



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2017 30 stp
REALTEK

Overvannshåndtering i Bodø kommune

Robert Rennemo
Vann og miljøteknikk
REALTEK

Forord

Denne masteroppgaven er skrevet ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet i samarbeid med Bodø kommune. Oppgaven er slutten på min mastergrad i Vann og Miljøteknikk ved fakultet realfag og teknologi (REALTEK) og tilsvarer 30 studiepoeng.

Gjennom en sommerjobb for Bodø kommune ble det foreslått at jeg kunne skrive masteroppgave for dem. Flere temaer ble nevnt, men overvann var temaet som interesserte meg mest. Arbeidet med oppgaven har gått over et semester hvor jeg har lært mye både faglig og om meg selv. Arbeidet har vært utfordrende underveis, men nå jeg sitter på andre siden og vet hva jeg kan få til.

Jeg satt ikke alene på masterplassen, det var flere andre studenter som også skrev oppgave. Selv om vi ikke ble enig hvor lenge vinduet skulle være oppe har alle blitt gode venner. Jeg vil takke alle sammen for å ha skapt et fantastisk arbeidsmiljø. Det har blitt mye tull og tøys dette semesteret og noen lange treningsøkter, men vi har også motiverte hverandre til å jobbe hardt.

Jeg vil takke min hovedveileder professor Oddvar G. Lindholm for veiledningen jeg har fått. Takk gode tilbakemeldinger og konstruktiv kritikk. Jeg vil takke Svein Ove Moen og Stig Bjarne Hanssen fra Bodø kommune for muligheten for å skrive for dem. Takk for hjelpen og tilliten jeg har fått fra dere. Takk til faren min for at du leste korrektur.

Jeg vil også takke min gravide kone for å være den mest fantastiske personen i verden. Du ga meg tiden jeg trengte til å skrive ferdig oppgaven min. Tusen takk for at jeg fikk komme hjem til middag, bare for å dra tilbake på skolen rett etterpå dag etter dag. Jeg ser for meg andre boller fra nå av.

Ås, Desember 2017

Robert Rennemo

Sammendrag

Norges klima forandrer seg hele tiden. Prognoser på fremtiden sier at det blir mer nedbør, og mer intense nedbørshendelser. Siden ledningsnett og vannveier er avhengig av tid for å ta unna vann på en sikker måte vil intense nedbørshendelser føre til økt sannsynlig for oversvømmelse og flom.

De fremtidige utfordringene innen overvannshåndtering kommer i hovedsak fra klimaendringer, befolkningsvekst og urbanisering. Global klimaendring er et faktum og man må være forberedt på det. FNs klimapanel har benyttet mye ressurser for å kartlegge hvordan fremtiden ser ut ved å se på historiske data og klimahistorikk. De har formulert flere utslipps scenarioer 'Representative Concentration Pathways' (RCPer) for å få en bedre forståelse på hvordan klimaet blir. Selv med flere forskjellige RCPer er det fortsatt heftet mye usikkerhet til eventuelle prognoser. Norge får mer nedbør og mer nedbør med høy intensitet. Norge er et land med en liten befolkning, hvor andelen som bor i urbane områder øker. Denne økningen presser eksisterende infrastruktur. Utbygging i de urbane områdene fører til flere tette flater, i tillegg til dyrere rehabilitering og utbygging av ledningsnettet.

Denne masteroppgaven tar for seg prinsipper innen overvannshåndtering. På bakgrunnen av disse prinsippene er det formulert mål Bodø kommune kan strekke seg etter for å oppnå en helhetlig overvannshåndtering, samt reduksjon av vann som når renseanlegget.

Følgende prinsipper anbefales for Bodø kommune:

- 3-ledd strategien
 - o Infiltrasjon og reduksjon av overflateavrenning
 - o Fordrøyning
 - o Sikre flomveier
- Klimafaktor 1,5
- Bruke overvann som en ressurs

Iverksette tiltak som forhindrer oversvømmelser i boligområder grunnet dårlig kapasitet på ledningsnettet å identifisere flomveier er viktige mål. En av de mer effektive tiltakene for å oppnå dette vil være å koble takrenner fra ledningsnettet for å redusere sjokkbelastning på ledningsnettet, og å øke mengden grønt areal for å redusere overflateavrenning.

Til slutt er det presentert flomsoner i Bodø. Beregningene bak disse flomsonene er overfladisk og overestimert. Dette kommer frem i sammenlikningen mellom en av de overfladiske

beregningene med en grundig beregning. Selv om flomsonene er noe større enn sannsynlig gir de fortsatt viktig informasjon om hvor vannet samler seg og hvilken retning vannet renner.

Summary

Norway's climate is continually changing. Forecasts for the future say that there will be more rainfall and more intense rainfall events. Since the drainage system and waterways need time to take care of the water safely, intense precipitation events will lead to increased likelihood of flooding.

The future challenges with handling surface water are mainly due to climate change, population growth and urbanization. Global climate change is a fact and one must be prepared. The UN Climate Panel has used a lot of resources to figure out how the future looks by looking at historical data and climate history. They have formulated several emission scenarios 'Representative Concentration Pathways' (RCPs) to get a better understanding of how the climate will change. Even with several different RCPs, there is still a lot of uncertainties. Norway gets more rainfall and more rainfall with high intensity. Norway is a country with a small population, and the proportion of the population living in urban areas increases. This increase is pushing existing infrastructure. Development in the urban areas leads to more impermeable surfaces, as well as more expensive rehabilitation and expansion of the pipeline.

This master's thesis deals with surface water management principles. Based on these principles, its expressed goals that the Bodø municipality can strive to achieve. Achieving these goals will ensure control over surface. As well as the reduction of water that reaches the treatment plant.

The following principles are recommended for Bodø municipality:

- “3 – ledd strategien”
 - Infiltration and reduction of surface runoff
 - Surface water delay
 - Save floodwater paths
- Climate factor 1.5
- Using surface water as a resource

Implementing measures that prevent floods in residential areas due to poor capacity in the drainage pipeline and identifying paths flood water takes are important goals. One of the more effective measures to achieve this would be to disconnect roof drains from the pipeline to reduce shock loading it. Another measure is to increase the amount of green area to reduce surface drainage.

Finally, there are presented flood zones in Bodø. The calculations behind these flood zones are superficial and overestimated. This appears in the comparison between one of the superficial calculations with a thorough calculation. Even though the flood zones are somewhat larger than likely, they still provide important information about where the water is gathering and what direction the water flows.

Innhold

Forord	I
Sammendrag	II
Summary	IV
Innhold	VII
Figurliste.....	X
Tabelliste	XII
Formelliste.....	XII
Innledning.....	1
1. Klima, nedbør og fremtiden	3
1.1 Drivhuseffekten	3
1.2 Fremtidig nedbør	4
1.3 Fremtidig nedbør i Bodø.....	6
1.4 Klimafaktor.....	7
2. Overvann.....	9
2.1 Snøsmelting	9
2.2 Avrenning	9
2.3 Flomsituasjon.....	10
2.4 Overvannshåndtering.....	10
2.4.1 Felles- og separate avløpssystemer	11
2.5 Forurensinger i overvannet.....	12
3. Lokal overvannsdisponering (LOD)	13
3.1 Infiltrasjon	13
3.1.1 Grunnforhold i Bodø	15
3.1.2 Beregning av hydraulisk ledningsevne	15
3.1.3 Måling av hydraulisk ledningsevne.....	16
3.1.4 Permeabel belegningsstein	17

3.2	Dammer	19
3.2.1	Beregning av fordrøyningsvolum.....	20
3.3	Regnbed	21
3.4	Lukkede fordrøyningsmagasiner.....	25
3.4.1	Plast kassetter.....	25
3.5	Grønne løsninger	26
3.5.1	Grønne tak	27
3.5.2	Vadi – Grønn vannvei	28
3.6	Åpen Flomvei	30
3.7	3-ledds strategien.....	32
	Første ledd: Infiltrasjon og reduksjon av overflateavrenning	33
	Andre ledd: Fordrøyning.....	34
	Tredje ledd: Sikre flomveier	35
3.8	Overvann som ressurs.....	35
3.9	Problemer med overvann.....	36
4.	Eksisterende Lovverk.....	37
5.	Prinsipper for overvannshåndtering i Bodø	39
5.1	Tidligere hendelser	40
5.1.1	Høy vannstand i Futelva	40
5.1.2	Vann i flere kjellere.....	41
5.2	Uførte tiltak	41
5.2.2	Flomoverløp med sandfang til Bodøelva.....	41
5.2.3	Kontinuerlig separering av avløpsnettet.	41
5.2.4	Utbyggers plikt.....	41
5.3	Flomsoner Bodø	42
5.4	Mål for Bodø	47
5.5	Potensielle tiltak	49

5.5.1	Systematisk tømming av sandfang.....	49
5.5.2	Koble takrenner fra kommunalt nett.....	50
5.5.3	Max påslipp.....	50
5.5.4	LOD – Tiltak.....	51
5.5.5	Velge klimafaktor	51
5.5.6	Gjenåpne naturlige vannveier	52
6.	Konklusjon.....	53
7.	Diskusjon	53
	Referanser og litteratur.....	55
	Vedlegg	58

Figurliste

Figur 1: Drivhuseffekt (tegnet av Robert Rennemo).....	3
Figur 2: Årsnedbør for Norge. Rødt og blått felt er utslippsscenario RCP4.5 og RCP8.5 avvik i %. Sort line er observasjoner. (Norsk klimaservicesenter, 2016, s. 105).....	4
Figur 3: Fremtidig avrenning på bakgrunn av scenarioene RCP4.5 og RCP8.5 (Norsk klimaservicesenter, 2016, s. 115).....	5
Figur 4: Eksempel på IVF-kurve. (Meterologisk institutt, 2017)	7
Figur 5: Nedbørintensitet og avrenning før og etter utbygging. (tegnet av Robert Rennemo)	11
Figur 6: Overflateavrenning på en vannmettet åker. Bildet hentet fra et Bioforsk foredrag (Eva Skarbøvik m.fl.).....	14
Figur 7: Løsmassekar over Bodø (NGU, geo.ngu.no, 2017)	15
Figur 8: Eksempel på kornfordelingskurve (VA-Miljøblad nr: 92, 2009).....	15
Figur 9: Infiltrometere (VA-Miljøblad nr: 92, 2009).....	16
Figur 10: Tre forskjellige systemer for permeable dekker. (Myhr & Lippestad, 2016)	17
Figur 11: Oppbygging av permeabelt dekke. (Myhr & Lippestad, 2016).....	18
Figur 12: Hydrogram eksempel som tilfredsstiller kravene til Aron og Kiblers metode og metode med konstant overløp (VA-Miljøblad nr: 69, 2015).....	20
Figur 13: eksempler på regnbed (VA-Miljøblad nr: 106, 2013)	21
Figur 14: Eksempler på regnbed i forskjellige størrelser hentet fra NVE rapport (NVE, 2013)	23
Figur 15: Typisk anlegg med kassetter (VA-Miljøblad nr: 104, 2012)	25
Figur 16: Typisk grønt tak på en bolig. (VA-Miljøblad nr: 107, 2013).....	26
Figur 17: En grønn grøft med hinder for å holde vann tilbake til infiltrasjon og fordrøyning. (VA-Miljøblad nr: 106, 2013).....	26
Figur 18: Prinsippskisse av oppbygningen til grønne tak (VA-Miljøblad nr: 107, 2013)	27
Figur 19: Vadi med infiltrasjon og drenering til avløpsrør (Gabriel & Fiil, 2016).....	28
Figur 20: Vadi kombinert med plastkassetter og overløp til avløpsrør. (Gabriel & Fiil, 2016)	28
Figur 21: Vadi med hevet overløp til avløpsrør (Gabriel & Fiil, 2016).....	29
Figur 22: Flomveier har forskjellige størrelser, illustrert her (VA-Miljøblad nr: 93, 2016).....	30
Figur 23: Egenprodusert illustrasjon av strategi først formulert i Norsk vann rapport 162. (Lindholm O. , et al., 2008).....	32

Figur 24: IVF kurve Bodø mm fordelt på timer (Meterologisk institutt, 2017).....	39
Figur 25: IVF-kurve Bodø mm fordelt på minutter (Meterologisk institutt, 2017).	39
Figur 26: Bildet av Futelva tatt av google steetview april 2010	40
Figur 27: Bildet av Futelva. bildet tatt 11.12.13 av Emilie Grønner.....	40
Figur 28: Flomsoner Bodøsjøen og Alstad. Fargene viser estimert økning i vannstand	43
Figur 29: Flomsone Bodøelva. Fargene viser estimert økning i vannstand.	43
Figur 30; Flomsone Rønvik. Fargene viser estimert økning i vannstand.....	44
Figur 31: Flomsone Futelva. Fargene viser estimert økning i vannstand	44
Figur 32: Flomsone for beregnet 500årsflom i Lakselve i Misvær.....	45
Figur 33: Flomaktsomhetskart over flomsone Misvær. Fargene viser estimert økning i vannstand.....	45
Figur 34, Vedlegg 1: De 10 største uavhengige nedbørshøyder med en returperiode på 1 dag. Datagrunnlag 1954-2016. (Meterologisk institutt, 2017).....	58
Figur 35, Vedlegg 2: De 10 største uavhengige nedbørshøyder med en returperiode på 2 dag. Datagrunnlag 1954-2016 (Meterologisk institutt, 2017).....	59
Figur 36, Vedlegg 3: De 10 største uavhengige nedbørshøyder med en returperiode på 3 dag. Datagrunnlag 1954-2016 (Meterologisk institutt, 2017).....	60

Tabelliste

Tabell 1: "Relativ forandring (%) i års og årstids nedbør fra 1971-2000 til 2071-2100 for utslippsscenarioene RCP4.5 og RCP8.5 ifølge median (med), lav og høy framskrivning." (Norsk klimaservicesenter, 2016, s. 105)	5
Tabell 2: Relativ endring (%) i års og årstidsavrenning. (Norsk klimaservicesenter, 2016, s. 117).....	6
Tabell 3:Kg per år miljøgifter til indre Oslofjord 2012. (Lindhølm O. , 2015)	12
Tabell 4: Oversikt over infiltrasjonsmuligheter (Ødegaard, et al., 2014, s. 356).....	33
Tabell 5: Oversikt over LOD-prinsipper og LOD-anlegg som omhandler fordrøyning (Ødegaard, et al., 2014, s. 256)	34

Formelliste

(1)	7
(2)	15
(3)	20
(4)	20
(5)	23

Innledning

Norges klima forandrer seg hele tiden. Prognoser på fremtiden sier at det blir mer nedbør, og mer intense nedbørshendelser. Siden ledningsnett og vannveier er avhengig av tid for å ta unna vann på en sikker måte vil intense nedbørshendelser føre til økt sannsynlig for oversvømmelse og flom.

Håndtering av overvann er et viktig tema innen kommunal forvaltning. Tradisjonelt har små elver og bekker blitt lagt i rør, og overvannet har blitt ledet dit så fort som mulig. Overvannet har blitt behandlet som et problem på lik linje med avløpsvann. Ledningsnett har vært delt i to deler, drikkevanns ledninger og avløpsledninger. Siden vannet fra overflateavrenning dominerer mengden i et avløpsrør vil renseanlegg motta mye mer vann enn det er dimensjonert for, og det reduserer renseseffekten.

Med den økende urbaniseringen i Norge vil eldre avløpsnett fort få for liten kapasitet. Urbanisering fører til utbygging, utbygging fører til flere tette flater i et nedbørsfelt. Flere tette flater øker overflateavrenning og rørene klarer ikke å ta unna vannet fort nok.

Klimaendringer spiller også en stor rolle i mengden avrenning. Når det kommer mer nedbør over en kortere tidsperiode vil avrenningshastigheten bli et større problem i urbane områder

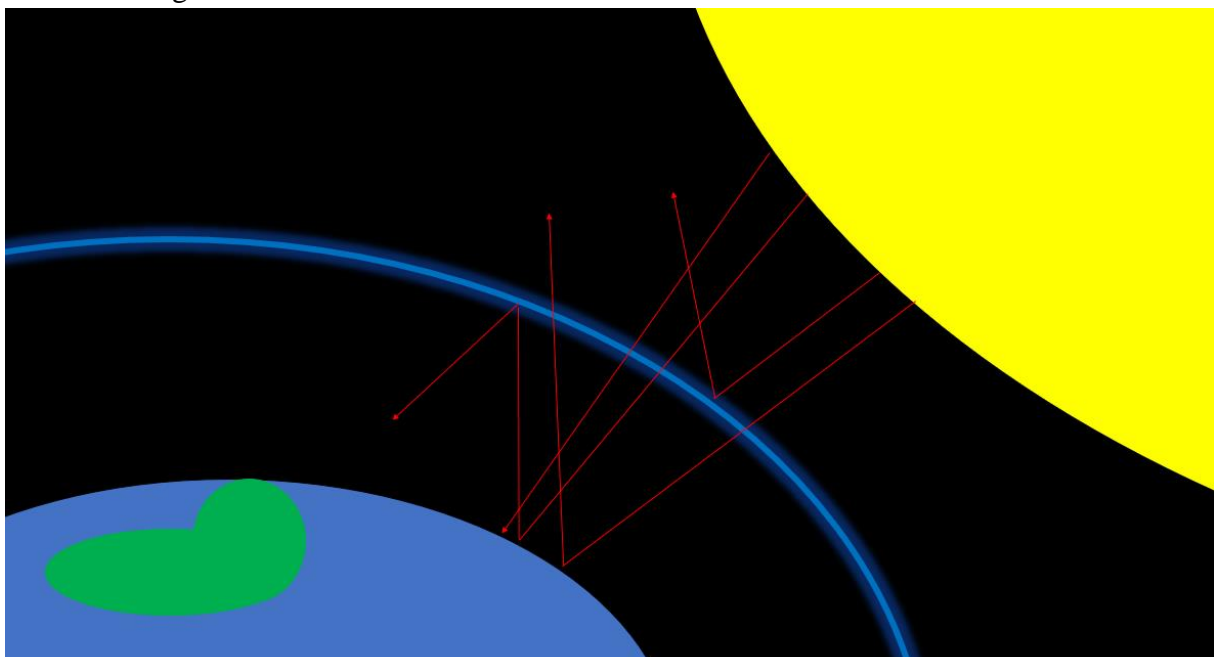
I nyere tid er overvann blitt en ressurs i et urbant område, ikke et problem.

Dette gjelder også Bodø, som nylig ble kåret til Norges mest attraktive by (Kommunal- og moderniseringsdepartementet, 2016). Ny by – ny flyplass er et stort utbyggingsprosjekt Bodø kommune skal ta for seg i fremtiden. Her er en gylden mulighet til å sette helhetlig overvannshåndtering til verks helt fra starten av utbyggingsprosessen. I denne oppgaven skal jeg ta for meg ulike prinsipper for å håndtere overvann som en ressurs å redusere mengden overvann som kommer fram til renseanlegget, samt formulere mål kommunen kan strekke seg etter og mulige tiltak som kan gjennomføres for å nå disse målene.

1. Klima, nedbør og fremtiden

1.1 Drivhuseffekten

Menneskeskapte klimaendringer er et faktum. Gjennom de siste hundre årene har menneskeheten pumpet mer og mer klimagasser inn i atmosfæren. Disse gassene akkumulerer seg og blokkerer stråling som reflekteres fra jordas overflate til å slippe unna. En veldig brukt sammenlikning vil være et drivhus, hvor glasset som hindrer strålingen fra sola i å slippe ut og drivhuset blir varmere. Dette glasset vil da være atmosfæren til planeten. Denne drivhuseffekten er helt avgjørende for liv på jorden, fordi den holder på varmen. Av strålingen fra sola som treffer planete blir 29% reflektert ut i verdensrommet av atmosfæren. Av det som kommer videre blir 23% absorbert av atmosfæren og 48% av planeten (NASA). Her er problemet, den strålingen som reflekteres av overflaten burde forsvinne ut, men med økende klimagassutslipp blir mer og mer stråling stengt innenfor atmosfæren og dette varmer opp planeten. Selv om atmosfæren inneholder 99% nitrogen og oksygen, så er det den siste prosenten som er viktig. Den prosenten inneholder de gassene vi kaller klimagasser eller drivhusgasser. Hvor karbondioksid (CO_2), metan (CH_4) og lystgass (N_2O) er de viktigste (Bryhni & Olerud, 2014). En liten endring i drivhusgassene kan gi store utslag. Disse utslagene har blitt observert, og kan ikke ignoreres. Når atmosfæren får tilført mer klimagasser blir planeten varmere. Denne varmen påvirker klima på kloden. Selv om dette fører til flere forskjellige hendelser, skal jeg bare fokusere på nedbørshendelser som følge av klimaendring.



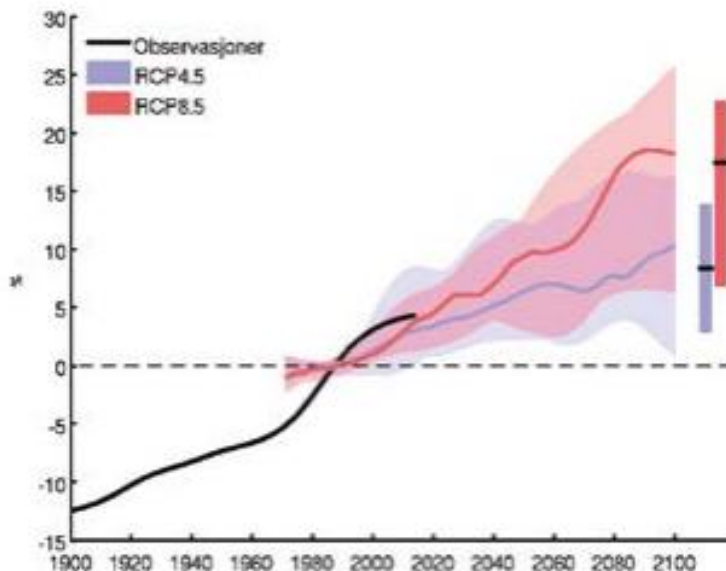
Figur 1: Drivhuseffekt (tegnet av Robert Rennemo)

1.2 Fremtidig nedbør

Gasser fra transport, industri og landbruk er store bidragsyttere når det kommer til klimagassutslipp. En positiv endring i utslipp her kan redusere det totale klimagassutslippet. Ingen kan vite hvordan fremtidens klima kommer til å utforme seg, og ingen vet hvor mye klimagassutslipp det blir fremover. Det man kan gjøre er å simulere fremtiden på bakgrunn av en rekke antagelser. I dette tilfelle snakker jeg om utslippssenarioer 'Representative Concentration Pathways' (RCP'er). Disse scenarioene beskriver ulik fremtidig utvikling av klimagass- og partikkelutslipp. Parameterne som påvirker utviklingen av disse utslippene er befolkningsvekst, teknologisk utvikling, utvikling av næringsliv og politiske rammebetingelser. Tallet som er knyttet til RCP'ene refererer til anslått klima pådriv i året 2100 i forhold til ca. år 1765. RCP4.5 viser da til en varmetilførsel på 4.5W/m^2 til jord-atmosfæresystemet mer enn vi har i dag. Denne måten å uttrykke scenarioene gjør det enklere å vurdere en utviklingsbane klimatilstand kan ta.

RCP4.5: Dette scenarioet viser til stabile eller svakt økende utslipp til 2040, deretter en reduksjon av utslipp.

RCP8.5: Dette scenarioet viser til kontinuerlig vekst av klimagassutslipp.

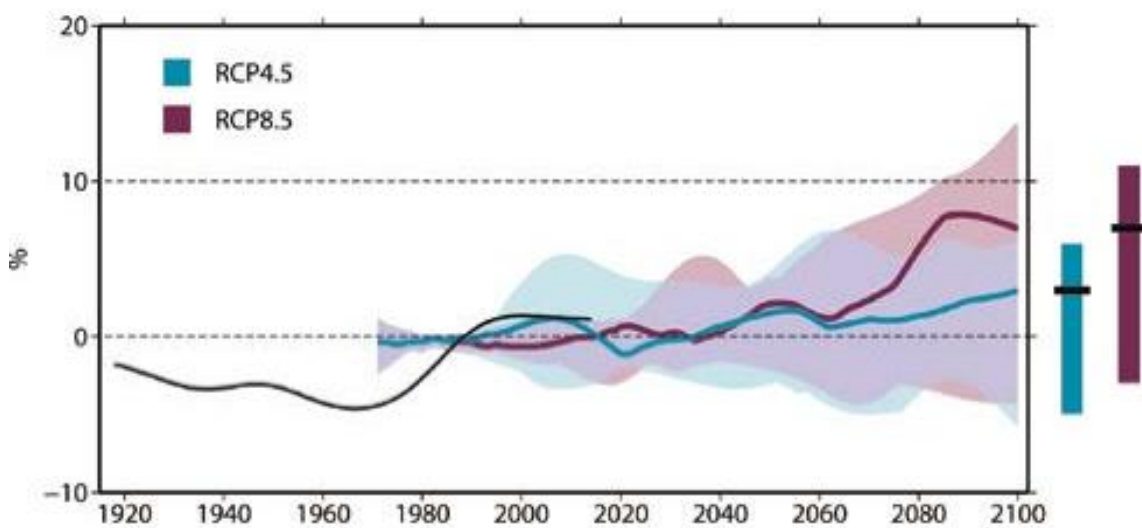


Figur 2: Årsnedbør for Norge. Rødt og blått felt er utslippsscenario RCP4.5 og RCP8.5 avvik i %. Sort line er observasjoner. (Norsk klimaservicesenter, 2016, s. 105)

Tabell 1: "Relativ forandring (%) i års og årstids nedbør fra 1971-2000 til 2071-2100 for utslippsscenarioene RCP4.5 og RCP8.5 ifølge median (med), lav og høy framskrivning." (Norsk klimaservicesenter, 2016, s. 105)

Region	Sesong	RCP 4.5			RCP 8.5		
		Med	Lav	Høy	Med	Lav	Høy
Norge	År	8	3	14	18	7	23
	Vinter DJF	5	2	15	16	3	26
	Vår MAM	12	2	19	13	6	20
	Sommer JJA	12	1	17	16	8	27
	Høst SON	7	3	15	16	7	26

Figur 2 og tabell 1, viser en prognose på bakgrunn av RCP4.5 og RCP8.5 hvordan årsnedbøren i Norge kan endre seg i prosent. Denne økningen er bare en antagelse, men det er viktig å ta hensyn til når man planlegger fremtidig overvannshåndtering. Det er også antatt at fremtidige nedbørshendelser blir mer intense, altså mer nedbør på kortere tid. Resultatet til utslippsscenarioene viser en jevn økning av nedbør gjennom året.



Figur 3: Fremtidig avrenning på bakgrunn av scenarioene RCP4.5 og RCP8.5 (Norsk klimaservicesenter, 2016, s. 115)

Tabell 2: Relativ endring (%) i års og årstidsavrenning. (Norsk klimaservicesenter, 2016, s. 117)

Region	Sesong	1971–2000 til 2071–2100: Endring (%) i total avrenning					
		RCP4.5			RCP8.5		
		Med	Lav	Høy	Med	Lav	Høy
Norge	År	3	-5	6	7	-3	11
	Vinter DJF	26	19	32	44	33	53
	Vår MAM	8	4	14	7	2	8
	Sommer JJA	-23	-32	-19	-26	-35	-22
	Høst SON	8	1	13	17	3	23

Mer nedbør betyr mer avrenning, illustrert i figur 3 og tabell 2. Resultatet for utslippsscenarioene viser at avrenningen vil reduseres om sommeren, men en økning på vinteren. Når man ser på disse tallene sammenlignet med tallene for fremtidig nedbør. Da kan man anta at avrenningen på vinter hovedsakelig skyldes snøsmelting siden nedbørsøkningen er jevnt fordelt over alle årstider. (Norsk klimaservicesenter, 2016)

1.3 Fremtidig nedbør i Bodø

Årsnedbøren i Nordland er beregnet til å øke med rundt 20% de neste 100 år. Størst økning beregnes til å være på sommer månedene. Det er også antatt at nedbørshendelser med kraftig nedbør øker med både intensitet og hyppighet fordelt på hele året. Beregningene viser til betydelig reduksjon av snømengder og dager med snødekke i lavereliggende sone. Til tross for det vil det fortsatt være enkelte år med store snømengder selv i lavereliggende sone. Siden temperaturen øker vil det også være flere smelteperioder. Observert nedbør i Bodø i perioden 1971-2000 gir en gjennomsnittlig årsnedbør på 1050mm og temperatur på 4,9°C. (Norsk klimaservicesenter, 2016)

1.4 Klimafaktor

Når man skal dimensjonere nye overvannsanlegg i urbane områder som hovedsakelig består av bruker man den rasjonelle formel.

$$Q = A * \varphi * I \quad (1)$$

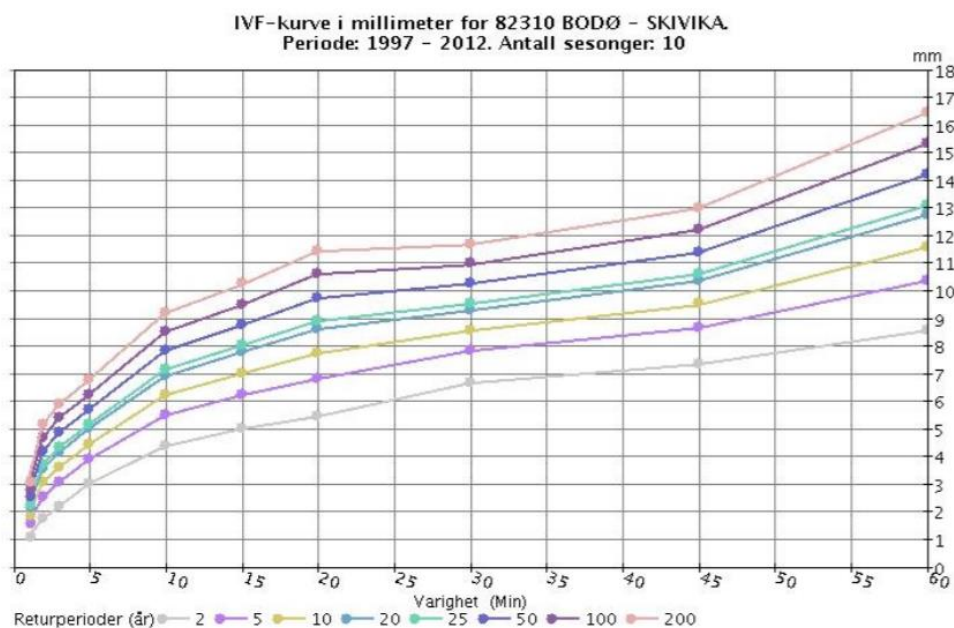
Q: dimensjonerende vannføring (l/s)

A: Nedbørsfeltets areal (ha)

φ : Avrenningskoeffisient

I: Dimensjonerende nedbørintensitet (l/s ha)

Q, A og φ blir definert fra kunnskap om nedbørsfeltet, men I blir definert fra en IVF-kurve (se figur 4). Problemet med en IVF-kurve er at all den informasjonen er basert på observasjoner og historie. Ved å bruke disse observasjonen blir det laget sannsynlighetskurve for flere gjentakintervaller med hvor mye nedbør det blir (mm) på en viss tid (minutter eller timer). Den tar ikke hensyn til klimaendringer. For å kunne dimensjonere dagens nye overvannssystem til 100års levetid må man ta hensyn til klimaendringer. Derfor legger man til en faktor i den rasjonelle formelen (1) for å øke dimensjonerende nedbørsmengde med hensyn på klima. Denne faktoren blir kalt klimafaktoren. «Inntil videre foreslås det et klimapåslag på minst 40 % på regnskyll med kortere varighet enn 3 timer.» (Norsk klimaservicesenter, 2016, s. 4) Det er flere norske byer som har valgt klimafaktoren til 1,5. Klimafaktor på 1.5 er konservativt, men med en klimafaktor på 1.5 vil ledningsnettet tåle enda større belastninger. (Paus, Førland, Fleig, Lindholm, & Åstebøl, 2014)



Figur 4: Eksempel på IVF-kurve. (Meteorologisk institutt, 2017)

2. Overvann

Overvann er den delen av nedbør som ikke fordampes eller infiltreres. Altså alt vannet som er på overflaten når det regner. Generelt sett er trenger man ikke å bry seg om overvann fordi naturen er veldig flink til å ta vare på det. Når byer blir større og hus blir bygd tettere blir overvannet mye tydeligere. Grunnen til dette er at nedbør som treffer «tette» flater kan ikke innfiltreres og har det bare et sted å renne, på overflaten. Blir det mer tette flater i et nedbørsfelt, blir det mer akkumulering av vann på overflaten.

2.1 Snøsmelting

På vinterstid når temperaturen er rundt 0°C vil nesten all nedbør falle ned som snø. Så lenge det er kaldere enn 0°C vil også snøen bli liggende. Snøen oppfører seg som et magasin som holder på vann. Dette er et stort problem for overvannshåndtering, fordi på våren når det blir varmere i lufta og sola er oppe lengere hver dag smelter snøen. I urbane områder hvor mye av overflatene er både tette og mørke blir det tilfør mye smelteenergi fra sola, og vannet renner på overflaten og samler seg. All den snøen som har samlet seg gjennom vinteren blir plutselig vann og belastningen av ledningsnettøker utover kapasiteten. Største smerteintensiteten skjer hovedsakelig i Mars og April, når solen står høyt på himmelen og lenge. (Lindholm O. , Endresen, Thorolsson, & Smith, 2012, ss. 69-70)

2.2 Avrenning

En del av nedbøren forsvinner verken ned eller opp, denne delen renner på overflaten. I den rasjonelle formel (1) er ϕ avrenningskoeffisienten. Denne viser til hvor stor del av nedbøren som renner videre. I et bymiljø har vi mye av det som heter tette flater (f.eks. tak og veier) disse flatene har en avrenningskoeffisient på over 0,7. Fra disse flatene renner bortimot alt vannet videre og i et stort nedbørsfelt med mange tette flater blir det store mengder vann. Det er veldig bra med grøntareal i urbane strøk som parker og kirkegårder som har en avrenningskoeffisient på mindre enn 0,2. I et nedbørsfelt er det mange forskjellige flater, og det må tas hensyn til når man bruker den rasjonelle formelen (1). Derfor gjør man et overslag på bakgrunn av kunnskap knyttet til nedbørsfeltet. Er det en by, kan det antas at det stort sett er tette flater og man kan sette ϕ til 0,9. Er det et boligstrøk med eneboliger vil arealet til gresset være mye større enn veier og tak til sammen og man kan sette ϕ til 0,35.

Det er en feilkilde ved å sette avrenningskoeffisienten lav når det kommer til gress og annet grøntareal. Når det regner over lange perioder, eller ved ekstreme nedbørshendelser vil jorda

bli mettet. det som skjer når jorda blir mettet er at alt vannet renner av. Altså ϕ blir tilnærmet 1.0. Dette er veldig tydelig på en åker etter en kraftig nedbørshendelse der man kan se at vannet danner en elv fordi alt renner på overflaten (se figur 6). Et annet tilfelle hvor ϕ blir tilnærmet 1.0 er på frossen mark. På våren når snøen smelter kan det fortsatt være tele i bakken og vannet vil renne av på overflaten.

Et ekstremt scenario når det kommer til avrenning vil være høy nedbørintensitet, snø på bakken og tele i jorda. I dette tilfellet har man en avrenningskoeffisient på satt til 1,0. smeltevann fra snøen og store nedbørsmengder. Hvis dette scenarioet skulle finne sted vil nesten 100% avrenning fra både nedbøren og smeltevannet som er umulig å dimensjonere overvannsanlegg til å håndtere. Derfor er man nødt til å planlegge for flomsituasjoner.

2.3 Flomsituasjon

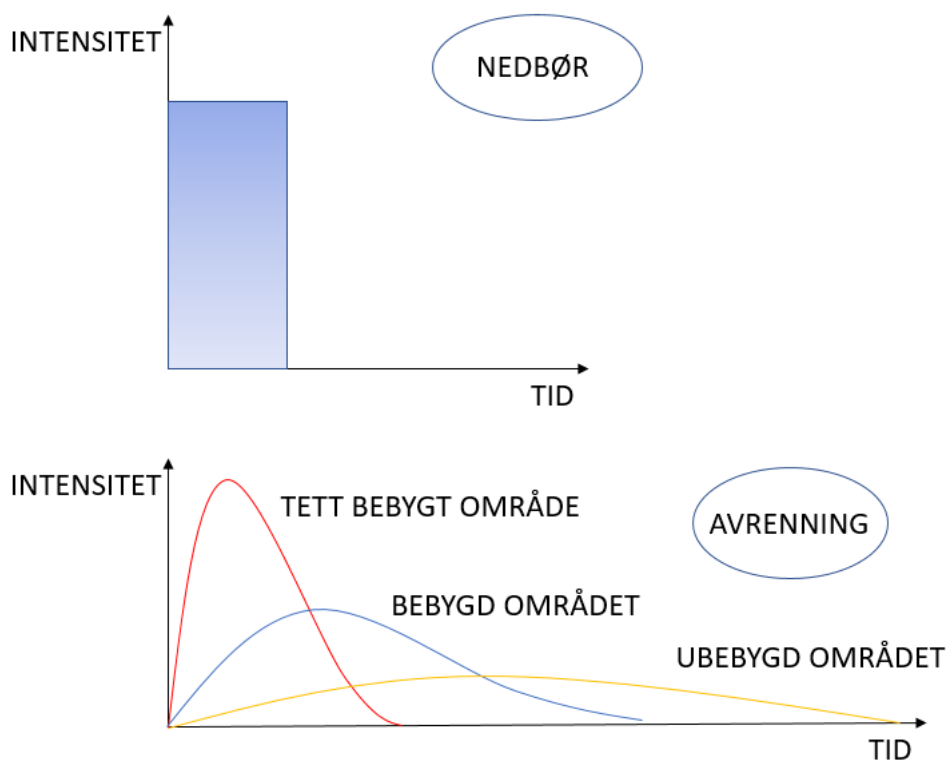
Når avrenningen i et nedbørsfelt overskrider kapasiteten til overvannssystemene blir det en flomsituasjon. Flomsituasjoner er mer vanlig nedstrøms i nedbørsfelt hvor større mengder vann akkumuleres. Under flomsituasjoner fylles ledningsnettet med vann og det kan dannes trykk i rørene. Dette trykket kan dytte vann tilbake i hus å forårsake kjelleroversvømmelser. Når det er flom renner mye av vannet på overflaten, hvis ikke det er tilrettelagt med flomveier vil vannet påføre store skader i urbane områder.

2.4 Overvannshåndtering

Håndtering av overflatevann har gjennom tidene vært et minimalt problem, på grunn av små mengder tette flater. Dette gir vannet mye mer areal til å infiltrere i. De senere årene er det blitt mer urbanisering og mengden tette flater i et nedbørsfelt øker. Flere tette flater øker mengden overflatevann som må håndteres. Tradisjonelt har vannet blitt håndtert med flere sluker og større rør, noe som har fungert greit opp til en viss nedbørintensitet og eventuell flomsituasjon. En flomsituasjon med tradisjonell overvannshåndtering kan føre til store skader og ulemper. Når rørene ikke klarer å ta unna mer vann, så renner det oppå de tette flatene og skaper store problemer lengre nede i avrenningsfeltet.

Som man kan se i figur 5 så er det tydelig at avrenningsintensiteten i bebygde urbane områder er ekstremt mye større enn ubebygde områder uten nevneverdige tiltak. Det er hovedsakelig en grunn til at avrenningsintensiteten blir så mye større i urbane strøk ovenfor ubebygde strøk med samme nedbørsmengde og nedbørsfelt. Den grunnen er arealet med tette flater, det er flere og tettere plassert hustak (metall, stein, shingel etc.) som samler opp vannet som da renner ned takrenner. Det er tette underlag på større deler av bakken (veier, parkeringsplasser,

gågater etc.). dette er noe som fører til at alt for mye av nedbøren samles opp og renner på overflaten til resipient.



Figur 5: Nedbørintensitet og avrenning før og etter utbygging. (tegnet av Robert Rennemo)

2.4.1 Felles- og separate avløpssystemer

Et felles avløpssystem er et rørnett som tar imot både avløpsvann og overvann. I store urbane nedbørsfelt med fellessystem vil det være et fåtall renseanlegg som skal håndtere alt vannet. I hvert av disse anleggene er det et overløp i tilfelle det kommer for mye vann. Kommer det da for mye vann vil urensset kloakk renne ut til resipient før renseanlegget. Det har tidligere vært vanlig å ha fellessystemer i Norge, men nå blir bortimot alle nye ledningsnett separate. I tillegg til dette så er det oppgradering av ledningsnettet i hele Norge hvor en bytter fra et felles- til et separat avløpssystem. Fordelen med et separat system er at man skiller avløp og overvann. I lang tid har renseanlegg blitt dimensjonert for å håndtere overvann og avløpsvann. Overvann inneholder mye mindre fosfor, nitrogen og mikroorganismer enn avløpsvann. Derfor er det en fordel og separere disse to siden man kan rense overvann på en mye billigere måte, og antall hus som kan kobles til et renseanlegg kan potensielt øke. Overvann inneholder stort sett partikler og tungmetaller, hvor mesteparten kan fjernes i sandfang eller annet sedimentasjonsanlegg. Sandfang kan fjerne nesten alle forurensinger i overvannet.

2.5 Forurensinger i overvannet

Biler og andre kjøretøy legger etter seg mange forskjellige miljøgifter. Miljøgifter kan komme fra eksos, bildekk og andre steder. Avrenning fra veier med mye trafikk kan være svært dødelig for livet i en resipient. I parkeringshus og tunneller, hvor man ikke får direkte avrenning under nedbør. Vil miljøgifter samle seg på en helt annen måte, og når parkeringshuset eller tunnelen skal vaskes får man en sjokkbelastning på eventuell resipient eller renseanlegg.

Tabell 3: Kg per år miljøgifter til indre Oslofjord 2012. (Lindholm O. , 2015)

Kilde	Cd	Cu	Hg	Pb	PAH
Tette flater	19,2	1081	2,1	544	20,1
Avløpsrense anlegg	7,2	2528	0,9	79	5,8
Overløp	3,0	229	0,5	60	2,5
SUM	29,4	3838	3,4	684	28,4

Som visst på tabellen kommer miljøgifter hovedsakelig fra avrenningen fra tette flater. Grunne til at Cu er mye større ut av renseanlegget er korrosjon i kopperledninger.

3. Lokal overvannsdiskonering (LOD)

Lokal overvannshåndtering betyr at man skal håndtere vannet etter beste evne så nært der det faller ned som mulig. Det er flere måter å ta hånd om vannet lokalt. Infiltrasjon er en metode som brukes til å ta unna små mengder vann å redusere overflateavrenning. Det er vanlig å kombinere infiltrasjon og fordrøyning i urbane områder med dammer og regnbed. Da er det et stort areal til infiltrering og et volum ved hjelp av nedsenkning til fordrøyning.

Fordrøyningen holder tilbake regnvannet slik at belastningen til rørrnett eller andre vannveier ikke overgår kapasiteten. Når det kommer en intens nedbørshendelse kan belastningen på rørrnett overgå kapasiteten. Når det er små mengder nedbør over lengre tid vil sannsynligheten for at kapasiteten overgå være lav. Hvor mye vann et rør klarer å håndtere per sekund bestemmer av tverrsnittet. Det man vil oppnå med LOD er å håndtere regnvannet steg for steg fra det faller ned til vannet når havet. Første steg er å stoppe små nedbørsmengder å redusere overflateavrenning. Det oppnås med infiltrasjon og grøntareal. Andre steg er å stoppe større nedbørsmengder og redusere belastningen på rørrnett. Det oppnås ved hjelp av fordrøyningsvolumer. Tredje steg er å føre vannet fra ekstreme nedbørshendelser direkte til resipient ved hjelp av sikre flomveier.

3.1 Infiltrasjon

Når det regner legger vannet seg på bakken og noe av det blir dratt gjennom porene i grunnen av gravitasjons og kapillære krefter. Mengden vann som grunnen klarer å ta unna er avhengig av hvor mye porevolum som er tilgjengelig mellom partiklene i bakken. Hvis det er store partikler som steiner og grus vil vannet lett renne gjennom til det når tettere materiale. Småstein sand og jord vil også klare å ta unna nokså mye nedbør. Selv om de små porene gjør det vanskeligere for gravitasjonen å trekke vannet nedover, vil de kapillære kreftene dra vannet gjennom dem. Tette materialer er ikke veldig bra for infiltrering og det skaper større overflateavrenning enn porøse materialer. I naturen er det leire, silt og fjell som kan kalles tette materialer. Porevolumet i silt og leire er veldig lite og vann bruker ekstremt lang tid på å infiltrere. Selv om fjell har mange sprekker som rommer endel vann, vil majoriteten av overflaten fortsatt være tett og vannet vil renne av. Det er ikke bare i naturen vi finner steder vannet renner rett av. Veier og hustak er steder vannet ikke infiltreres. I byer og urbane områder blir det flere veier og flere hus, og alle disse blir tettere og tettere plassert. Noe som fører til at arealet i en by hvor vann kan infiltreres minker.

Infiltrasjonsevnen reduseres når jorden blir mettet. Hvis det er lite nedbør over en lang periode vil infiltrasjon fungere akkurat som det skal. Men hvis det er store mengder nedbør over en kort periode, eller flere nedbørsperioder etter hverandre vil grunnen bli mettet. Bakken klarer bare å ta unna en viss mengde vann per sekund. Hvis nedbøren overskrider dette vil det overflødig vannet bare renne på overflaten. Dette er et stort problem blant gårdseiere fordi ved store intense nedbørshendelser vil vannet som lander på åkeren lage elver å ødelegge avlingen. Selv om det er flere dreneringsledninger i åkeren er det det øverste laget i grunnen som blir mettet, over drensledningen.

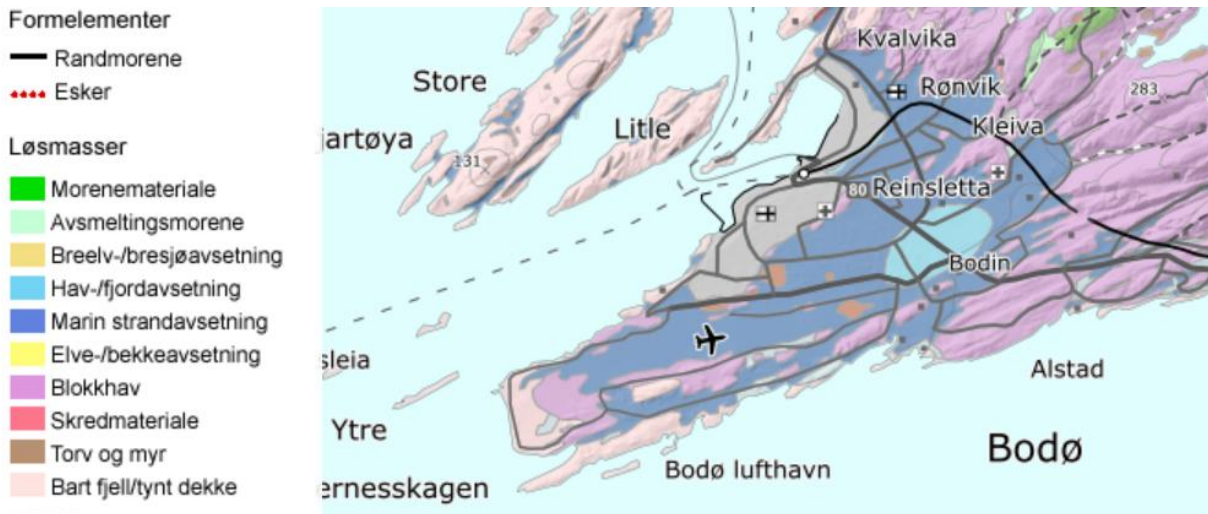


Figur 6: Overflateavrenning på en vannmettet åker. Bildet hentet fra et Bioforsk foredrag (Eva Skarbøvik m.fl.)

Infiltrasjon er viktig for å opprettholde et akseptabelt grunnvannsnivå. Dette nivået er viktig å ha kontroll på spesielt i urbane områder. Noen steder blokkers grunnvannsstrøm og grunnvannet blir pumpet ut og drenert bort for å holde bygninger tørre. Steder hvor bygninger og infrastruktur er plassert kan være setningsømfintlig. En senkning av grunnvannsnivået vil skape problemer med fundamentet til disse bygningene. Når grunnvannsnivået senkes kan grunnen bli komprimert under bygninger, noe som kan føre til setningsskader og i verste fall kollaps. Derfor er det viktig med infiltrasjon selv i byer. (NGU, Setningsskader)

Overflateavrenning i urbane områder inneholder forurensinger som kommer fra tak og veier. Ved hjelp av infiltrasjon blir vannet rensert når partikler og andre skadelige stoffer filtreres bort.

3.1.1 Grunnforhold i Bodø

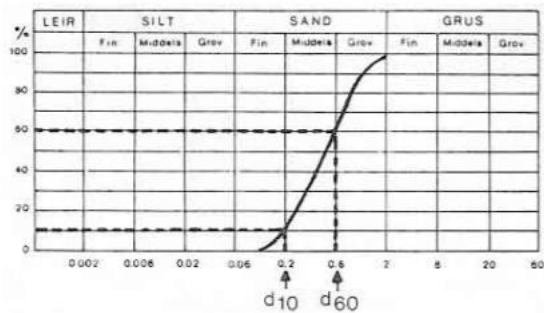


Figur 7: Løsmassekar over Bodø (NGU, geo.ngu.no, 2017)

Marine strandavsetninger viser materialet som er vasket av bølger i strandsone eller under marin grense. I beskyttede områder som Bodø er vil disse avsetningene være mye sand. Hav-/fjordavsetninger er mye finere partikler som silt og leire. Som man kan se på figur 7 er det et stort areal som er farget lyseblått med hav-/fjordavsetninger. (NGU, 2015) Dette område kalles Bodøleiren og er tett som fjell, altså null infiltrasjon.

3.1.2 Beregning av hydraulisk ledningsevne

Hydraulisk ledningsevne er en væskes hastighet gjennom et porøst medium. Dette kan beregnes ved hjelp av Hazen's likning og en sikteprøve. For å gjennomføre disse beregningene tar man ut en jordprøve fra stedet man vil infiltrere. Denne prøven tørkes og siktes. En sikteprøve gjennomføres ved å ha flere sikter sablet oppå hverandre med det minste åpningen på bunnen og største på toppen. Jordprøven blir tilsatt i toppen av «siktetårnet», tårnet ristes og bankes. Etterpå blir hver «etasje» veid. Når man vet hvor stor andel av totalvekten som hver partikkelstørrelse har, kan man føre det inn i en kornfordelingskurve. Denne kurven gir nok informasjon til å fylle ut Hazen's formel:



Figur 8: Eksempel på kornfordelingskurve (VA-Miljøblad nr: 92, 2009)

$$K = k * (d_{10})^2 \quad (2)$$

K er hydraulisk ledningsevne i m/s når man setter k som 0,01157. Denne likningen kan bare brukes hvis forholdet mellom d_{10} og d_{60} er mindre enn 5. (VA-Miljøblad nr: 92, 2009)

3.1.3 Måling av hydraulisk ledningsevne

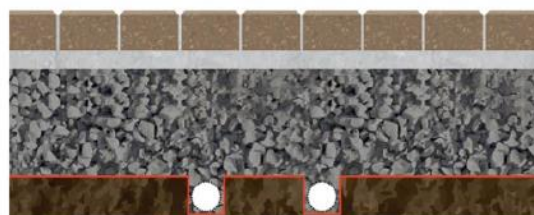
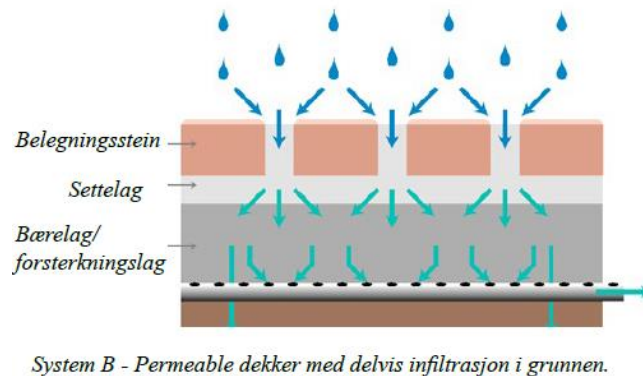
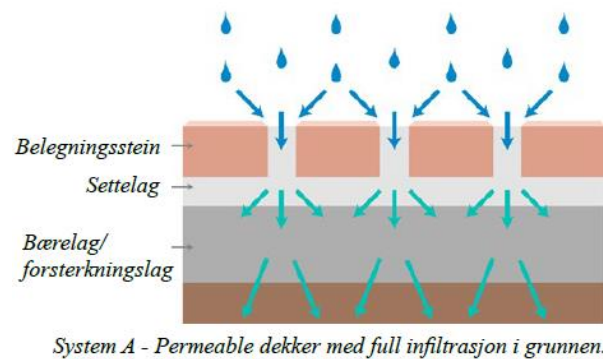
For å måle hydraulisk ledningsevne trenger man å gjennomføre en infiltrasjonstets. Mest vanlig er å bruke et infiltrometer. Et infiltrometer er to sylindere som presses litt ned i bakken. Disse sylindrene har gitte dimensjoner for å gjøre utregninger lettere. Som vist i figur 9 er det en mindre sylinder inni en større en. Den ytterste sylindren fylles med vann for å minske sideveis infiltrasjon. Innerste sylindren blir forsiktig fylt med vann for å minimere omrøring. Hastigheten vannet infiltreres i det innerste røret måles. Når denne verdien blir konstant har man kommet frem til hydraulisk ledningsevne. I figur 8 vises det to vanlige infiltrometere. A er større, B og C til sammen er et som er mindre. (VA-Miljøblad nr: 92, 2009)



Figur 9: Infiltrometere (VA-Miljøblad nr: 92, 2009)

3.1.4 Permeabel belegningsstein

Når vanlig belegningsstein blir lagt, så blir steinene hamret helt inntil hverandre og fugene blir fylt opp med fin sand. Dette reduserer arealet vann kan trenge ned i grunnen og hastigheten vann infiltrerer. Permeabel belegningsstein er formet slik at det blir mye større fuger, altså mer areal vann kan trenge gjennom. Disse fugene blir også fylt med grus og ikke sand (2-5mm masser ikke 0-2mm). Ved å øke hulrommet mellom steinene så økes infiltrasjonskapasiteten sammenlignet med tradisjonell belegningsstein. Når man velger permeabel belegningsstein må man vurdere mulig erosjons og rasfare i grunnen. Man må vurdere effekten av økt grunnvannstand på nærliggende konstruksjoner spesielt nedstrøms. Og man må vurdere tilførsel av finstoffer (jord, sand, gress og løv) som kan redusere infiltrasjonsevnen til anlegget.



System C - Ingen infiltrasjon til grunnen.
Figur 10: Tre forskjellige systemer for permeable dekker. (Myhr & Lippestad, 2016)

System A, fullstendig infiltrasjon. Anvendes når grunnforholdene klarer å håndtere estimert vannmengde, helt åpent til grunnen under belegningsstein.

System B, delvis infiltrasjon. Anvendes når grunnforholdene er for dårlige til å ta unna estimert vannmengde. Enten ved at massene er for tette, eller at grunnvannstanden ligger for høyt til at systemet kan ta unna vannmengdene. I disse tilfellene kan man enten drenere vannet til grøft eller rør, eller legge til et fordrøyningsvolum til anlegget slik at det er mer tid til å ta unna vannet.

System C, ingen infiltrasjon. Hvis grunnforholdene er helt tette (leire, silt eller fjell), at man vil redusere forurensing av grunnvann eller andre forhold som gjør ugunstig å infiltrere i grunnen kan det legges en tett membran under anlegget og vannet dreneres bort via rør.

Oppbyggingen av permeable: Hentet fra direkte fra faktaark (Myhr & Lippestad, 2016)

Dekker:

- Dekke med tykkelse 8 – 10 cm avhengig av trafikk
- Fugebredde og åpninger som gir tilstrekkelig permeabilitet over tid

Fugematerialet:

- Knust finpukk 2-5mm (koring)

Settelag:

- Pukk 2-8mm evt. 2-12mm i tykkelse 3cm

Bærelag:

- Pukk 4-32mm i 10cm tykkelse

Evt nedre bærelag:

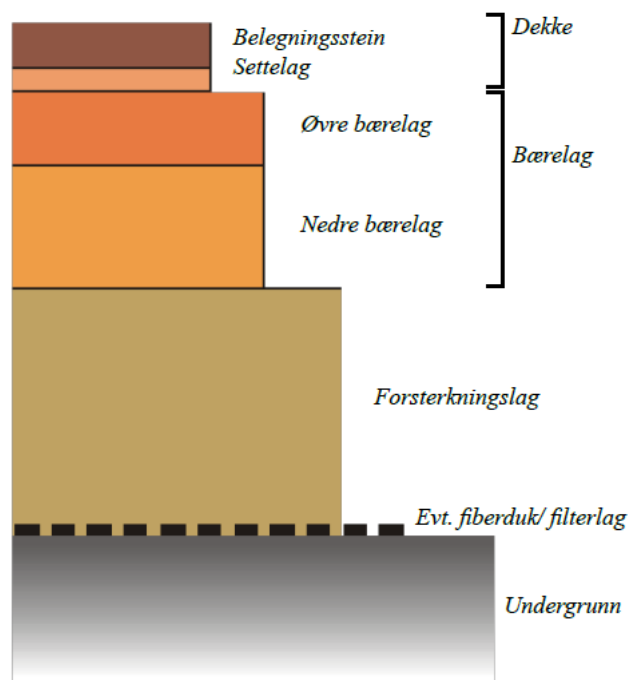
- Kult 20 – 120 mm

Forsterkningslag:

Sortert spengstein / grov kult avhengig av:

- Trafikkbelastning
- Grunnforhold (telearlighet)
- Vannmagasinerings

(Myhr & Lippestad, 2016)



Figur 11: Oppbygging av permeabelt dekke. (Myhr & Lippestad, 2016)

3.2 Dammer

Økt urbanisering gir flere tette flater i nedbørsfeltene, dette fører til at avrenningen mangedobles. Når avrenningen øker kan belastningen på ledningsnettets overgå kapasiteten.

Dammer er generelt sett skåler eller senkninger i terrenget hvor vannet samles. Disse dammene er veldig godt egnet til å samle opp vann før påslipp til ledningsnettets. Forsinkelse av vann før påslipp er veldig viktig for at kapasiteten til ledningsnettets skal strekke til.

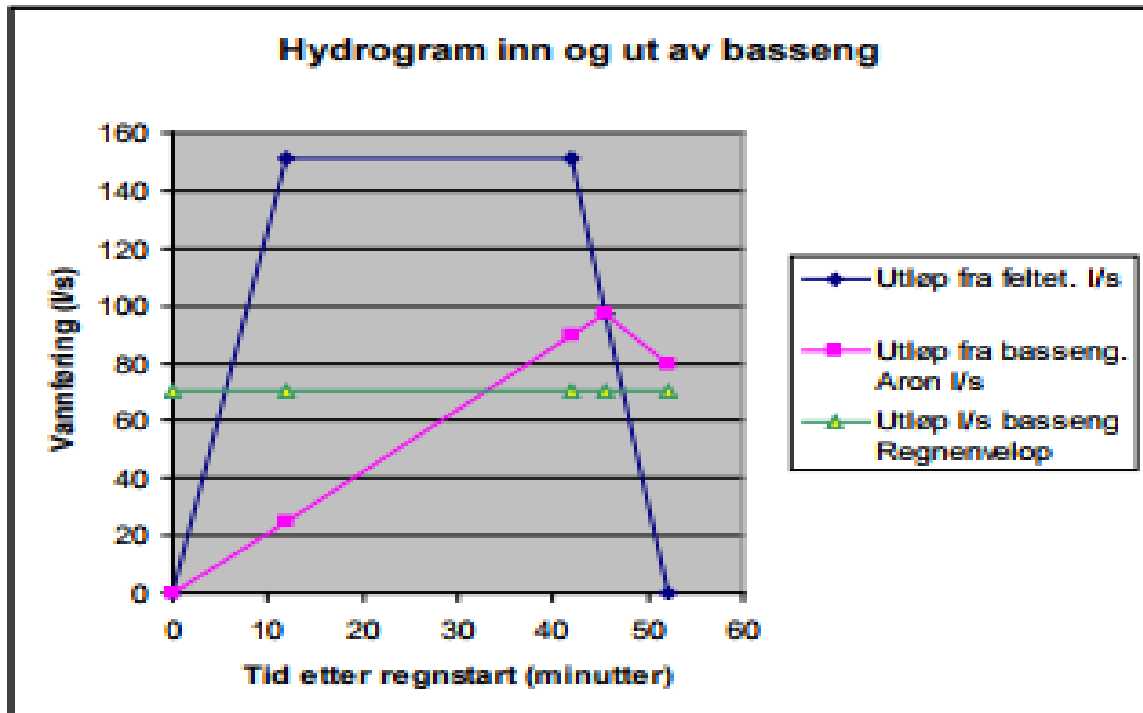
Dammer har også en renseseffekt på vannet. Når vannet samler seg senkes farten og partikler i vannet sedimenterer til bunnen av dammen. Så når vannet renner ut i andre enden av dammen har det med seg mye færre partikler og forurensinger videre på nettet eller til resipient.

Det er flere typer dammer, enten det er naturlige formasjoner eller konstruert. Våte dammer har permanent, men varierende vannivå. Disse dammene kan brukes til å opprettholde et biologisk mangfold i et bymiljø. Permanent vannspeil kan være et bra estetisk tillegg i en park. Dammer uten fordrøyningsvolum er stort sett ment for rensing og dammer med fordrøyningsvolum blir brukt til å forsinke avrenningsintensiteten. Det er ikke mulig å infiltrere i alle våte dammer. Noen er konstruert og kan ha ikke permeable materialer i bunnen.

Tørre dammer er skåler i terrenget hvor vann lett infiltreres. Derfor kan disse dammene ha et større fordrøyningsvolum på grunn av manglende permanent vannspeil. disse dammene er enten plassert hvor grunnmassene lar vannet infiltrere lett, eller så endres massene for å tilpasse ønsket infiltrasjon.

3.2.1 Beregning av fordrøyningsvolum

Aron og Kiblers metode



Figur 12: Hydrogram eksempel som tilfredsstiller kravene til Aron og Kiblers metode og metode med konstant overløp (VA-Miljøblad nr: 69, 2015)

Denne metoden forutsetter at hydrogrammet til nedbørsfeltets utløp følger formen til et trapes. En annen forutsetning til denne metoden er at den maksimale verdien i utløpshydrogrammet ligger på den synkende siden av innløpshydrogrammet (se figur 12). Videre må man kjenne til konsentrasjonstiden til nedbørsfeltet t_k .

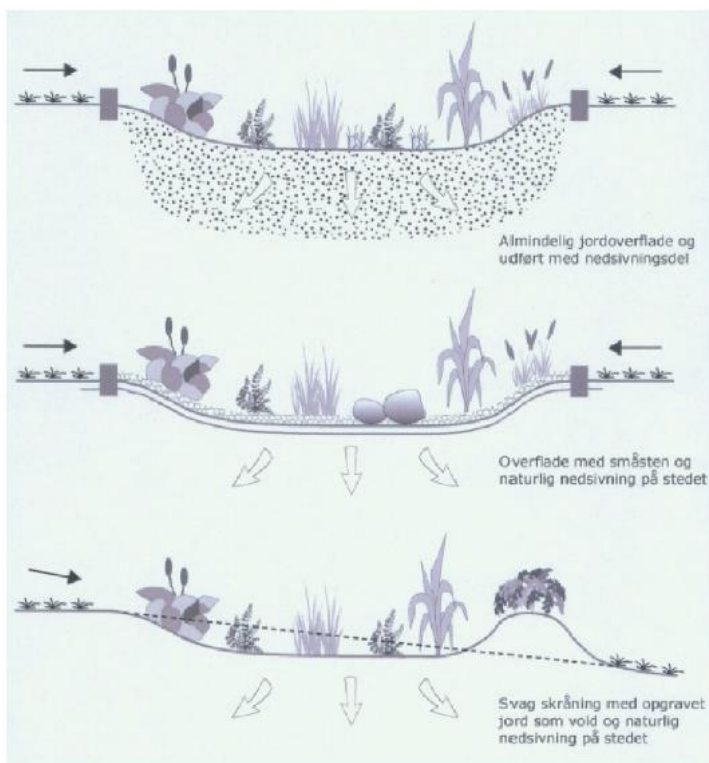
$$V = Q_{maks} t_r - Q_u \left[\frac{t_r + t_k}{2} \right] \quad (3)$$

V = maksimalt nødvendig fordrøyningsvolum (m^3), Q_{maks} = høyeste vannføring på innløpsdiagrammet (m^3/s), Q_u = høyeste vannføring på utløpshydrogrammet (m^3/s), t_k = konsentrasjonstiden til nedbørsfeltet i sekunder og t_r = regnvarighet i sekunder. Hvor:

$$Q_{maks} = \varphi A I \quad (4)$$

3.3 Regnbed

Regnbed blir brukt til å forsinke vann i langvarige nedbørsperioder eller kortvarig magasinering ved intense nedbørshendelser. Områder hvor regnbed blir plassert har en fordyping i terrenget slik som en dam, men har mindre volum. Regnbed har evnen til å infiltrere vannet ned i grunnen. Ved gode grunnforhold kan regnbed dimensjoneres til å ta imot avrenningen fra parkeringsplasser og boligområder. Hovedgrunnlaget til å innføre regnbed i et nedbørsfelt er for å overføre regnvann til grunnvann i stedet for at vannet skal okkupere plass i avløpsnett. Regnbed er det ofte planter, blomster og små busker. I disse regnbedene vil vannet stoppe, og partikler vil sedimentere mot bunnen. Her vil planter og annet liv ta opp næringsstoffer og resten av vannet filtreres ned i grunnen. Dette fører til en generelt god rensing av vannet og grunnvannet holdes rent.



Figur 13: eksempler på regnbed (VA-Miljøblad nr: 106, 2013)

Grunnforhold er det som bestemmer kapasiteten til et regnbed. Fordi disse forholdene bestemmer hastigheten vannet siger ned i grunnen. Tettere masser som leire og silt er veldig uegnet til regnbed. Dette er fordi vannet vil bruke alt for lang tid til å infiltrere. Sand og grus er best egnet fordi de har stort nok tomrom mellom partiklene til at vannet renner fort ned, men er tette nok til at planter kan vokse. Det er også veldig vanlig å finne naturlige forekomster av sand, som gjør arbeidet veldig mye lettere. Steiner og blokker er uegnet, gitt at vannet renner veldig fort ned er det ytterst upraktisk å plante noe som helst. Hvert regnbed må

ha et tilløp. Enten det er en takrenne, et rør som fører vann fra et annet sted eller geografisk helning. Tilløpet er en viktig del av systemet og må holdes rent for å unngå blokkeringer. Ved innløpet kan det plasseres enkle blokkeringer som noen steiner, dette kan hjelpe med å spre vannet ut i bredden ved små nedbørshendelser i tillegg til å stoppe løv og sand slik at det kan enkelt fjernes. Forsenkingen til regnbedet burde ikke være mer enn noen titalls centimeter, dette reduserer oppholdstiden til vannet og kan hindre muligheter for insekter som legger egg i vann, som mygg. Denne lave fordypningen gir også gode leveforhold til plantene som vokser i regnbedet og reduserer risikoen for at de drukner ved store nedbørshendelser. Volumet til regnbedet bør ikke være mer enn at vannet kan infiltreres bort innen 2-3 dager. Nedsenkningen i terrenget sikrer også fordrøyning og infiltrering av vannet.

Regnbed kan bli konstruert i naturlige vannveier med gode infiltrasjonsforhold. Eller så kan regnbed bli helt menneskelaget hvor grunnmassene er fraktet til regnbedet. Dette er mer nødvendig når grunnforhold ikke egner seg til infiltrasjon. Regnbed blir tilsatt vekst jord der det trengs for at plantene skal få fine vekstforhold. Plantene i regnbedene må tåle både våte og tørre perioder. De plantene som står lavere i bedet må også tåle å stå under vann i et par døgn. Fallet i regnbed skal ikke helle mot bygninger for å unngå vannskader. For å unngå skader på omgivelsene ved store nedbørshendelser burde regnbed anlegg utstyres med et overløp til avløpsnett eller en eventuell flomvei. Dette er viktigere jo større anleggets nedbørsfelt er og infiltrasjonsevnen til grunnen. Overløp til avløpsnett kan utformes som en sandfangskum hvor toppen av kummen er plassert høyt nok til å sikre mest mulig nedsiving i regnbedet. I visse tilfeller er det behov for ekstra volum til forsinkelse. I områder med ekstra gode infiltrasjonsevner kan det suppleres med magasin. Disse magasinene kan plasseres under og ved siden av. Regnvannskassetter er dimensjonert for trafikklast og kan plasseres under veier og parkeringsplasser for å supplere regnbedet med volum.



Figur 14: Eksempler på regnbed i forskjellige størrelser hentet fra NVE rapport (NVE, 2013)

$$Q_{dim} = I_{dim} \times \varphi \times A_{tak} \quad (5)$$

Q_{dim} : Dimensjonerende vannføring til regnbed

I_{dim} : l/s/ha, ved private boliger og små forretningseiendommer kan 180 l/s/ha. Hvis det er tette flater hvor snø akkumuleres skal det ta hensyn til plutselig høy avrenning på grunn av snøsmelting.

φ : Avløpskoeffisient, den delen av regnvannet som renner av de tette flatene på eiendommen. Kan stort sett settes til 1,0.

A_{tak} : arealet til alle tette flater som renner til regnbedet. Ikke bare tak.

Det er to eller tre deler av et regnbed som bestemmer hvor stor vannmengde regnbedet kan håndtere. Ut fra disse delene kan den tillate vannmengden beregnes ved et kjent fordypnings areal, eller beregning av fordypnings areal som kreves til en kjent vannmengde.

Første del er fordrøyning i rent volum. Det oppnås ved en lokal synking i terrenget enten naturlig eller konstruert. Gjennomsnittlig dybde multipliseres med arealet. En maksimal dybde på 15-20cm vil være tilstrekkelig med tanke på planter og oppholdstid.

Andre del er fordrøyning i vekstjorden. Det er det øverste laget med jord i regnbedet under overflaten. Tykkelsen til jordlaget ned til et eventuelt nedsivingslag ganger arealet gir volumet til vekstjoden. Dette ganges med hulrommet til jorden i %, for eksempel 10%.

Tredje del er fordrøyning i et eventuelt nedsivingslag. Samme som i andre del er det tykkelsen på laget gange arealet, ganger hulrommet i prosent %, for eksempel 25%.

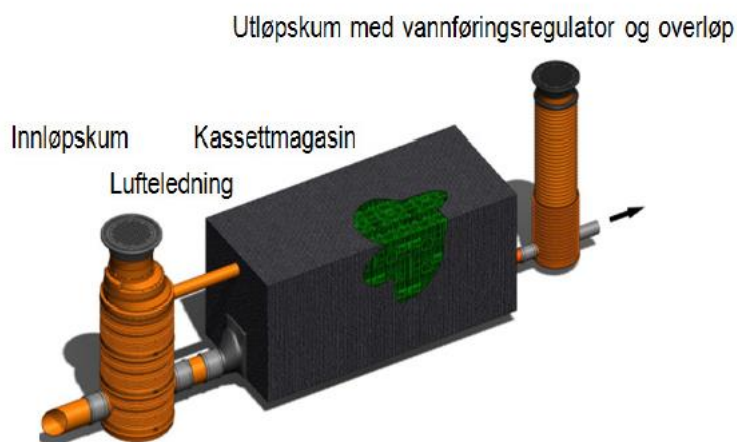
Ut fra disse beregningene kan man finne ut om estimert vannmengde er for stor. Ved behov kan man også beregne hvor stort volum med plastkassetter som trengs for å ta unna resterende vannmengde.

(VA-Miljøblad nr: 106, 2013)

3.4 Lukkede fordrøyningmagasiner

Lukkede fordrøyning magasiner er volumer som stort sett står tomme når det ikke regner. Disse lukkede magasinene er generelt delt inn i to typer: Magasin med åpent volum og magasin med lukket volum. Magasin med åpent volum er store kammer som vannet renner gjennom, typisk utvidete rør eller tanker med innløp i ene enden og utløp med mengderegulator for å fordrøye vannmengden. Disse magasinene er mer arbeidskrevende å installere, men har en forutsigbar kapasitet og det er få faktorer som kan endre kapasiteten. Magasin med lukket volum er typisk steinmagasin eller kassetter som bruker infiltrasjon til å redusere vannmengdene. Ulempen med disse er at kapasiteten er veldig følsomme for grus og stein som kommer sammen med vannet, og en eventuell økning i grunnvannstand. Fordrøyning med lukkede magasiner vil kreve installasjon av oppstrøms anlegg. Siden kapasiteten og vedlikeholdssiden er sterkt påvirket av mengden partikler som sand og grus i vannet er oppstrøms sandfang en naturlig løsning for å forlenge levetiden til magasinene.

3.4.1 Plast kassetter



Figur 15: Typisk anlegg med kassetter (VA-Miljøblad nr: 104, 2012)

Plastkassetter er et fordrøyningmagasin laget av plast. Disse magasinene har 95% hulrom som er veldig størrelseseffektivt for denne typen magasin. Figur 15 viser et typisk oppsett for et plastkassetanlegg. Magasinet skal pakkes inn i fiberduk for å hindre at masser trenger inn, jevne ut belastning å stabilisere konstruksjonen. Hvis man vil unngå infiltrasjon i grunnen eller steder hvor grunnvannstand står over kassettbunn kan man pakke inn hele magasinet i en vanntett duk. Det er viktig at kassetene holdes fri for sand og lignede, derfor monteres et sandfang enten rett foran magasinet som en del av anlegget eller lengre oppstrøms. Oppfylling av magasinet skjer av seg selv siden utløpsrørets diameter er mindre enn innløpets. (Wavin, 2007)

3.5 Grønne løsninger



Figur 17: En grønn grøft med hinder for å holde vann tilbake til infiltrasjon og fordrøyning. (VA-Miljøblad nr: 106, 2013)



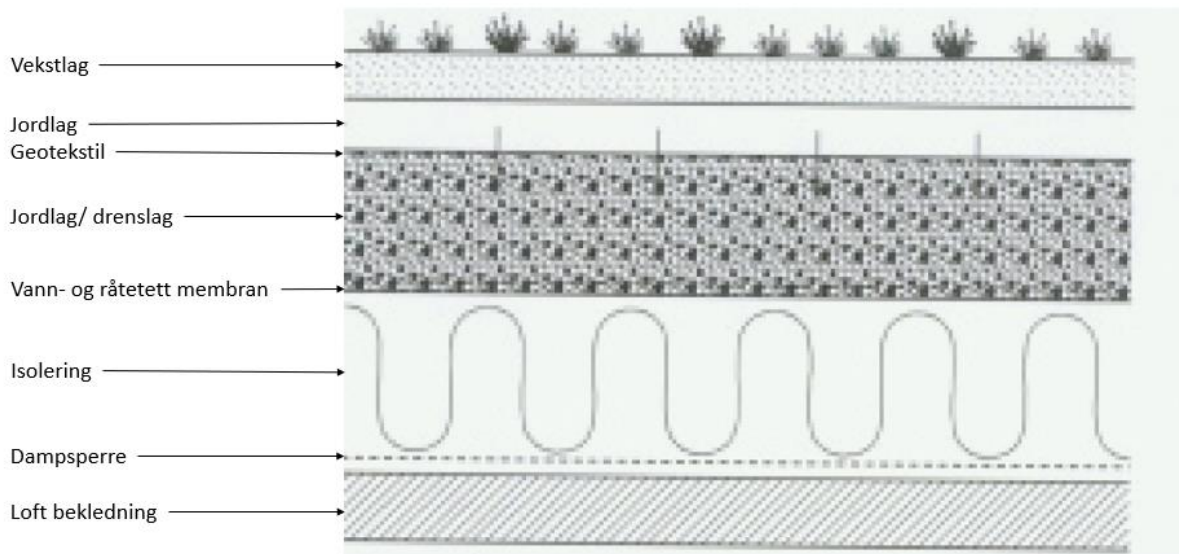
Figur 16: Typisk grønt tak på en bolig. (VA-Miljøblad nr: 107, 2013)

Det er mye synlig vann i byer under en intens nedbørshendelse. Dette er stort sett på grunn av at urbanisering og mengden med tette flater øker. Når det skjer renner vannet fortere og vannet samler seg i kummer å rør fortere. En løsning på dette er grønne overflater for å forsinke vannet. Grønne tak er den mest vanlige av grønne overflater. Dette er at man bytter ut de tette flatene som vanligvis er på taket til grønne tak. Dette fører til alt at vannet som ville raskt ha forsvunnet ned takrenna bruker mye lengre tid.

I bymiljø er det den korte tiden vannet bruker fra nedslaget til ledningsnettets som er hovedgrunnen til belastningen på ledningsnettets blir for stor. Derfor er alle løsninger som får vannet til å bruke litt ekstra tid fra der det lander til nærmeste kum viktig. (VA-Miljøblad nr: 107, 2013)

3.5.1 Grønne tak

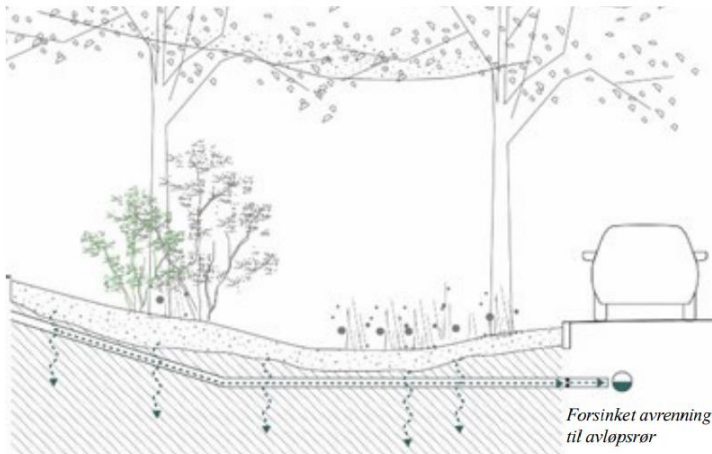
Grøntareal konstruert for å forsinke nedbør på toppen av en bygning kan betegnes som et grønt tak. Tradisjonelt er tak av metall, stein eller shingel hvor vannet renner vekk så fort som mulig. Grønne tak har egenskapen til å holde igjen små regnbyger eller forsinke vannet fra større regnbyger. Oppbygningen av grønne tak er forskjellig fra tak til tak, hvor stor helning er det, hvor stort areal skal bli grønt, hvilke planter skal gro der, osv. Den prinsipielle oppbygning er nokså lik uavhengig av tak.



Figur 18: Prinsippskisse av oppbygningen til grønne tak (VA-Miljøblad nr: 107, 2013)

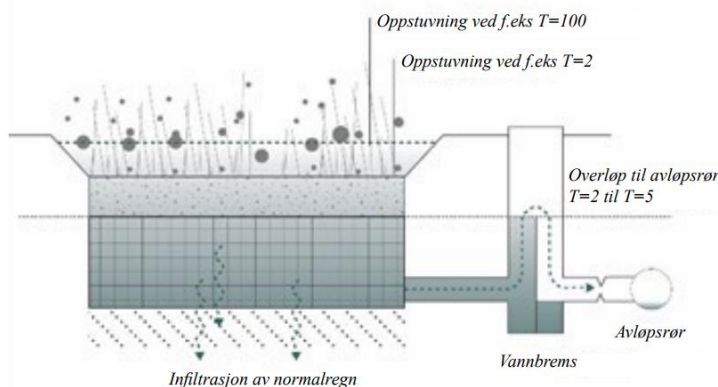
Absolutt alle grønne tak skal ha vann- og råtetett membran under det grønne taket. Denne membranen må tåle vekt og påkjenning fra taket gjennom alle sesonger. Den skal være helsveiset, altså ingen overlapp hvor vann kan snike seg inn over tid. Hvis membranen ikke er bra nok reduseres levetiden på hele takkonstruksjonen på grunn av vannskader og råte. Over membranen er det et drenslag hvor vannet skal sige ned å renne av taket. Geotekstil legges over drenslaget for å hindre røtter og annet levende materiale i å redusere kapasiteten til drenslaget. På toppen er det jord-/vekstlag hvor planter og gress skal vokse. (VA-Miljøblad nr: 107, 2013)

3.5.2 Vadi – Grønn vannvei



Figur 19: Vadi med infiltrasjon og drenering til avløpsrør (Gabriel & Fiil, 2016)

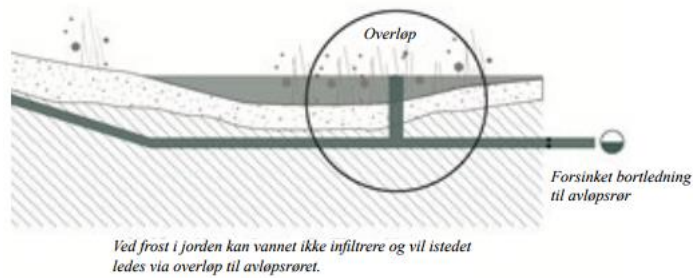
Grønne vannveier er grunne grøfter som er dekket med gress eller annen beplantning, og kan ta imot overvann fra alle overflater. Så lenge kapasiteten til grøftene ikke overskrides fungerer de som grønne infiltrasjonsanlegg hvor vannet trekkes ned i jorden. Grøftene holder igjen partikler og jorden virker som et filter som renser vannet. Vegetasjonen opprettholder biologisk aktivitet som i gjengjeld bryter ned organisk forurensing. Hvis det er helning i grøften kan den deles opp i seksjoner. Dette fordeler vannet og forsikrer jevn infiltrasjon, i tillegg at vannet forsinkes. Vannet kan endelig avledes ned til grunnvannet eller forsinket og renses ledes av drensrør til avløpsnett. Det kan være lurt å koble vadien på avløpsnett via drensrør med tanke på situasjoner hvor nedsivningsevnen er redusert. Ved etablering av vadier må man ta hensyn til at under ekstremnedbør vil vadiene oversvømmes å fungere som flomvei. Det er derfor lurt å ta hensyn til hvor vannet føres i en flomsituasjon.



Figur 20: Vadi kombinert med plastkassetter og overløp til avløpsrør. (Gabriel & Fiil, 2016)

I områder som har gode infiltrasjonsforhold kan vadier bli konstruert som infiltrasjonsanlegg med eller uten fordrøyningsvolum. Vadiene blir dimensjonert slik at de holder tilbake

normalregn og forsinker/leder ekstremregn. I dimensjoneringen må man vite arealet til nedbørsfeltet som renner til vadien, infiltrasjonsevnen til grunnen der vadien skal være i tillegg til gjentakintervall og intensitet til nedbørshendelsene vadien skal klare å håndtere. Hvis vannveien blir delt opp er det greit å dimensjonere vær enkelt av seksjonene. For ekstra fordrøyningsvolum kan vadier ligge oppå plastkassetter.



Figur 21: Vadi med hevet overløp til avløpsrør (Gabriel & Fiil, 2016)

I områder hvor det er uegnede grunnforhold til infiltrasjon konstrueres vadiene med bunndrenering til avløpsrør. Dreneringen kobles til avløpsnett/overvannsnett via et overløp som stikker opp av bakken for å heve maksimal vannstand og dermed øke fordrøyningsvolum til vadien. Siden overløpet stikker opp av bakken blir oppholdstiden til vannet lenge ved normalregn og mest mulig vann infiltreres. Disse vadiene kan dimensjoneres som fordrøyningsbasseng. Med oppstuvning på overflaten og vannbrems på koblingen til nettet. Vannbremsen vil begrense påslipp å unngå at belastningen blir større enn kapasiteten til avløpsrøret. (Gabriel & Fiil, 2016)

3.6 Åpen Flomvei

Når det er for mye vann til infiltrasjon og når fordrøyningsvolumene ikke strekker til og ledningsnettets er fullt, da finner vannet korteste vei til nærmeste resipient. I naturen vil vann samle seg å lage bekker mot nærmeste elv som igjen renner mot havet. Store elver er naturens flomvei, men i byene er det ikke alltid store elver. Selv om det er elver må vannet komme seg dit. i et urbant område som ikke har forberedt seg på flom kan vannet gjøre store skader.



Figur 22: Flomveier har forskjellige størrelser, illustrert her (VA-Miljøblad nr: 93, 2016)

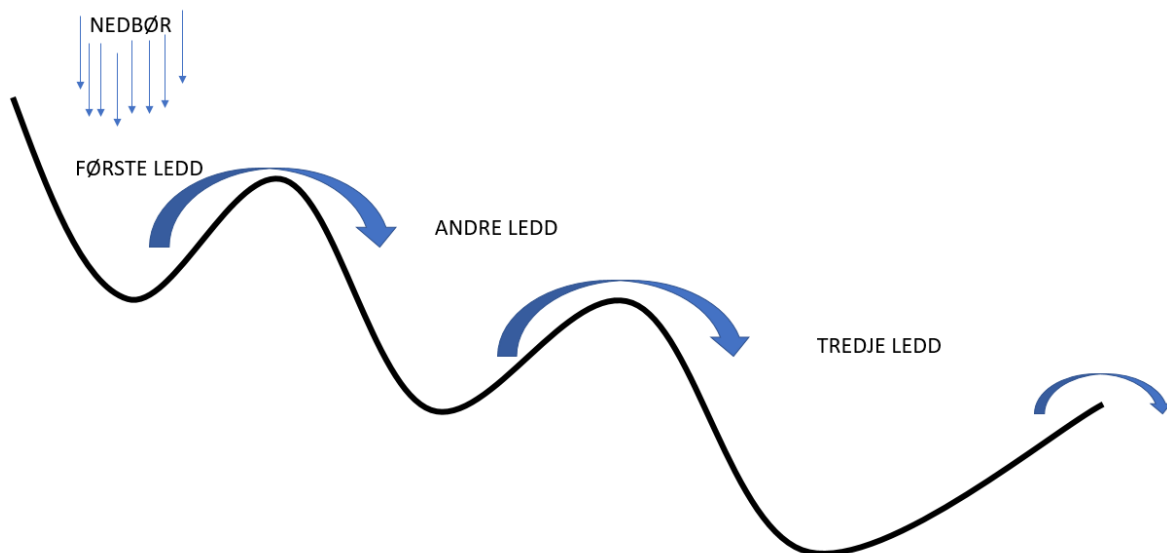
I figuren over er det illustrert hvordan et nettverk av flomveier i et urbant område jobber sammen til å føre overvannet vekk. Små flomveier møtes og danner større, akkurat som bekkene og elvene i naturen. Flomveier har betydelig bredde for å håndtere store mengder vann nedstrøms i et nedbørsfelt. Dette kan være store kanaler eller nedsenkninger i terrenget. Det er veldig fornuftig å bruke naturlige vannveier som flomvei. Da vet man at vannet vil renne der og at vann naturlig samles opp der. Man kan oppnå dette med å bygge ut elver. Oppstrøms trenger ikke flomveiene å være så store. Åpne renner langs veien og hevet gangfelt (la veien være flomvei) er eksempler på små flomveier som passer oppstrøms i nedbørsfeltet.

Flomveier trenger ikke å stå tomme når de ikke er i bruk. Man kan konstruere flomveier med hensyn på rekreasjon, parkering, lekeplasser etc. Dette fører til et positivt løft på bymiljøet i tillegg til flomsikring.

(VA-Miljøblad nr: 93, 2016)

3.7 3-ledds strategien

Lokal overvannshåndtering betyr at man skal håndtere vannet etter beste evne så nært der det faller ned som mulig altså lokalt. Det er flere måter å ta hånd om vannet lokalt. Infiltrasjon er en metode. Infiltrasjon er når vannet trekker seg gjennom en flate som ikke er tett. Infiltrasjon tar unna vannet, men bare små mengder siden vann kan bruke lang tid på å trekke seg ned i bakken. En vanlig måte å utnytte infiltrasjon i urbane områder er parker eller regnbed. Her har du arealer med jord eller andre flater vannet kan filtreres ned i. En annen måte å håndtere vannet på er fordrøyning, altså skape forsinkelser. Dette fører til at vann bruker lengre tid fra der det faller ned til nærmeste resipient. Tid er veldig viktig når det kommer til avrenning. Mye vann over kort tid kan føre til flom og store skader. Mens like mye vann over lengre tid gir rørene og infiltrasjonen lengre tid til å ta unna vannet som gjør at belastningen ikke overgår kapasiteten til ledningsnett. Det er flere måter å forsinke vannet. Grønne flater (vegger, tak og parker) og store volumer som står tomme når det ikke er nedbør. Når nedbøren kommer kan volumene fylles før kapasiteten på ledningsnett overskrides. Innen overvannshåndtering er det noe som heter treledd-strategien som skal bli nærmere forklart senere i dette kapitlet.



Figur 23: Egenprodusert illustrasjon av strategi først formulert i Norsk vann rapport 162. (Lindholm O. , et al., 2008)

Denne strategien har satt overvannshåndtering i system. Første ledd i figur 23 er infiltrering. Det vil si at det første leddet skal ta unna små mengder nedbør i nedbørsfeltet. Andre ledd er fordrøyning. Jobben til dette leddet er hovedsakelig å forsinke/ holde igjen vannet. Tredje leddet er sikre flomveier. Når det er store nedbørmengder kan verken dammer eller rør ta

unna vannet. I disse tilfellene er det viktig å tenke på skadesikring å få vannmengdene til å samle seg i flomveier å renne til resipient.

Et viktig element i 3 ledd-strategien er at hvert ledd hjelper det neste leddet. Når andre ledd blir tatt i bruk har allerede første ledd begynt å infiltrere og har redusert overflate avrenning. På denne måten er det mindre vann til fordrøyning enn det ville vært uten første ledd. Når tredje ledd blir tatt i bruk har første ledd begynt å infiltrere, å redusere overflate avrenning. Andre ledd har store volumer som vannet samles i, slik at mengden vann som når flomveiene er mye mindre enn det ville vært uten de to første leddene.

Første ledd: Infiltrasjon og reduksjon av overflateavrenning

Infiltrasjon er at vann renner gjennom et porøst medium ved hjelp av gravitasjon. I forbindelse med overvannshåndtering er infiltrasjon første steg for å ta unna små mengder nedbør. I bebygde områder er det mindre og mindre permeable overflater tilgjengelig for infiltrasjon. Dette er en direkte årsak til flom i byer når det er høy nedbørintensitet. Permeable overflater gjør mer enn bare å ta unna små mengder vann, de reduserer overflateavrenning.

Når nedbørshøyden er mindre enn 20mm er målet til treledd-strategien at dette vannet skal samles, stoppes og infiltreres. Infiltrasjon kan brukes til lett rensing av overvannet og hjelpe til med å opprettholde grunnvannsnivået. Det er flere metoder å infiltrere overflatevann på.

Tabell 4: Oversikt over infiltrasjonsmuligheter (Ødegaard, et al., 2014, s. 356)

Type LOD-anlegg	Formål	Beskrivelse
Infiltrasjon fra terreng	Reduserer overflate-avrenning	Overvann ledes ut på terreng og infiltreres derfra.
Infiltrasjon fra åpne gresskledde grøfter		Infiltrasjon fra avrundete åpne gress-kledde grøfter
Infiltrasjonsdammer	Unngår grunnvanns-senkning	Infiltrasjon fra bunn og sider
Infiltrasjon gjennom porøs overflatebelegning		Infiltrasjon gjennom porøs asfalt eller via fuger i gatestein og andre belegg
Lukkede infiltrasjonsgrøfter	Rensing	Infiltrasjon i lukkede grøfter til jordmassene
Grønne løsninger	Reduserer overflate-avrenning	Tilbakeholdelse av den første delen av regnskyll

Andre ledd: Fordrøyning

Et mål i dette leddet er å holde tilbake nedbør på opp til 40mm. Holde tilbake nedbøren ved hjelp av volum med god kapasitet som vannet føres til. Disse volumene kan være dammer, våtmarker eller lukkede magasiner. Et annet mål er å redusere belastningen på ledningsnett.

Dammer og våtmarker er senkede arealer i terrenget med et åpent vannspeil. Disse områdene kan ha mye større kapasitet enn lukkede magasiner til en lavere kostnad. Når det er store nedbørsmengder blir vannet ført til fordrøyningsvolumene og reduserer mengden vann som slippes på nettet. Fordrøyningen vil redusere belastningen på ledningsnett. Når det kommer store ekstreme nedbørshendelser vil ikke tverrsnittet til røret være tilstrekkelig til å håndtere belastningen. Når belastningen blir for stor renner vannet enten videre eller danner dammer. Derfor er det lurt å ha flere åpne vannveier til fordrøyningsmagasin der vannet blir lagret på en sikker måte til ledningsnett kan ta unna.

Tabell 5: Oversikt over LOD-prinsipper og LOD-anlegg som omhandler fordrøyning (Ødegaard, et al., 2014, s. 256)

Prinsipp	Type LOD-anlegg	Formål	Beskrivelse
Dammer	Våte dammer uten fordrøyningsvolum. (permanent men varierende høyde på vannspeilet)	Rensing	Rensing ved sedimentering og biologisk aktivitet mens overvannet passerer gjennom anlegget. Tilløpet medfører vannutskifting.
	«Tørre» dammer. Vannet synker ned i grunnen og dammen blir «tørr»	Fordrøyning og rensing	Dammene dimensjoneres vanligvis for 24 timer. Partikulært materialet sedimenterer
	Våt dam med fordrøyningsvolum	Fordrøyning og rensing	Rensing skjer hovedsakelig i permanent vannvolum
Lukkede magasiner	Steinmagasiner	Fordrøyning	Vannet fordrøyes i porevolumet i steinmassene eller plastkassetter
	Plastkassetter	Fordrøyning	Rørene overdimensjoneres. Utløpet struper
Våtmark	Rørmagasin	Fordrøyning	
	Grunt, vanddyb < 15cm	Rensing og fordrøyning	Våtmarksområdet med betydelig utstrekning
	Dam med etterfølgende våtmark	Rensing og fordrøyning	Vanligvis betydelig mindre enn foregående våtmark, men vanddyb er større (15-45cm)
	Våtmark med stort fordrøyningsvolum	Rensing og fordrøyning	Permanent vannvolum med overliggende fluktuerende fordrøyningsvolum

Tredje ledd: Sikre flomveier

Når det kommer mer nedbør enn første og andre ledd kan håndtere skal tredje ledd være en forsikring mot oversvømmelser å redusere skader. Ved nedbør over 40mm vil ikke kapasiteten til dammer og våtmark være tilstrekkelig. Sikre flomveier vil da være nødvendige. Flomveier er til for å føre vannet på en sikker måte til resipient når resten av systemet ikke strekker til. Det er flere metoder for å skape sikre flomveier.

Naturlige flomveier kan være elver eller bekker som renner gjennom det urbane området. Hvor vannspeilet til elven når den benyttes som flomvei vil være betydelig høyere enn ordinær vannstand. I visse tilfeller kan det være viktig å sikre elvebredden mot erosjon for å hindre skader. Flomveier kan også være konstruert uavhengig av naturlige vannveier. Kunstige flomveier er alt fra nedsenkede veier til menneskelagde vannveier.

3.8 Overvann som ressurs

Overvann kan være et problem hvis det blir for mye i urbane områder. Gjennom urbanisering blir grønt areal fjernet, åpne vannveier blir lagt i rør eller omdirigert. En generell årsak til dette er at vannet renner nedover veier og langs bygninger og skaper problemer. Hvis overvannssystemet i et urbant område er satt sammen slik at rør skal ta unna vann blir det et problem når det kommer for mye nedbør, men det trenger ikke å være sånn.

Hvis overvannssystemet blir strategisk satt sammen kan man bruke vannet som en ressurs. Ved å åpne bekker å bygge åpne overvannsløsninger lager man et grunnlag for biologisk mangfold. Bekker og dammer er små økosystemer for smådyr og planter. Dette skaper et estetisk miljø, og et område mennesker kan ferdes samt nyte naturen midt i bymiljøet.

3.9 Problemer med overvann

- **Erosjon**

Vann med stor fart som drar med seg sand og småstein er som sandpapir som pusser vekk elvebredden. Dette kan forårsake materielle skader hvis elvebredden raser ut.

Derfor er det viktig å erosjons sikre elver som går gjennom urbane områder for å beholde det estetiske selv etter en flom situasjon.

Det er enda viktigere å erosjons sikre flomveier, selv om disse blir sjeldent tatt i bruk er det mere vann med større fart som fører til at erosjon går mye fortere enn vanlig vannføring.

- **Forurensing**

Overvann i urbane strøk inneholder svært mye miljøgifter. Miljøgifter som Cd, Hg, Pb og organiske miljøgifter. (Ødegaard, et al., 2014, s. 361)

- **Smitte**

Ikke veldig vanlig i urbane strøk, men dyr kan ligge døde i elver/bekker høyere opp i nedbørsfeltet. Dyr og barn kan bli smittet hvis de leker i vannet.

Det er mer vanlig mer vanlig med lekkasje på avløpsnett i urbane områder. En eventuell flom kan dra urensset kloakk ut i dagen hvor mennesker kan bli smittet

- **Vannskade**

Høy vannstand i elver og flom kan føre til kjelleroversvømmelser. Overvann ute av kontroll kan forårsake skade flere steder i et urbant område.

- **Flom**

Når kummene i et urbant område ikke strekker til begynner vannet å renne oppå veien og følger gravitasjonen ned mot nærmeste resipient. Flommer kan skape store materielle ødeleggelse, men også i visse tilfeller personskaade.

4. Eksisterende Lovverk

Vannressursloven (2000, § 7) andre ledd sier:

«Utbygging og annen grunnutnytting bør fortrinnsvis skje slik at nedbøren fortsatt kan få avløp gjennom infiltrasjon i grunnen. Vassdragsmyndigheten kan gi pålegg om tiltak som vil gi bedre infiltrasjon i grunnen, dersom dette kan gjennomføres uten urimelige kostnader.» Kommunen som vassdragsmyndighet får her hjemmel til å gi pålegg til grunneiere/utbyggere om tiltak for å øke infiltrasjonsevnen til grunnen. Gitt at tiltaket ikke blir urimelig kostbart.

Forurensingsloven regulerer ansvar for skade forårsaket av avløpsledninger (1981, §24 A).

«Anleggseieren er ansvarlig uten hensyn til skyld for skade som et avløpsanlegg volder fordi kapasiteten ikke strekker til eller fordi vedlikeholdet har vært utilstrekkelig.» Hvis tiltak er gjort i nedbørsfeltet til avløpsledningen som fører til at kapasiteten ikke strekker til er det i utgangspunktet anleggseier som står ansvarlig uansett hvem som har gjort tiltakene. Ansvaret kan derimot i visse tilfeller lempes.

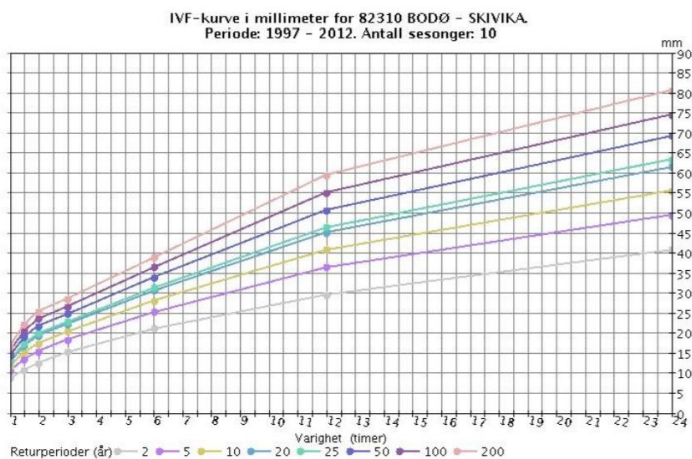
Andre aktuelle lovverk:

- Plan og bygningsloven (TEK 17)
- Naboloven
- EU vanndirektiv
- Rammedirektivloven
- Vannressursloven

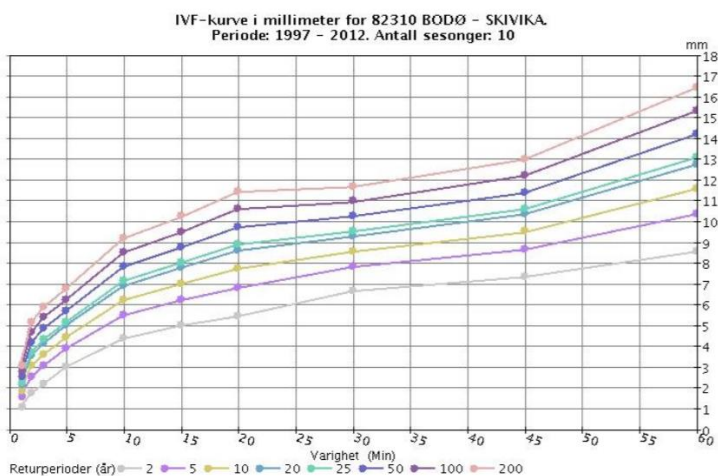
5. Prinsipper for overvannshåndtering i Bodø

Bodø kommune ligger midt i Nordland fylke nord for polarsirkelen. Kommunen har 51 000 innbyggere med en forventet befolkning på over 60 000 innen 2040 (SSB, 2017). For å ta imot denne befolkningsveksten har Bodø kommune planlagt en stor utbygging av byen. Prosjektet blir kalt «Ny by – ny flyplass». Utbyggingen har ikke starten ennå som gir kommunen mulighet til å implementere overvannstrategier tidlig i planfasen.

I Bodø er det to nedbørmålere. Den ene måler ble satt opp i 1953 ved bodø lufthavn. Fra denne måleren kommer nedbørsstatistikken som er vedlagt (vedlegg 1,2 og 3). Den andre måleren ble satt opp i Skivika i 1996. Med målinger fra perioden 1997 til 2012 ble det konstruert IVF kurvene i figur 23 og 24. Disse kurvene skal brukes til å regne ut dimensjonerende avrenning for fremtidens overvannsystemer.



Figur 24: IVF kurve Bodø mm fordelt på timer (Meteorologisk institutt, 2017)



Figur 25: IVF-kurve Bodø mm fordelt på minutter (Meteorologisk institutt, 2017).

5.1 Tidligere hendelser

5.1.1 Høy vannstand i Futelva

11.12.2013 kom det mye nedbør ned i Bodø (se vedlegg 1). Høyeste temperatur målt i desember 2013 var på denne dagen (8,8°C). Store nedbørsmengder og snøsmelting førte til vannstand på mer enn 50-årsflom. Bodø kommune fikk flomvarsel rød fra NVE, noe som innebærer stor sannsynlighet for flom. Kommunalt beredskap satt raskt gang i arbeidet med å bygge voller for å ha kontroll på vannet. (Grønlie & Trellevik, 2013)

Meteorologisk institutt har en oversikt over uavhengige episoder av maksimalt observerte nedbørshøyder med returperioder 1,2 og 3 døgn (vedlegg 1,2 og 3). 11.12.2013 er 6. mest ekstreme nedbørshendelse når returperioden er 1 døgn (41,7mm), 9. ved 2 døgn (55,1) og 9. ved 3.døgn (67,0mm). Dette tyder på at nedbør er ikke den eneste faktoren til høy vannstand i elva. Selv om det regnet 41,7mm på 11.12.2013 er det nesten halvparten av nedbørshøyden til regnet som falt 15.09.1988 som var på 72,7mm uten noe spesielt høy vannstand i elva. Snø er en veldig viktig faktor når det kommer til flom. Under er det bildet av elva, før og under flommen.



Figur 26: Bildet av Futelva tatt av google steetview april 2010



Figur 27: Bildet av Futelva. bildet tatt 11.12.13 av Emilie Grønner

5.1.2 Vann i flere kjellere

23.09.2015 målte nedbørmåleren ved Bodø lufthavn 31,5mm på 12 timer hvor trolig halvparten kom på en time. Et resultat var en oversvømmelse i et parkeringshus hvor gulvet var under 6-7cm vann og vann strømmet opp av en kum. Brannvesenet måtte pumpe en kjeller i Bodø sentrum. Grunnen til oversvømmelsen er trolig lang tørkeperiode som har samlet mye støv og dritt i kummene. (Severinsen & Robertsen, 2015)

5.2 Uførte tiltak

5.2.1 Kommunalteknisk norm

I Bodø kommunes kommunaltekniske norm er det beskrevet at naturlige flomveier skal kartlegges og ikke bygges over i et utbyggingsområde. De definerer overvann som drensvann og avrenning fra tette flater. Overvann skal håndteres så mye det lar seg gjøre lokalt, og LOD tiltak som infiltrasjon og fordrøyning skal velges dersom forholdene ligger til rette for det. I enkelte tilfeller kan kommunen kreve at avrenning fra nye utbyggingsområder håndteres lokalt. I tillegg til dette så er det vist til 5 VA-miljøblad som omhandler overvannshåndtering.

5.2.2 Flomoverløp med sandfang til Bodøelva.

I 2017 ble det konstruert en avlastende vannvei til Bodøelva. Etter en beregning av Bodøelva sin vannmengde ved 200-årsflom ble det konstatert at elva ikke har den kapasiteten. For å hindre skader på bebyggelse langs elv ble det bestemt at et flomoverløp med en avlastende vannvei til sjø skulle bygges. Den beregnede vannmengden er på $18\text{m}^3/\text{s}$ hvorav $16,5\text{m}^3/\text{s}$ skal gå i overløpet og $1,5\text{m}^3/\text{s}$ skal gå videre i elva. Overløpet renner inn i vannveien på 980m hvor 680m er fjelltunnel med $15,8\text{m}^2$ tverrsnitt og 300m er kulvert Ø2500 fordelt på inntak og utløpet til fjelltunnelen. Det er også et sandfang ved overløpet. (Zweiniger, 2016)

5.2.3 Kontinuerlig separering av avløpsnett.

Bodø kommune utfører kontinuerlig oppgradering og separering av avløpsnett.

5.2.4 Utbyggers plikt

Ved alle nye prosjekter skal det gjøres en vurdering av utbygger om kapasiteten til eksisterende ledningsnett kan håndtere den økte mengden overvann. Dette blir viktigere ved større byggeprosjekter. (Bodø Kommune, 2014)

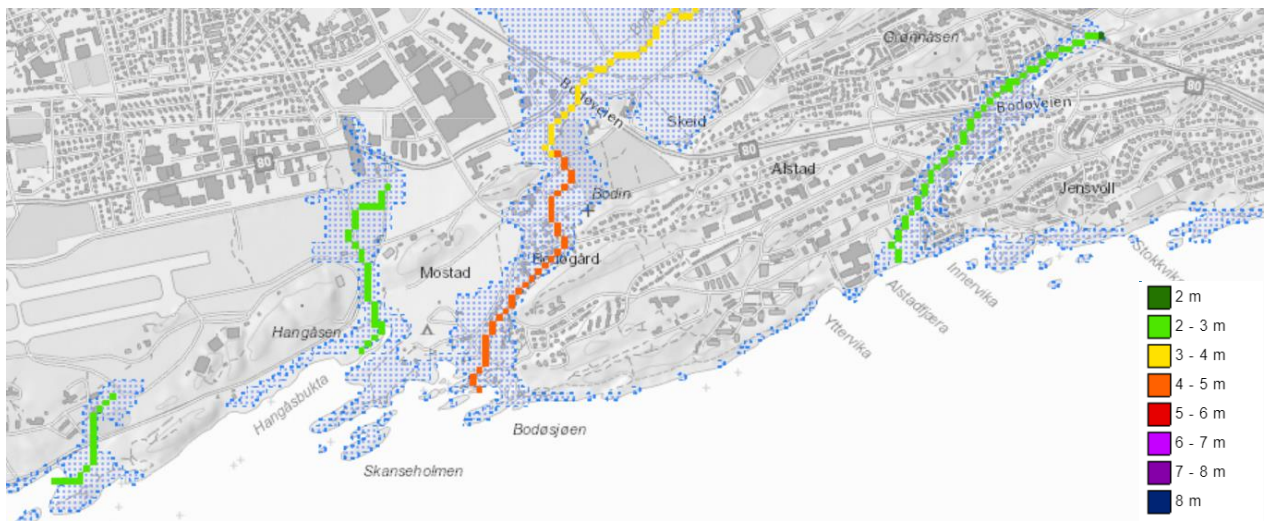
5.3 Flomsoner Bodø

Kart over utsatte flomsoner i Bodø. Blått området viser areal til vannspeil, farget linje viser økning av vannstand i meter. Kartene inneholder store usikkerheter og kan ikke brukes som fasit på hvor det blir flom, men de er en fin indikasjon på hvor i nedbørsfeltet man burde se litt nøyere. Spesielt hvis det er bebyggelse i nærheten. Alle kartene er hentet fra NVE sine nettsider. (NVE, Temakart - flomaktsomhet, 2017)

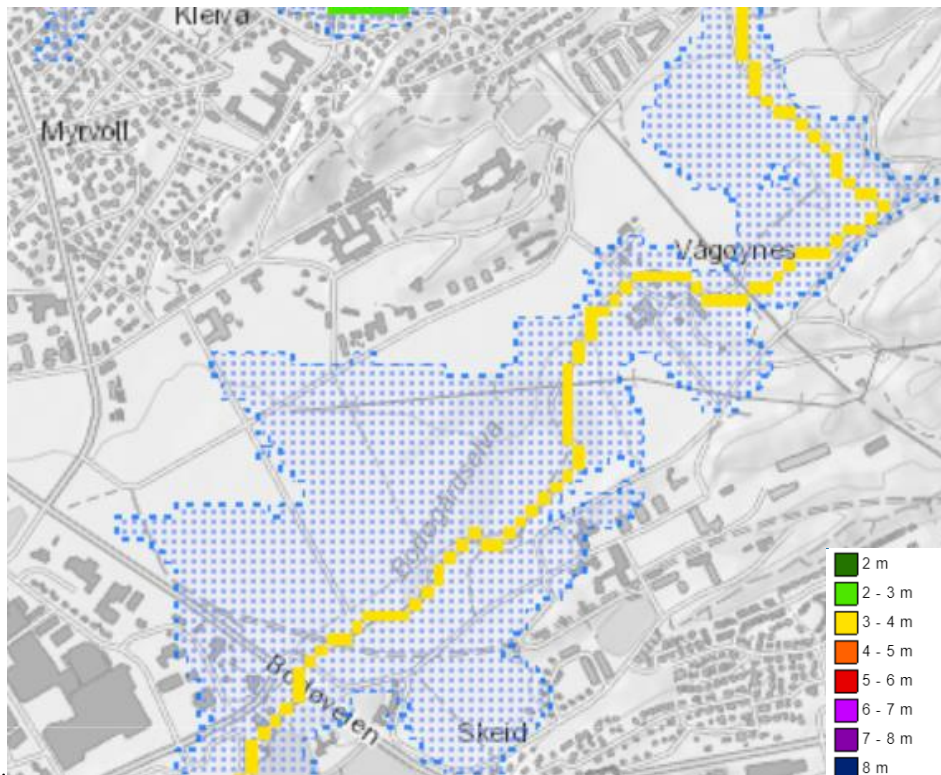
«Aktsomhetskart for flom er produsert på bakgrunn av hydrologiske modeller, basert på erfaring fra norske vassdrag og en digital terrengmodell. [...]

Metoden som er benyttet for å utarbeide aktsomhetskart er omtalt i NVEs Report no 07/2011 «Preliminary flood risk assessment in Norway: an example of a methodology based on a GIS-approach» (kap. 6). Vannstandsstigningen vil som oftest være betydelig overestimert ved bruk av denne metoden. En mer detaljert kartlegging vil derfor som regel redusere aktsomhetsområdenes utstrekning..

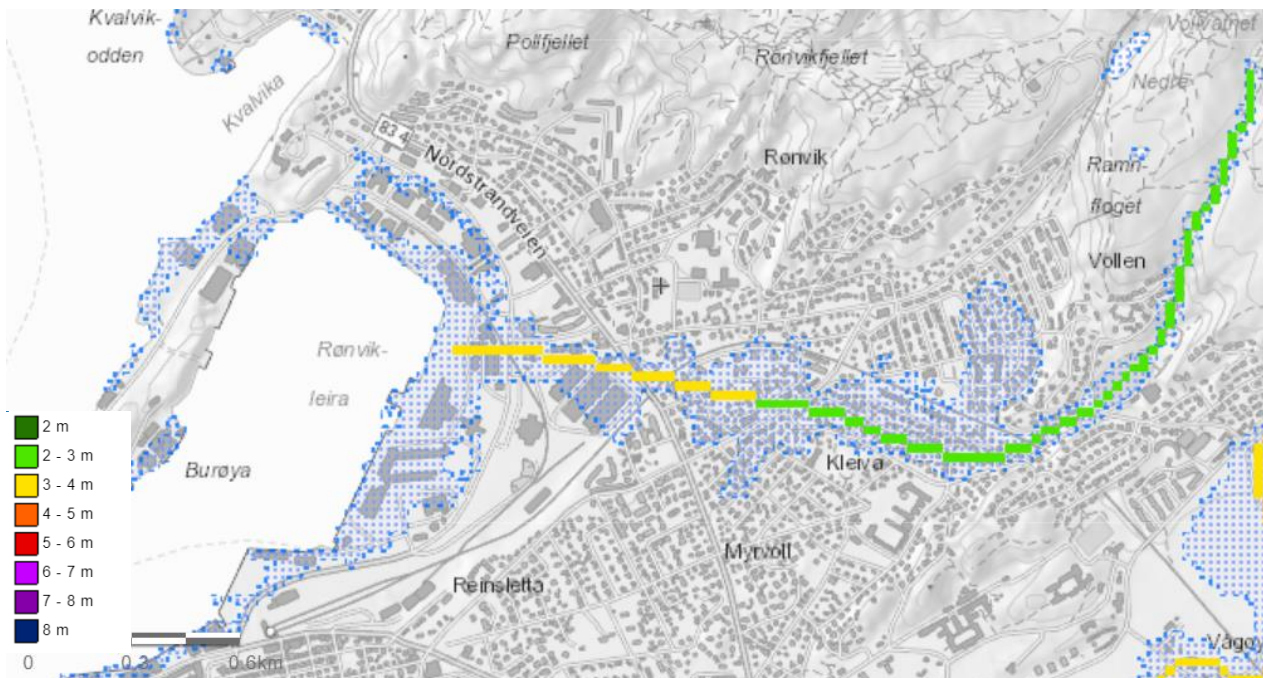
Riktig detaljeringsgrad vises når kartet vises når kartet betraktes i målestokk ca 1:50 000.» (NVE, Produktark flomaktsomhet, 2017)



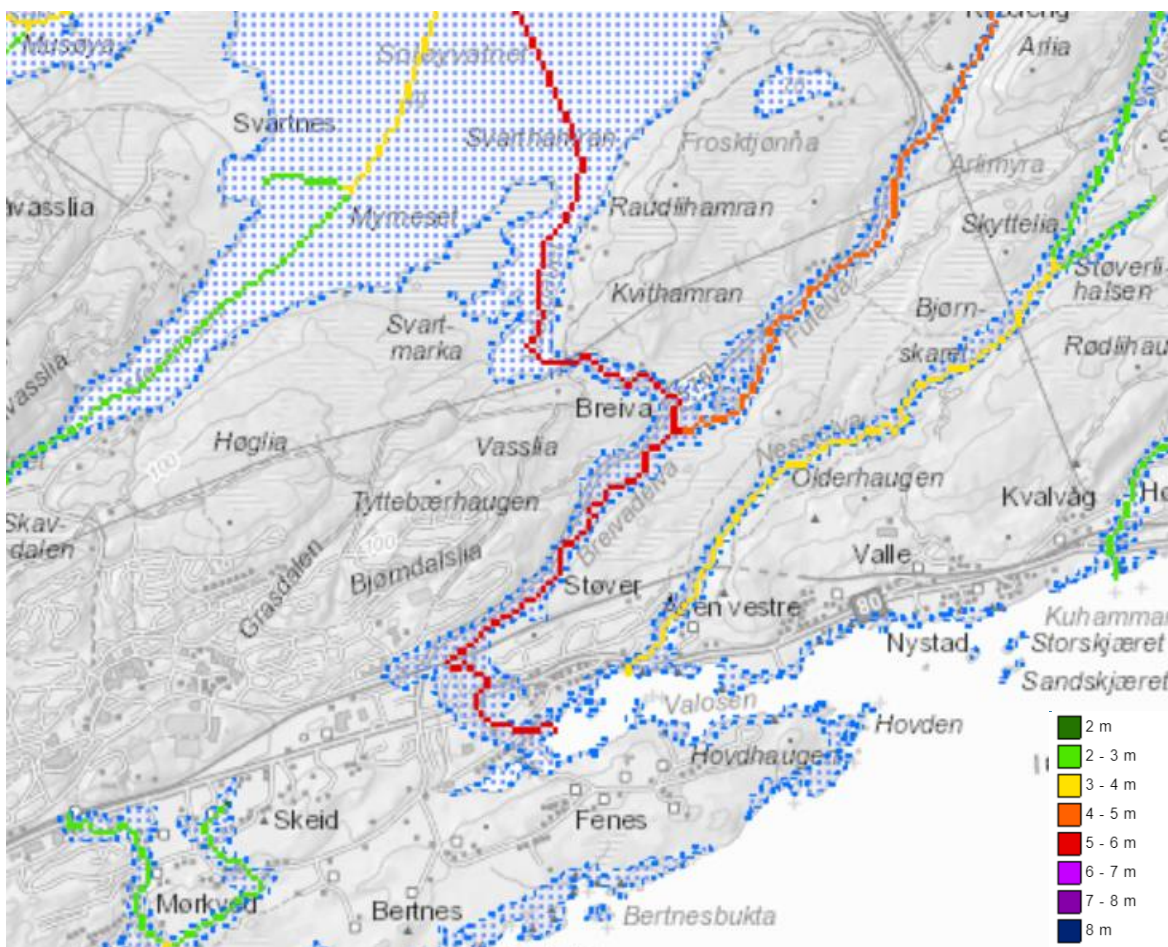
Figur 28: Flomsoner Bodøsjøen og Alstad. Fargene viser estimert økning i vannstand



Figur 29: Flomsone Bodøelva. Fargene viser estimert økning i vannstand.



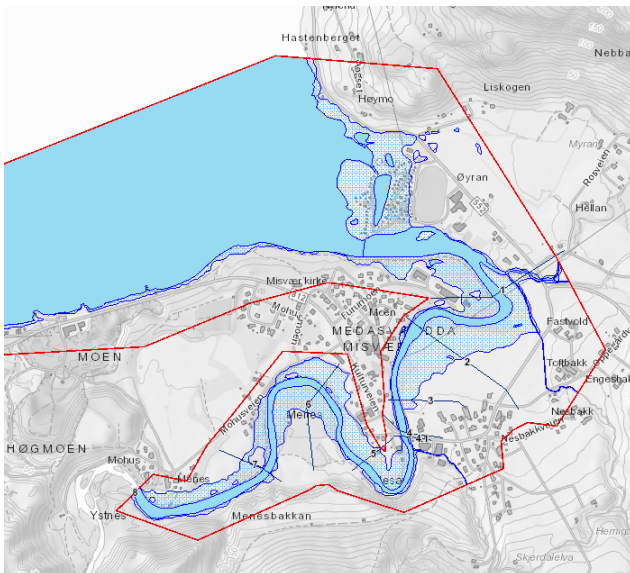
Figur 30; Flomsone Rønvik. Fargene viser estimert økning i vannstand.



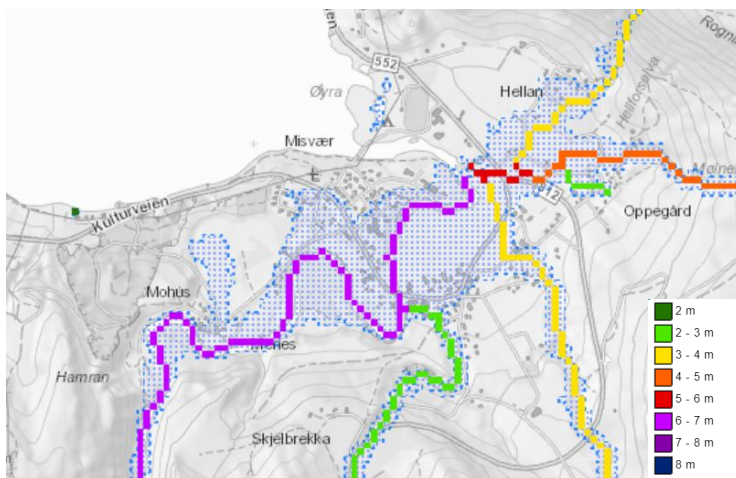
Figur 31: Flomsone Futelva. Fargene viser estimert økning i vannstand

5.3.1 Flomsone Misvær

For og illustrerer at flomaktsomhetskartene til NVE er veiledende skal jeg sammenligne flomaktsomhetskartet til Misvær med en flom beregning NVE gjennomførte i 2004. Beregningen ble gjennomført for 10-, 100-, 200-, og 500-årsflom, men jeg bruker bare 500-årsflommen. Under er det to kart, figur 31 inneholder flomsone til en beregnet 500-årsflom hvor dagens elv er helblå og flomsone er stiplet blå. Den beregnede modellen viser en vannstandøkning på ca. 1m ved 500årsflom. (NVE, 2004) Flomaktsomhetskartet viser en estimert vannstandøkning på 6-7m. Det er helt klart at det nederste kartet ikke er en spesifikt gjennomført beregning av nedbørsfeltet, men en god resurs for å vite hvor man skal begynne med flomsikring. Flomaktsomhetskartet belyser områder som kan oversvømmes i en ekstrem situasjon.



Figur 32: Flomsone for beregnet 500årsflom i Lakselva i Misvær



Figur 33: Flomaktsomhetskart over flomsone Misvær. Fargene viser estimert økning i vannstand

5.4 Mål for Bodø

Bodø kommune har ikke satt seg mål ved overvannshåndtering.

Naturlige og eksisterende flomveier bør føres inn i reguleringsplan og merkes som hensynssone.

Følgende må anbefales:

- Helhetlig overvannshåndtering i system fra nedslag til resipient
- Identifisere flomveier, hvor de er og hvor de trengs.
- Identifiser områder hvor LOD er nødvendig
- Sette inn tiltak som forhindrer oversvømmelser i bebyggelse
- Benytt overvanns mest mulig som ressurs
- Styrke biologisk mangfold i byen
- Redusere mengden overvann som tilføres avløpsnett
- Produsere estetisk attraktive utemiljø
- Gjenåpne naturlige vannveier

5.5 Potensielle tiltak

Under er det listet opp tiltak som Bodø kommune kan gjennomføre for å oppnå målene som er anbefalt.

5.5.1 Systematisk tømning av sandfang

Når man dimensjonerer avløpsrør i dag skal man dimensjonere med selvrensing. I denne beregningen forutsettes det at det ikke er noen partikler større enn 2mm tilstede i avløpsrøret. Studier i USA viser at når sandfang tømmes ved 33% fylling blir den maksimale mengden partikler holdt tilbake. Studiene viste også at når sandfangene hadde mellom 40% og 60% fylling, kan selv små vannmengder føre til omrøring i sandfang som fører til at partikler ikke blir holdt tilbake. For å unngå at gasser og luft fra avløpet kommer til overflaten konstruerer man sandfang med vannlås. En dykker på sandfangets utløp for eksempel. Dykkere hindrer også frostgang i ledningsnett. I noen tilfeller kan vannspeilet over utløpet fryse, hvis dette er tilfellet når det kommer mildvær og nedbør kan ikke vannet renne videre til ledningsnett. (VA-Miljøblad nr: 117, 2016)

Tiltak: Systematisk tømning av sandfang.

Formål: Redusere spredningen av miljøgifter. Redusere sand i avløpsnett. Redusere slitasje på rør (spesielt betong) og avløpspumper. Reduserer sedimenter i rørene som kan føre til gjentetting.

Resultat: Mindre miljøgifter til våtmarker, dammer, infiltrasjonsanlegg og renseanlegg. Mindre sand og partikler på avløpsnett. Mindre sjokkbelastning av partikler og miljøgifter på avløpsnett ved ekstremnedbør. Økt levetid på avløpsnett.

5.5.2 Koble takrenner fra kommunalt nett

Hvis man legger sammen overflaten til alle takene som renner inn på det kommunale nettet blir det store mengder tette flater. Fra disse flatene renner bortimot 100% av vannet til nettet og det renner fort. Fordelen med denne løsningen er at det er en veldig billig og effektiv løsning. En metode for å få innbyggerne i kommunen til å gjennomføre dette tiltaket selv er å betale dem for hvert nedløp som kobles fra. Dette har eksempelvis Fredrikstad kommune gjort som gir huseiere 100-400kr økonomisk insentiv for hvert nedløp som blir koblet fra ledningsnettet.

Tiltak: Koble takrenner fra kommunalt avløpsnett.

Formål: Redusere vannmengde som når avløpsnettet.

Resultat: Økt kapasitet på avløpsnettet. Økt renseseffekt på rensenanlegg med mer konsentrert avløpsvann. Reduksjon av forurensinger tapt via overløp. Redusert energiforbruk med mindre vann å pumpe.

(Braskerud & Skallebakke, 2013)

5.5.3 Max påslipp

Maksimal avrenning fra uberørt natur er på rundt 10 l/s*ha. Nye utbyggingsområder og boligområder håndterer overvannet lokalt på en slik måte at avrenning til kommunalt nett ikke overskrider naturtilstanden.

Industri kan bruke store mengder vann til produksjonen sin (for eksempel kjøling). Dette vannet vil da etter bruk sendes på det kommunale avløpsnettet. Kommunen kan i vært individuelle tilfelle vurdere maksimalt påslipp per tidsenhet fra disse industriene. En måte et selskap kan kontrollere sitt påslipp vil være å ha et eget fordrøyningsanlegg. Dette fører til kontinuerlig påslipp gjennom døgnet.

Tiltak: Gi industri og nye boligfelt et maksimalt påslipp til kommunalt nett.

Formål: Redusere vannmengden som når avløpsnettet.

Resultat: Økt kapasitet på avløpsnettet. Økt renseseffekt på rensenanlegg med mer konsentrert avløpsvann. Reduksjon av forurensinger tapt via overløp. Redusert energiforbruk med mindre vann å pumpe.

5.5.4 LOD – Tiltak

Alle tiltak som følger 3-leddstrategien vil føre til en helhetlig overvannshåndtering. Reduksjon av overflateavrenning ved hjelp av grønne løsninger som grønne tak. Økt mulighet for infiltrasjon vil også redusere overflateavrenning i tillegg til å infiltrere noe av vannet. Mer fordrøyning vil redusere maksimal påslipp til avløpsnett og flomveier etter intens nedbør i tillegg til å holde alt tilbake ved normalregn. Flomveier vil føre vannet til resipient på en sikker måte.

Tiltak: Tiltak som passer inn i 3-leddstrategien

Formål: Gjennomføre helhetlig overvannshåndtering fra nedslag til resipient

Resultat: Oversikt over vannets vei fra nedslag til resipient. Redusere skadepotensialet ved flomhendelser. Øke estetisk kvalitet i bymiljø.

5.5.5 Velge klimafaktor

Når man dimensjonerer ledningsnett for overvann bruker man den rasjonelle formelen. Generell levetid på nye rør burde være 100 år. Hvis man ikke bruker klimafaktor vil kapasiteten være for liten lenge før rørene blir for gamle. Dette koster tid, penger og ikke minst øker sannsynligheten for oversvømmelser i bebygde områder på grunn av dårlig kapasitet. Inntil det er funnet en bedre begrunnet klimafaktor for Bodø, kan man sette klimafaktoren til 1,5. Flere byer i Norge bruker 1,5 som klimafaktor.

Tiltak: Få klimafaktor beregnet for Bodø

Formål: Tilpasse dimensjonerende avrenning til fremtidige klimaendringer.

Resultat: Alle dimensjonerende utregninger om overvann blir bedre tilpasset klimaendringene i fremtiden.

5.5.6 Gjenåpne naturlige vannveier

Tidligere har kommuner lagt elver i rør for å bygge boliger og andre bygninger oppå. I senere tid har det blitt oppdaget at naturlige vannveier er en veldig god resurs i et bymiljø. Naturlige vannveier oppfører seg som gode flomveier siden det allerede er veien vannet vil ta. Åpning av bekker og elver vil dra planter og dyr inn i byen å øke det biologiske mangfoldet.

Tiltak: Åpne naturlige vannveier som har blitt lagt i rør.

Formål: Øke biologisk mangfold i bymiljø. Få gode flomveier tilgjengelig.

Resultat: Grønnere bymiljø. Flomveier med større kapasitet. Estetisk attraktivt utemiljø

6. Konklusjon

Denne oppgaven har tatt for seg prinsipper innen overvannshåndtering med fokus på Bodø kommune. Det er formulert mål kommunen kan strekke seg etter og tiltak som kan gjennomføres for å komme nærmere målene.

Klimaprofilen til Nordland foreslår et klimapåslag på minst 40%. Derfor vil en klimafaktor på 1.5 dimensjonere overvannsystemer som tåler fremtidens nedbørsmengder.

Lokal overvannshåndtering er viktig for at dagens ledningsnett skal klare å håndtere fremtidens belastning. Derfor burde tiltak som passer inn i 3-leddstrategien vurderes i eksisterende områder og kreves ved ny utbygging.

7. Diskusjon

I oppgaven har jeg gått grundig gjennom teori for å finne forskjellige løsninger innen overvannshåndtering. Jeg hadde ikke muligheten til å simulere nedbør i Bodø. En slik simulering trenger informasjon ført inn i en modell, dette er ikke gjort i Bodø. Derfor har det vært vanskelig å komme med konkrete løsninger til konkrete steder i kommunen. Jeg valgte å formulere mål og tiltak som på generell basis kan brukes i hele kommunen istedenfor. Det kan hende at noen av disse målene eller tiltakene ikke passer til Bodø, men på grunn av mangel på informasjon fra kommunen vet jeg ikke hvilke det er.

I en nedbørssimulering ville det kommet frem hvor overvannet samler seg og renner videre ved ekstremnedbør. Jeg valgte NVE sine flomaktsomhetskart for å visualisere hvor det kan oppstå flomsituasjoner ved ekstreme nedbørshendelser. Disse kartene er overdimensjonert og kan vise veldig store flomsoner.

Referanser og litteratur

- Bergen, K. (2005). *Retningslinjer for overvannshåndtering i Bergen kommune*. Bergen kommune.
- Bodø Kommune. (2014). *Komunalteknisk norm*. Bodø kommune.
- Braskerud, B. C., & Skallebakke, O. P. (2013). *Frakobling av takrenner fra kommunalt nett, Flomdemping i små nedbørsfelt*. Bioforsk.
- Bryhni, I., & Olerud, K. (2014, 12 4). *Store Norske Leksikon*. Hentet 18:00 27,11, 2017 fra snl.no: <https://snl.no/klimagasser>
- Eva Skarbøvik m.fl. (u.d.). *Stadstilpassa tiltak i nedbørfelt med jordbruk –er dette vegen å gå?* Bioforsk.
- Forurensningsloven, LOV-1981-03-13-6*. (2016). Hentet fra <https://lovdata.no/>
- Gabriel, S., & Fiil, L. (2016). *Vadi - byens grønne vannveier*. Oslo kommune.
- Grønlie, R., & Trellevik, M. R. (2013, 12 11). *Flomnabo: - Jeg fikk sjokk da jeg kom hjem*. Hentet 15:15 01, 12, 2017 fra an.no: <https://www.an.no/nyheter/flomnabo-jeg-fikk-sjokk-da-jeg-kom-hjem/s/1-33-7038763>
- Kommunal- og moderniseringsdepartementet. (2016). *Bodø er Norges mest attraktive by*. Hentet fra <https://www.regjeringen.no>: <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/bodo-er-norges-mest-attraktive-by/id2502301/>
- Lindholm, O. (2015). *Forurensningstilførsler fra veg og betydningen av å tømme sandfang*.
- Lindholm, O., Endresen, S., Thorolfsson, S., Sægrov, S., Jakobsen, G., & Aaby, L. (2008). *Norsk Vann Rapport 162: Veiledning i klimatilpasset*. Norsk Vann.
- Lindholm, O., Endresen, S., Thorolsson, S., & Smith, B. T. (2012). *Norsk Vann Rapport nr: 193 Veiledning i dimensjonering og utforming av VA-Transportsystemet*. Norsk vann.
- Meteorologisk institutt. (2017). Nedbørs informasjon fått på epost fra klimavakten.
- Meteorologisk institutt*. (2017). Hentet fra <https://www.met.no/>
- Myhr, K., & Lippestad, S. L. (2016). *Belegningstein som håndterer overvann*. Oslo kommune.

- NASA. (u.d.). *Earth's Energy Budget*. Hentet fra earthobservatory.nasa.gov:
<https://earthobservatory.nasa.gov/Features/EnergyBalance/page4.php>
- NGU. (2015). *ngu.no*. Hentet 16:10 29, 11, 2017 fra <https://www.ngu.no/nyheter/tolkning-av-1%C3%B8smassekart>
- NGU. (2017). *geo.ngu.no*. Hentet 16:00 29,11, 2017 fra
http://geo.ngu.no/kart/losmasse_mobil/
- NGU. (u.d.). *Setnings-skader*. Hentet fra <https://www.ngu.no/fagomrade/setnings-skader>
- Norsk klimaservicesenter. (2016). *Klima i Norge 2100*. Norsk klimaservicesenter.
- Norsk klimaservicesenter. (2016). *Klimaprofil Nordland*. Norsk klimaservicesenter.
- NVE. (2004). *Flomsonekart, Delprosjekt Misvær*. NVE.
- NVE. (2013). *Anlegging av regnbed*. NVE.
- NVE. (2017, 01 23). *Flaum*. Hentet 15:00 01, 12, 2017 fra <https://www.nve.no/flaum-og-skred/kartlegging/flaum/>
- NVE. (2017). *Produktark flomaktsomhet*. Hentet 15:00 01, 12, 2017 fra
<https://gis3.nve.no/metadata/produktark/FlomAktsomhet.html>
- NVE. (2017). *Temakart - flomaktsomhet*. Hentet 14:00 01, 12, 2017 fra
<https://temakart.nve.no/link/?link=flomaktsomhet>
- Paus, K. M., Førland, E. J., Fleig, A., Lindholm, O., & Åstebøl, S. O. (2014). *Metoder for beregning av klimafaktor for fremtidig nedbørsintensitet*. Miljødirektoratet.
- Plan- og bygningsloven, LOV-2008-06-27-71*. (2017). Hentet fra <https://lovdata.no/>
- Severinsen, J. E., & Robertsen, L. (2015, 09 23). - *Dette så vi ikke komme*. Hentet 19:00 02, 12, 2017 fra an.no: <https://www.an.no/nyheter/bodo/dette-sa-vi-ikke-komme/s/5-4-179842>
- SSB. (2017). *Kommunefakta Bodø - 1804 (Nordland)*. Hentet fra <https://www.ssb.no/>:
<https://www.ssb.no/kommunefakta/bodo>
- VA-Miljøblad nr: 104. (2012). *Fordrøyning av overvann*. Norsk Rørsenter.
- VA-Miljøblad nr: 106. (2013). *Regnbed, renner og nedslivingsarealer*. Norsk rørsenter.

- VA-Miljøblad nr: 107. (2013). *Grønne tak*. Norsk rørsenter.
- VA-Miljøblad nr: 117. (2016). *Gatesandfang*. Norsk rørsenter.
- VA-Miljøblad nr: 69. (2015). *Overvannsdammer Beregning av volum*. Norsk Rørsenter.
- VA-Miljøblad nr: 92. (2009). *Overflateinfiltrasjon*. Norsk Rørsenter.
- VA-Miljøblad nr: 93. (2016). *Åpne flomveier*. Norsk Rørsenter.
- Vannressuresloven, LOV-2000-11-24-82*. (2016). Hentet fra <https://lovdata.no/>
- Wavin. (2007). *wavin.no*. Hentet 20:00 23,11, 2017 fra
<http://no.wavin.com/web/systemlosninger/handtering-av-overvann/fordroyning-og-infiltrasjon/qbic-overvannskassett-2.htm>
- Zweiniger, M. (2016, 08 05). *Byteknikk - Bodøelv overvannstunnel*. Hentet 09:00 02, 12, 2017 fra bodo.kommune.no: <http://bodo.kommune.no/forside/byteknikk-bodoelv-overvannstunnel-article65099-6.html>
- Ødegaard, H., Lindholm, O., Mosevoll, G., Thorolfsson, S. T., Heistad, A., Østerhus, S. W., & Særgrov, S. (2014). *Vann og avløpsteknikk* (2. utg.). (H. Ødegaard, Red.) Norsk Vann.

Vedlegg

Vedlegg 1.

82290 - BODØ VI. 10 maks obs. nedbørshøyder (mm) (uavhengige episoder), i løpet av 1 nedbørdøgn (06-06 UTC).

	Årsverdi	jan, feb, des	mar, apr, mai	jun, jul, aug	sep, okt, nov
1. maks verdi	72,7	64,0	55,0	62,9	72,7
Mediandato	15.09.1988	09.01.1964	23.03.1973	21.08.1996	15.09.1988
2. maks verdi	64,0	54,0	48,5	51,7	61,4
Mediandato	09.01.1964	31.01.1976	26.04.2009	14.07.2007	17.10.1977
3. maks verdi	62,9	50,8	37,0	49,0	60,0
Mediandato	21.08.1996	11.01.2002	19.03.1977	26.08.1971	09.09.1975
4. maks verdi	61,4	50,2	36,0	44,5	57,7
Mediandato	17.10.1977	26.02.1998	04.04.1965	30.07.1964	30.10.1985
5. maks verdi	60,0	47,6	34,8	44,4	52,4
Mediandato	09.09.1975	03.12.1989	13.03.2014	14.07.1963	18.10.1995
6. maks verdi	57,7	41,7	34,6	43,0	49,0
Mediandato	30.10.1985	11.12.2013	20.03.1966	19.08.1959	22.10.1962
7. maks verdi	55,0	40,7	33,7	41,2	48,6
Mediandato	23.03.1973	30.12.1963	25.03.1982	09.07.1958	02.11.1984
8. maks verdi	54,0	39,8	31,8	38,9	47,3
Mediandato	31.01.1976	26.02.1979	13.03.1997	19.08.1984	08.11.1983
9. maks verdi	52,4	39,6	31,2	38,0	44,4
Mediandato	18.10.1995	21.12.2006	03.05.1995	18.08.1966	21.09.2014
10. maks verdi	51,7	39,5	31,0	35,0	42,9
Mediandato	14.07.2007	12.12.2005	11.03.2016	06.08.1995	05.10.1997
Datahull (ant. døgn)	1				
Middelverdier av maks	40,2	27,8	21,9	25,3	33,9
Standardavvik av maks	11,0	11,0	9,0	10,9	11,3

Figur 34, Vedlegg 1: De 10 største uavhengige nedbørshøyder med en returperiode på 1 dag. Datagrunnlag 1954-2016.

(Meteorologisk institutt, 2017)

Vedlegg 2.

82290 - BODØ VI. 10 maks obs. nedbørhøyder (mm) (uavhengige episoder), i løpet av 2 nedbørdøgn (06-06 UTC).

	Årsverdi	jan, feb, des	mar, apr, mai	jun, jul, aug	sep, okt, nov
1. maks verdi	118,9	71,0	70,1	113,4	118,9
Mediandato	16.09.1988	04.12.1981	24.03.1973	21.08.1996	16.09.1988
2. maks verdi	113,4	69,5	57,3	68,6	105,4
Mediandato	21.08.1996	11.01.2002	26.04.2009	14.07.2007	18.10.1977
3. maks verdi	105,4	66,5	49,8	64,1	83,7
Mediandato	18.10.1977	10.01.1964	26.03.1982	10.07.1958	13.11.1999
4. maks verdi	83,7	63,8	46,2	63,2	72,9
Mediandato	13.11.1999	22.12.2006	04.05.1995	26.08.1971	09.09.1975
5. maks verdi	72,9	63,1	45,7	56,8	70,3
Mediandato	09.09.1975	27.02.1998	14.03.1993	31.07.1964	22.10.1962
6. maks verdi	71,0	61,8	45,0	54,0	69,8
Mediandato	04.12.1981	31.01.1976	14.03.2014	26.08.1990	19.10.1995
7. maks verdi	70,3	58,8	44,8	52,9	68,5
Mediandato	22.10.1962	26.02.1979	10.03.1977	14.08.1966	08.11.2006
8. maks verdi	70,1	58,3	42,6	50,4	61,4
Mediandato	24.03.1973	30.12.1963	19.05.1999	15.07.1963	31.10.1985
9. maks verdi	69,8	55,1	42,2	49,3	60,2
Mediandato	19.10.1995	12.12.2013	13.05.1971	05.08.1972	10.10.1978
10. maks verdi	69,5	54,7	39,0	48,1	58,2
Mediandato	11.01.2002	03.12.1989	20.05.1987	20.08.1959	03.11.1984
Datahull (ant. døgn)	2				
Middelverdier av maks	55,8	38,6	30,0	35,2	47,4
Standardavvik av maks	16,8	13,8	10,9	16,6	17,3

Figur 35, Vedlegg 2: De 10 største uavhengige nedbørshøyder med en returperiode på 2 dag. Datagrunnlag 1954-2016 (Meteorologisk institutt, 2017)

Vedlegg 3.

82290 - BODØ VI. 10 maks obs. nedbørhøyder (mm) (uavhengige episoder), i løpet av 3 nedbørdøgn (06-06 UTC).

	Årsverdi	jan, feb, des	mar, apr, mai	jun, jul, aug	sep, okt, nov
1. maks verdi	141,7	81,7	73,1	141,7	133,5
Mediandato	20.08.1996	11.01.2002	23.03.1973	20.08.1996	16.09.1988
2. maks verdi	133,5	77,4	60,8	79,1	112,8
Mediandato	16.09.1988	31.12.2014	26.04.2009	10.07.1958	18.10.1977
3. maks verdi	112,8	74,0	58,1	76,0	96,2
Mediandato	18.10.1977	30.12.1963	26.03.1982	29.08.1983	12.11.1999
4. maks verdi	96,2	72,1	56,3	74,9	85,9
Mediandato	12.11.1999	04.12.1981	23.03.1995	25.08.1990	19.10.1995
5. maks verdi	85,9	70,0	55,8	71,0	81,0
Mediandato	19.10.1995	10.01.1964	12.05.1971	17.08.1995	13.10.1975
6. maks verdi	81,7	69,6	55,5	69,4	80,4
Mediandato	11.01.2002	22.12.2006	14.03.1993	14.07.2007	22.10.1962
7. maks verdi	81,0	67,8	54,4	68,4	77,5
Mediandato	13.10.1975	25.02.1979	15.05.1979	31.07.1964	16.09.1963
8. maks verdi	80,4	67,8	50,7	65,5	77,1
Mediandato	22.10.1962	27.02.1998	09.03.1977	20.07.1971	07.11.2006
9. maks verdi	79,1	67,0	49,2	58,7	76,7
Mediandato	10.07.1958	12.12.2013	19.05.1999	13.08.1966	01.11.2011
10. maks verdi	77,5	61,8	48,8	58,0	67,1
Mediandato	16.09.1963	30.01.1976	13.03.2014	15.06.2004	03.11.1984
Datahull (ant. døgn)	2				
Middelverdier av maks	64,7	45,6	35,5	42,0	56,2
Standardavvik av maks	19,3	14,8	12,3	20,5	19,0
Har avh. ved årsskifte	No	Yes	No	No	No

Figur 36, Vedlegg 3: De 10 største uavhengige nedbørshøyder med en returperiode på 3 dag. Datagrunnlag 1954-2016 (Meteorologisk institutt, 2017)



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

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway