er så små (20 mm) at vannet kan fanges opp og infiltreres der det er mulig. Dette kan gjøres ved tilretteleggelse av grønnstruktur, grønne tak eller andre lokale tiltak. Når regnmengdene overskrider infiltrasjonskapasiteten vil overskytende vann renne på overflaten til åpne eller lukkede anlegg som forsinker avrenningen gjennom fordrøyning (20-40 mm). Når nedbørsmengden er så stor at normale systemer ikke kan håndtere avrenningen alene må åpne planlagte flomveger avlede vannet på en sikker og trygg måte gjennom byen (>40mm). Avrenningssystemet må vurderes som en helhet, og tiltak må settes inn i alle tre ledd for å minimere den hydrauliske belastningen på overvannssystemet (Lindholm et al. 2008).



Figur 2-5: Illustrasjon av treledds-prinsippet. Gjengitt etter Lindholm et al. (2008). (Foto f.v.: Vidar Pedersen, Ekobox, Matthias Schrader).

Tabell 2-4 oppsummeres noen ulike LOD-løsninger.

Tabell 2-4: Oversikt over noen LOD-tiltak.

Tiltak	Oppbygning	Funksjon
Frakoble taknedløp	Taknedløpet fra bygg kobles fra avløpsnettet og ledes direkte til vegetasjon eller permeable dekker på eiendommen, evt. til åpne dammer .	Redusere overvannsmengden som tilføres avløpsnettet.
Grønt tak	Vegetasjonsdekket tak som gjenskaper naturlig tilbakeholdelse og evapotranspirasjon av nedbør. (Braskerud 2014)	Minsker overflateavrenning. Isolerer bygg. Reduserer og forskyver flomtopper. Estetisk.
Regnbed	En beplantet forsinking i terrenget der tilførsel av overvann fordrøyes og infiltreres (Braskerud et al. 2013)	Minsker overflateavrenning. Redusere flomtoppbelastningen. Etterfyller grunnvannet. Øker biodiversiteten. Renseevne.
Våtmark	Fremstår med et permanent vannspeil.	Renseevne. Fordrøye. Infiltrerer.
Åpent (tørt) fordrøyningbasseng	Et inn- og utløpsarrangement etableres på området, og bassenget tømmes kontrollert etter en nedbørshendelse.	Redusere flomtopper gjennom fordrøyning. Rensegrad avhenger av vannets oppholdstid – er generelt lav. Arealet kan skape merverdi gjennom å utforme arealet til flerbruk
Lukket magasin	Tett magasin med påslipp til avløpsnett.	Redusere flomtopper gjennom fordrøyning.

Før tiltak bestemmes er det viktig å kartlegge ønsket resultat, og ved anvendelse av flere ulike tiltak vil det være hensiktsmessig å kartlegge hvilken kombinasjon og rekkefølge som gir ønsket resultat (Ødegaard et al. 2014).

Som en respons til monsterregnet og store ødeleggelser i Danmark 2. juli 2011 ble det utarbeidet en ny skybrudsplan. Begrepet LAR, lokal avledning av regnvann eller lokal anvendelse av regnvann, bygger på prinsippet at regnvann skal håndteres så tett som mulig på kilden. I øvre del av nedbørsfeltet skal så mye som mulig av regnvannet holdes tilbake for å avlaste lavereliggende terreng. Dette har innebært en massiv frakobling fra fellessystemet, og å flytte investeringene fra bakken til overflaten med fokus på blå-grønne løsninger som understøtter bylivet. I lavereliggende terreng skal det etableres robuste skybrudsveger for avledning til resipient. Disse skal anvendes både under ekstreme regnhendelser og for å koble hverdagsregn av ledningsnett for å frigi kapasitet. Slik skal avløpsnett bli rustet for å håndtere den økende mengden avløpsvann grunnet klimaendringer og befolkningsvekst (Københavns Kommune et al. 2013).

Med et stadig økende overvannsproblem har fokuset hovedsakelig vært rettet mot den fysiske håndteringen for å redusere flomtopper og flomskader. Vannets kvalitet har lenge blitt neglisjert, og håndteringen har vært basert på å frakte vannet raskest mulig til et avløpssystem eller en resipient. Regnvannets forurensingsprofil er en utfordring i forhold til beskyttelse av vannmiljøet, og vil være desto viktigere å håndtere dersom lokal infiltrasjon skal anvendes i større grad. Konsekvenser som følge av forurenset overvann kan ha innvirkning på lokalmiljøet, og være giftig for både dyre- og planteliv.

2.9 Nedbør og avrenning

Overvannshåndtering bygger på kjennskap til nedbør, overvannsmengder og avrenningsforhold. Avrenningen i Norge kan karakteriseres etter årstidene (Ødegaard et al. 2014):

- Sommer: Kraftige og kortvarige byger ofte forårsaket av *konvektivt nedbør*. Konvektivt nedbør forekommer når luft nær bakken varmes opp av oppvarmede overflater (eks. asfalt). Den fuktige luften vil etterhvert stige til værs da varm luft er lettere enn omkringliggende luft. Når luften avkjøles så mye at den ikke lenger kan holde på vanddampen kondenseres vannet og faller som nedbør. Konvektivt nedbør har en liten arealutbredelse, ofte av høy intensitet. I bysentrum er dette særlig aktuelt da den i hovedsak består av parkeringsplasser, veger, tette bygater og bebyggelse som tilrettelagt for lokal oppvarming grunnet absorpsjon av varme. Konvektivt nedbør i byer av stor andel impermeable dekker kan skape betydelige avrenningsmengder og forårsake sommerflom.
- Høst: Preget av langvarige nedbørhendelser som i hovedsak oppstår som følge av frontnedbør. Frontnedbør er forårsaket av varme humide luftmasser fra sør som blir presset opp av kalde polarfronter fra nord (Meteorologisk institutt 2017). Selv om nedbørhendelsene ofte er langvarige av lav intensitet kan de forårsake store materielle skader da de kan medføre store mengder nedbør og avrenning. Etersom nedbørshendelsene er langvarige vil områder som i utgangspunktet vil kunne infiltrere vann mettes under nedbørshendelsen og føre til videre avrenning.
- Vinter: Nedbør faller som snø eller regn avhengig av lokasjon i landet, og har ofte opphav fra frontnedbør. I hovedsak mindre avrenning, men grunnet klimaendringer kan en forvente mer nedbør i form av regn og større avrenningsmengder.
- Vår: Er preget av snøsmelting og avrenning fra alle typer flater. I bysentrum, avhengig av størrelse og trafikk, fraktes snøen manuelt ut av byområdene. I områder der snø bli liggende vil den innehold søppel, sand og annen forurensning. Brøyt kantene er ofte langs veiene der slukene befinner seg, og medfører at det forurensede smeltevannet hindres i å nå slukene og finner andre veier. Dette kan være direkte til sårbare resipienter. Selv der hvor permeabel overflate befinner seg er det vanlig med vannoppsamlinger grunnet mettet jordsmonn og høy grunnvannstand.

Den rasjonelle metode

Det finnes flere manuelle metoder for beregning av overvannsmengder. Den mest anvendte metoden er den rasjonelle formel gitt ved:

$$Q = I * A * \varphi * (K) \quad (2)$$

der:

Q = avrenning $\left(\frac{L}{s}\right)$

I = nedbørintensitet per arealenhet $\left(\frac{L}{s} * ha\right)$

A = avrenningsareal (ha)

φ = avrenningskoeffisient

K = klimafaktor

Avrenningskoeffesienten φ definerer forholdet mellom nedbørsmengden og avrent nedbør på overflaten. Avrenningsmengden representerer den vannmengden som ikke infiltrerer til undergrunnen eller fordamper. Koeffisienten varierer avhengig av overflatens ruhet og permeabilitet, fallforhold, vegetasjon samt nedbørintensitet og varighet (Butler & Davies 2000). For sammensatte felt anvendes avrenningsfaktoren for hvert delfelt til å beregne en midlere avrenningskoeffesienten for hele feltet. Målt nedbørsdata i området er grunnlaget for utforming av en intensitet-varighet-frekvens-kurven (IVF-kurven). Nedbørintensiteten ved en gitt varighet og gjentakintervall hentes fra IVF-kurven der varigheten settes lik feltets konsentrasjonstid. Konsentrasjonstiden er definert som den tiden det tar for en dråpe å renne fra nedbørfeltets ytterste punkt, til punktet som er under betraktning som ofte er et utløp (Butler & Davies 2000). Klimafaktoren K er lagt til i senere tid for å korrigere fremtidig antatt økt nedbørintensitet som historisk nedbørsdata ikke tar høyde for.

Følgende antagelser legges til grunne ved bruk av beregningsmetoden (Chin 2013):

- Hele avrenningsarealet bidrar til avrenning, og varigheten til nedbørshendelsen må derfor være lik eller større konsentrasjonstiden i feltet.
- Alle nedbørstap er tatt hensyn til i avrenningskoeffesiente.

Den rasjonelle formel er basert på antagelser og grove forenklinger av virkeligheten og egner seg derfor best til overslagsberegninger (Ødegaard et al. 2014). Usikkerheten øker med økende størrelse på avrenningsarealet og det anbefales derfor at avrenningsfeltet er mindre enn 2 – 5 km². Formelen er begrenset med en konstant gjennomsnittlig avrenningskoeffesienten og en konstant regnintensitet (kasseregn) basert på regnets varighet.

Regnvelopmetoden

Funksjonen til fordrøyning i urbane avløpssystemer er å avlaste nedstrøms avløpsnett ved å forsinke flomtoppene og reduserer sannsynligheten for at overløp trer i kraft (Butler & Davies 2000). Nøyaktig beregning av fordrøyningsvolumet er viktig ettersom feildimensjonering er dyrt, og underdimensjonering kan i tillegg føre til skade på helse, miljø, bebyggelse og infrastruktur. Regnvelopmetoden er basert på den rasjonelle metoden, men for å øke sannsynligheten for å få dimensjonerende vannføring beregnes kasseregn med ulike regnvarigheter der den regnvarigheten som gir størst akkumulert avrenning subtrahert med akkumulert utløpsmengde er dimensjonsgivende.

Det er prinsipielt tre fremgangsmåter å beregne nødvendig volum (VA/Miljøblad 2006):

- Antar et konstant utløp tilpasset omtrentlig maksimal påslipp-verdi.
- Antar en varierende utløpsvannføring påvirket av trykkehøyden i bassenget. Økt vanddybde gir økt utløpsvannføring.
- Antar varierende utløpsavrenning og lineært økende vannføring til maksimal fylling er nådd. Deretter synker vannføringen ut av magasinet. Metoden omtales som Aron og Kiblers metode.

Når volum ut er større enn volum inn tømmes fordrøyningsvolumet så samt det ikke forløper en ny nedbørshendelse større en utstrømningshastigheten.

2.10 Infiltrasjonsprosessen

Det er tre mekanismer som kontrollerer infiltrasjon av nedbør (Pitt et al. 2002):

- > Den maksimale hastigheten vann kan gjennomtrengre overflaten
- > Hastigheten til vannets bevegelse gjennom umettede sone
- > Dreneringshastighet fra umettet sone til mettet sone

Generelt er infiltrasjonskapasiteten høy når jorden er tørr og ved starten av en nedbørshendelse, for så å reduseres over tid i takt med at jorden blir mer og mer mettet (Akan 1993). Når jordprofilet er mettet innstilles en likevekt der vann infiltrerer i opptil lik hastighet som vannet føres bort i undergrunnen, og dreneringshastigheten vil styre infiltrasjonshastigheten under lengre nedbørshendelser. Dette omtales som mettet hydraulisk konduktivitet (K_{sat}). Infiltrasjon står for den største delen av nedbørstapet i naturlige områder, og generelt sett kan de fleste jordarter infiltrere nedbørsmengder av lav intensitet. Nedbør av høy intensitet kan derimot generere betydelig avrenning selv om undergrunnen er tørr ettersom gjennomtrengelighetshastigheten i overflaten overskrides. Jordens innhold av vann, om den i utgangspunktet var fuktig eller tørr, vil derfor ha innvirkning på jordens infiltrasjonskapasitet (Pitt et al. 2002)

3 Metode

Litteratur

For å besvare oppgavens problemstilling er litteratur innen fagfeltet gjennomgått for å undersøke og understøtte ulike tekniske overvannsløsninger for et mer klimatilpasset byområde. Studiet bygger i hovedsak på forskningsrapporter, vitenskapelige artikler, bøker, temablader, befaringsrapporter samt informasjon fra produsenter og leverandører.

I hovedsak er følgende søkemotorer brukt:

- > Oria.no – en søkemotor for NMBU sitt elektroniske biblioteks samlede ressurser
- > Google Scholar – Søkemotor for akademisk litteratur
- > Brage
- > ScienceDirect.com
- > Elsevier.com

Ofte brukte søkeord:

- > Overvann / *Stormwater*
- > Infiltrasjon / *Infiltration*
- > Urban / *Urban*
- > Trær / *Tree*
- > Jord / *Soil*
- > Klima / *Climate*
- > Kvalitet / *Quality*
- > Forurensing/ *Pollution*

De enkeltstående søkeordene er kombinert for å fremskaffe informasjon til de ulike kapitlene. Ettersom det utføres relativt få studier i Norge innen temaet er mye kunnskap hentet fra utenlandske studier. Norske studier er i hovedsak sekundærkilder som bygger på kilder og studier fra utlandet, og en kritisk leserholdning er derfor viktig i henhold til reliabiliteten. Forskningsmateriale fra utlandet kan være av mindre relevans ettersom forskjell i klima kan påvirke resultatet. Det kan derfor være svært uheldig å trekke direkte linjer. Oppgaven bygger

derfor på prosjekter og erfaringer fra Norge og andre land som er av relativ lik klimatisk karakter. Aktuelle land har vært England, USA, Danmark og Tyskland.

Referanselister til relevante kilder ble brukt for å finne flere aktuelle kilder, eller dannet grunnlag for å finne primærkilder. I flere tilfeller viste det seg vanskelig å få tilgang til primærkilder, og sekundærkilder har i disse tilfeller blitt anvendt.

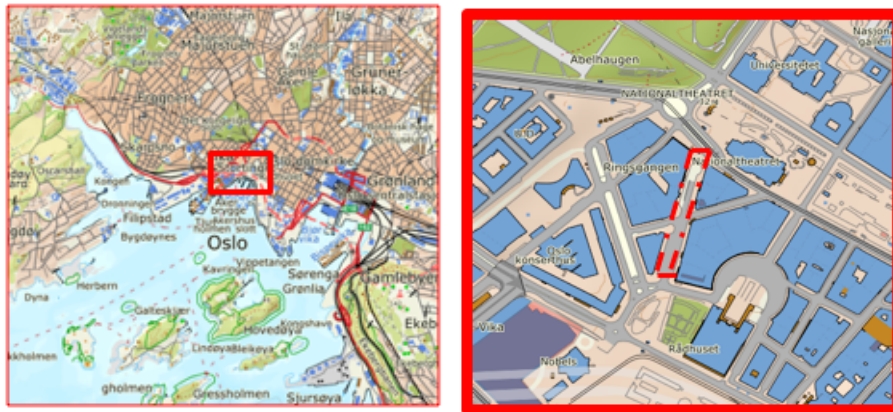
Informasjon fra leverandører er anskaffet gjennom hjemmesider og mailkorrespondanse. For informasjon om produkter fra Milford har det vært et møte og mailveksling for ytterligere informasjon.

3.1 Beskrivelse av prosjektområdet

Oppgaven tar utgangspunkt i et prosjekt COWI utfører på oppdrag for Oslo kommune.

Prosjektområdet omfatter Olav Vs gate og østlige del av Klingenberggata, men for caseoppgaven avgrenses prosjektområdet til Olav Vs gate. Dette anses som hensiktsmessig fordi gaten har et bredt profil med varierende utforming og gode mulighetene for anleggelse av blå-grønne løsninger. Mulighetene for LOD tiltak i Klingenberggata er begrenset ettersom gateprofilen er smalt med lite areal.

Olav Vs gate ligger i Oslo sentrum og er en sentral del av byens handels- og underholdningsdistrikt. Langs gatene ligger flere kjente etableringer som Chat Noir, Saga kino, Klingenberg kino samt restauranter, kaféer og butikker. Olav Vs gate strekker seg fra Kronprinsesse Märthas plass til Nationaltheatret stasjon hvor den når sitt høyeste punkt. Handlegata er en viktig gangakse og et bindeledd mellom byens indre sentrum og sjøfronten. Øvre del av Olav Vs gate skal reetableres som en gågate primært innrettet til gangtrafikk, og biltrafikk skal ikke forekomme med unntak av varelevering og utrykningskjøretøy. Således skal nedre del av gaten reetableres med drosje- og bussholdeplasser samt enveis kjørefelt for biltrafikk. Prosjektområdets omfang illustreres i Figur 3-1.



Figur 3-1: Situasjonsskart med prosjektavgrønsing av caseområde (rødt omriss). (Norgeskart.no)

Prosjektområdet ligger i umiddelbar nærhet til indre Oslofjord og befinner seg i nedre del av et nedbørsfelt. Under store nedbørshendelser fungerer Olav Vs gate som en alternativ flomveg til Tordenskjoldsgaten, og det er rapportert om flere kjelleroversvømmelser i området. Dagens avrenningsforhold samt flomveger er illustrert i Figur 3-2.



Figur 3-2: Vannets naturlige avrenningsveger (piler) og flomveger under store nedbørshendelser (strek). (Bilde:COWI)

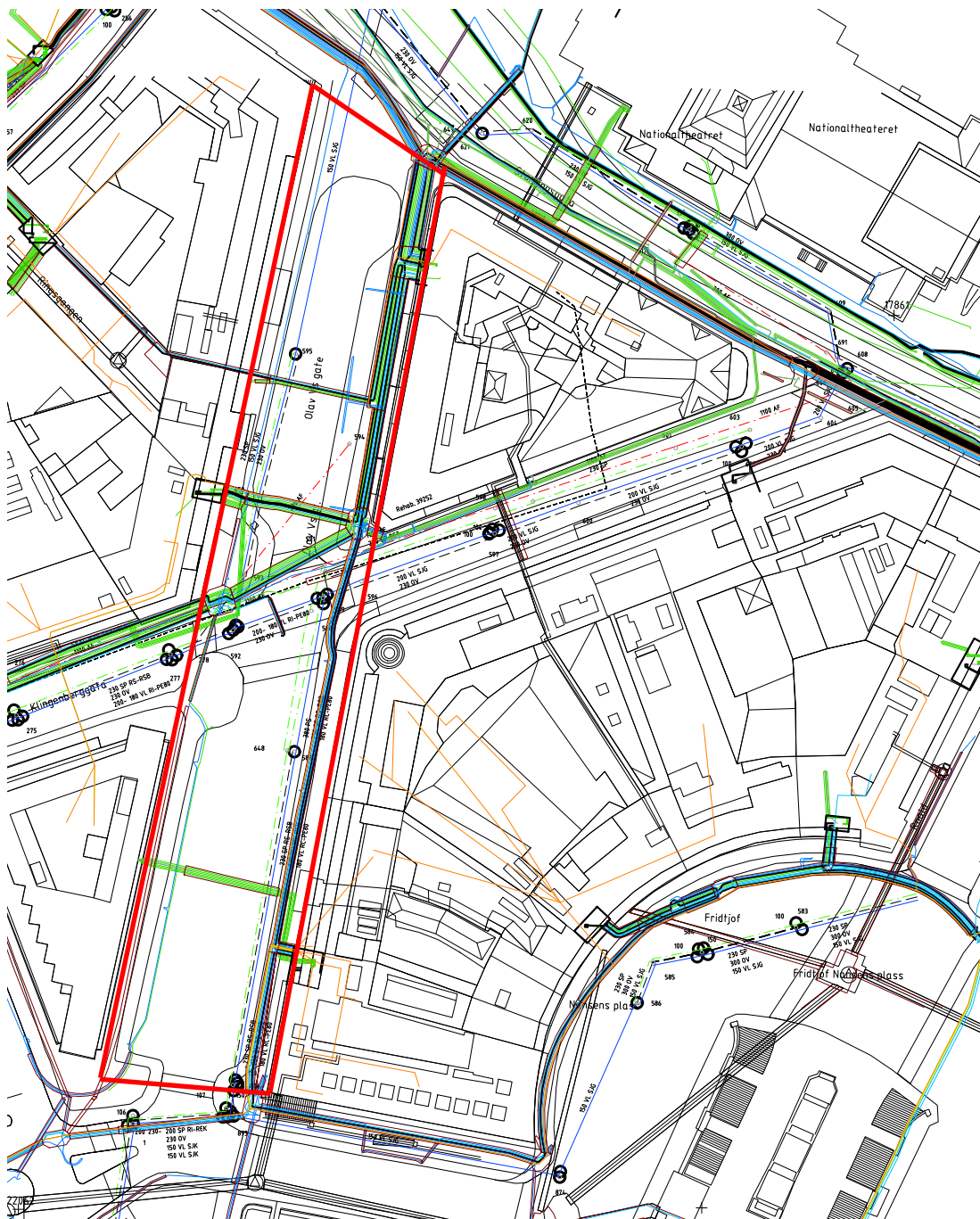
Helningen i Olav Vs gate er relativt slak med et gjennomsnitt på ca. 2%. I klingeberggaten er det jevnt fall på ca. 1,5% med et lokalt lavbrekk som illustrert i Figur 3-2.

Følgende krav og rammer legges til grunne for mulighetsstudiet:

- > Varmeelement etableres i gågatens profil som ligger i øvre del av Olav Vs gate og i gangfelt i nedre del av gaten.
- > Fjernvarme, kabler og annen infrastruktur i gaten skal ivaretas.
- > Parkeringsplasser i nedre del av Olav Vs gate fjernes og erstattes av drosje- og bussholdeplass.
- > 1 meter avstand mellom kabler og andre anlegg.
- > Håndtere vannet som faller innenfor prosjektområdet.
- > Anbefalinger fra Oslo kommune VAV: «I tillegg ønsker vi at det sikres mot flomskade innenfor prosjektets avgrensninger og tilrettelegges for flomveier og tilkobling til framtidige flomveier utenfor prosjektets avgrensning.»

Eksisterende ledning- og kabelnett

Innenfor avgrenset prosjektområde er det etablert separatsystem med ledningsdimensjon Ø230 for overvann. Som Figur 3-3 illustrerer er det mye infrastruktur i bakken som legger begrensninger for tiltak i prosjektområdet. Det foreligger ingen detaljert høydedata for eksisterende fjernvarme og kabler, men det antas at de ligger med en overdekning på 0,5-1 m.



Figur 3-3: Eksisterende VA-ledninger, EL-ledninger og fjernvarme i prosjektområdet (rødt omriss).

Grunnforhold

Det er ikke utført grunnundersøkelser i forbindelse med prosjektet, men løsmassekart fra Norges geologiske undersøkelser (NGU) illustrert i Figur 3-4 (t.v), viser at området er konstruert av fyllinger. Det er vanskelig å kartlegge vannets vegger i fyllinger da både jordens struktur og tekstur vil variere. Infiltrasjonsevnekartet basert på løsmassekart fra NGU beskriver området som uegnet for infiltrasjon (Figur 3-4 t.h).



Figur 3-4: Løsmassekart (t.v.) og infiltrasjonsevne i løsmasser (t.h.) av prosjektområdet (rødt omriss).

(<http://geo.ngu.no/kart/losmasse/>)

Ettersom Oslo en gang lå på fjordbunnen er området preget av marin leire som stammer fra siste istid (Bargel 2005). Det er derfor rimelig å anta at opprinnelig jordsmonn i prosjektområdet er preget av silt og leire. Slike masser har generelt dårlig infiltrasjonsevne grunnet jordstrukturen og lav porøsitet, og som følge av mye trafikkaktivitet i bysentrum kan en anta at massene i høy grad er komprimert. Et studie utført av Solheim (2017) viser at infiltrasjonsevnen i leirholdig urban jord i Oslo viser seg å være større en litteraturverdien tilsier. Dette kan være forårsaket av gamle sprekker og fyllinger som er vanskelig å kartlegge. Solheim (2017) påpeker at kravet om 20 mm infiltrasjon i trinn 1 av treleddsstrategien er realistisk under tørre sommerforhold.

Tidligere gravearbeid avslører at stedlige masser inneholder pukk/stein, sand, og diverse fyllmasser illustrert i Figur 3-5.



Figur 3-5: Bilder fra tidligere gravearbeid i tiltaksområdet. (Bilde: COWI)

I øvre del av Olav Vs gate er det 11 veletablerte bytrær (Figur 3-6) som en kan anta har en relativt stor rotsone. Som et resultat av røtter, jordboende dyr og at området består av fylling, kan en anta at infiltrasjonsforholdene er bedre en NGU-kartet tilsier. Å utføre stedlige infiltrasjonsmålinger innenfor tiltaksområdet vil gi en god indikasjon på reell infiltrasjonsevne.



Figur 3-6: Eksisterende bytrær i øvre del av Olav Vs gate.

(Bilde: Googlemaps)

Forventet overvannkvalitet

Prosjektområdet er et sentrumsområde med høy andel tette overflater. Generelt vil overvannet bestå av forureningskomponenter fra vegarealer, gangfelt og ikke-punktkilder som atmosfærisk avfall og forurensning i luften. Arealområdet i øvre del av Olav Vs gate skal primært være innrettet mot gangtrafikk, men under befaringer er det observert stort antall vareleveringer på dagtid. Forureningspotensialet anses å være lavt. I nedre del av Olav Vs gate tilrettelegges det for taxi- og bussholdeplasser som forurenser overvannet gjennom tap av drivstoff og olje, samt vanlig trafikkgjennomkjøring.

3.2 Mulighetsstudie

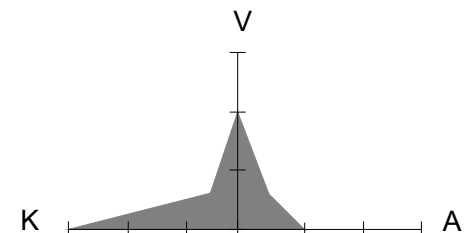
I dette studiet presenteres og diskuteres alternativer for blå-grønne overvannstiltak i bygater. I Norge er åpne overvannsløsninger i bygater lite anvendt, og det finnes få eksempler og erfaringer som kan bygge grunnlag for fremtidige prosjekter. Land som USA, Australia, Danmark og England har derimot hatt en sterkere utvikling innen forskning på området. Ved å trekke frem de erfaringene som finnes fra prosjekter i Norge, eller områder som er av relativ lik karakter, legges grunnlaget for en videre analyse av caseområdet.

For de ulike tiltakene er følgende forhold vurdert:

- > Funksjon
- > Oppbygning
- > Kapasitet
- > Renseeffekt
- > Drift og vedlikehold

3.3 Prioriteringstrekanter – et orienteringsverktøy

De ulike overvannløsningene for caseoppgaven tildeles en prioriteringstrekanter utspent av følgende tre aspekter: volum, kvalitet og attraksjonsverdi (Figur 3-7). Dette er et modifisert prioriteringsverktøy av Jensen og Fryd (2009), som synes å være av stor nytteverdi ved gjennomgang av de ulike løsningene for å hurtigere orientere seg om hvilke aspekter løsningen fokuserer på. Hvert aspekt vurderes ut fra tre nivåer: lite/fraværende, mellom/tilstedeværende eller markant/styrende. Jo lenger ute på aksene løsningen strekker, desto mer vektlegges aspektet i løsningen.



Figur 3-7: Prioriteringstrekanter markert med tre nivåer som angår vannets volum (*V*), vannets kvalitet (*K*), og attraksjonsverdien (*A*). Modifisert etter Jensen og Fryd (2009).

Vannets volum: den kvantitative utfordringen relatert til vann som utfordrer kapasiteten til det eksisterende avløpssystemet. Dette grunnet klimaendringer som øker risikoen for oversvømmelse i byen og stormflod i kystnære område. Økt befolkningsvekst og urbaniseringsgrad vil også utfordre kapasiteten til dagens ledningsnett.

Vannets kvalitet: kvaliteten til overvannet som renner av byens overflater skal imøtekomme kvalitetskrav fra forurensingsforskriften før avledning til vassdrag. Aspektet vurderer i hvilken grad løsningen tar hensyn til dette.

Rekreasjonsverdi: Vannets rekreative, sanselige og romlige kvaliteter

Hensikten med trekanten er å orientere mottakeren om hovedfokuset til løsningen før en starter å lese. Dette kan stimulere til å utløse en tankeprosess om løsningen samt fange lesere, og fungere som et forenklet verktøy dersom en ønsker å kombinere flere tiltak for å oppnå ønsket resultat. Verktøyet blir i oppgaven brukt som en illustrasjon, men diskuteres nødvendigvis ikke omgående i teksten.

3.4 Bytrær - et verktøy for overvannshåndtering

Trær utgjør en vesentlig rolle i etableringen av grønne bymiljøer, og er en viktig ressurs for håndtering av overvann som omtalt i kapittel 2.3. Etablering av trær i urbane miljøer omfatter store utfordringer ettersom omgivelsene er betydelig forskjellig fra naturlige miljøer. En vellykket integrering av trær i bymiljøet bygger på å etablere gode vekstforhold både over og under bakken samt hindre at røttene forårsaker ødeleggelse på bebyggelse og installasjoner under bakken. Craul (1999) fremmer fem kriterier for å sikre en god integrering av bytrær: tilstrekkelig med rotvekstvolum, tilstrekkelig med vann, gode luften- og dreneringsforhold og tilgang til næring. For å sikre gode vekstforhold finnes det midlertidig flere løsninger på markedet (Deeprooot u.å.; Milford u.å.). Løsningene er basert på bærende vekstcellesystemer i treets rotsone som i hovedsak avlaster vekstmediet mot komprimering fra overflatebelastning samtidig som installasjonen kan ha en magasineringskapasitet.

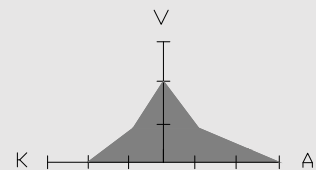
Funksjon

Tre:

- > Bedre infiltrasjonsforhold
- > Redusere avrenning gjennom transpirasjon og intersepsjon
- > Estetisk
- > Renseeffekt

Vekstcellesystemet:

- > Sikre gode vekstforhold
- > Fordrøyningsvolum



Oppbygning

Systemet bygges opp av «kassetter» illustrert i Figur 3-8, der 90% av totalvolumet fylles med vekstmedium. Det bærende cellesystemet skal hindre komprimering av jorden fra belastning på overflaten. Et studie utført av Smiley et al. (2006) viser at trær beplantet i ukomprimert jord under asfalt ser friskere ut, gror raskere og har større trekrone enn trær beplantet i komprimert urban jord.



Figur 3-8: Vekstcellesystemet «Stratacell» danner strukturen for rotvekstvolum for å sikre gode vekstforhold. (Milford u.å.).

En av hovedårsakene til kortere levetid for urbane trær er utilstrekkelig jordvolum for rotvekst hovedsakelig i horisontalt plan (Craul 1999). Nøyaktig nødvendig rotvolum for et tre avhenger av planteart, lokalt klima og miljø. I et studie undersøkte Sanders og Grabosky (2013) sammenhengen mellom trehøyde, kronestørrelse, stammediameter og tilgjengelig overflateareal (ikke asfaltert). Studiet påviste en positiv korrelasjon mellom økt overflateareal og trestørrelse. Veksten ble redusert ved mindre enn 20 m² overflateareal og en ekstrem reduksjon ble observert for trær plantet i tregroper på 2x3 meter. Resultatene i studiet er ikke direkte overførbart til tregroper under tette overflater, men er en god indikasjon. Ved bruk av cellesystemet kan tilstrekkelig rotvolum sikres og et tilpasset vekstmedium anvendes for at den enkelte plantetypen skal trives.

Gjennom metabolismen forbruker planterøtter oksygen og karbondioksid skilles ut. For høy konsentrasjon av karbondioksid i jorden kan medføre rotforgiftning, og luftutveksling av både oksygen og karbondioksid i jordmassene er derfor viktig (Raven et al. 2005). For å sikre oksygentransport til bytrærne etableres et tomt luftlag i øvre profil av vekstcellene tilkoblet et innløp på overflaten. Utluftningslaget vil under store nedbørshendelser fylles med vann, og er derfor tilkoblet et overløp i kum for videre transport (Milford u.å.).

Treets rotsone kan strekke seg over store områder, og høytliggende trerøtter kan komme i konflikt med, eller være til skade for infrastruktur (rør, kabler, veg) i bakken dersom røttenes vekstretning ikke ledes effektivt. I cellevekstsystemet kan en fysisk rotbarriere hindre uønsket rotvekst og tiltaket er særlig aktuelt i gater med mye infrastruktur.

For å sikre gode vekstforhold er tilgang til tilstrekkelig vann en essensiell faktor. Asfaltdekker og andre impermeable dekker hindrer naturlig infiltrasjon og tilførsel av vann til plantenes rotvolum. Tørr jord som ofte er tilfellet i byområder kan føre til redusert absorpsjon av næringsstoffer fra jorden, og netto væsketap gjennom transpirasjon kan føre til at treet mistrives eller dør. Vanntilførsel kan sikres på ulike måter ved f.eks. en langsgående senket renne i avskjærende fallretning som fører overvannet direkte til plantegropens overflate eller gjennom permeabelt dekke anlagt over rotsonen. For å hindre at planten drukner bør et dressystem etableres med påslipp til kommunalt avløp, resipient eller videre infiltrasjon i bakken. Prinsipielt kan systemet utformes på to måter med hensyn til infiltrasjonsforhold:

- Stedlig gode infiltrasjonsforhold: Anlegger et åpent system tilrettelagt for videre infiltrasjon i bakken. Trærne og cellesystemet bidrar med å opprettholde eller bedre infiltrasjonsforholdene i jorden.
- Stedlig dårlig infiltrasjonsforhold: Installasjonen anlegges med tett membran med påslipp for videre transport. Hydraulisk kapasitet er bestemt av magasinets størrelse.

Kapasitet

Vekstcellesystemet fordrøyer overvann på lik linje som regnkassetter, men har en lavere kapasitet enn «vanlige» kassettsystemer fordi volumet er fylt med vekstmedium. Generell fordrøyningskapasitet i cellesystemet er 20%, men volumet vil variere avhengig av vekstmediets porevolum og porøsitet. Treets evne til å forbruke store vannmengder og redusere overvannsmengder utelates i beregningene av fordrøyningskapasitet. Det er fordi beregninger av transpirasjon og intersepsjon varierer, og er avhengig av klima, treart og lokalt miljø. Dessuten er bidraget relativt lite i treets etableringsfase. Treets evne i seg selv til å redusere avrenning vil derfor tilkomme som et bonus per treenhet i ettertid.

Rollen til trær i urbane strøk som et overvannstiltak er primært rettet mot å redusere overflateavrenningen og forbedre infiltrasjonsforholdene i jorden, men det poengteres at trær også har flere viktige funksjoner i bygater; bedrer luftkvalitet, støyskjerm, estetisk uttrykk, habitat for biologisk mangfold, vindskjerm og skygge.

Renseeffekt

Jordene renseseffekt i åpne systemer er studert omgående, men et viktig aspekt med installasjonen er å vurdere om jordens renseseffekt er tilsvarende under impermeable dekker. Forholdet er undersøkt i et studie av to beplantede cellesystemer som konkluderer med at systemet har god renseseffekt (Page et al. 2015). Renseeffektiviteten vil derimot avhenge av forurensningsgraden i området og vekstmediets sammensetning.

Vekstmediet skal i utgangspunktet fremme gode vekstforhold, men dersom installasjonen skal ha en fordrøyningskapasitet vil mediets porevolum og porøsitet være av interesse.

Porevolumet og teksturen må optimaliseres med hensyn til både plantevannopptak og vannlagringsevne. Jordens sammensetning kan også reguleres med hensyn til rensesevne. Dette diskuteres mer omgående i kapittel 3.7

Drift og vedlikehold

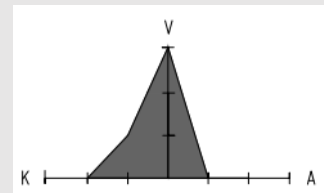
Bytrær i vekstcellesystemer krever vanlig vedlikehold og stell av trær som beskjæring, fjerne søppel og annet som ligger i plantegropen. De første årene etter anleggelse kan kreve mer vedlikehold enn normalt ettersom trærne må etablere seg, og ved lengre tørkeperioder kan det være nødvendig med ekstra vanning. Anlegges cellesystemet med sandfang kan preventive tiltak som inspeksjon inngå som en del av vedlikeholdsrutinen.

3.5 Permeabelt dekke

Impermeable dekker utgjør den største faktoren for økt avrenning som konvensjonelt ledes direkte til sluk for videre transport. Permeable dekker er et tiltak for å drenere nedbøren der det treffer overflaten. Installasjonen fremstår med et drenerende overflatedekke og underbygde masser til fordrøyning med påslipp til overvannsnett eller videre infiltrasjon i grunnen. Tiltaket avlastet overvannsledningsnettet ved å redusere flomtopper gjennom fordrøyning samt fremmer naturlige avrenningsforhold i byen. I tillegg har installasjonen en renseseffekt og fremmer fordampning fra undergrunnen. Installasjonen kan fremstå som et selvstendig LOD-tiltak eller inngå som et ledd i et større LOD-system (Interpave 2013).

Funksjon

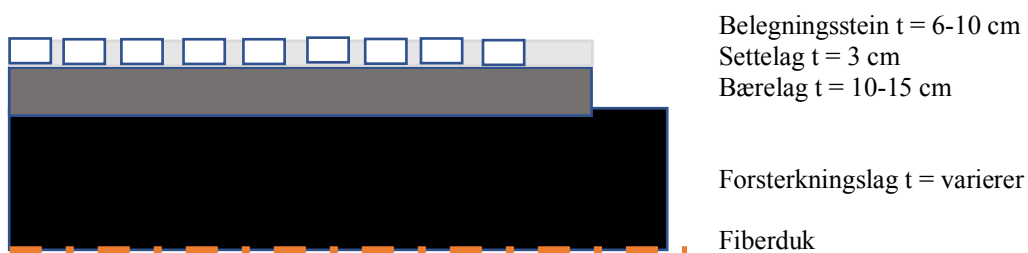
- > Drenere overflatevann
- > Fordrøyningsvolum
- > Bæreevne for dimensjonerende trafikklast
- > Fordampning
- > Renseeffekt



Oppbygning

Det er mange ulike materialer som kan anvendes for å anlegge permeable dekker. For caseoppgaven er det aktuelt med belegningsstein av betong ettersom det er et slitesterkt materiale som samtidig kan gi gaten et estetisk uttrykk. Type og form bestemmes på grunnlag av dimensjonerende belastning og infiltrasjonsmengde. Med basis i Håndbok N200 bygges et permeabelt dekke lagvis opp av et drenerende dekke, bærelag og forsterkningslag. Mellom belegningssteinen etableres fuger for infiltrasjon av vann til underliggende lag. Fugebredden kan variere og tilpasses etter dekkets bruksområde. Store fuger med maskeåpning på 11-13%

er anvendelig i kjørebane og i gangfelt kan en legge en fugeåpning på 7-9% for optimalisering av fremkommelighet. Under belegningssteinen etableres et settelag, og det anbefales at samme materiale anvendes i fugemassen og i settelaget. Til dette formål anvendes finpukk 2/8 mm eller 2/12 mm. Bærelagets funksjon er å fordele trafikkbelastning ned på underliggende lag. For å sikre god stabilitet og hindre deformasjon er det anbefalt å bruke velgraderte masser som pukk 4/32 mm. Forsterkningslaget har samme funksjon som bærelaget, men skal samtidig ha en fordrøyningskapasitet i massens porevolum. For dette formålet anbefales kult 20/120 uten 0-stoffer (0-4mm)(Myhr 2013). Generelt anvendes grovere materialer nedover i konstruksjonen som gjør fugene dimensjonerende for dekkets dreneringsevne. Fiberduk kan legges mellom grovere og finere masser i bunnen for å hindre blanding (Multiblokk u.å.). Tykkelsen på lagene dimensjoneres med hensyn til grunnforhold, trafikkbelastning, vannmagasinering, renseevne og frostdimensjonering. Figur 3-9 viser prinsipiell utforming og anbefalte lagtykkelser.

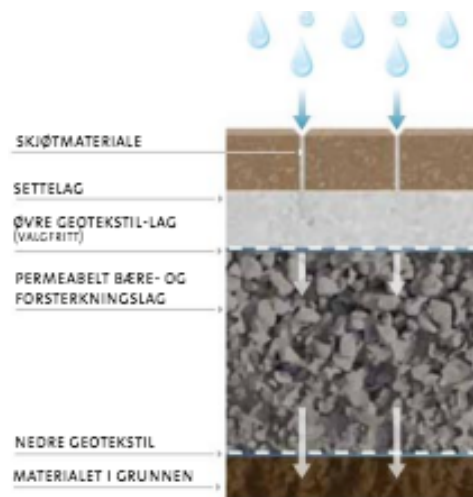


Figur 3-9: Prinsipiell oppbygning av permeabelt dekke. Gjengitt etter (Interpave 2013).

Litteratur beskriver tre hovedprinsipper for etablering av permeable dekker med hensyn til stedlige forhold (Interpave 2013):

System A – Fullstendig infiltrasjon (Figur 3-10).

Systemet utformes for fullstendig infiltrasjon der permeabiliteten i fugemassen er begrensende for mengde vann som håndteres. Løsningen forutsette lokale masser med høy infiltrasjonskapasitet og permeabilitet, samt lav grunnvannsstanden som tillater full infiltrasjon i grunnen. For å hindre telehiv og andre frostskaader må materiale som anvendes ikke være telefarlig eller vannømfintlig.



Figur 3-10: Prinsippskisse for fullstendig infiltrasjon. (Lindholm et al. 2012)

System B – Delvis infiltrasjon (Figur 3-11):

På grunn av lokale forhold som høy grunnvannstand eller lav infiltrasjonsevne/permeabilitet kan ikke fullstendig infiltrasjon i grunnen forekomme. Infiltrert overvann fordrøyes hovedsakelig i fundamentets forsterkningslaget. Systemet utformes for videre infiltrasjon i grunnen, og når stedlige masser er mettet transporterer drensør vannet ut av konstruksjonen for å hindre oppstuvning.



Figur 3-11: Prinsippskisse for delvis infiltrasjon i grunnen. (Lindholm et al. 2012)

System C – Ingen infiltrasjon (Figur 3-12):

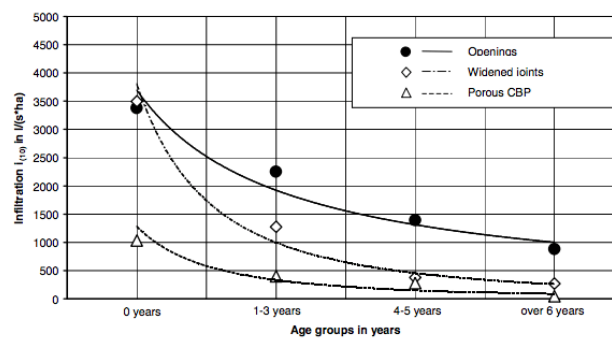
Etableres der undergrunnen er tett (leire), permanent høy grunnvannstand, fare for utvasking av forurensning i stedlige masser eller andre årsaker. En tett membran i traubunnen isolerer installasjonen for å skille overvannet med det omkringliggende miljøet, og et dretnslag etableres med regulert utslipp til eksempelvis kommunalt overvannsnett eller egnet resipient.



Figur 3-12: Prinsippsskisse for ingen infiltrasjon etablert med dretnrør (Lindholm et al. 2012).

Kapasitet

De styrende faktorene for infiltrasjon gjennom overflaten er fugemassens permeabilitet og det totale fugearealet på området. Et nyetablert dekke kan ha en infiltrasjonskapasitet på opptil 4500 l/s/ha med en tydelig reduksjon de påfølgende år grunnet akkumulert forurensning og partikler i fugene. Figur 3-13 viser redusert infiltrasjonsevne som funksjon av tid fra et studie der infiltrasjonsevnen ble målt ved bruk av en infiltrasjonsmeterettest basert på 80 testområder (Brattebo & Booth 2003).



Figur 3-13: Permeable dekkers infiltrasjonsevne som funksjon av tid. (Brattebo & Booth 2003)

Et konservativt anslag for infiltrasjon over tid er 200 l/s/ha forutsatt riktig utførelse og vedlikehold (Myhr 2013). Ettersom infiltrasjonsevnen i hovedsak reduseres grunnet akkumulert partikler i fugemassen egner tiltaket seg best i områder med relativt lite forurensing.

Fordamping

Asfalt og andre impermeable dekker tar opp mye varme om dagen, særlig om sommeren, og varmer opp underliggende masser. Ettersom varm luft har en høyere metningsgrad enn tørr luft absorberes fuktighet fra mettet sone. Impermeable dekker hindrer fri fordamping fra undergrunnen og fungerer som en fuktspærre (Vegdirektoratet 2014). Et permeabelt dekke vil derimot tillate fordampning gjennom fugearealet på nærmest tilsvarende måte som i naturlig terreng. Vannmagasinering i permeable dekker og forbindelser via porer og fuger til overflaten tilrettelegger for fordampning over tid etter nedbørshendelsen. Derimot er fordampning fra impermeable dekker tett knyttet til nedbørshendelser og evaporasjonsmengden vil være tilnærmet lik fuktvolumet på overflaten etter avrenning. Et studie utført av Starke et al. (2010) påviser at permeable dekker har 16% høyere evaporasjonsrate en impermeable dekker. Evaporasjon fra permeable dekker kan fremmes med ytterligere 19% ved å anlegge mørkere (antrasitt) overflatebelegning (Starke et al. 2011).

Avrenningskoeffisient

Studier viser at avrenningsvolum fra konstruksjoner med permeable dekker er redusert med 50% - 90% sammenlignet med avrenning fra konstruksjoner med impermeabelt dekke. Årsaken er knyttet til at vannet som trekker inn i belegningssteinen, settelaget og forsterkningslaget fordampes etter endt nedbørshendelse. Dette vil midlertidig avhenge av værforhold og metningsgraden i det permeable dekket før nedbørens start, og bidraget vil være størst ved små regnbyger på varme dager. I dag anvendes en avrenningsfaktor på 90%-100% som betraktes som noe konservativt (Lindholm et al. 2012). Norge er preget av et kaldt klima, og en kan anta at mengden fordampet vann vil være noe redusert. Ettersom det generelt er høyere fordampningsgrad fra permeabelt dekke enn impermeable dekker (Starke et al. 2010), og avrenningskoeffisienten til impermeable dekker i Norge er på 0,7 – 0,9 (Lindholm et al. 2008), er det rimelig å anta at avrenningskoeffisienten til permeable dekker kan settes til 0,75 i denne oppgaven.

Renseeffekt

Legret et al. (1996) har utført et studie av vannkvalitet fra utløp ved permeabelt dekker og sammenlignet det med vannkvalitet fra et nærliggende avløp transportert av separatsystem. Fire år etter eksperimentets begynnelse viser resultater basert på prøvetaking fra ca. 30 nedbørshendelser at avløp fra permeabelt dekke inneholder betydelig mindre forurensningsmengde enn vann som transporteres direkte til separatsystemet. Partikler festet seg på belegningssteinens overflate, eller i underliggende lagmasser der partiklene filtreres og/eller absorberes av lagmassene. Over tid brytes organisk materiale i dekket ned av biologiske prosesser. Tungmetaller i overvann blir for det meste akkumulert på dekkets overflate og i de øvre 15 cm av dekket (Legret et al. 1996). Et studie utført av Niu et al. (2016) påpeker at lagtykkelsen påvirker renseeffekten og infiltrasjonsraten, og for optimal renseeffekt og infiltrasjon konkluderer studie med at settelaget skal ha en dybde på 5 cm og 20-30 cm for underliggende lagmasser. I settelaget ble det brukt grov sand 0/9 mm og i underbygningen ble det brukt ensgradert grus 5/10 mm. Flere studier utført i lab eller på etablerte anlegg påviser god renseeffekt i permeabelt dekke (Interpave 2013; Legret et al. 1996; Niu et al. 2016). Tabell 3-1 gir en oversikt over renseeffekt gjennom permeable dekker. Det påpekes at for de ulike studiene er det anvendte ulike utforming av dekkene, og det vil derfor være ulike resultater ettersom renseeffekten er svært avhengig av lagtykkelse, materialets permeabilitet og kornfordeling.

Tabell 3-1: Generell renseeffekt i permeabel dekke. Prosentene er dekkende for begge kilder. (Interpave 2013; Legret et al. 1996)

Renseeffekt	
Partikulært materiale	60 – 98%
Hydrokarboner	70 – 90%
Total fosfor	70%
Total nitrogen	65-80% (ifølge Niu et al. (2016) ikke mulig å fjerne)
Tungmetaller	60-95%
COD	24%

Drift og vedlikehold

Dekkets infiltrasjonsevne vil over tid reduseres ettersom finpartikler akkumulert i fugemassene reduserer permeabiliteten. En suge/feie-bil brukes for å fjerne finstoff i fugelaget som må erstattes med nytt rent materiale. Dette må gjøres minimum en gang om høsten og våren avhengig av tilstøtende areal mtp. strøing. Det anbefales at fugemasser erstattes i sin helhet etter 3 – 5 års drift, og vedlikeholdet gjør at dekket får tilnærmet lik infiltrasjonsevne som ved nyetablering (Asak Miljøstein AS 2017).

3.6 Gateutforming

For konvensjonell overvannshåndtering utformes veg- og gateprofiler med taktverrfall eller ensidig tverrfall for å sikre avrenningen til sluk, men i forbindelse med permeable dekker kan det foreligge andre behov for avrenningsforhold. I dette kapitlet diskuteres ulike utforminger og løsninger for optimalisert avrenningsforhold for utnyttelse av underliggende fordrøyningsvolum, håndtering av overvann som ikke infiltrerer i dekket samt vegens potensial til å være en trygg flomveg.

For de ulike alternativene er følgende forhold vurdert:

- > Sikre bebyggelse mot flomskader
- > Fremkommelighet for store folkemengder samt bevegelseshemmede

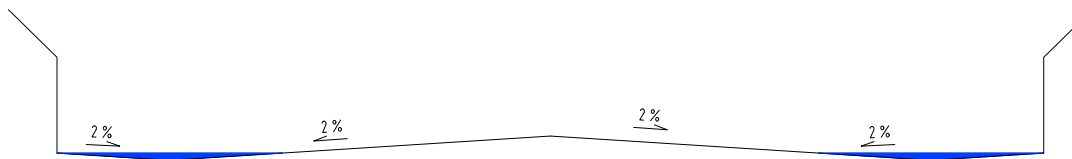
Helning

En gågate utformes i utgangspunktet med så liten helning som mulig for å sikre god fremkommelighet. Tverrfall som overstiger 2% kan redusere fremkommeligheten for bevegelseshemmede og bør unngås (Statens Vegvesen 2014b), men for å sikre vannavrenning anbefales et minstetverrfall på 2% (Statens Vegvesen 2014a). Infiltrasjon gjennom permeabelt dekke vil derimot endre behovet for hurtig avrenning. Maksimalt tverrfall bør ikke overstige 5% for å hindre at vannet renner av overflaten i stedet for inn i dekket (Interpave 2013). I motsetning til impermeable dekker kan overflaten til permeable dekker etableres flatt ettersom vannet dreneres gjennom dekket. Et uønsket scenario er at dekkets fordrøyningskapasitet overskrides og vann blir stående på overflaten og utgjør en betraktelig risiko for skade på bebyggelse. Det er derfor hensiktsmessig med fall i gågaten for å sikre avrenning ut av området ved slike nedbørshendelser. Ved å etablere et tverrfall på 1-2% i

gågatens ferdsel- og møbleringssone vil man øke oppholdstiden til vannet på overflaten som øker infiltrert vannmengde samt sikre avrenning.

Taktverrfall

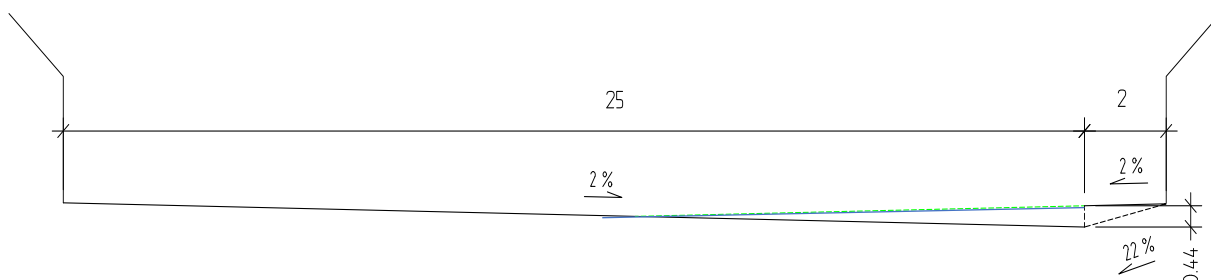
Utformingen er basert på et gateprofil utformet med taktverrfall for avrenning av vann som ikke infiltrerer i dekket (Figur 3-14). Vegprofilet fremstår med to lavbrekk der dreneringssystemer må anlegges for å håndtere overvannet. Utformingen anses å være hensiktsmessig for god utnyttelse av hele fordrøyningsvolumet under det permeabelt dekket. Kostnadmessig vil to lavpunkt være dyrere ettersom to dreneringssystemer må etableres for å sikre bortledning av vann. Under større nedbørshendelser, når infiltrasjons- og magasineringskapasiteten til systemet er nådd, vil lavbrekkene fylles med vann og risikoen for skade på bebyggelse er betraktelig i trange bygater. Ettersom Olav Vs gate fremstår som en alternativ flomveg anses utformingen å være uhensiktsmessig i prosjektet. Løsningen kan imidlertid være aktuell i mindre flomutsatte gater med lavere skadepotensial.



Figur 3-14: Prinsippkisse for utforming av taktverrfall som viser oppsamling av vann under store nedbørshendelser.

Ensidig tverrfall

Løsningen er basert på et gateprofil med ensidig tverrfall og ett lavbrekk. Olav Vs gater er ca. 27 meter bred og en helning på 2% vil medføre et lavbrekk ca. 44 cm lavere enn høybrekket dersom en beregner 2% helning fra veggsonen i andre enden av gaten og 2 meter veggzone. Det vil være utfordrende å hente opp høydeforskjellen fra den andre siden av gaten som illustrert i Figur 3-15. Dersom høydeforskjellen skal hentes opp med 2% vil gaten ikke lenger fremstå med et ensidig fall. Under store nedbørshendelser vil vannet samles i lavbrekket og utgjøre en betraktelig risiko for skade på nærliggende bebyggelse. Løsningen vil midlertidig være aktuell i gater der det ikke er bebyggelse på begge sider av veien.



Figur 3-15: Vegprofil med ensidig fall. Blå linje illustrere vegprofilen for å hente opp fallet med 2% helning, og stiplet linje illustrerer hvordan en kan hente opp høydeforskjellen slik at veien fortsatt fremstår med ensidig fall.

V-Profil

Utformingen er basert på en gateutforming med en v-profil som illustrert i Figur 3-16.

Utformingen er hentet fra rapporten «konkretisering av skybrudsplan for København vest og Frederiksberg vest» utarbeidet på bakgrunn av ekstremnedbørshendelsen i København 2. juli 2011. V-profilet vil beskytte nærliggende bebyggelse mot oversvømmelser, og tverrsnittet vil i sin lengdeprofil ha en viss flomvannskapasitet. Vegen må ha et langsgående fall mot et utløp eller resipient, og det skal ikke være hindringer som avleder vannet fra flomvegen (Københavns Kommune et al. 2013).

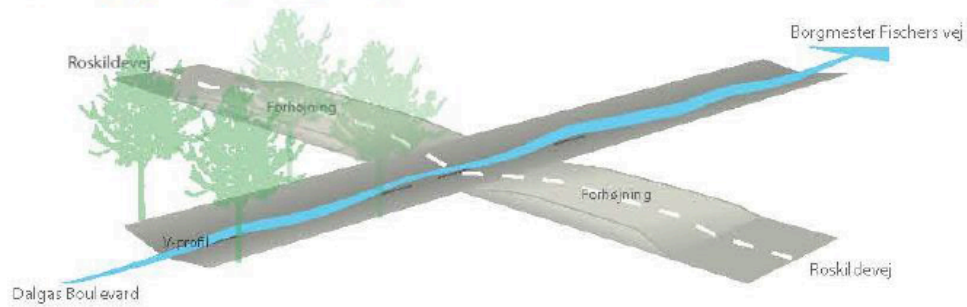


Figur 3-16: Prinsippskisse for utforming av v-profil i kjørebane. Gjengitt etter (Københavns Kommune et al. 2013).

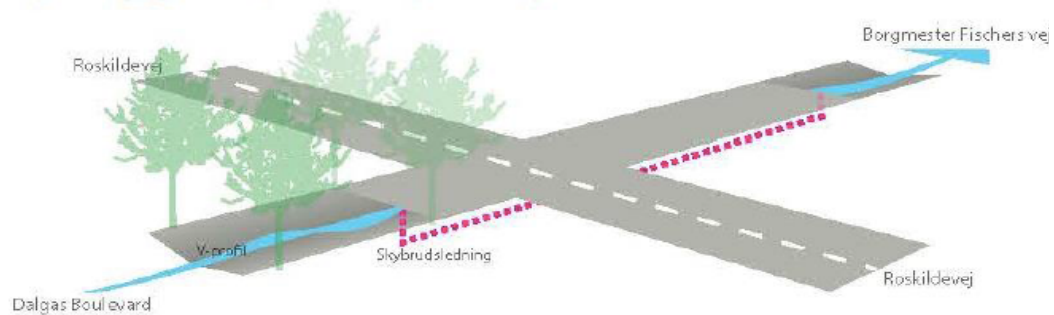
Krysning av veger kan prinsipielt utføres på to måter som illustrert i Figur 3-17. Ved kryssningstype 1 ledes vannet gjennom kryssningspunktet i et heltrukket v-profil. For å hindre at vannet siger ut til den kryssende vegen kan barrierer i form av forhøyninger etableres på den kryssende vegen. Forhøyningen skal dog ikke være til hinder for daglig trafikk. Prinsippet

for krydsningstype 2 er å lede vannet i rør under krysset før det kommer opp i dagen på den andre siden. Krydsningstype 2 er aktuelt der kryssende veg er en viktig transportåre.

Krydsning type 1 - V-profil og vand på terræn



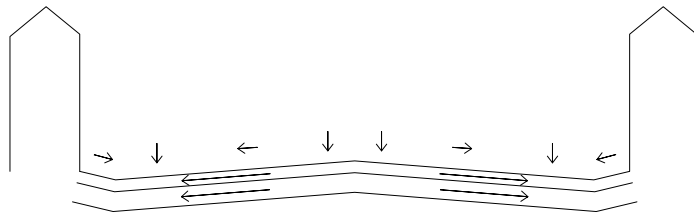
Krydsning type 2 - Skybrudsledning under vej



Figur 3-17: Prinsippskisser for krydsning av vejer. (Københavns Kommune et al. 2013).

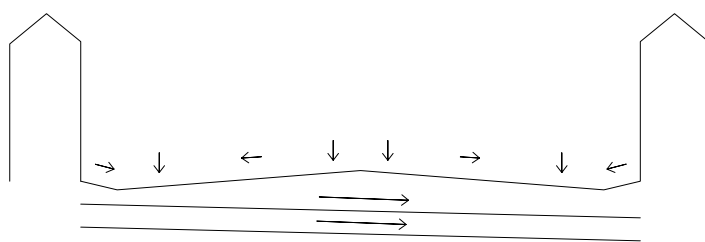
Undergrunnens profil

For å hindre stillestående vannstand i undergrunnens drensmasser kan bærelaget og forsterkningslaget etableres med tverrfall. For konvensjonell utforming av vegoverbygning utformes bærelaget og forsterkningslaget med samme taktverrfall som dekket (Figur 3-18). Utformingen sikrer vannavrenning ut av vegkroppen til hver side av vegen. Hovedhensikten med utformingen er å fjerne vann fra vegkroppen for å hindre teleskader, men ettersom det anlegges et permeabelt dekke faller hensiktene med utformingen bort.



Figur 3-18: Prinsippkisse for avrenningsmønster ved taktverrfall på overflaten og overbygningsmassene.

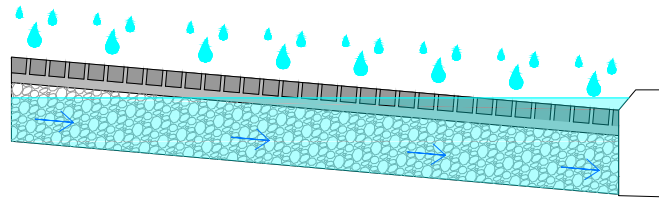
En annen løsning er å etablere et ensidig tverrfall i undergrunnen som vist i Figur 3-19. Utformingen medfører derimot at fordrøyningsvolumet under de permeable massene ikke utnyttes fullstendig i profilets høypunkt. Det er da viktig å anlegge et så lite fall som mulig som samtidig sikrer avrenning. En aktuell helning kan være 1%. Løsningen vil være aktuell for gateutforming med ensidig tverrfall, v-profil og taktverrfall.



Figur 3-19: Prinsippkisse for avrenningsmønster med ensidig tverrfall i overbygningen med taktverrfall på overflaten.

Terskel

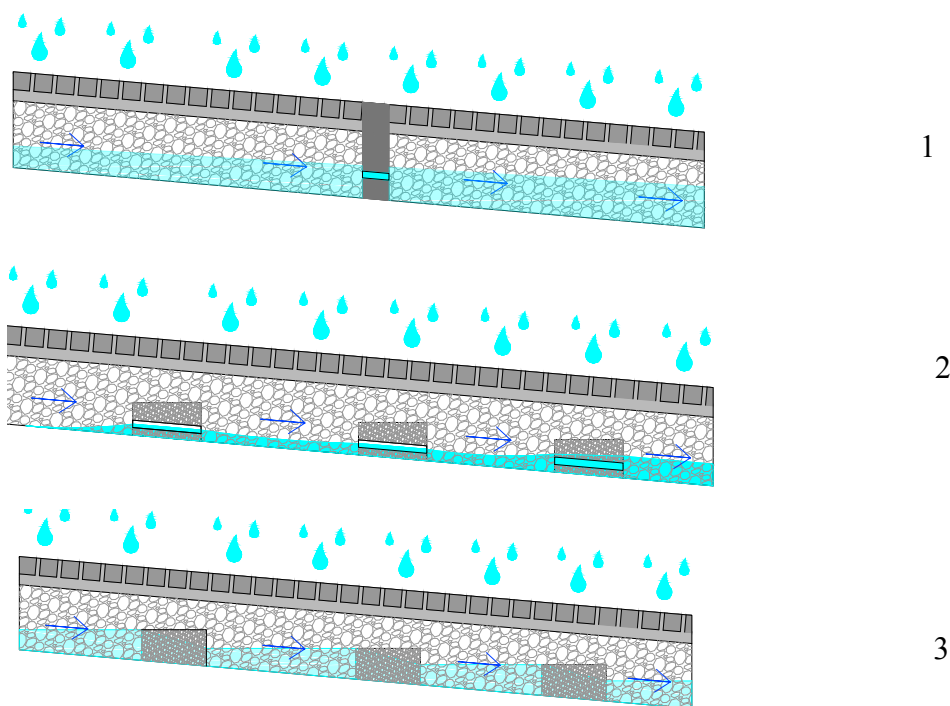
Ved for stor helning i fordrøyningsvolumets breddeprofil samt i gatens lengdeprofil vil det under store nedbørshendelser føre til oppstuvning i gatens lavpunkt med utslipp på overflaten (Figur 3-20).



Figur 3-20: Prinsipp for vannoppstuvning i lavbrekk og vanngjennomtrengning til overflaten. Gjengitt etter (Interpave 2013)

Samtidig reduseres potensiell fordrøyningskapasitet. En løsning er å øke lagringskapasiteten ved bruk av plastkassetter i dekkets lavpunkt. Plastkassetene har et betraktelig større lagringskapasitet per fortrent volum, og kan derfor redusere sannsynligheten for vannoppstuvning på overflaten. En annen aktuell løsning er å montere terskler for å kontrollere og tilbakeholde vannavrenning i forsterkningslaget (Interpave 2013). I figur 3-21 illustreres tre ulike prinsipper for terskeloppbygning:

- > 1. Impermeabel terskel med gjennomtrengende rør. Gjennomstrømningen reguleres i hovedsak av rørdiameteren (Interpave 2013).
- > 2. Terskelmaterialet av lavere permeabilitet enn fordrøyningsmassene anlagt med et gjennomtrengende rør.
- > 3. Støpte betongkasser av drengbetong.

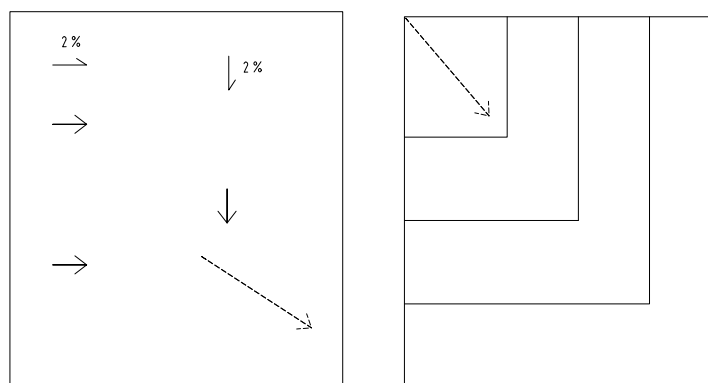


Figur 3-21: Prinsipp for strømningskontroll i terskel. Impermeabel fundament med rør(1)gjengitt etter (Interpave 2013), permeabel terskel med rør (2) og støpt drengbetongterskel (3).

Det er midlertidig viktig å vurdere terskelens utforming slik at den ikke fører til oppstuvning på overflaten før fordrøyningskapasiteten er fullstendig utnyttet. Terskelen i prinsipp 1 strekker seg helt til toppen av dekket og består av impermeabelt materiale. Røråpningen regulerer utelukkende gjennomstrømning, og ved feildimensjonering eller gjentetting vil vann samle seg foran terskelen og gå i overløp på overflaten. Dette kan forekomme før hele fordrøyningsvolumet er utnyttet. Terskelen i prinsipp 2 er lavere slik at vannet kan gå i overløp før det trenger opp på overflaten. Høyden på terskelen bør være noe lavere enn høyden til forsterkningslaget ettersom dette utgjør fordrøyningsvolumet. I fordrøyningsvolumet anvendes i hovedsak kult 20/120, men ettersom tersklene skal redusere vannhastigheten må terskelmateriale være mer velgradert enn dette. Det er midlertidig viktig at massene ikke hindrer avrenning slik at dekket ikke tømmes for vann over tid. Rør kan installeres i terskelmassene for å sikre vanngjennomstrømning. Ulempen med rør er at de kan tettes, og med hensyn til anleggelse av dekket vil det kreve mye ekstra arbeid. I prinsipp 3 vil den støpte betongmassen hindre utvasking og transport av løsmasser samtidig som det er vanngjennomtrengning gjennom massene. Elementer fra hvert prinsipp kan kombineres tilpasset hvert enkelt prosjekt.

Plassering av terskler

Tersklene kan etableres i vegens lengde- og/eller breddeprofil. Ved fall i én lengderetning etableres terskler vinkelrett på strømrretningen. Er det derimot fall i både lengde- og tverrprofilen vil vannet også renne av i resulterende retning (Figur 3-22 t.v.). For å sikre at vannet ikke renner rundt tersklene, men gjennom, er hensiktsmessig plassering å forme L-mønster (Figur 3-22 t.h.). Utformingen sikrer at all avrenning går gjennom tersklene og hele magasineringskapasiteten utnyttes. Avstanden på tersklene må vurderes, men det anses å være nyttig å ha en tettere plassering i dekkets høyepunkt for å utnytte magasineringskapasiteten i dette området.



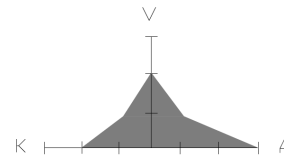
Figur 3-22: Avrenningsmønster ved lengdefall og ensidig tverrfall (t.v.) og terskelmønster for optimalisert fordrøyning (t.h.).

3.7 Regnbed

Et regnbed er et LOD-tiltak utformet som en beplantet forsenkning i terrenget for oppsamling og fordrøyning av overvann. Hensikten med installasjonen er å redusere overflateavrenning gjennom fordamping, transpirasjon og infiltrasjon samt redusere flomtoppbelastninger ved å forsinke overvannet (Davis et al. 2009). Regnbedet vil også beskytte vannforekomster ved å fjerne miljøgifter og organisk materiale gjennom filtrering og sorpsjon samt øke byens biodiversitet og tilføre området et estetisk grønt uttrykk. Der stedlige massene har tilstrekkelige infiltrasjonsevne kan installasjonen bidra til å etterfylle grunnvannet. I bygater er det installasjoner både under og over bakken som krever areal, og ettersom regnbed er et forholdsvis arealkrevende tiltak er det viktig å vurdere nytten av det fortrenkte arealet i forhold til tiltakets effekt. Regnbed håndterer begrensede vannmengder og kan i utgangspunktet bidra med punkt 1 og 2 i treleddsstrategien (Braskerud et al. 2013). Graden av drift og vedlikehold er som regel høy, men vil variere avhengig av tilførsel av søppel, partikler, overvannets forurensningsprofil samt beplantningens art og tetthet (Braskerud & Paus 2016).

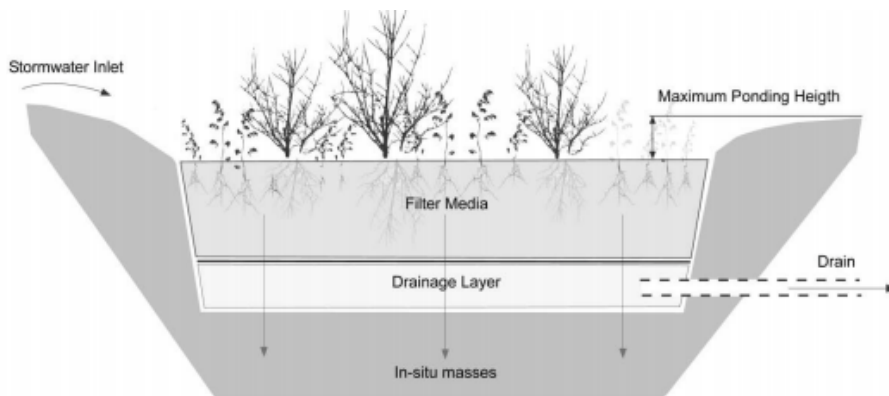
Funksjon:

- > Fordrøyningseffekt
- > Fordampning
- > Renseeffekt
- > Estetisk



Oppbygning

Et regnbed utformes som en avgrenset forsenkning i terrenget med ett vegetasjonslag og et underliggende filtermedium med god infiltrasjonsevne. Figur 3-23 viser en generell utforming av regnbed som varierer med hensyn til stedlige masser og andre lokale forhold. Regnbedet utformes med et overflatevolum med kapasitet til å magasinere overvannet, og for vanddistribusjon over overflatearealet før videre infiltrasjon. Dybden på filtermediet er typisk 40 til 80 cm avhengig av stedlige forhold, regnbedets formål og forventet rottybde. Anbefalt dybde på dreneringslaget er > 30 cm etablert med drenerør på minimum Ø100 mm (Braskerud et al. 2013).



Figur 3-23: Prinsippskisse for utforming av regnbed i leirholdig jord anlagt med utskiftet filtermedium og drenering (Braskerud et al. 2013).

Innløp

For å utnytte jordens renseeffekt ledes vannet til regnbedets overflate. Regnbedet utformes med slak helning for å sikre god distribusjon av vannet over hele overflatearealet, men som samtidig hindre erosjon og oppstuvning i et eventuelt lavpunkt. Det finnes ulike måter å utforme et innløp på, og en mye anvendt løsning i utlandet er et opphold i kantsteinrekken (Figur 3-24). Dersom regnbedet er anlagt som en vegrabatt vil utformingen være utfordrende i Norge med hensyn til vinterdrift og brøyting. Figur 3-25 viser et steinsatt innløp som reduserer vannets hastighet før avrenning til regnbedet samt filtrere bort søppel og andre større partikler. Utformingen vil potensielt redusere behovet for vedlikehold ettersom erosjonsfaren reduseres og søppel og andre partikler samles i innløpet. Vanntilførsel kan sikres ved fall på terreng eller avskjærende renner på overflaten med avrenning til innløpet.



Figur 3-24: Innløp til regnbed som fungerer som en vegrabatt. (Ciria u.å.)



Figur 3-25: Innløp utformet med lave åpne kantsteiner. (Braskerud et al. 2013).

Drenering og overløp

Der stedlige masser har dårlig infiltrasjonsevne eller er tett må massene delvis eller helt byttes ut med filterjord, og et drens-system etableres for effektiv håndtering av overflødig overvann. Dette kan utføres ved å plassere perforert drensrør i grove masser i bunnen. Ved styrtregn fylles overflatevolumet raskt og filterjordens infiltrasjonsrate begrenser mengde vann som infiltrerer. Ved å la enden av drensrøret stikke opp på regnbedets overflate kan vannet gå i overløp og fordeles i filterjorden for å utnytte ubrukt filtervolum. Funksjonen er aktuell når filterjorden i grunn er umettet eller dersom det er frost på overflaten. Ved mettet filterjord vil vannet renne videre med påslipp til kommunalt nett eller til annet utløp (Braskerud et al. 2013). Utformingen til innløpet kan variere og i Figur 3-26 er det illustrert to ulike måter av flere.



Figur 3-26: Utløp: til venstre er det brukt vanlig inntaksrist (byer i vandbalance), og til høyre er det brukt blendet drensrør (Braskerud et al. 2013)

Dreneringstiden er generelt 2-3 døgn etter nedbørshendelsen for å hindre permanent vannspeil. Årsaken er å hindre at planter drukner, problemer med insekter samt gjøre regnbedet klart for å håndtere neste nedbørshendelse. I USA anbefales 1,5 m avstand til bygningsfundament og minst 8 m avstand til kjeller (TPGC 2007). Det foreligger ingen spesifikke avstands anbefalinger i Norge annet enn at infiltrasjonsvannet ikke må skade bygningsmasser under bakken (Paus & Braskerud 2013).

Vegetasjon

Beplantningen i regnbedet er viktig ettersom det bidrar med å redusere vannets volum gjennom evapotranspirasjon, røttene opprettholder jordens funksjon og infiltrasjonskapasiteten over tid samt tilfører oksygen til filtermediet (Ødegaard et al. 2014). Et studie utført av Paus (2015) observerte at vel etablert vegetasjon i regnbed øker jordens mettede hydrauliske konduktivitet (K_{sat}) over tid, som er en viktig suksessfaktor for regnbed i kaldt klima. Plantene må være robuste og tilpasset lokalt klima da de tidvis utsettes for tørke og store vannmengder som potensielt er forurenset.

Kapasitet og dimensjonering

I land som USA og Australia har regnbed blitt et populært LOD-tiltak, og drivkreftene bak den omfattende anvendelsen er at tiltaket anses å være økonomisk besparende i regioner med temperert klima sammenlignet med konvensjonell overvannshåndtering (Braskerud et al. 2013). I Norge er tiltaket midlertidig lite brukt ettersom klimaet i vinterhalvåret kan utfordre regnbedets virkningsgrad grunnet frost og vegsaltying. Det er få eksempler og lite erfaring med regnbed i norske forhold, og erfaringer og kunnskap fra andre land med ulikt klima kan ikke overføres direkte. I perioden 2006 frem til 2010 ble det anlagt fire regnbed i Norge for forskning og utvikling. To er lokalisert i Oslo og to i Trondheim, og undersøkelser viser at regnbed kan fungere tilfredsstillende i norske forhold (Braskerud et al. 2013). Simuleringer av 20-50 års styrtregn på Blindern viste at regnbed som utgjør 7% av nedbørsfeltet håndterte nedbørsmengdene tilfredsstillende. Suksesskriteriene var tilstrekkelig overflatevolum og høy infiltrasjonsevne i filtermediet. Paus (2015) har utført et studie for å undersøke optimal utforming av regnbed i et kaldt klima. Forsøk er utført på 10 eksisterende regnbed i Norge og USA og studiet konkluderer med at temperatur har en betydelig innvirkning på K_{sat} . For å oppnå tilstrekkelig ytelse i kaldt klima anbefales derfor en K_{sat} på minst 10 cm/t. En tilstrekkelig høy K_{sat} er også viktig for å sikre effektiv utnyttelse av filterjordens porevolum, ettersom en lav K_{sat} reduserer infiltrasjonshastigheten slik at vann blir stående på overflaten istedenfor å magasineres i jordvolumet.

Overflatearealet kan også dimensjoneres med hensyn til hvilket ledd i treleddsstrategien regnbedet skal oppfylle. Regnbedets fordrøyningskapasitet tilsvarer summen av regnbedets overflatevolum og vannet som har rukket å infiltrere i filterjorden i løpet av nedbørshendelsen. Nødvendig overflateareal kan beregnes med følgende formel med hensyn til gitt nedbørintensitet og regnvarighet (Braskerud et al. 2013).

$$A_{\text{regnbed}} = A_{\text{felt}} * c * \frac{P}{(h_{\text{max}} + K_h * t_r)} \quad (3)$$

der:

A_{regnbed} = regnbedets overflateareal (m²)

A_{felt} = nedbørsfeltets størrelse (m²)

c = nedbørsfeltets gjennomsnittlige avrenningskoeffisient

P = dimensjonerende nedbørsmengde (m)

h_{max} = den maksimale vannstanden på overflaten før vannet går i overløp (m)

K_{sat} = filtermediets mettede hydrauliske konduktivitet (m/t)

t_r = dimensjonerende varighet på tilrenningen til regnbedet (t)

Vekstmedium og renseeffekt

Under nedbørshendelser skal regnbedet ha evnen til å infiltrere store vannmengder, og innen ett til to døgn etter nedbørshendelsen skal vannet være drenert bort (TPGC 2007). Samtidig skal jorden ha tilstrekkelig vannlagringsevne som grunnlag for god plantevekst. Dette kan skape utfordringer ettersom god infiltrasjon kan medføre tørke i perioder med lite nedbør.

Høy infiltrasjonskapasitet krever store porer, mens mindre porer er positivt for jordens rense- og vannlagringsevne. Der stedlige masser ikke har tilstrekkelig infiltrasjonsegenskaper kan massene delvis eller helt byttes ut. Retningslinjer fra Maryland, USA, foreslår en sammensetning av 50-60% sand, 20-30% løvkompost og 20-30% matjord (TPGC 2007).

Regnbed har generelt god renseevne og kan tilbakeholde partikulært materiale, tungmetaller og organiske miljøstoffer gjennom sorpsjon, assimilasjon, biologisk degradering og filtrering (Davis et al. 2003; Davis 2007). Et studie utført av (Paus 2015) viser at mengden løvkompost korrelerer med fjerning av tungmetaller, men jordens hydrauliske konduktivitet synker med økende mengder løvkompost i kaldt klima. Komposttilskuddet må derfor dimensjoneres ut fra lokalt klima med hensyn til ønsket renseevne og infiltrasjonskapasitet. Videre viste studiet at lave temperaturer ikke påvirker fjerning av metaller, men ved høye metallkonsentrasjoner vil

tilførsel av NaCl (vegsalt) vaske ut bundne metaller fra filterjorden. Mengden tungmetaller som fjernes avhenger av mengden og typen metall og type filterjord (Reddy et al. 2014). Det er derfor viktig å kartlegge stedlig overvannskvalitet for å komponere en optimal filterjordprofil.

Frost i filtermedia

Regnbedets virkningsgrad ved frost er avhengig av vanninnholdet i filterjorden på frysetidspunktet. Dersom jorden er vannmettet dannes betongfrost, og infiltrasjon er ikke mulig og kun regnbedets overflatevolum er tilgjengelig for vannhåndtering. Dersom filterjorden fryser med en lavt vanninnhold er porene fylt med både vann og luft (porøs frost), og infiltrasjon kan forekomme. Høy *K_{sat}* og god drenering av regnbedet er suksessfaktorer for å fremme porøs frost (Paus & Braskerud 2013).

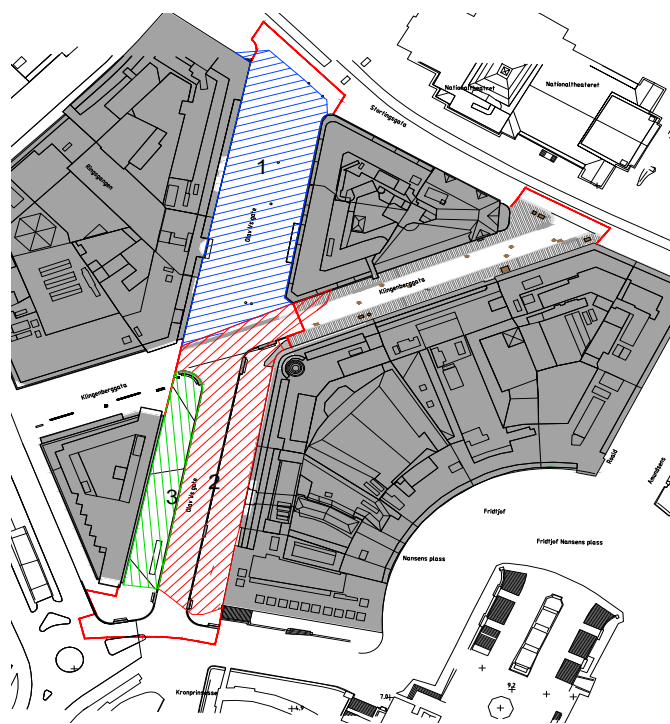
Drift og vedlikehold

Regnbedet vil kreve vedlikehold og stell som et tradisjonelt grøntanlegg, men graden av stell vil variere avhengig av vegetasjon og andre lokale forhold. I vekstsesongen vil ugress vokse til, og med hensyn til det estetiske uttrykket regnbedet er tiltenkt, må dette fjernes. Basert på erfaringer fra England vil det være nødvendig å utføre dette arbeidet en til to ganger i året (Ciria u.å.). En tettere grad av beplantning vil dog fortrenge plassen til ugresset og minimere behov for vedlikehold (Braskerud et al. 2013). Om våren kan gjødsling for plantetrivsel være nødvendig. Søppelfjerning utføres i sammenheng med ukentlig vedlikehold av gaten. De to første årene etter anleggelse viser seg å kreve mer vedlikehold ettersom plantene må etablere seg. Ved lengre tørkeperioder kan det være nødvendig med ekstra vanning, og generelt erstatte døde planter (Braskerud et al. 2013). Som en del av langsiktig vedlikehold bør siltig materialer akkumulert over tid fjernes (Ciria u.å.).

3.8 Beregningsgrunnlag

Delfelt

Prosjektområdet er delt inni tre delfelt med hensyn til overvannshåndtering. For hvert delfelt ledes og håndteres overvannet til et dimensjonert LOD-tiltak. Figur 3-27 viser inndeling av delfeltene, og Tabell 3-2 gir en oversikt over delarealene.



Figur 3-27: Avrenningsareal danner grunnlaget for inndeling av delfelt.

Tabell 3-2: Delfeltareal.

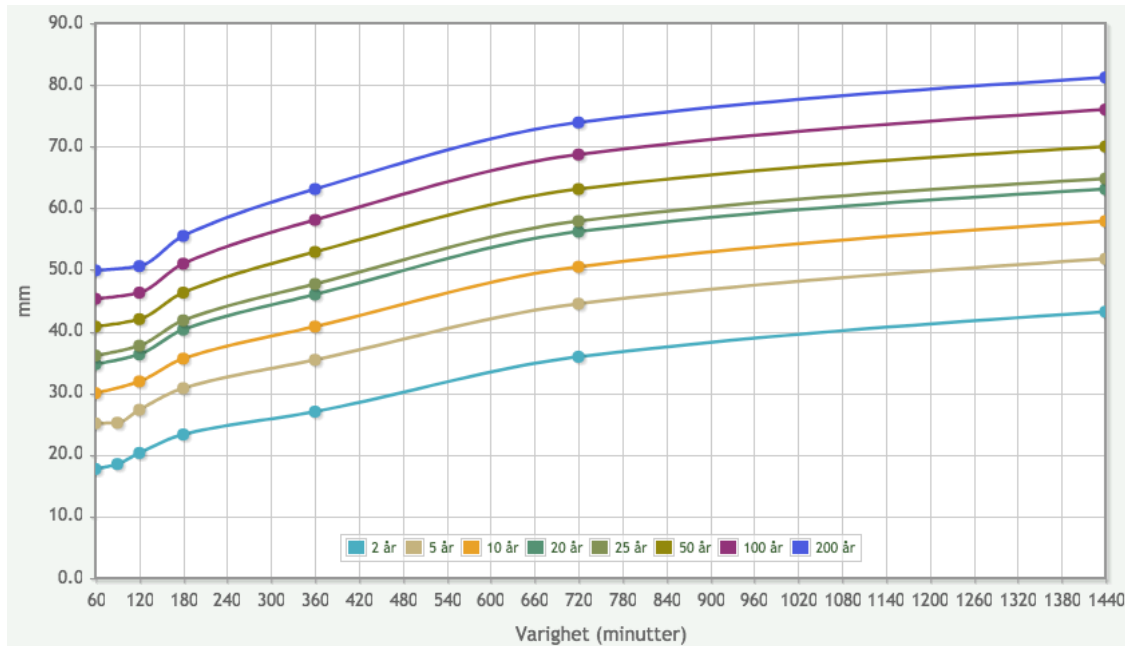
Delfelt	Areal m ²
1	2425
2	2257
3	762

Dimensjoneringsparametere

Caseområdet er i Oslo kommune og beregningene er derfor basert på Oslo kommune sin veileder for overvann, «Overvannshåndtering- en veileder for utbygger versjon 1.3» (Vann-og avløpsetaten 2017). På grunnlag av retningslinjene anvendes den rasjonelle metoden (Formel 2) for beregning av overvannsmengder. Metoden er diskutert omgående i kapittel 2.9.

Nedbørsstatistikk

Nedbørsstatistikk er hentet fra Meteorologisk institutt for Blindern målestasjon i Oslo. Statistikk fra nedbørmåleren anses å være representativ for området samt i tråd med Oslo sin veileder for overvannshåndtering. Nedbørintensiteten som funksjon av tid er presentert i IVF-kurve (Figur 3-28) og er basert på 49 målesesonger (Se vedlegg 1 for tallverdier). Det påpekes at det ikke foreligger nedbørsdata for varighet 90 minutter.



Figur 3-28: IVF-kurve for målestasjon: Blinder PLU, Oslo (klimaservicesenter.no)

Gjentaksintervall

Veilederen henviser til Norsk vann Rapport 162/2008, «Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering» anbefalte minimums dimensjonerende gjentaksintervall for avløpssystemer. For bysentrum er dimensjonerende regnskyllhyppighet 1 gang i løpet av 20 år.

Avrenningskoeffesienten

Typisk verdi for avrenningskoeffesient i urbane sentrumsområder er 0,7 – 0,95 (Butler & Davies 2000), og i Statens vegvesen sin håndbok N200 er verdien 0,6 – 0,9 for asfaltdekker. Som diskutert i kapittel 3.5 settes avrenningskoeffesienten til permeabel dekke til 0,75, og for byområdet velges middelverdien 0,75. Avrenningskoeffesienten for hele caseoppgaven er derfor 0,75.

Tilrenningstid på overflaten

Tilrenningstiden på overflaten i urbane områder anslås ofte til å være ca. 5 – 7 minutter i felt av begrenset størrelse (Butler & Davies 2000). Ettersom delarealene i caseoppgaven er små og lange med jevnt over lite fall vil tilrenningstiden være i den lavere delen av skalaen, og anslås derfor til å være 5 min.

Klimafaktor

I denne oppgaven anvendes en klimafaktor på 1,5 (50% påslag) ettersom det er krav fra Oslo VAV. Det er umulig å gjøre nøyaktige anslag for fremtidig økt nedbør, men en konservativ beregning gjør tiltakene mer rustet for klimaendringer.

Påslipp

Maksimalt påslipp til kommunalt overvannsnett er 2 l/s per delfelt.

Fordrøyning

Nødvendig magasinivolum dimensjoneres etter regnvelopmetoden for en gitt nedbørsvarighet der den største differansen mellom tilført vannvolum og videreført vannvolum fra magasinet. For denne beregningen benyttes Aron og Kiblers metode (VA/Miljøblad 2006). God hydraulisk kontroll for videreført vannmengde reguleres av en mengderegulator med påslipp til offentlig avløpsnett (Vann-og avløpsetaten 2017).

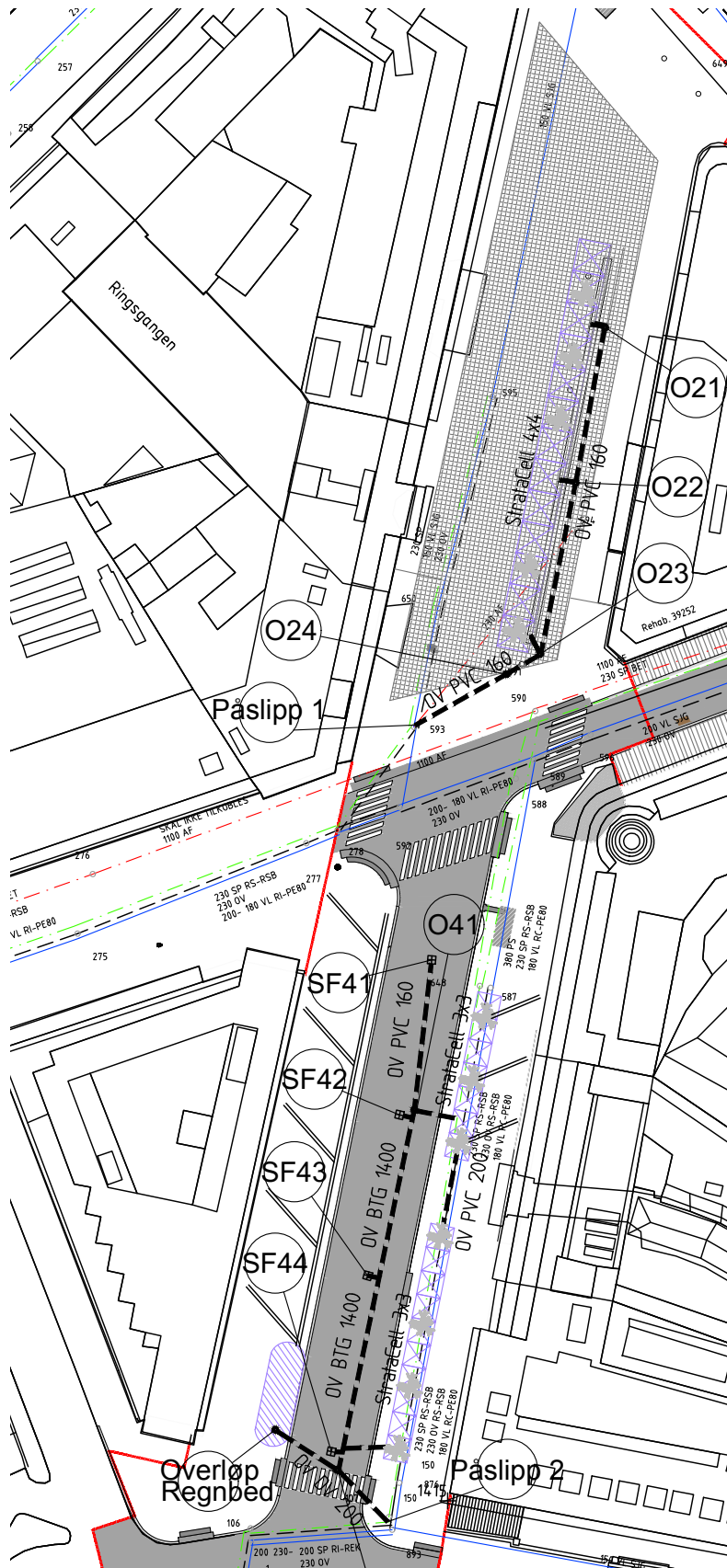
4 Resultater

Tabell 4-1 gir oversikt over dimensjonert fordrøyningsvolum for respektive delfelt ved bruk av rasjonell metode og Aron og Kiblers metode.

Tabell 4-1: Nødvendig fordrøyningsvolum for respektive delfelt beregnet med Aron og Kiblers metode..

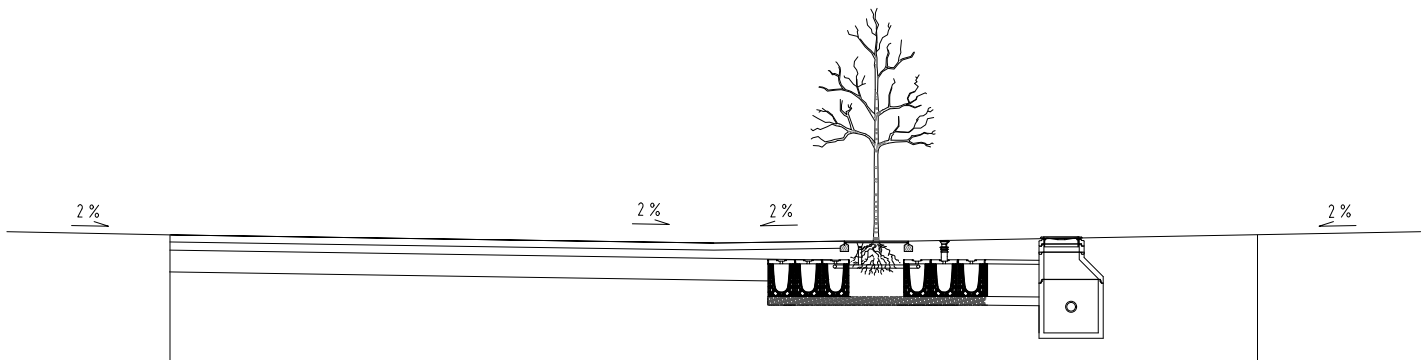
Delfelt	Totalt areal (m ²)	Nødvendig fordrøyningsvolum (m ³)	Maksimalt påslipp (l/s)
1	2425	109,7	2
2	2257	99,1	2
3	762	25,8	2

Figur 4-1 gir en oversikt over prosjekterte LOD-tiltak i caseområdet på grunnlag av beregnet nødvendige fordrøyningsvolum i det gitte delfeltet. For videre beskrivelse av tiltakene i hvert delfelt henvises det til kapittel 4.1, 4.1 og 4.3.

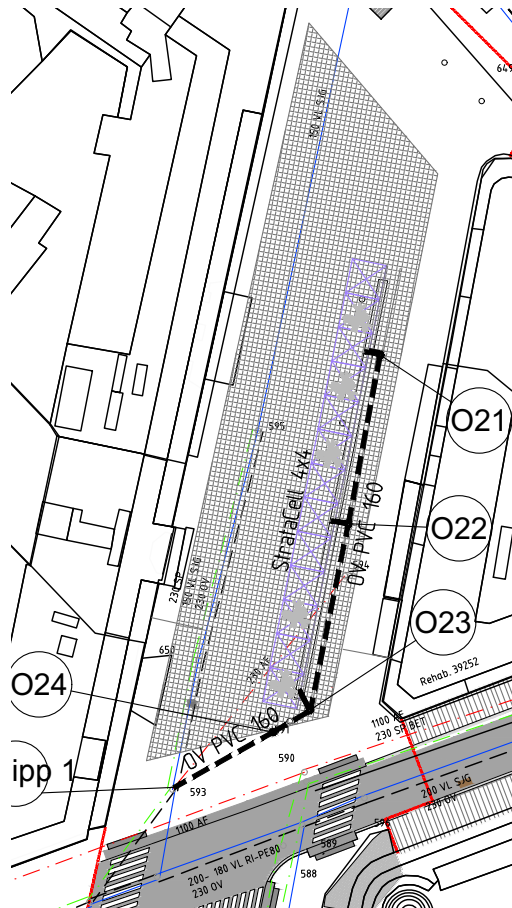


Figur 4-1: Oversiktstegning over LOD-tiltak i delområde 1, 2 og 3.

4.1 Delfelt 1- Øvre del av Olav Vs gate



Figur 4-2: Tverrsnitt av delfelt 1 - helning på overflaten, permeabelt dekke, drenskum og etablert rotsone.



Figur 4-3: Delfelt 1 - Utløp fra vekstcelle (stratacell) er tilkoblet drenskum 021, 022 og 023 for kum 042 med mengderegulator før påslipp til offentlig overvannsnett (påslipp 1).

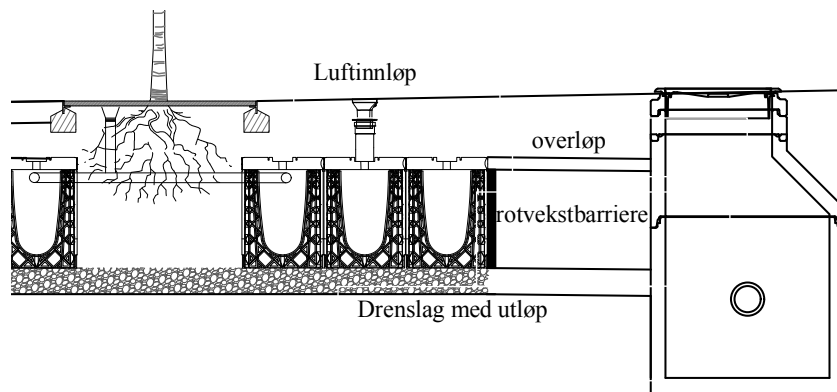
Tabell 4-2: Resultater fra beregninger av tiltak i delfelt 1.

Delfelt 1	
Stratacell	
Areal per tre	16 m ²
Kapasitet per celleenhet (4x4)	20%
Fordrøyning per celleenhet	3,2 m ³
Antall celler installert	13
Fordrøyningsvolum	41,6 m ³
Permeabelt dekke	
Areal	1410 m ²
Porevolum kult 20/120	25 %
Tykkelse fordrøyningslag	0,6 m
Fordrøyningsvolum	ca. 169 m ³
Total fordrøyningsvolum i delfelt 1	210,6 m³
Nødvendig fordrøyningsvolum i delfelt 1	110 m³

Tabell 4-2 viser en oversikt over resultater fra dimensjonering av tiltakene. Delfelt 1 etableres med v-profil og en helning på 2% ut fra bygningsmassen til gatens sentrum (Figur 4-2). I gå- og møbleringssonen er det etablert et permeabelt dekke av belegningsstein på 1410m² (Figur 4-3). Lagene i det permeable dekket samt traubunn etableres med ensidig helning på 2% mot gatens bytrær for å ivareta krav om jevn tykkelse på lagene. En trekke plantes langs hele østsiden av Olav Vs gate (Figur 4-3) med utgangspunkt i reguleringsplan, men i delsonen 1 er de 5 bytrærne flyttet 5 meter mot vest.

Bytrærne plantes i vekstcellesystemet Stratacell fylt med vekstmedium. I delareal 1 etableres 13 Strataceller med et overflateareal på 4x4 m per celle som strekker seg mellom trærne i gatens lengdeprofil. Det gir et totalt overflateareal på 208 m², og et gjennomsnittlig overflateareal på 41,6 m² per tre. Etableringsdybde til kassetten er 1,37 m. Langs kassettenes østlige fasade installeres en ugjennomtrengelig rotvekstbarriere. Under kassettenes legges et perforert rør i pukke med utløp til kum med inspeksjonsmuligheter. Over kassettenes anlegges en 7 cm dyp luftegang med luftinnløp på overflaten (Figur 4-4). Et permeabelt dekke anlegges

over vekstcellesystemet, og luftlaget vil derfor tidvis fylles med vann for videre distribusjon over vekstcellene. Luftlaget fungerer som et overløp for påslipp til kommunalt overvannsnett.



Figur 4-4: Vekstcellesystem utformes med rotvekstbarriere, luftinntak, overløp og drenslag med overløp til kommunalt overvannsnett.

Tre drenskummer (Figur 4-3) etableres langs trerekken sin østlige side for avrenning fra både det permeable dekket og vekstcellesystemet. Kummene kobles sammen av tette rør med diameter 160 mm med påslipp til offentlig overvannsnett regulert av en mengderegulator.

Det permeable dekket anlegges som system B med delvis infiltrasjon basert på strukturell dimensjoneringen i henhold til Håndbok N200 «Vegbygging» kapittel 514 «Dimensjonering av veg med belegningsstein» og har følgende oppbygning (Tabell 4-3).

Tabell 4-3: Oppbygning av permeabelt dekke.

	Tykkelse	Materiale
Belegningsstein	100 mm	Gangbanehelle dren (Figur 4-5)
Fugebredde	7 %	
Settelag	3 cm	Finpukk 2/8
Bærelag	10 cm	Pukk 4/32
Forsterkningslag	60 cm	Kult 20/120
Fiberduk		

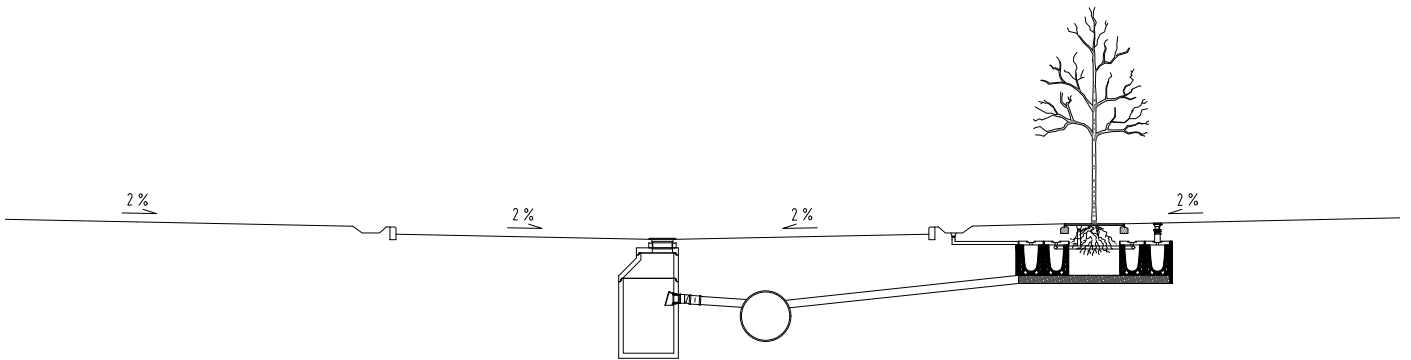


Figur 4-5: Ganghelle Dren er en belegningsstein i betong som i fargen grå og koks som gir mulighet til å legge spennende mønster. (multiblokk.no)

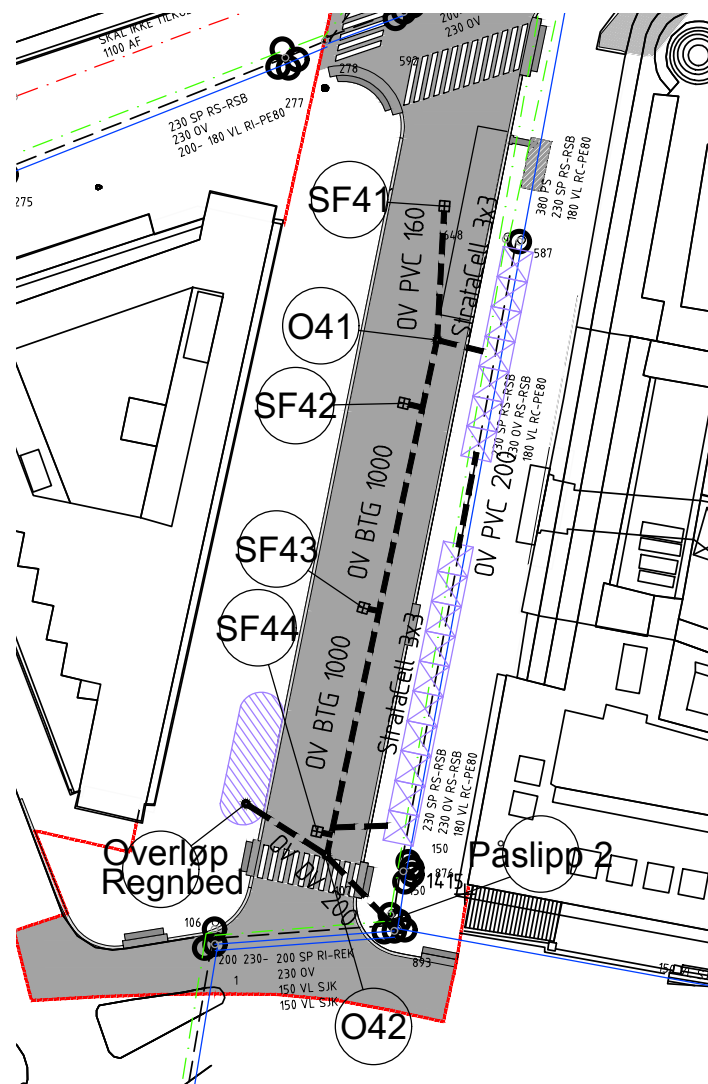
Den prosjekterte belegningssteinen er et forslag, men det påpekes at det finnes flere produsenter og leverandører av permeabel belegningsstein. «Ganghelle Dren» leveres i størrelsene L150 og B150, L300 og B150, L450 og B150, og kan derfor etableres i ønsket leggemønster.

I overgangen mellom permeabelt dekke og vanlig dekke anlegges det en impermeabel hindring for vannavrenning til tilstøtende vegoverbygning. Det er viktig at hindringen er tett slik at tilstøtende vegareal ikke utsettes for vanninntrenging.

4.2 Delfelt 2 og 3: Nedre del av Olav Vs gate



Figur 4-6: Tverrsnitt av delområde 2 og 3 som viser helning på overflaten, sandfang, fordrøyningsmagasin samt etablert rotsone.



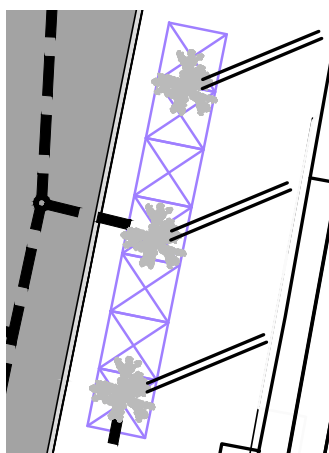
Figur 4-7: Plan av delområde 2 og 3: Utløp fra stratacell er tilkoblet drenskum 041 og 042. SF41, SF42, SF43 og SF44 er anlagt i vegens sentrum (lavpunkt) med innløp til fordrøyningsmagasin. Overløp fra regnbed er tilkoblet O42. I 042 er det en mengderegulator for påslipp til kommunalt nett i punkt «påslipp 2».

Tabell 4-4: Resultater fra beregning av tiltak i delfelt 2.

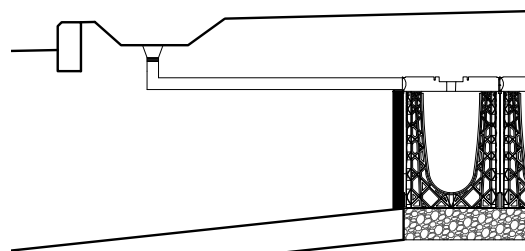
Delfelt 2	
Rørmagasin	
Rørdimensjon	1,4 m
Lengde	44,5
Total fordrøyd volum	68,5 m ³
Stratacell	
Areal per tre	9 m ²
Kapasitet per celleenhet (3x3)	20%
Fordrøyning per celleenhet	1,3 m ³
Antall celler installert	17
Total fordrøyd volum	30,6 m ³
Total fordrøyningsvolum delfelt 2	99,1 m³
Nødvendig fordrøyningsvolum delfelt 2	99,1 m³

Tabell 4-4 gir en oversikt over resultater fra beregning av tiltakene i delfelt 2. Gateprofilen i nedre del av Olav Vs gate etableres med et v-profil med en helning på 2% bort fra bygningsmassen i gangfeltet og kjørefeltet som illustrert i Figur 4-6.

Kjørearealet og gangarealet skilles av kantstein. I delfelt 2 etableres 17 rotcellesystemer med et overflateareal på 3x3 meter, som strekker seg mellom de 7 trærne i gatens lengdeprofil fordelt på to seksjoner. De to seksjonene er koblet sammen med PVC Ø200. Totalt overflateareal til tregropene er 153m² som gir et gjennomsnittlig overflateareal på 22m² per tre. Cellesystemet etableres med rotbarriere rundt hele installasjonen med unntak av bunnen. Overvann fra gangfeltet avledes til innløp i tregropristen via rennesystemer etablert på overflaten som illustrert i Figur 4-8. Et rennesystem i gatens lengdeprofil etableres vest i gangfeltet med punktvis innløp til jordvolumet i undergrunnen (Figur 4-9). Innløpene etableres midt mellom trærne i gatens lengdeprofil.



Figur 4-8: Rennesystem for å sikre vannavrenning til rotbarriere.



Figur 4-9: Langsgående renne med innløp til vekstcellesystemet.

Dreneringslaget i cellesystemet dreneres til fordrøyningsmagasinet eller videre infiltrasjon i grunnen. Fordrøyningsmagasinet er et tett betongrør med Ø1400 mm som strekker seg 44,5 meter i vegens lengdeprofil. Betongrøret etableres relativt plant for god utnyttelse av hele magasineringsvolumet. Sentrert i vegen (i lavpunktet) er det anlagt fire sandfang som strekker seg langs vegens lengdeprofil tilkoblet betongrøret. I gatens laveste punkt er betongrøret tilkoblet en overvannskum med mengeregulator før påslipp til kommunalt overvannsledningsnett. Viser til Figur 4-7 for planbilde av øvrig beskrivelse.

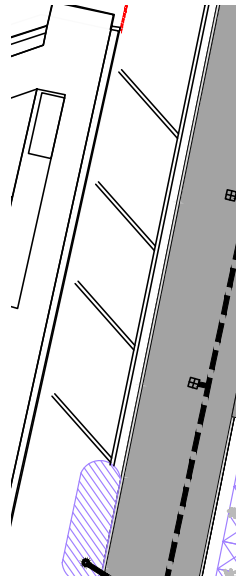
Regnbedet har et overflateareal på 52 m² (7% av delfelt) som i følge litteraturen skal være tilstrekkelig størrelse for å håndtere 20-års nedbørshendelse (Braskerud et al. 2013).

Regnbedet har følgende oppbygning (Tabell 4-5):

Tabell 4-5: Regnbedets oppbygning.

Delfelt 3		
Lag	Tykkelse	Egenskaper
Dimensjonert vannstand på overflaten	20 cm	
Filtermedium	70 cm	K_{sat} : 10 cm/t
Drenslag	30 cm	
Perforert rør	10 cm	

Drensrøret stikker 20 cm opp over regnbedets overflate og dreneres til overvannskum for videre påslipp til kommunal overvannsledningsnett. For å sikre vannavrenning til regnbedet etableres tverrgående renner på overflaten til en langsgående renne i lengdeprofilen med utløp til regnbedets innløp (Figur 4-10). Før innløpet er det etablert små terskler i rennen for å redusere vannhastigheten. Innløpet er utformet som et steinsatt opphold i regnbedets vegger for oppsamling av søppel og større partikler.



Figur 4-10: Rennesystem for avrenning til regnbed.

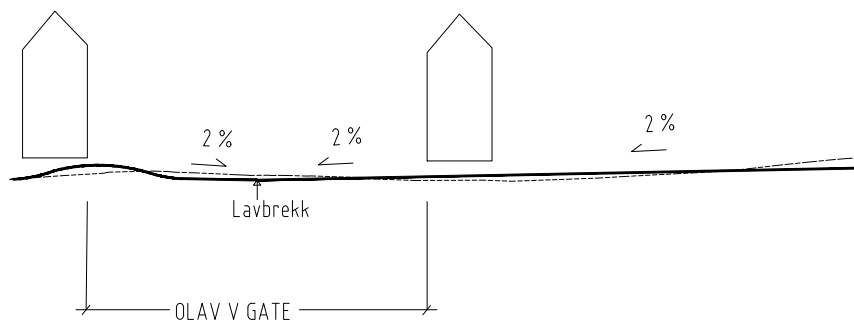
Regnbedet er utformet som en benk for å ha flere funksjoner som i Figur 4-11.



Figur 4-11: Regnbedet fungerer også som en benk. (paving.org.uk)

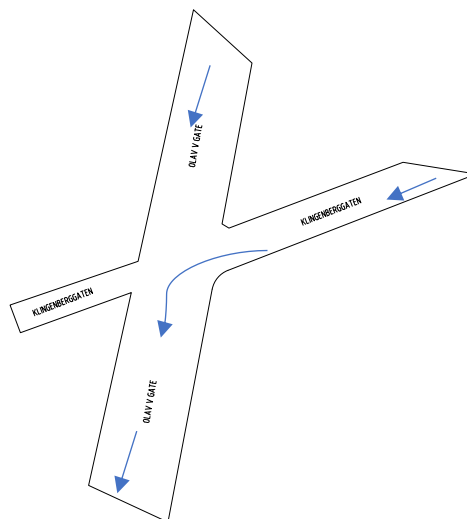
4.3 Krysning av Klingenberggata

Det er ikke dimensjonert LOD tiltak for håndtering av overvann i Klingenberggata, men det er prosjektert en omprofilering av vegen med hensyn til vannavrenning på overflaten ved store nedbørshendelser. Klingenberggata reetableres med en jevn helning på 2% frem til lavbrekket i Olav Vs gate, der vegen igjen stiger med 2%. Krysningen i Olav Vs gate vil da fremstå som et v-profil. En forhøyning etableres i vest der krysningen mellom Klingenberggata og Olav Vs gate avsluttes. Forholdet er illustrert i Figur 4-12.



Figur 4-12: Krysningspunktet mellom Klingenberggata og Olav Vs gate. Eksisterende terreng (stiplet strek) og prosjektert terreng (tykk strek).

Omprofilering av gatens som sådan vil endrer avrenningsmønsteret som gitt i Figur 4-13.



Figur 4-13: Nytt avrenningsmønster under store nedbørshendelser

5 Diskusjon

Infiltrasjon i caseområdet er antatt å være null ettersom infiltrasjonsmassekart fra NGU tilsier dårlige infiltrasjonsforhold og det ikke er foretatt infiltrasjonsundersøkelser. Studier viser at infiltrasjonsforholdene i leirholdig urban jord i Oslo viser seg å være større en litteraturverdien grunnet fyllinger som gir variasjon i grunnmassene. De lokale grunnforholdene i Olav Vs gate består av fyllinger, og prosjekterte LOD-tiltakene er derfor anlagt som åpne systemer for infiltrasjon. For å sikre god hydraulisk kontroll er tiltakene drenerte med påslipp til kommunalt overvannsledningsnett, og dimensjonert på grunnlag av null infiltrasjon.

5.1 Permeabelt dekke

I byområder er eksisterende infrastruktur og bebyggelse begrensede faktorer for etablering av LOD-tiltak. Et permeabelt dekke fortrenger ikke ytterligere tomteareal og er derfor et svært effektivt LOD-tiltak i dagens byer. Andre magasinerings tiltak som kassetter er derimot mer arealeffektiv ettersom installasjonen er hul, men et permeabelt dekke vil i tillegg redusere overflateavrenning gjennom fordampning. En løsning for å gjøre et permeabelt dekke mer arealeffektivt er å anlegge kassetter i undergrunnen. Derimot vil en slik installasjon ikke rense overvannet, noe som er et viktig aspekt med hensyn til å beskytte vannforekomster og resipienter.

På delområder bør andelen permeabelt dekke ikke utgjøre mindre enn 33% av det totale overflatearealet. En mindre andel vil ofte resultere i en tykkelse på forsterkningslaget som er unødvendig stort og lite kostnadseffektivt. Som en konsekvens av økt slambelastning øker risikoen for gjentetting og renseeffekten reduseres (Lindholm et al. 2012). I dette prosjektet utgjør det permeable dekket 58% av det totale arealet til delområdet. Fordrøyningsvolumet i det permeable dekket er 60 m³ større enn nødvendig fordrøyningsvolum i hele delområdet. Ettersom det permeable dekket ikke fortrenger ytterligere plass eller materiale til oppbygning, sett bort fra belegningssteinene, anses det som en bærekraftig dimensjonering rustet for fremtidige nedbørshendelser.

Ettersom varmeelementer etableres i gågaten vil mengden fordampet vann potensielt øke om vinteren. Et viktig aspekt er derimot om gågaten vil oppleves som en «fuktig» gate med et ubehagelig lokalklima, og hvordan forholdet vil påvirke driftskostnader med hensyn til

varmeforbruk. Overgangen mellom varmekabler og områder som ikke varmes opp er utsatt for snøoppsamling som kan hindre vannavrenning i gatens v-profil. Stor vannavrenning kan forekomme i smelteperioden om våren eller ved regnhendelser i vinterhalvåret. Vannet kan da renne via alternative veier og for å hindre dette er det viktig med god vinterdrift i krysningen mellom Olav Vs gate og Klingenberggata. Snølagring i gågaten i Olav Vs gate bør ikke forekomme. Permeable dekker er varmebestandig og isolerer bedre mot ising enn vanlige steindekker og å etablere varmeelementer i gågaten er derfor strengt tatt ikke nødvendig.

Den strukturelle beregningen av lagtykkelsen i dekket tar utgangspunkt i Håndbok N200, og en viktig inngangsparameter er grunnforhold med hensyn til grunnens bæreevne. Ettersom det ikke foreligger informasjon om materialtype i grunnen er forsterkningslaget dimensjonert for materialtype silt og leire. Dette på bakgrunn av antatt opprinnelig jordsmonn som beskrevet i kapittel 3.1. Det etableres ikke terskler i det permeable dekket ettersom det er et relativt lite fall og hensikten med terskler frafaller.

Bykjernen er ofte varmere enn omkringliggende landlige områder, og fenomenet er kjent som «urban heat islands» forårsaket av menneskelig aktivitet og byutvikling. Studier viser at økt evaporasjon kan redusere temperaturen på overflaten og nær bakken (Taha 1997) ettersom fordamping krever latent varme. Et permeabelt dekke vil potensielt øke mengde fordampet vann i byene, særlig om sommeren. Dette vil kunne skape et kjøligere lokalklima, men et viktig aspekt er om økt fordamping vil øke sannsynligheten for konvektivt nedbør i byene.

Permeable dekker kan infiltrere store mengder vann og et viktig aspekt er hvilken innvirkning det vil ha på området grunnvannstand med årstidene. Dersom grunnvannstanden øker i et byområde grunnet økt bruk av permeable dekker kan det medføre vanninntrenging i bebyggelse og høye samfunnskostnader. I områder med høy grunnvannstand bør det permeable dekket anlegges med en tett membran for å hindre at vannstanden øker.

5.2 Bytrær

I forprosjektnotat til Olav Vs gate står det at det er gjennomførte en omfattende medvirkningsprosess for at plasseringen av bytrærne ikke skal komme i konflikt med andre hensyn. I denne oppgaven er det derfor tatt utgangspunkt i prosjektert plassering, men med en forskyvning av trerekken på 5 m nordvest i delområde 1. Trærne vil da stå i samme posisjon

som prosjektert i forhold til inngang til bebyggelse. Omplasseringen er gjort med hensyn til plassering av drens- og inspeksjonskummer for å sikre vannavrenning fra permeabelt dekke til trerekken. For å unngå å flytte trerekken kan drens- og inspeksjonskummene plasseres mellom trerekken og det permeable dekket. Plasseringen anses som uhensiktsmessig ettersom vannet må renne forbi kummene til trerekken for så potensielt dreneres til kummen. Ved å flytte trærne lenger vest i gågaten vil gaten fremstå med to gjennomgående soner. Den vestlige sonen har en bredde på 16,5 m med plass til varelevering og utrykningskjøretøy. Den østlige sonen av bytrærne vil ha en bredde på 10,5 m og vil på dagtid, da det er mye varelevering, være en naturlig gangakse for myke trafikanter. Med hensyn til trafiksikkerhet er omplasseringen av bytrærne og soneinndelingen svært hensiktsmessig.

Det etableres fem og syv bytrær i henholdsvis delområde 1 og 2. Netto beplanting i området er ikke opprettholdt i prosjektet, og det fjernes totalt 6 trær i forhold til dagens situasjon. Det anses å være uheldig da disse har et antatt stort rotsystem som etter størrelsen å bedømme bidrar til å redusere betydelige mengder overflateavrenning gjennom transpirasjon. Utvikling av dagens byområder går ofte på bekostning av trærnes eksistens og/eller rotsone. Trær har en viktig miljømessig verdi i dagens byer ved å redusere overflateavrenning, forbedre luftkvaliteten, regulere temperatur samt fremme biologisk mangfold. Ettersom fordelene først maksimeres etter en levetid på 50 år (Barell 2018), er det viktig å planlegge for at trærne skal ivaretas i lang tid fremover. En løsning er å etablere et klart skille mellom grønnstruktur og øvrig infrastruktur i byens gater. Ved å implementere bytrær som en del av overvannshåndteringen understøttes argumenter mot å fjerne dem. I den østlige delen av Olav Vs gate er det mye rør og kabler, og det lar seg vanskelig å lage et klart skille. Derimot anlegges vekstcellesystemet med en solid rotbarriere mot øst for å hindre rotvekst utover rotvolumet. Med hensyn til å etablere et klart skille mellom grønnstruktur og infrastruktur anbefales det derimot å plante trerekken på gatens vestlige side der det er vesentlig mindre rør og kabler, selv om det er i strid med reguleringsplanen.

For å sikre gode vekstforhold er det etablert lufterør, cellesystem for å hindre komprimering, tilstrekkelig rotvolum samt tilrettelagt for tilstrekkelig vanning. For å sikre organisk materiale til vekstjorden, som påvirker jordens evne til å magasinere og infiltrere vann (Kapittel 2.5) samt fremme gode vekstforhold bør organisk materiale legges/la være i plantegropen.

5.3 Regnbed

Regnbedet i delområde 3 etableres 6,5 meter fra bygningsmassen, og ettersom regnbedet etableres med drens- og overløpssystem vil det være god hydraulisk kontroll. Generelt anses regnbed å ha en god renseseffekt på miljøgifter og andre partikulære forurensningsstoffer. Regnbedet i caseoppgaven håndterer vannavrenning fra fortau, men ettersom overvann i byområder forurenses i stor grad av ikke-punkts kilder kan en anta at overvannet fra delområdet er noe forurenset. Regnbedet vil derfor være med på å rense overvannet lokalt før påslipp til kommunalt avløpsnett eller videre infiltrasjon i bakken.

Overvann som renner inn i regnbedet vil i svært liten grad inneholde vegsalt ettersom varmeelementer etableres i fortauet. Tungmetaller akkumulert i regnbedet vil derfor ikke være utsatt for utvasking. Regnbedet er anlagt som en åpen installasjon og vil derfor fremme fordampning av magasinert overvann eller fra undergrunnen. Innløpet etablert over regnbedets overflate sikrer infiltrasjon og drenering av regnbedet ved betongfrost i filterjorden.

Vanntilførsel til regnbedet kan også sikres ved å anlegge et permeabelt dekke i delområde 3. Under nedbørshendelser vil det ikke renne vann på overflaten og da Olav Vs gate er en mye anvendt gate vil det være positivt. Delfelt 3 er avlangt med en slak helning, og vannet vil ha en relativt lang oppholdstid i dekket og mulig infiltrere eller fordampe før avrenning til regnbedet. Potensielt vil det føre til plantedød og regnbedets funksjon forsvinner. Dessuten vil utløpet fra det permeable dekket være under regnbedets overflate. Dette vil være svært u hensiktsmessig da jordens renseseffekt ikke utnyttes fullstendig ettersom største deler av forurensingen akkumuleres i øvre 5 – 10 cm av jordprofilen. Avrenning til regnbed gjennompermeabelt dekke kan derimot være aktuelt i større områder med en annen gateutforming.

Regnbed er et areal- og driftskrevende tiltak, men installasjonens evne til å rense overvann og estetiske uttrykk veier opp for dette. For å optimalisere bruken av regnbedets rensesfunksjon er det derimot mer optimalt med vannavrenning fra vegbanen. Det er derimot ikke mulig i dette prosjektet på grunn av v-profileringen.

5.4 Gateutforming

Ved nedbørshendelser større enn 20-årshendelsen vil ikke de dimensjonerte LOD-tiltakene håndtere vannmengdene tilstrekkelig. Som en del av treleddsstrategien kan vegnettets sammenhengende struktur benyttes til å transportere flomvann uhindret og trygt gjennom byen. Olav Vs gate fungerer som en alternativ flomveg under store nedbørshendelser, og det anses derfor fornuftig å utforme gaten med et v-profil for å sikre mot skade på bebyggelse. Når fordrøyningskapasiteten til tiltakene er nådd vil vann trenge opp på overflaten, og ledes mot Oslofjorden. For å lede vannet til Oslofjorden på en forsvarlig måte må det gjøres videre tiltak utenfor prosjektområdet. Dersom utformingen var flat ville vannet trengt jevnt opp over hele arealet. Ved en v-profilering vil derimot vannet trenge opp i gatens lavpunkt og øvrig del av gågaten er anvendelig inntil vannet fyller hele v-profilet.

Flomkapasiteten på Olav Vs gates overflatevolum (2% helning) er ca. 3,64m³ per lengdemeter, og en økning til 4% vil gi en fordrøyningskapasitet på 7,29 m³ per lengdemeter. For å øke vannets oppholdstid og dermed infiltrasjon i det permeable dekket er det vurdert å redusere helningen til 1%. En slak helning reduserer gatens flomvannskapasitet og ettersom gaten er utformet for å være en flomveg anses endringen å være lite gunstig.

I delfelt 2 har ikke det dimensjonerte LOD-tiltaket tilstrekkelig kapasitet til å fordrøye nedbørsmengder for en 20-års nedbørshendelse, og det er derfor supplert med en tett rørmagasin. Gatens v-utforming gjør det problematisk å lede overvannet som dreneres i kjørefeltet til trekken grunnet høydeforskjellen, og rørmagasinet er derfor tilkoblet kommunalt overvannsnett med 2 l/s påslipp for tømning mellom hver nedbørshendelse. Hadde gaten derimot vært utformet med et taktverfall eller ensidig helning ville vannavrenningen vært mot trekken og et større fordrøyningsvolum i cellesystemet og regnbedet kunne blitt anlagt.

Det er gjennom flere ulike studier påvist renseeffekt av forurensningsstoffer i jorden i regnbed og i cellesystemet, samt i massene i det permeable dekket. Over tid vil organiske forurensningsstoffer brytes ned, og partikulært akkumuleres gjennom filtrering og sorpsjon. En ulempe med utformingen er at overvannet fra kjørebanelen som antas å ha høyere forurensningsgrad, føres direkte til en tett tank med påslipp til kommunalt overvannsnett. I utgangspunktet er det dette vannet som burde blitt rensset.

5.5 Usikkerhet og feilkilder

- Parametere benyttet til dimensjonering av tiltakene er basert på flere antakelser, og den rasjonelle formel er en forenklet metode for beregning av generert overvannsmengder som diskutert i kapittel 2.9 og 3.8.
- Inngangsdata er basert på nedbørsmålinger fra en målestasjon. Dataen i seg selv er beheftet med usikkerhet og mulig avvik grunnet målefeil som kan forekomme om vinter, da nedbør faller som snø, eller grunnet fordamping i nedbørmåleren. Det foreligger ikke nedbørsdata for varighet 90 minutter som er en potensiell feilkilde dersom denne varigheten hadde gitt størst fordrøyningsvolum etter Aron og Kiblers metode. Klimaendringer representert ved klimafaktorene er også beheftet med usikkerhet ettersom det er en kompleks prosess som er vanskelig å forutse og tallfeste.
- Tiltakene er dimensjonert for det enkelte delarealet, og det er derfor viktig at avrenningen i delområdet faktisk renner av til det tiltenkte området.
- Det er relativt lite forskningsresultater på regnbed i Norge, særlig i bygater som Olav Vs gate. Regnbedet i oppgaven er basert på litteratur fra utlandet og forskningsresultater fra noen få regnbed i Norge. Det er derfor beheftet noe usikkerhet til regnbedets oppbygning og virkningsgrad. Det gjennomføres stadig mer studier på regnbed i Norsk kaldt klima, og dersom regnbedet etableres i dette prosjektet kan det inngå som en del av forskning på regnbed i bymiljøer.
- Fordrøyningskapasiteten til det permeable dekket og vekstmediet i vekstcellesystemet er basert på et antatt porevolum. Dimensjoneringen er derfor beheftet med usikkerhet ettersom porevolum kan variere noe fra produsentene, og det foreligger ikke mye litteratur som stadfester eksakt porevolum i ulike medier.
- Samtlige installasjoner er utsatt for gjentetting ved bla. utilstrekkelig vedlikehold.

6 Konklusjon

Med hensyn til eksisterende infrastruktur i Olav Vs gate er resultatet av beregningene at et permeabelt dekke på 1410 m², et regnbed på 52 m², et rørmagasin på 68,5 m³ og 12 bytrær plantet i cellesystemer håndterer 20-års nedbørshendelsen (Figur 4-1). Tiltakene i oppgaven er prosjektert som åpne systemer for infiltrasjon da området består av fyllinger av varierende masser, men det bør gjennomføres infiltrasjonstester for å påvise områdets faktiske infiltrasjonsevne. For å sikre god hydraulisk kontroll er totalt påslipp fra området 6 l/s fordelt på tre delområder. Ettersom Olav Vs gate fungerer som en alternativ flomveg under store nedbørshendelser og det er meldt om kjelleroversvømmelser i området, er gaten utformet med en v-profil med lavbrekk i gatens sentrum for å ledes overvannet trygt ut av caseområdet opp til 100-års hendelsen. Ved overvannsdiskonering på overflater og tilrettelagt flomveger kreves det tilrettelegging av vegger, bygninger og infrastruktur slik at de tåler vann på overflaten. Risikoen for overvannsskader på bebyggelse, infrastruktur og miljø reduseres ved at LOD-tiltakene reduserer sannsynligheten for oversvømmelse i avløpssystemet, og gateprofilen reduserer konsekvensen av nedbørshendelsen. Det finnes flere ulike LOD tiltak som oppfyller ulike deler av treleddsstrategien, men ved å sette de sammen i et system kan området potensielt oppfylle alle tre trinn.

Det permeable dekket tilpasses særlig bra med annen infrastruktur ettersom det ikke fortrenger ytterligere areal i byområdet. Dekket har både en strukturell funksjon dimensjonert for bærelast samt en hydraulisk funksjon ved å drenere og fordrøye overvannet lokalt. Vekstcellesystemet til bytrærne fortrenger plass i bakken, men på overflaten er det kun et lite gropareal som fortrenger plass. For å forhindre konflikt mellom røtter og øvrig infrastruktur i bakken kan det anlegges rotvekstbarrierer rundt cellesystemet. Et regnbed er et arealkrevende tiltak på bekostning av overflateareal i byområdet, men ved å utforme regnbedet som en benk vil benkareal andre steder bli frigjort. Regnbedet krever uansett overflateareal, samt en viss avstand til bebyggelse. Det er derfor et tiltak som gjerne egner seg til å anvende i midtrabatter eller andre steder der det ikke fortrenger ytterligere areal. I denne oppgaven er det derimot plassert i gangfeltet da det er et bredt gangfelt, og vanskelig å plassere for håndtering av overvann fra kjørebane.

De blå-grønne løsningene tilfører byrommet og miljøet merverdi i forhold til tradisjonelle overvannssystemer. Bytrær er et viktig overvannsverktøy da de kan redusere store

overvannsmengder gjennom transpirasjon og intersepsjon, og rotvekst fremmer infiltrasjonsforhold i jorden. For fullstendig utnyttelse av fordelene er det viktig å tilrettelegge for gode vekstforhold i lang tid fremover ettersom avrenningstapet øker med treets levetid. Vegetasjon øker også området biologiske mangfold, forbedrer luftkvalitet, reduserer varme, og tilfører gaten et estetisk grønt uttrykk. Fokuset på infiltrasjon som en del av en bærekraftig overvannshåndtering har økt de siste tiårene, og flere kommuner stiller krav til infiltrasjon av regnskyll opp til 20 mm. Forventet økt nedbør og en høyere grad av infiltrasjon i byer dekket av impermeable overflater kan føre til høyere grunnvannsnivå og medføre store skader på bebyggelse. Fordampning er en helt essensiell del av det naturlige kretsløpet, og bør også være en viktig faktor ved planlegging av det urbane kretsløp. Dette kan oppnås ved bruk av vegetasjon og permeable dekker i byområdet. Gjennom flere ulike studier er det påvist renseeffekt av forurensningsstoffer i jorden i regnbed, i cellesystemet samt i massene i det permeable dekket. De blå-grønne tiltakene vil gjennom disse funksjonen rense overvannet og forbedre dagens vannmiljø.

7 Videre arbeid

- For å styrke oppgaven bør det utføres en kabelpåvisning med hensyn til plassering og høyde for å sikre at installasjonene ikke er i konflikt.
- Infiltrasjonstest for å påvise infiltrasjonsevne. Dersom det blir påvist dårlig infiltrasjonsevne bør regnbedet, det permeable dekket og vekstcellesystemet etableres med en tett membran. Trerекken i delområde 1 mottar overvann fra store områder og dersom installasjonen anlegges helt tett vil trærne i større grad utsettes for drukning. Oppbygningen bør da revurderes.
- Videre prosjektering av flomveg nedstrøms caseområdet til Oslofjorden for trygg og effektiv transport av overvann ved store nedbørshendelser.
- Hovedformålet med LOD-tiltak er å redusere risikoen for skade ved oversvømmelse gjennom å redusere konsekvensen og sannsynligheten for flomskader. Det bør utføres en nytte/kostnadsanalyse for å verifisere at nytten er større enn kostnaden. Kostnadene er knyttet til anleggelse og vedlikehold, og nytten vurderes ut ifra samfunnskostnader som forløper ved kjelleroversvømmelser og flomskade over en gitt tid. Dessuten bør tiltakenes merverdi gjennom å forbedre miljøaspekter inkluderes i analysen.

8 Referanser

- Akan, A. O. (1993). *Urban stormwater hydrology: a guide to engineering calculation*. Lancaster: CRC Press.
- Andersen, C. S. (2017). *Ekstremnedbør i Asker kommune 6. august 2016. Analyse av hendelse og analyse av hendelsens påvirkning på avløpsnettets*. Ås: Norges miljø- og biovitenskapelige universitet.
- Armson, D., Stringer, P. & Ennos, A. R. (2013). The effect of street trees and amenity grass on urban surface water runoff in Manchester, UK. *Urban Forestry & Urban Greening*, 12 (3): 282-286.
- Asak Miljøstein AS. (2017). ASAK Belegningsstein, Heller og Kantstein. *FDV-Dokumentasjon 11/2017*: Asak Miljøstein AS.
- Barell, J. (2018). *Tree value; the missing metric in built-environment management*. Tilgjengelig fra: <https://www.barrelltreecare.co.uk/assets/Uploads/BTC-125-2018-Ecobuild.pdf> (lest 10.04.2018).
- Bargel, T. H. (2005). *Spor etter istiden i Oslo og Akershus*. Akershus: Norges geologiske undersøkelse.
- Bartens, J., Day, D. D., Harris, J. R., Dove, J. E. & Wynn, T. M. (2008). Can urban tree roots improve infiltration through subsoil for stormwater management? *Journal of Environmental Quality*, 37: 2048-2057.
- Benestad, R., Mamen, J., Hartveit, K. & Fuglestvedt, J. S. (2017). *Klimaendringer*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/klimaendringer> (lest 23.01.2018).
- Brady, N. C. & Weil, R. R. (2002). *The nature and properties of soils*. Upple Saddle River, N.J: Prentis Hall.
- Braskerud, B. & Paus, K. H. (2016). *Regnbed for lokal flomdemping*. Rapport fra Oslo kommune 01/2016. Tilgjengelig fra: <https://www.nve.no/Media/5027/overvann-regnbed-for-lokal-flomdemping.pdf> (lest 27.03.2018).
- Braskerud, B. C., Paus, K. H. & Ekle, A. (2013). *Anlegging av regnbed: En billedkavalkade over 4 anlagte regnbed*. Rapport fra NVE 03/2013. Tilgjengelig fra: http://publikasjoner.nve.no/rapport/2013/rapport2013_03.pdf (lest 27.03.2018).
- Braskerud, B. C. (2014). *Grønne tak og styrtregn*. Rapport fra NVE 65/2014. Tilgjengelig fra: http://publikasjoner.nve.no/rapport/2014/rapport2014_65.pdf (lest 28.02.2018).
- Brattebo, B. O. & Booth, D. B. (2003). Long-term stormwater quantity and quality performance of permeable pavement systems. *Water research*, 37 (18): 4369-4376.
- Butler, D. & Davies, J. W. (2000). *Urban drainage*. London: E og FN SPON.
- Chin, D. A. (2013). *Water-resources engineering*. Third edition. Upper Saddle River: Pearson education.
- Ciria. (u.å.). *Alma road rain gardens, London*. Tilgjengelig fra: https://www.susdrain.org/case-studies/pdfs/alma_road_rain_gardens_london_final_v2.pdf (lest 24.03.2018).
- Craul, P. J. (1999). *Urban Soil: applications and practices*. New York: John Wiley & Sons.
- Dannevig, P. & Hartveit, K. (2017). *Klima*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/klima> (lest 23.01.2018).
- Davis, A. P., Shokouhian, M., Sharma, H., Minami, C. & Winogradoff, D. (2003). Water quality improvement through bioretention: Lead, copper, and zinc removal. *Water Environment Research*, 75 (1): 73-82.

- Davis, A. P. (2007). Field performance of bioretention: Water quality. *Environmental Engineering Science*, 24 (8): 1048-1064.
- Davis, A. P., Hunt, W. F., Traver, R. G. & Clar, M. (2009). Bioretention technology: Overview of current practice and future needs. *Journal of Environmental Engineering*, 135 (3): 109-117.
- Deeproot. (u.å.). *Silva Cell*. Tilgjengelig fra: <http://www.deeproot.com/products/silva-cell.html> (lest 23.04.2018).
- Dighton, J. & Krumins, J. A. (2014). *Interaction in Soil: promoting plant Growth*. USA: Springer.
- Dingman, S. L. (2002). *Physical hydrology*. Long Grove: Waveland Press.
- Gun, J. V. G. (2012). *Groundwater and Global Change: Trends, Opportunities and Challenges*. Rapport fra UNESCO 01/2012. Tilgjengelig fra: <http://unesdoc.unesco.org/images/0021/002154/215496e.pdf> (lest 23.04.2018).
- Hanssen- Bauer, I., Førland, E. J., Haddeland, I., Hisdal, H., Mayer, S., Nesje, A., Nilsen, J. E. Ø., Sandven, S., Sandø, A. B., Sorteberg, A., et al. (2015). *Klima i Norge 2100: Kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning oppdatert i 2015*. Rapport fra NCCS 02/2015. Tilgjengelig fra: <http://www.miljodirektoratet.no/Documents/publikasjoner/M406/M406.pdf> (lest 16.02.2018).
- Hazelton, P. & Murphy, B. (2011). *Understanding soils in urban environments*. Victoria: CSIRO Publisher.
- Hazelton, P. A. & Clements, A. (2014). Urban Soil and the Challenges of Restoring Natural Ecosystems. I: Dighton, J. & Krumins, J. A. (red.) *Interactions in Soil: Promoting Plant Growth*, s. 203-210. Dordrecht: Springer Netherlands.
- Interpave. (2013). *Understanding permeable paving: Guidance for designers, developers, planners and local authorities*. Edition 5. Tilgjengelig fra: <http://paving.org.uk/commercial/documents/understanding-permeable-paving.pdf> (lest 15.04.2018).
- IPCC. (2013). *Climate change 2013: The Physical Science Basis*. Fifth assessment report of the intergovernmental panel of climate change. Tilgjengelig fra: https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WGIAR5_SPM_brochure_en.pdf (lest 05.03.2018).
- Jensen, M. B. & Fryd, O. (2009). *Den blå by - utfordringer og muligheter*. Arbeidsrapport Skov & Landskap 88/2009. Tilgjengelig fra: http://naturstyrelsen.dk/media/nst/Attachments/blaa_by.pdf (lest 15.03.2018).
- Københavns Kommune, Frederiksberg Kommune, HOFOR & Frederiksberg Forsyning med bistand fra Rambøll og Atelier Dreiseitl. (2013). *Konkretisering af skybrudsplan: København vest og Frederiksberg vest*. Tilgjengelig fra: <https://www.kk.dk/sites/default/files/edoc/a3228d6b-9cfc-49f2-a69b-732b073e3fce/7205c545-94b9-404e-b8b0-766643157cf9/Attachments/10635029-10553444-1.PDF> (lest 15.04.2018).
- Legret, M., Colandini, V. & Le Marc, C. (1996). Effects of a porous pavement with reservoir structure on the quality of runoff water and soil. *Science of The Total Environment*, 189-190: 335-340.
- Lindholm, O., Nie, L. & Bjerkholt, J. (2007). *Klimaeffektens betydning for oppstuvning fra avløpssystemer i byer*. Rapport fra IMT 16/2007. Tilgjengelig fra: <http://docplayer.me/4281653-Klimaeffektens-betydning-for-oppstuvninger-og-forurensningsutslipp-fra-avlopssystemer-i-byer.html> (lest 20.01.2018).

- Lindholm, O., Endresen, S., Thorolfsen, S., Sægrov, S., Jakobsen, G. & Aaby, L. (2008). Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering. *Rapport 162/2008*: Norsk Vann.
- Lindholm, O., Mork, H., Myhre, Ø., Berg, K., Nie, L., Aas, T., Amlie, G. & Myhr, K. (2012). *Permeable dekker*. Tilgjengelig fra: https://issuu.com/byggutengrenser/docs/5001_norcem_a4_norsktekst_web (lest 17.04.2018).
- McCauley, A., Jones, C. & Jacobsen, J. (2005). *Basic soil properties* Tilgjengelig fra: http://store.msuextension.org/publications/AgandNaturalResources/4481_1.pdf (lest 31.01.2018).
- Meteorologisk institutt. (2017). *Frontnedbør*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/frontnedb%C3%B8r> (lest 2.05.2018).
- Milford. (u.å.). *Milplant- treplanting*. Tilgjengelig fra: <http://milford.dk/milplant> (lest 03.04.2018s).
- Multiblokk. (u.å.). *Regn, regn, gå din vei*. Tilgjengelig fra: <http://www.multiblokk.no/common/fb/view.aspx?assetid=5340> (lest 24.04.2018).
- Myhr, K. (2013). *Dimensjonering og bruk av permeabelt dekke*. Tilgjengelig fra: https://issuu.com/byggutengrenser/docs/kort_veiledning_permeabel_belegning (lest 26.04.2018).
- Nirupama, N. & Simonovic, S. P. (2006). Increase of Flood Risk due to Urbanisation: A Canadian Example. *Natural Hazards*, 40 (1): 25.
- Niu, Z.-G., Lv, Z.-W., Zhang, Y. & Cui, Z.-Z. (2016). Stormwater infiltration and surface runoff pollution reduction performance of permeable pavement layers. *Environmental Science and Pollution Research*, 23 (3): 2576-2587.
- Norges Geologiske Undersøkelser. (2017). *Setningsskader*. Tilgjengelig fra: <https://www.ngu.no/emne/setningsskader> (lest 29.01.2018).
- Norges vassdrags- og energidirektorat. (2017). *Hydrologi*. Tilgjengelig fra: <https://www.nve.no/hydrologi/> (lest 23.01.2018).
- Norsk Klimaservicesenter. (2017). *Klimaprofil Oslo og Akershus: Et kunnskapsgrunnlag for klimatilpasninger*. Rapport fra Norsk Klimaservicesenter 07/2017. Tilgjengelig fra: https://cms.met.no/site/2/klimaservicesenteret/klimaprofiler/klimaprofil-oslo-og-akershus/_attachment/12036?_ts=15d9d3c7ba3 (lest 15.03.2018).
- Page, J. L., Winston, R. J. & Hunt III, W. F. (2015). Soils beneath suspended pavements: An opportunity for stormwater control and treatment. *Ecological Engineering*, 82: 40-48.
- Paus, K. A. H. (2015). *Toxic metal removal and hydraulic capacity in bioretention cell in cold climate regions*. Doktoravhandling. Trondheim: Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
- Paus, K. H. & Braskerud, B. (2013). *Forslag til dimensjonering og utforming av regnbed for norske forhold: Vann*. Tilgjengelig fra: http://www.cowi.no/menu/newsandmedia/newsarchive/Documents/Paus%20og%20Braskerud_Forslag%20til%20dim%20og%20form%20av%20regnbed_Vann1-2013.pdf (lest 03.04.2018).
- Pazwash, H. (2011). *Urban storm water management* Boca Raton: CRS Press.
- Pitt, R., Chen, S.-E. & Clark, S. (2002). Compacted urban soils effects on infiltration and bioretention stormwater control designs. I: *Global Solutions for Urban Drainage*, s. 1-21.

- Praskievicz, S. & Chang, H. (2009). A review of hydrological modelling of basin-scale climate change and urban development impacts. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 33 (5): 650-671.
- Raven, P. H., Evert, R. F. & Eichhorn, S. E. (2005). *Biology of plants*. 7th ed. utg. New York: Freeman.
- Reddy, K. R., Xie, T. & Dastgheibi, S. (2014). Removal of heavy metals from urban stormwater runoff using different filter materials. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2 (1): 282-292.
- RegClim. (2005). *Norges klima om 100 år: Usikkerheter og risiko*. Tilgjengelig fra: http://regclim.met.no/presse/download/regclim_brosjyre2005.pdf (lest 14.02.2018).
- Sanders, J. R. & Grabosky, J. C. (2013). 20 years later: Does reduced soil area change overall tree growth? *Urban Forestry & Urban Greening*.
- Sartor, J. D., Boyd, G. B. & Agardy, F. J. (1974). Water Pollution Aspects of Street Surface Contaminants. *Journal (Water Pollution Control Federation)*, 46 (3): 458-467.
- Schlesinger, W. H. & Jasechko, S. (2014). Transpiration in the global water cycle. *Agricultural and Forest Meteorology*, 189-190: 115-117.
- Skjærstad, E. M. (2013). *Ledningsnett*. Tilgjengelig fra: <https://www.norsk vann.no/index.php/vann/ledningsnett> (lest 21.02.2018).
- Smiley, E. T., Calfee, L., Fraedrich, B. R. & Smiley, E. J. (2006). Comparison of structural and noncompacted soils for trees surrounded by pavement. *Arboriculture and Urban Forestry*, 32 (4): 164.
- Solheim, E. B. (2017). *Infiltrasjon for lokal overvannsdiskonering (LOD). Vurdering av metode for å måle infiltrasjon på lokal tomt*. Masteroppgave. Ås: Norges miljø-og biovitenskapelige universitet.
- Stahre, P. (2008). *Blue-green fingerprints in the city of Malmö, Sweden*. Rapport fra VA SYD. Tilgjengelig fra: <http://greenroof.se/gr-16/wp-content/uploads/2017/04/BlueGreenFingerprintsPeterStahrewebb.pdf> (lest 05.03.2018).
- Starke, P., Göbel, P. & Coldewey, W. G. (2010). Urban evaporation rates for water-permeable pavements. *Water science and technology : a journal of the International Association on Water Pollution Research*, 62 (5): 1161.
- Starke, P., Göbel, P. & Coldewey, W. G. (2011). Effects on evaporation rates from different water-permeable pavement designs. *Water science and technology : a journal of the International Association on Water Pollution Research*, 63 (11): 2619.
- Statens Vegvesen. (2014a). *Håndbok N100 Veg- og gateutforming*. Tilgjengelig fra: https://www.vegvesen.no/_attachment/61414/binary/964095 (lest 14.04.2018).
- Statens Vegvesen. (2014b). *Håndbok V129 - Universell utforming av veger og gater*. Tilgjengelig fra: https://www.vegvesen.no/_attachment/118984/binary/963983.
- Taha, H. (1997). Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. *Energy and Buildings*, 25 (2): 99-103.
- The Scottish Government. (2008). *The future of flood risk management in Scotland*. A consultation document 02/2008. Tilgjengelig fra: <http://www.gov.scot/Resource/Doc/212269/0056496.pdf> (lest 02.05.2018).
- Tollan, A. (2002). *Vannressurser*. Oslo: Universitetsforlaget.
- TPGC. (2007). *Bioretention Manual*. Environmental Service Division, Department of Environmental Resources 12/2007. The Prince George's County Maryland. Tilgjengelig fra: http://www.ct.gov/deep/lib/deep/p2/raingardens/bioretention_manual_2009_version.pdf (lest 08.03.2018).

- United Nations. (2014). *World Urbanization Prospects, Highlights*. 2014 Revision.
Tilgjengelig fra: <https://esa.un.org/unpd/wup/Publications/Files/WUP2014-Highlights.pdf> (lest 20.02.2018).
- VA/Miljøblad. (2006). Overvannsdammer: Beregning av volum. *VA/Miljøblad* 69/2006: Stiftelsen VA/Miljøblad.
- VA/Miljøblad. (2015). Beregning av utslipp av miljøgifter til vannforekomster. *VA/Miljøblad* 114/2015: Stiftelsen VA/Miljøblad.
- Vann-og avløpsetaten. (2017). *Overvannshåndtering: En veileder for utbygger*. Versjon 1.3.
Tilgjengelig fra:
<https://www.oslo.kommune.no/getfile.php/134069/Innhold/Plan%2C%20bygg%20og%20eiendom/Byggesaksveiledere%2C%20normer%20og%20skjemaer/Overvannsh%2C%20A5ndtering%20-%20Veileder%20for%20utbygger.pdf> (lest 20.04.2018).
- Vegdirektoratet. (2014). *Geoteknikk i vegbygging*. Veiledning Håndbok V220. Tilgjengelig fra:
https://www.vegvesen.no/_attachment/70057/binary/964918?fast_title=H%C3%A5ndbok+V220+Geoteknikk+i+vegbygging+%2818+MB%29.pdf (lest 28.02.2018).
- Wei, Z., Wu, S., Zhou, S. & Lin, C. (2013). Installation of impervious surface in urban areas affects microbial biomass, activity (potential C mineralisation), and functional diversity of the fine earth. *Soil Research*, 51 (1): 59-67.
- World Commission on Environment and Development. (1987). *Our Common Future*: Oxford University Press.
- Ødegaard, H., Thorolfson, S., Lindholm, O., Østerhus, S. W., Sægrov, S., Mosevoll, G. & Heistad, A. (2014). *Vann- og avløpsteknikk* 2 utg. Hamar: Norsk Vann.

Vedlegg

1

IVF-kurve for Blindern målestasjon PLU, 1968-2017.

Returperioder(år); Nedbørintensitet i liter pr. sekund pr. hektar(10 000m ²) (l/s*ha)																
18701 OSLO - BLINDERN PLU																
Periode: 1968 - 2017																
Antall sesonger: 49																
År	1 min.	2 min.	3 min.	5 min.	10 min.	15 min.	20 min.	30 min.	45 min.	60 min.	90 min.	120 min.	180 min.	360 min.	720 min.	1440 min.
2	293	247,4	224	187,8	140	114,2	98,4	78	60,3	49,1	34,3	28,2	21,6	12,5	8,3	5
5	372,7	321	292,6	251	187,8	156,9	136,8	108,7	85,7	69,6	46,7	37,9	28,5	16,4	10,3	6
10	425,4	369,7	338,1	292,8	219,4	185,3	162,2	129	102,5	83,2		44,3	33	18,9	11,7	6,7
20	476	416,4	381,7	332,9	249,7	212,4	186,5	148,5	118,6	96,3		50,4	37,3	21,3	13	7,3
25	492,1	431,3	395,5	345,6	259,4	221	194,3	154,7	123,7	100,4		52,4	38,7	22,1	13,4	7,5
50	541,5	476,9	438,1	384,8	289	247,6	218,1	173,7	139,5	113,2		58,4	42,9	24,5	14,6	8,1
100	590,6	522,3	480,4	423,7	318,5	273,9	241,7	192,6	155,1	125,8		64,3	47,2	26,9	15,9	8,8
200	639,6	567,5	522,7	462,5	347,9	300,2	265,3	211,5	170,7	138,5		70,3	51,4	29,2	17,1	9,4



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway