



Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

Masteroppgave 30 studiepoeng  
Institutt for matematiske realfag og teknologi

# Fremtidige klimaendringer og dimensjonering

En studie i hvordan økt nedbør og avrenning  
påvirker overvannshåndteringen ved Trekanten -  
Kristiansand

John Ola Haugom  
Vann- og miljøteknikk



### Forord

Oppgaven markerer slutten på mitt masterstudie ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitetet. Oppgaven er skrevet i samarbeid med Rambøll Kristiansand, hvor det har pågått to parallelle mastergradsstudier. Det ene studiet utført av meg, og det andre studiet ble utført av student ved ILP, Stefán Jón Ingólfsson. Dette for å fremme verdiene av et tverrfaglig samarbeid.

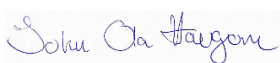
Oppgaven tar for seg fremtidige klimaendringers påvirkning på overvannsproblematikken, investeringskostnader knyttet til disse utfordringene, voksende nedbørsmengder og deres påvirkning på dimensjoneringen og overvannsløsningene ved Trekanten i Kristiansand.

Gjennom arbeidsprosessen har jeg lært mye. Det tverrfaglige samarbeidet har gitt meg mulighet til å se problemstillingen fra en annen vinkel, samtidig som jeg har fått et innblikk i hvordan et annet fagfelt fungerer. Oppgaven har vært en nyttig og nødvendig prøvning i egen kunnskap, samtidig som den på mange måter har utviklet både faglige og språklige ferdigheter.

Først og fremst vil jeg takke mine samarbeidspartnere i Rambøll Norge, Jakob Myking og Caroline Frøytlog Strømmand, som gav meg muligheten til å delta på et prosjekt som dette. Jeg ser virkelig frem til å se hvordan prosjektet utvikler seg i fremtiden. Jeg takker medmasterstudent Stefán for timene med diskusjon og arbeid. Jeg vil gjerne takke Jon Arne Engan, Oddvar Lindholm, Vegard Nilsen og Signe Kroken for hjelpen de har gitt både gjennom veiledning og datainnsamling. Jeg vil også takke mine nærmeste venner og familie for all støtte gjennom arbeidsprosessen.

Ikke minst vil jeg rette en takk til hovedveileder Arve Heistad for all hjelp jeg har mottatt gjennom arbeidet. Jeg setter virkelig stor pris på all hjelp jeg har fått.

John Ola Haugom



23.05.2016

### Sammendrag

Klimaendringene har allerede påført observerbare endringer i områdene vi lever i. Mer intensiv nedbør som opptrer stadig hyppigere blir observert over store deler av verden. Også i Norge sees denne problematikken. I fremtiden vil problemene knyttet til flom og overvannsmengder bli langt større enn de vi ser i dag. For å forberede oss på fremtiden er det derfor viktig at dagens løsninger utformes for kommende vannmengder. Dette innebærer at dagens standarder bør oppdateres og dimensjonerende nedbørsmengder og faktorer endres.

Dette vil imidlertid ikke bli gratis. Vann- og avløpssektoren i Norge står allerede foran et enormt investeringsbehov i årene som kommer. I fremtiden må 1053 milliarder investeres for å fornye dagens infrastruktur. Store deler av dagens overvannssystemer takler ikke dagens situasjon. Det er derfor viktig at riktige beslutninger tas og strategier utformes for å takle kommende utfordringer. Dette innebærer overvannsplanlegging, og utforming av strategier for å takle økte vannmengder. Lokal overvannshåndtering er viktig for å sikre beskyttelse mot flom og økte nedbørsmengder.

Ved Trekanten i Kristiansand skal det i nær fremtid bygges nye leiligheter. Innovative løsninger vil bli vektlagt. Blokkleilighetene vil anlegges i to nivåer hvor et av dem vil være en grønn takløsning. To mulige alternativer bli foreslått. Det ene et konvensjonelt, kostnadseffektivt alternativ, mens det andre legger opp til økt jordtykkelse, et mer integrert og fluidt landskap og ikke minst økt fordrøyningspotensiale og delvis også åpne løsninger for håndtering av overvann.

Det blir sett på hvordan klimautvikling og økt avrenning i fremtiden vil påvirke situasjonen ved Trekanten. Det blir gjort fremstillinger av overvannsmengder som økt avrenning potensielt kan føre med seg, og på bakgrunn av dette gitt anbefalinger til fremtidig dimensjonering.

### Abstract

Observable changes within the areas and climate we live in, have already taken place. Increasing precipitation is observed all over the globe. The frequency in which the precipitation occurs is also increasing. The trends, which also are visible in Norway, leads to a change in the way we see future problems. In the future, problems related to stormwatermanagement will greatly exceed the numbers we see today. Preparing for future situations and probable flooding is important. Today's standards and norms will with the future in mind need revising.

Costs related to these upgrades will not be cheap, and even more so not easily swallowed by the great masses, which the installments protect. The water- and wastewater treatment sector in Norway are already under massive pressure with 1053 billion Norwegian kroner in investment costs in the future to come. A great portion of today's stormwatersystems is not even capable of handling current amounts, and will become greatly outsize by future demands. Strategies for handling increasing amounts of stormwater needs compiling. Local stormwatermanagement becomes greatly more important in the years to come.

At Trekanten, a suburban area in Kristiansand - Norway, five apartment buildings are in the planning process. Innovative, green solutions are in the focus. Construction of the apartment buildings will take place on two different levels. The bottom level will house a grocery store and parking spots for the residents, and the second level constructed as an intensive green roof solution. For this intensive green roof solution, there are two possible suggestions. One cost efficient, conservative alternative and one with thicker soil and increased attenuation capacity. The possibility of open solutions for stormwatermanagement will also be present.

The analysis of changes correlated with climate and increased cases of precipitation, and the effects of this development on the project in Kristiansand. Some of the problems related to increasing stormwater and precipitation are discussed. With the challenges in mind, recommendations for future situations and for the project in Kristiansand will be made.

# Innholdsfortegnelse

Forord .....	I
Sammendrag .....	II
Abstract .....	III
Innholdsfortegnelse .....	IV
Liste over figurer .....	VIII
Liste over tabeller .....	XI
Vedlegg .....	XII
Ordforklaringer .....	XIII
1 Problemstilling .....	1
2 Klimaendringer .....	2
2.1 Et klima i endring .....	2
2.2 Økende temperaturer .....	4
2.3 Klimaforandringer og ekstremvær .....	6
2.3.1 Ekstremnedbør .....	6
2.3.2 Stormflo .....	8
3 Situasjonen i Norge og Norden .....	8
3.1 Klimaforandringer i Norge og Norden .....	8
3.1.1 Temperaturøkning .....	9
3.1.2 Nedbør .....	10
3.1.3 Dimensjonerende nedbørsmengder .....	13
3.2 Fremtidige prognoser .....	15
3.2.1 Modeller .....	15
3.2.2 Temperatur .....	16
3.2.3 Nedbør .....	17
3.2.4 Våte døgn og dimensjonering for fremtiden .....	18

## Innholdsfortegnelse

---

3.2.5	Flom .....	20
4	Etterslep i Norsk VA-sektor .....	22
4.1	Foreldet ledningsnett .....	22
4.1.1	Gjenanskaffelsesverdi .....	23
4.1.2	Klimaendringer og investeringsbehov .....	24
4.1.3	Vannbehandling .....	26
4.1.4	Fornyede kapasitetskrav .....	26
4.1.5	Flom .....	27
4.2	En helhetlig overvannsplanlegging .....	28
4.2.1	Moderne overvannsløsninger .....	28
4.2.2	«Helhetlig overvannsplanlegging» .....	29
4.2.3	Forurenset overvann .....	30
4.2.4	Rettsregler og rettspraksis .....	32
4.2.5	Fremtidsrettet overvannshåndtering .....	32
4.2.6	Hvorfor velge åpne flomveier .....	34
5	Overvannsløsninger for boligområder .....	35
5.1	Overvannsløsninger .....	35
5.1.1	Renner og kanaler .....	35
5.1.2	Fordrøyning .....	36
5.1.3	Dammer .....	36
5.1.4	Infiltrasjon .....	37
5.1.5	Permeabel asfalt .....	38
5.1.6	Plastkassetter og steinfyllingsmagasin .....	39
5.1.7	Tilfeldig oppdemming .....	39
5.1.8	Grøfter og bekker .....	40
5.2	Forurensning i overvann .....	40
5.2.1	Overvann og forurensning .....	40

## **Innholdsfortegnelse**

---

5.2.2	Klimaforandringer og sykdomsutbrudd .....	42
5.2.3	Fordrøyningsdammer som rensedammer .....	45
5.2.4	Dimensjonering av rensedammer og overvannsbasseng.....	46
5.2.5	Regnbed.....	47
5.2.6	Grønne tak.....	48
5.2.7	Gresskleddede forsengkninger .....	48
6	Metode.....	50
6.1	Rørruhet .....	50
6.2	Beregning av nødvendig diameter i et overvannsnett .....	51
6.3	Skjærkraftberegninger for overvannsledninger og avløpsrør .....	52
6.4	Regnvelopmetode for konstant utløp .....	55
7	Utbyggingen av Trekanten .....	57
7.1	Oppstart og bakgrunn .....	57
7.2	Planforslag .....	58
8	Overvannshåndtering ved Trekanten .....	59
8.1	Kostnadseffektiv tilnærming .....	59
8.2	Intensiv løsning.....	62
9	Dimensjonering og resultater .....	64
9.1	Magasinstørrelse og avrenning.....	64
9.1.1	Normal avrenning.....	64
9.1.2	Kommentarer til resultatene .....	66
9.1.3	Økt avrenning som følge av tendenser og fremtidige klimaendringer.....	68
9.1.4	Kommentarer til resultatene .....	70
9.2	Diameter og skjærspenningsbetraktninger .....	71
9.2.1	Kommentar til resultatene .....	73
9.3	Estimert fordrøyningsvolum for de ulike løsningene .....	73
9.3.1	Forventet fordrøyningsvolum for det konvensjonelle alternativet.....	74



## **Innholdsfortegnelse**

---

9.3.2	Forventet fordrøyningsvolum for den intensive løsningen .....	74
9.3.3	Jordtykkelser .....	74
9.3.4	Kommentar til resultatene .....	75
10	Diskusjon.....	76
10.1	Drift og vedlikehold.....	76
10.2	Økt avrenning og kraftige nedbørsmengder .....	77
10.3	Risikovurdering.....	79
10.4	Vannkvalitet – Separere taknedløp og gangarealer .....	79
10.5	Videre forskning og refleksjoner .....	80
11	Konklusjon .....	82
	Kilder.....	84
	Vedlegg .....	I

### Liste over figurer

Figur 2-1 - Bildet illustrerer temperaturøkningen for årnormaler fra 1961 relativt til årnormaler for 1990. Dataene presenteres som grader celsius økning per tiår(Walther et al. 2002).....	5
Figur 2-2 - Figuren viser årlig, gjennomsnittlig forandring i nedbør for perioden 2080-2099 kontra perioden 1980-1999.(Meehl et al. 2005).....	6
Figur 2-3 - Figuren illustrerer sannsynligheten for at ekstremnedbør skal inntreffe i fremtiden sammenlignet med i dag. Blå farge indikerer økt sannsynlighet for ekstremnedbør.(Benestad 2007).....	7
Figur 3-1 - Antall døgn med middeltemperatur over 20 grader. a) Perioden 1971-2000 b) Perioden 1985-2014(I. Hanssen-Bauer & A.B. Sandø 2015) .....	10
Figur 3-2 - Oversikten viser referansenedbøren i perioden 1971-2000. Figur a) viser nedbøren vinterstid, mens figur b) viser nedbør sommerstid.(I. Hanssen-Bauer & A.B. Sandø 2015)...	11
Figur 3-3 - Grafen viser prosentvis avvik fra en middelverdi. Utviklingen for de senere årene er større avvik fra normalen og mer nedbør totalt sett.(I. Hanssen-Bauer & A.B. Sandø 2015) .....	12
Figur 3-4 - Figurene fremstiller antall tilfeller med nedbørsverdier som overskrider en viss verdi. Dataene er hentet fra Oslo Blindern i perioden 1968-2014.(I. Hanssen-Bauer & A.B. Sandø 2015).....	13
Figur 3-5 - En times nedbør med gjentakintervall på fem år. Dimensjonerende verdier kan hentes fra klimaservicesenter.no eller eklima.no(I. Hanssen-Bauer & A.B. Sandø 2015) .....	14
Figur 3-6 - IVF-kurve som viser regnintensiteten i perioden 1974-2012 i mm. Varighet fra 1-24 timer. Kurven er generert på klimaservicesenter.no .....	14
Figur 3-7 - Økning i antall dager med vekstsesong for perioden 2071-2100 for RCP4,5 (Venstre) og RCP8,5(Høyre)(I. Hanssen-Bauer & A.B. Sandø 2015) .....	17
Figur 3-8 - En fremstilling av avrenning for modellen RCP4,5. Grafene viser midlere endring i sesongavrenning fra perioden 1971-2000 til perioden 2071-2100. Det er en klar tendens til økt avrenning i fremtiden. Dette hos en av de to mer konservative klimamodellene. A) Vinter, B) Vår, C) Sommer og D) Høst. (I. Hanssen-Bauer & A.B. Sandø 2015) .....	19
Figur 3-9 - Viser en fremstilling av prosentvis forandring for 200-års flom for perioden 2071-2100 sammenlignet med referanseperioden 1971-2000.(I. Hanssen-Bauer & A.B. Sandø 2015).....	20

## Liste over figurer

---

Figur 4-1- Andel av ledningsnett som er konstruert i de aktuelle periodene. Norge har milevis med gammelt ledningsnett som etterhvert trenger fornying. Figuren fremstiller drikkevannsnett. (Vann 2013) .....	22
Figur 4-2 - Andel av ledningsnett som er konstruert i de aktuelle periodene. Norge har milevis med gammelt ledningsnett som etterhvert trenger fornying. Figuren fremstiller kilometer ledning for avløpsnett. (Vann 2013) .....	23
Figur 4-3- Beregnet kostnad for å oppnå perfekt 2012-standard samt gjenanskaffelsesverdien for anleggene. (Vann 2013).....	23
Figur 4-4 - Treleddsstrategi som beskriver hendelsesforløpet for lokal overvannshåndtering. (Ødegaard 2013).....	34
Figur 5-1 - Figuren viser en åpen renneløsning. Systemet er lite utsatt for tilstopping og er lett å vedlikeholde. (Johansen) .....	36
Figur 5-2 - Figuren viser en oversikt over rapporterte tilfeller av vannbårne sykdommer og infeksjoner relatert til ekstremværhendelser. (Cann et al. 2013) .....	44
Figur 5-3 - Bildet viser hvordan en fordrøyningsdam kan utformes. Bildet er hentet fra Bjølsen, i Oslo. (COWI).....	46
Figur 5-4 – Figuren viser en prinsippskisse av et regnbud. (Ødegaard 2013) .....	47
Figur 5-5 - Figuren viser et grønt tak. Konstruksjonen og vegetasjonen har lang levetid og krever lite vedlikehold i dette tilfellet. (Protan.no) .....	48
Figur 5-6 - Bildet viser en gresskledd forsinking med terskler som forsinker overvannet ytterligere. (Ødegaard 2013) .....	49
Figur 6-1 - Colebrooks formel. (Ødegaard 2013) .....	50
Figur 6-2 - Moodys diagram (Wikipedia 2015).....	50
Figur 6-3 - Relativ ruhet (Ødegaard 2013).....	51
Figur 6-4 - Darcy Weisbach (Ødegaard 2013).....	51
Figur 6-5 – Kontinuitetsligningen (Ødegaard 2013).....	51
Figur 6-6 - Kontinuitetsligningen løst med fokus på diameter (Ødegaard 2013) .....	52
Figur 6-7 - Darcy Weisbach løst med hensyn på diameter (Ødegaard 2013) .....	52
Figur 6-8 - En skjematisk fremstilling av krefter i forbindelse med selvrensing i kanal. (Ødegaard 2013) .....	53
Figur 6-9 - Energibalansen for friksjonskraften og skjærspenningen i rør. (Ødegaard 2013) ..	53
Figur 6-10 - Hydraulisk radius (Ødegaard 2013).....	53
Figur 6-11 - Hydraulisk radius satt inn i energibalansen. (Ødegaard 2013) .....	53
Figur 6-12 - Maksimal skjærspenning langs bunnen. (Ødegaard 2013).....	54

## Liste over figurer

---

Figur 6-13 - Maksimal skjærspenning uttrykt ved fylt skjærspenning (Figur 5-9).(Ødegaard 2013).....	54
Figur 6-14 - Delfyllingskurve for en bestemt vannføring i et rørtverrsnitt. Benyttes for å finne h/D.(Ødegaard 2013).....	55
Figur 6-15 - Volum generert som følge av nedbør.....	55
Figur 6-16 - Volumet ut av fordrøyningsmagasinet som en funksjon av Q (vannmengden) og varigheten (t). ....	56
Figur 6-17- Fordrøyningsvolumet som en funksjon av differansen mellom utgående og inngående. ....	56
Figur 6-18 - Et reelt eksempel på en omhylningskurve (envelop). Horisontal akse viser varigheten, mens vertikal akse viser volumet ved en viss regnintensitet og magasin størrelsen som en funksjon av varighet.....	56
Figur 7-1 - Bakre boligblokk vil bli konstruert i syv etasjer, de andre enhetene vil trappes noe ned. (Svensson 2015) .....	57
Figur 7-2 - Trekanten vist fra tunnelåpningen mot syd. (Svensson 2015).....	58
Figur 8-1 - Figuren viser en skisse over planlagt overvannshåndtering ved Trekanten, Kristiansand. Skissen er laget av Landskapsarkitekt Stefàn Jòn Ingðólfsson. (Ingðólfsson 2016) .....	59
Figur 8-2 - Figuren viser teknisk plan for overvannshåndtering ved Trekanten. Figuren gjelder for det konvensjonelle alternativet.(Ingðólfsson 2016).....	61
Figur 8-3 - Figuren viser en inspiserbar overvannskassett av typen Q-Bic.(Wavin.com 2016) .....	62
Figur 8-4 - Figuren viser teknisk plan for overvannshåndtering ved Trekanten. Figuren gjelder for intensiv løsning nummer to. (Ingðólfsson 2016).....	63
Figur 9-1 - 25 års gjentaksintervall, omhylningskurve for magasin størrelse.....	64
Figur 9-2 - 50 års gjentaksintervall, omhylningskurve for magasin størrelse.....	65
Figur 9-3 - 100 års gjentaksintervall, omhylningskurve for magasin størrelse.....	65
Figur 9-4 - 25 års gjentaksintervall, økt avrenning, omhylningskurve for magasin størrelse...	68
Figur 9-5 - 50 års gjentaksintervall, økt avrenning, omhylningskurve for magasin størrelse...	69
Figur 9-6 - 100 års gjentaksintervall, økt avrenning, omhylningskurve for magasin størrelse.	69

### Liste over tabeller

Tabell 3-1 - Tabellen viser prosentvis forandring i årsnedbør for perioden 2071-2100 relativt til perioden 1971-2000.(I. Hanssen-Bauer & A.B. Sandø 2015) .....	18
Tabell 3-2 - Klimafaktor for endring 3-timers og 1-døgns nedbør for perioden 2071-2100. Sammenligningsgrunnlaget er hentet inn fra perioden 1976-2005.(I. Hanssen-Bauer & A.B. Sandø 2015).....	20
Tabell 4-1 - Investeringsbehov innenfor VA-sektoren. Totalt må 1053 milliarder investeres for at vi skal få en fornying av eksisterende ledningsnett(Vann 2013).....	24
Tabell 5-1 - Oversikt over forurensninger i overvann – Tak (Ødegaard 2013) .....	40
Tabell 5-2 - Oversikt over forurensninger i overvann – Trafikk (Ødegaard 2013) .....	41
Tabell 5-3 - Prosentvis oversikt over utbrudd av ulike parasitter og virus. Utbruddene kan i de fleste tilfeller knyttes til ekstremværhendelser.(Cann et al. 2013).....	43
Tabell 5-4 - Midlere renseeffekt i overvannsbasseng. Målingene er hentet ved E18 Skullerudkrysset i Oslo. Målingene er gjort over en tidsperiode på ett år.(Ødegaard 2013)...	47
Tabell 6-1 - Eksempler på ulike ruheter benyttet i praksis.(Ødegaard 2013) .....	51
Tabell 9-1 - Tabellen viser nødvendig antall plastkassetter for tre alternativer. Dimensjonene er oppgitt for 25, 50 og 100 års gjentaksintervall. Q-Bic Wavin blir anbefalt benyttet, men Pipelife Stormbox kan også benyttes .....	67
Tabell 9-2 - Tabellen viser dimensjoner for overvannsrør. Ledningen har 15 promille fall og et gjentaksintervall på 25 år. ....	71
Tabell 9-3 - Tabellen viser skjærspenningsbetraktninger for ledningen i Tabell 9-2. ....	71
Tabell 9-4 - Tabellen viser dimensjoner for overvannsrør. Ledningen har 15 promille fall og et gjentaksintervall på 50 år. ....	71
Tabell 9-5 - Tabellen viser skjærspenningsbetraktninger for ledningen i Tabell 9-4. ....	72
Tabell 9-6 - Tabellen viser dimensjoner for overvannsrør. Ledningen har 15 promille fall og et gjentaksintervall på 100 år. ....	72
Tabell 9-7 Tabellen viser skjærspenningsbetraktninger for ledningen i Tabell 9-6. ....	72
Tabell 9-8 - Oversikt over tilgjengelige diametere for overvannsrør fra Pipelife. (Pipelife 2016).....	73
Tabell 9-9 - Forventet fordrøyningsvolum for det konvensjonelle alternativet(Ingðólfsson 2016).....	74
Tabell 9-10 - Forventet fordrøyningsvolum for den intensive løsningen .....	74

Tabell 9-11 - Behovet de ulike plantene har for jordtykkelser - Intensiv løsning(Ingòlfsson 2016).....	74
Tabell 9-12 - Behovet de ulike plantene har for jordtykkelser - Konvensjonell løsning (Ingòlfsson 2016) .....	75

## Vedlegg

Vedlegg A - 1 – Gjennomsnittlig temperatur for jorddybdesensor på 2, 5, 10, 20, 50 og 100 cm. Temperaturene er hentet fra året 2013. Snittet for 2013 er på 6,6.(Kroken 2016).....	I
Vedlegg A - 2 - Gjennomsnittlig temperatur for jorddybdesensor på 2, 5, 10, 20, 50 og 100 cm. Temperaturene er hentet fra året 1998. Snittet for 1998 er på 7,1.(Kroken 2016).....	I
Vedlegg A - 3 - Figuren viser snødybde for 1998 sammenlignet med den for 2013. (Kroken 2016).....	II
Vedlegg A - 4 - IVF-kurve for målestasjonen ved Sømkleiva i Kristiansandsområdet. Figuren viser regnintensitet i mm for ulike gjentaksintervall opp til 200 år. Kurven er hentet fra eklima.no. ....	II
Vedlegg A - 5 - IVF-kurve for målestasjonen ved Sømkleiva i Kristiansandsområdet. Figuren viser regnintensitet ( $l/(s*ha)$ ) for ulike gjentaksintervall opp til 200 år. Kurven er hentet fra eklima.no. ....	III
Vedlegg A - 6 - Tabellen viser nedbørsdata for målestasjonen ved Sømkleiva i Kristiansand. Dataene er hentet fra eklima.no. Verdiene viser mm nedbør som funksjon av varighet. Dataene er hentet fra eklima.no.....	V
Vedlegg A - 7- Tabellen viser nedbørsdata for målestasjonen ved Sømkleiva i Kristiansand. Dataene er hentet fra eklima.no. Verdiene viser $l/ha$ nedbør som funksjon av varighet. Dataene er hentet fra eklima.no.....	V

### Ordforklaringer

**Force majeure:** Fritar begge parter for ansvar i tilfelle en ekstraordinær hendelse skulle inntreffe. Et såkalt hendelig uhell som ingen av partene kunne forventes å forutse.

**Inert materiale:** Et ikke reaktivt materiale.

**Infiltrasjonsmagasin:** Magasin under bakkenivå med et steinvolum eller kassetter av plast som muliggjør infiltrasjon i stedlige masser.

**Intens nedbør:** Nedbør som normalt overstiges kun en gang hvert år.

**IVF-kurve:** Kurve som beskriver intensitet i mm, varighet, og frekvens. Benyttes for å estimere dimensjonerende nedbørsmengder for et bestemt gjentaksintervall.

**Klimafaktor ( $K_f$ ):**  $K_f$  multipliseres med dimensjonerende nedbørsverdier for å ta hensyn til utviklingen klimaet står for i fremtiden.

**Lokal overvannsdiskonering:** Tiltak lokalt som minsker belastningen på eksisterende avløpsløsninger. Infiltrerer via porøse overflater eller gjennom perkolasjon i perkolasjonsbassenger.

**Perkolasjon:** Langsom bevegelse av en væske gjennom et porøst medium.

**Permeable masser:** Lett gjennomtrengelige masser som muliggjør enkel infiltrasjon av væsker.

**Pluviometer:** Nedbørsmåler. Et instrument som måler mengden nedbør over en periode. Ofte oppgitt i mm.

**RCP (Modell):** Representative Concentration Pathways. Modell for fremtidig utvikling i utslipp av klimagasser.





# 1 Problemstilling

Ved Trekanten i Kristiansand skal det bygges rimelige boliger for eldre, unge kjøpere som nettopp har kommet ut på boligmarkedet og sosiale leietakere. Grunnforholdene på området er kompliserte, og det trengs derfor spesielle tiltak for å håndtere overvannet som genereres inne på området. Grunnen under blokkleilighetene består av fjell og dette umuliggjør infiltrasjon i stedlige masser. Vannet må derfor fordrøyes og ledes videre ut på kommunalt nett eller til en nærliggende resipient. Den vanligste metoden for å løse slike problemstillinger er plastkassetter som fordrøyer vannet før vannet slippes sakte ut på kommunalt nett. Vi hadde et ønske om at løsningene også skulle være synlige i dagen. Gjerne løsninger som tilfører estetisk verdi til området. Blokkleilighetene skal i tillegg konstrueres i flere ulike nivåer. Et fundament med butikk- og parkeringsareal og et nytt nivå med oppholds- og hagearealer over nivå nummer én. Det er vanlig at en jordtykkelse på rundt 20 cm benyttes, men dersom intensive vekster skal benyttes er det fornuftig at jordtykkelsen økes. Dette muliggjør også økt fordrøyning.

Et klima i endring stiller nye og strengere krav til fremtidens overvannssystem. Økt avrenning og kortere, men mer intensiv nedbør presser overvannssystemene til bristepunktet. Det er viktig at dagens løsninger dimensjoneres for fremtidens utfordringer. I oppgaven vil det bli gått nærmere inn på hvordan dette påvirker nettopp Trekanten-området i Kristiansand.

Det er ønskelig å se på følgende aspekter ved problemstillingen:

- Grunnforholdene er problematiske. Overvannsløsninger tilpasset området må derfor benyttes. Hvordan bør dette løses og hvor bør løsningene plasseres?
- Overvannssystemene skal dimensjoneres. Hvordan vil den forventede økte avrenningen påvirke dimensjonering av overvannssystemene ved Trekanten? Hvordan påvirker en situasjon med økt nedbør og økt avrenning Trekanten? Det forventes økte fordrøyningsvolumer og rørdimensjoner.
- Nedbøren opptrer ikke regelmessig. Korte, intensive regnbyger forventes i fremtiden. Overvannssystem må tilfredsstille krav til selvrensing også for tidspunktene utenom de kraftige regnskylleene. Skjærspenningsbetraktninger må utføres og fall beregnes for å sikre selvrensing.
- Den økte jordtykkelsen inne på platen muliggjør også økt fordrøyning. Hvor stor kapasitetsøkning kan forventes?

## 2 Klimaendringer

### 2.1 Et klima i endring

Klimaforandringene kan sees på som en av våre største globale utfordringer. Et stadig større press på omgivelsene våre forårsaket av raskt voksende populasjoner verden over.

Folkemengdene fører med seg et behov for mat og rimelig energi, ofte på bekostning av det svært sårbare miljøet. Konsekvensene for miljøet blir stadig mer åpenbare, og også vanskeligere å reversere. Om det i det hele tatt er mulig. Behovet for et mer miljørettet fokus blir mer og mer tydelig for hvert år som går, men fremdeles er tiltakene for sene og for få. Tid er i dette tilfellet avgjørende.

Verdens ledere står fremfor vanskelige beslutninger. Valg må tas, ofte på bekostning av viktige næringer i samfunnet. Fundamentet for en grønn, fremtidsrettet og bærekraftig utvikling må legges, og dette fundamentet vil koste mye på kort sikt. Konsekvensene er imidlertid så store at det er valg vi ikke kan la være å ta.

Over hele verden sees forandringer i klimaet. Økende utslipp av drivhusgasser har ført til økende temperaturer og en påfølgende økning i innholdet av vanndamp i atmosfæren. Denne utviklingen har blitt observert over flere tiår, og er et nå et ubestridelig faktum.

Varmeperioder har eksistert også tidligere i jordens klimaforløp, men det er den raske utviklingen som bekymrer. Hyppigere nedbør så vel som hyppigere store regnfall og påfølgende flomsituasjoner ses stadig oftere. Temperaturøkningene har ført til stadig større omfang av områder utsatt for ekstrem tørke. Verdens vannlagre minker stadig i mer tørre områder og andelen breer reduseres raskt. Mengden nedbør øker i steder lokalisert høyt over havoverflaten og tropene, og minker i enkelte subtropiske og lavtliggende landområder.

(Bates et al. 2008)

Det forventes at mengden vann i elver innen midten av det 21. århundre vil ha økt markant, og som følge av dette vil også tilgjengelig vann ha økt drastisk. Det forventes at en del av de tørrere områdene rundt middelhavslandene så vel som i vestlige deler av USA og sørligere deler av Afrika og nordligere deler av Brasil, vil se en negativ utvikling med tanke på tilgjengelig vann. Klimaet i disse områdene vil med stor sannsynlighet bli tørrere. (Bates et al. 2008)

## Klimaendringer

---

Økende nedbørsmengder og økende nedbørsintensitet, så vel som variabilitet mellom regnfall kan forventes i fremtiden. Dette vil øke risikoen for flomsituasjoner i enkelte områder og tørke i andre. Frekvensen for tunge regnfall forventes å øke for de fleste områder verden over i løpet av det 21. århundre. Samtidig vil man også se en økning i ekstreme tørkesituasjoner, i tillegg til tørke i områder med typisk innlandsklima. Vannforsyninger funnet i isbreer vil med stor sannsynlighet minke og avrenning og flom fra disse områdene øke. (Bates et al. 2008)

Stadig økende vannmengder vil påvirke eksisterende infrastruktur negativt. Både fordi det økende presset sliter på konstruksjonene, men også på grunn av utilstrekkelig dimensjonering av eksisterende infrastruktur. For at man skal kunne håndtere disse vannmengdene kreves nyinvestering, forsterkning og fornying av eksisterende infrastruktur. Sektorene som kan sees og påvirkes av de økte vannmengdene er flomvern, drenerings- og vanningsystemer, kloakk og overvannssystemer. Ofte er systemene underdimensjonert og utdaterte for et klima i forandring. Den økende graden av urbanisering og måten vi drifter og benytter oss av ulike landområder fører også til at klimaendringene blir mer åpenbare. Harde overflater og lite rom for infiltrasjon vil i byer føre til hyppigere flomsituasjoner og større skader på infrastruktur og privat eiendom. All denne informasjonen burde føre til et skifte i måten vi håndterer problemer, og et skifte i fokus til hvordan vi håndterer flomsituasjoner. (Bates et al. 2008)

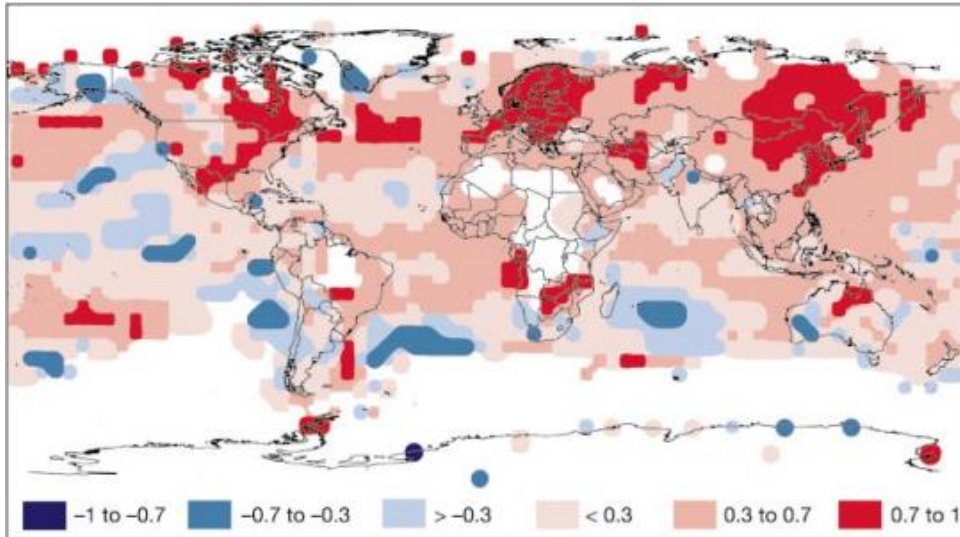
Tilfellet er at dagens standarder ikke holder mål for fremtidens vannmengder, og frykten er at vi ikke ser denne utviklingen raskt nok. I mange områder er selv dagens vannmengder for store for eksisterende infrastruktur. Dette fører ofte til flomrelaterte skader. Det er viktig at informasjonen om dagens situasjon og klimaforandringene spres ut til de riktige organene slik at man oppnår en bedre håndtering på lang sikt. Det forventes at stadig befolkningsvekst og skadepotensiale vil få et større omfang i fremtiden. (Bates et al. 2008)

Klimatiltak kan hjelpe på situasjonen og redusere omfanget av klimaforandringene. Som følge av klimaforliket skal Norge innen 2020 ha redusert utslippene sine med 30 prosent tilsvarende utslippet i 1990. Regjeringen har skjerpet dette kravet og har satt seg det mål at de innen 2020 vil ha redusert landets utslipp med 40 prosent. Det har også blitt skrevet under på at Norge skal være karbonnøytralt innen 2050, med et forpliktende mål om karbonnøytralitet innen 2020. Miljøtiltakene innebærer i mange tilfeller skogplanting og restaurering til opprinnelig tilstand, men dette kan i mange tilfeller ha negativ innvirkning fordi det legger beslag på store mengder vann. (Naturvernforbundet 2016)

Det forventes at ettersom klimaet forandres vil det dukke opp flere tilfeller av sykkloner, lavtrykkstormer, og flommer. Disse vil forekomme hyppigere og med høyere intensitet, noe som potensielt kan føre til et oppsving i sykdomsutbrudd i samfunnet. Dette spiller en større rolle for de mindre utviklede samfunn med dårlig utbygd infrastruktur og dårlig helsevesen. Det er derfor viktig å spre kunnskap om de miljømessige faktorene som leder til infeksjon og sykdom, bygge opp kapasitet til å håndtere eventuelle utbrudd og stoppe utbrudd. (Lau et al. 2010)

### 2.2 Økende temperaturer

Jordens temperatur har omtrentlig økt med 0,6 grader de siste hundre årene. Varmeøkningen har fortrinnsvis funnet sted mellom to perioder. Den første varte fra rundt 1910 til 1945 mens den andre begynte rundt 1976 og er pågående. Det kan sies at temperaturøkningen i den andre perioden er det dobbelte av den første og dermed større enn noen annen økning de siste 1000 år. De ulike klimaene responderer ulikt på disse forandringene, og forskjellene har en tendens til å variere mer fra sted til sted sammenlignet med den gjennomsnittlige temperaturøkningen. Dette fører til at det kan sees større utslag for klimaforandringene i enkelte deler av verden enn i andre. Disse forandringene, som kan beskrives som heterogene, sees mer frekvent fra område til område. På generell basis kan man si at minimumstemperaturene øker mer enn maksimumstemperaturene, og man kan derfor se en økning i periodene uten frost og tele så vel som en forlenging av de samme periodene. Dette fører blant annet til hyppigere forekomst av flom og mindre opplagring av snø og is, samt at de samme snømengdene blir utsatt for en stadig økende smeltesituasjon. Innsamlet data viser en 10 % nedgang i lagret snø sammenlignet med 1960 tallet. I tillegg ser man en økning i regnmønstre med 0,5-1% per årtier, og en skiftning i når disse regnsituasjonene inntreffer. Mens de store regnfallene i tidligere tider inntraff i sommer og høstperiodene, sees disse regnfallene nå mer og mer i høst og vinterhalvåret. En periode når mye av grunnen er frosset og lite mottagelig for infiltrasjon. Samtidig som disse forandringene blir mer og mer synlige i vår egen hverdag, påvirker de også organismer og hele økosystem på en negativ måte. (Walther et al. 2002)



Figur 2-1 - Bildet illustrerer temperaturøkningen for årsnormaler fra 1961 relativt til årsnormaler for 1990. Dataene presenteres som grader celsius økning per tiår (Walther et al. 2002).

Som en respons på denne alarmerende utviklingen har mer enn 100 forskjellige land signert en avtale om å redusere den globale oppvarmingen til en grense tilsvarende utslippene i den førindustrielle tidsperioden. Dette innebærer tiltak for å redusere risiko, utslipp, påvirkning på miljø og en generell reduksjon i skadeomfang. For å oppnå disse målene må den globale oppvarmingsraten ikke overskride 2 grader celsius i perioden 2000-2050. Dersom utslippene i denne perioden begrenses til 1000 gigatonn er det anslått 25 % sannsynlighet for at den generelle temperaturøkningen overskrider 2 grader celsius. Om vi overskrider en grense på 1440 gigatonn, har denne sannsynligheten passert 50 %. I perioden 2000-2006 ble det sluppet ut 234 gigatonn CO<sub>2</sub>. Utsiktene for å innfri 2050-målene er heller minimale. (Meinshausen et al. 2009)

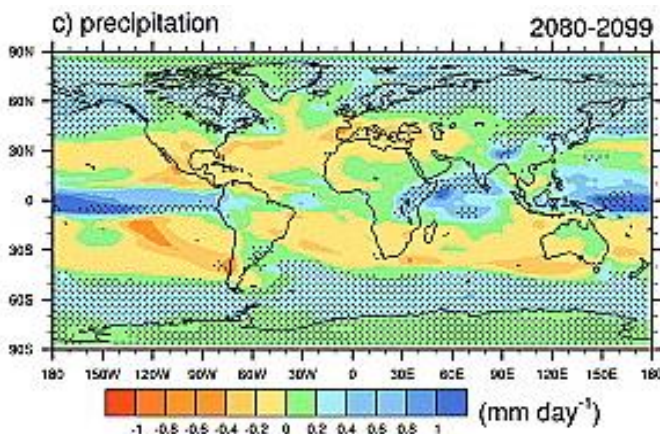
Det er mye som tyder på at ikke bare de generelle utslippene og størrelsen på disse som har noe å si for påvirkningen på klimaet og skadepotensialet. Graden av irreversibelt påvirker dette markant. Et potensiale for reversibilitet vil si evnen et økosystem har til å hente seg inn igjen til en tidligere tilstand. Forskning viser at klimautslippene, sett ut i fra dagens situasjon, er irreversible innen en periode på 1000 år. (Solomon et al. 2009)

### 2.3 Klimaforandringer og ekstremvær

#### 2.3.1 Ekstremnedbør

Den globale oppvarmingen forventes å forårsake en økning i regnfall og påfølgende flomsituasjoner. I enkelte deler av verden vil regnfallene bli redusert og det vil bli påfølgende tørke og reduksjon i matproduksjon. I andre deler av verden vil regnfallene øke, noe som vil resultere i økt forekomst av flom og overvannsrelaterte problemer. Den økte temperaturen knyttes til et økt innhold av vanndamp i atmosfæren som ytterligere forverrer problemene relatert til klima. (Solomon et al. 2009)

Denne økte innholdet av vanndamp i atmosfæren vil føre til et skifte i forholdet mellom evapotranspirasjon og nedbør. I regioner som allerede er varme og sliter med tørke, typisk middelhavslandene og store deler av Afrika, vil tørken forsterkes, mens nedbøren vil øke i andre allerede våte områder. Det økende innholdet av vanndamp vil fraktes til områder med mer gjennomsnittlig innhold av vanndamp i atmosfæren. Dette fører i tillegg til forandringer i den atmosfæriske sirkulasjonen. Effekter som følge av adveksjon og forandringer i trykk ved havoverflaten fører til de største svingningene i nedbørintensitet over nordligere deler av Amerika, nordligere deler av Europa og Asia, samt sørligere deler av Australia. Det forventes at innholdet av vanndamp i atmosfæren knyttes direkte til forandringer i nedbørintensitet i en fremtidig varmere verden. Dette innebærer at områder hvor atmosfæren har et høyere innhold av vanndamp vil få regnfall med høyere intensitet når nedbøren først forekommer. Den stadig økende temperaturen vil føre til at denne utviklingen går raskere, og man ser hyppigere regnfall med høy intensitet. I tropene vil dette problemet bli svært åpenbart, siden det er mer vanndamp i atmosfæren på generell basis. (Meehl et al. 2005)

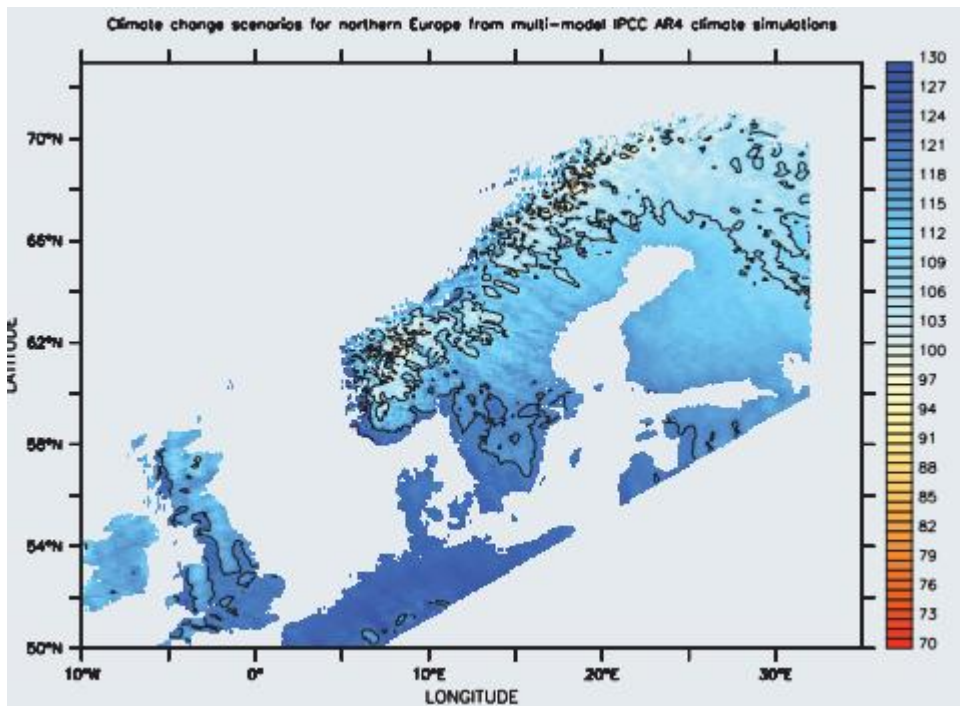


Figur 2-2 - Figuren viser årlig, gjennomsnittlig forandring i nedbør for perioden 2080-2099 kontra perioden 1980-1999. (Meehl et al. 2005)

## Klimaendringer

Flom er per dags dato et av de største problemene i Europa og Norge. Fra 1998-2002 har Europa blitt rammet av mer enn 100 flommer av markant størrelse, noe som har ført til tap av 700 menneskeliv og relokasjon av en halv million mennesker. I tillegg skaper de stadig mer frekvente flom- og stormsituasjonene store økonomiske tap. Det anslås at opp mot 77 prosent av naturskapede skader og påfølgende tap skyldes flom eller storm. Problemet er frekvent i alle europeiske så vel som i de nordiske landene. De siste tiårene har det blitt rapportert et stadig økende antall flommer globalt. Antall rapporterte tilfeller har i gjennomsnitt steget med en faktor på fire fra 1976 til i dag. (Aaheim et al. 2009)

Inntil nylig har det økende antallet flomsituasjoner ikke blitt knyttet direkte opp mot klimaendringene, mye fordi økende nedbør avhenger av at flere forskjellige faktorer inntreffer på samme tid. Nyere forskning og rapporter tyder på at det kan sees en tilknytning mellom de økende tilfellene av ekstremnedbør og klimaendringene vi opplever på en global basis. Det forventes at man kan oppleve en økning opp mot 30 prosent for kystnære strøk innen 2050 i Sør-Skandinavia. (Aaheim et al. 2009) (Benestad 2007)



Figur 2-3 - Figuren illustrerer sannsynligheten for at ekstremnedbør skal inntreffe i fremtiden sammenlignet med i dag. Blå farge indikerer økt sannsynlighet for ekstremnedbør. (Benestad 2007)

Det sees også et skifte i når tilfellene av ekstremnedbør inntreffer. Det forventes mer nedbør vinterstid, og som følge av dette vil antall dager med kraftig regn i løpet av et år øke. Aller mest i nord. Økt nedbør og økt intensitet sannsynliggjør tilfeller av flom i større grad enn før.

Det blir stadig vanligere med flommer sent på høsten og vinterstid, mens det sees en økning også i flommer med stort skadepotensiale også om sommeren. Det forventes også at vårflommene vil komme tidligere, og at det blir større sannsynlighet for tørke i indre deler av landet midtsommers. Selv om sannsynligheten for flomtilfeller øker, påvirkes dette også mye av demografisk utvikling og arealbruk. En økning i jordbruksarealer, tette overflater og høyere grad av urbanisering fører til et større skadepotensiale ved flomsituasjoner. (Aaheim et al. 2009)

Når nedbørsintensiteten øker forsterkes også risikoen for flom i mindre sideelver og bekker. Dette kan påvirke drikkevannskvaliteten negativt. Enkle tiltak mot dette problemet kan være å ikke legge slike elver og bekker i rør i urbane områder. For å sikre vannsikkerhet og drikkevannskvalitet under flomsituasjoner er det viktig at drikkevannet skilles fra avløp og kloakk. (Aaheim et al. 2009)

### 2.3.2 Stormflo

Stormflo inntreffer når vannstanden øker raskt innenfor et kort tidsrom. Fenomenet påvirkes av astronomiske og gravimetriskke faktorer utøvd av månen og solen på havet. Kraftige lavtrykk og påfølgende oppstuvning av vann langs kysten fører også til stormflo, og det er hovedsakelig disse som er i vekst. Norge sammenlignet med andre land er relativt lite utsatt for stormflo, men land som Nederland hvor store deler av landområdene ligger under havoverflaten er dette et større problem. For å bøte på dette problemet er det konstruert diker som lukkes for å beskytte landområdene mot vann når en stormflo inntreffer. Gjennomsnittlig i perioden 1994-2006 ble det utbetalt 19 millioner til skader relatert til stormflo i Norge. (I. Hanssen-Bauer & A.B. Sandø 2015; Institutt 2015)

## 3 Situasjonen i Norge og Norden

### 3.1 Klimaforandringer i Norge og Norden

Tendensen for Norge og Norden er den samme som for resten av verden. Utviklingen går dit hen at klimaet blir våtere og varmere. Spesielt er det vinteren i Norge og Norden som blir varmere, og i snitt ligger denne oppvarmingen over 2 grader celsius per år. I Norge har vi to ytterpunkter. Brekke i Sogn med sine 3550 mm nedbør i snitt gjennom året og Skjåk i den andre enden med 279 mm per år. Med så store avvik mellom regioner vil det også kunne



forventes større avvik mellom responsen på klimaendringer i Norge. En tendens er at de geografiske forskjellene blir forsterket. Dette vil si at på områder hvor det allerede er store mengder nedbør, vil disse nedbørstrendene forsterkes og det vil bli mer nedbør på sikt, mens det i andre deler av landet vil bli mindre endringer. Dette til tross for en totalt sett økning i nedbør og temperatur. Noen modeller og prognoser viser til at det kan forventes mindre nedbør på Østlandet om sommeren. Den økte nedbøren vil føre til økte mengder flom og ras, mens mindre nedbør på Østlandet kan føre til problemer med tørke for landbruket. På kort sikt kan man se en økning i snømengde i fjellene, men på grunn av temperaturøkningen vil den totale snømengden gå noe ned. (Institutt 2015)

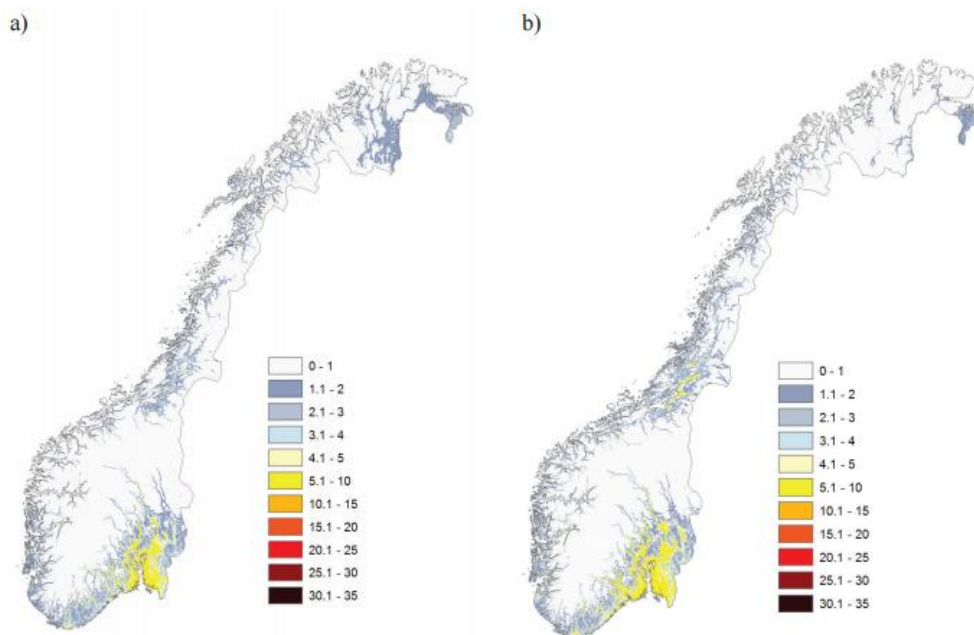
I en rapport utført av Norsk Klimaservicesenter ble det sett på prognoser for hvordan klimaet kommer til å utvikle seg i Norge og Norden frem mot 2100. Den første «Klima i Norge 2100» rapporten kom i 2009, og rapporten publisert i 2015 er en oppdatering til denne. En økning i årsnedbør så vel som årstemperatur ble spådd. Det er viktig å komme med nøyaktige prognoser for hvordan klimaet kan endre seg i fremtiden. Klimatilpasning er en av flere viktige strategier for tilpasning til endringer forventet å inntreffe i fremtiden, det vil si endringer man kan forvente at inntreffer. Med betydelige klimatiltak kan disse endringene bli mindre enn forutsett, og man vil se en hyggeligere utvikling. For klimatilpasning 50 til 100 år frem i tid blir det ikke lenger ansett som forsvarlig å basere seg på data om hvordan klimaet har vært frem til nå. Dette har ført til et behov for rapporter som sier noe om utviklingen til klimaet i fremtiden med menneskelig påvirkning. «Klima i Norge 2100» rapportene er et forsøk på å gi gode beskrivelser på denne typen scenarioer. (I. Hanssen-Bauer & A.B. Sandø 2015)

Utviklingen i klimaet beskrives som regel i forhold til en periode med gitte middelerverdier og variasjoner rundt disse. I «Klima 2100» rapportene falt valget på perioden 1971-2000 som referanseperiode. Det finnes en rekke mulige referanseperioder med fastsatte referanseverdier for blant annet temperatur og nedbør. (I. Hanssen-Bauer & A.B. Sandø 2015)

### 3.1.1 Temperaturøkning

I nordiske land benyttes begrepet tropedøgn for døgn hvor temperaturen nattetid ikke overskrider 20 grader celsius. Tilfellene av denne typen døgn er ikke uvanlige i Norge. Spesielt rundt Oslofjorden er denne typen temperaturen et kjent fenomen. Forekomsten av såkalte tropedøgn har økt siden perioden 1971-2000 hvor normalverdien lå på rundt 1-3

tropedøgn per år. I Figur 3-1 vises en oversikt som klart viser denne utvikling. På verdensbasis har antall varme døgn steget, og utviklingen er den samme for Norge. Antall kalde dager og netter har ifølge FNs klimapanel avtatt. Målingene fra stasjonene undersøkt i «Klima 2100» rapporten viser en temperaturøkning på mellom 0,1 og 0,5 grader celsius per tiår. Det ble vist til en større utvikling i gjennomsnittlig døgnminimum for samtlige stasjoner. Det ble også registrert høyere døgnmaksimumstemperaturer om vinteren. Selv om alle stasjonene viste økninger, var det betydelige variasjoner mellom de ulike stasjonene fra årstid til årstid. (I. Hanssen-Bauer & A.B. Sandø 2015)



Figur 3-1 - Antall døgn med middeltemperatur over 20 grader. a) Perioden 1971-2000 b) Perioden 1985-2014 (I. Hanssen-Bauer & A.B. Sandø 2015)

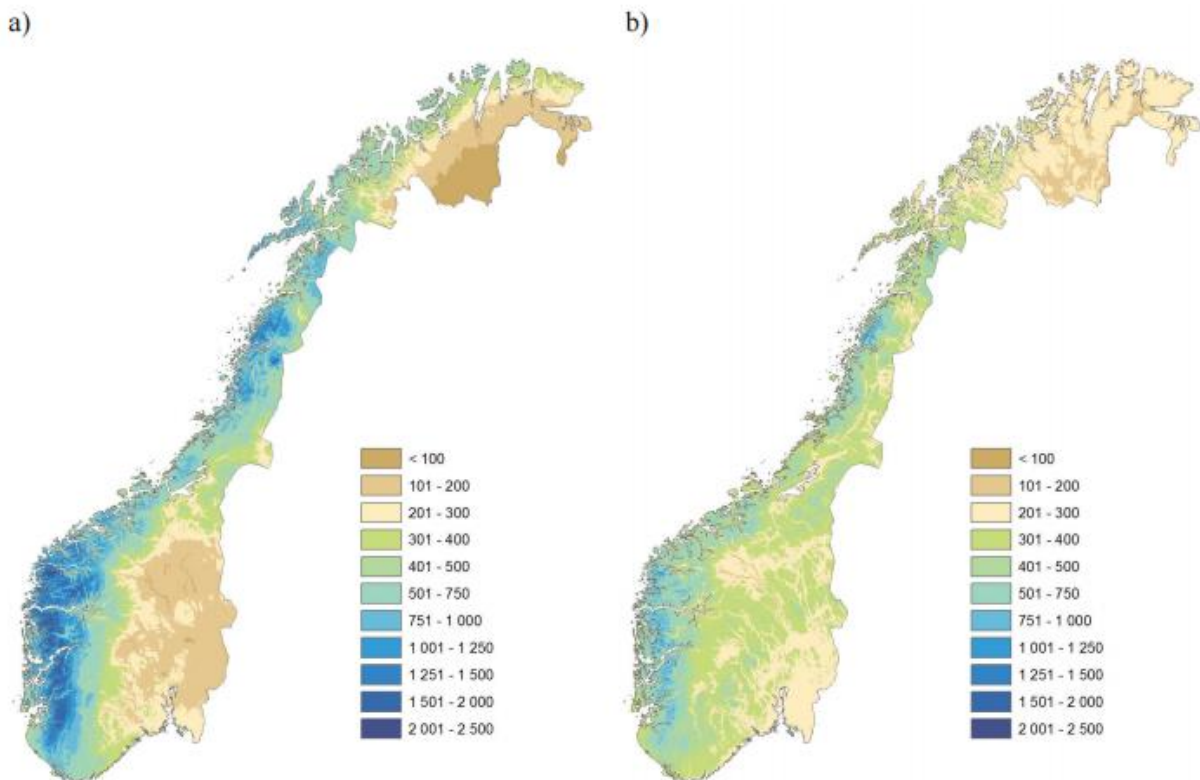
### 3.1.2 Nedbør

I Norge påvirkes i stor grad nedbørsmengdene av vindretningen. Vind fra sør-øst fører til lite nedbør på Vestlandet og mer på Sør og Østlandet. Ved vind fra sørvest er det mest nedbør i midtre strøk av Vestlandet og Nordland, mens det er mindre på Østlandet. En liten skiftning i vindretning kan derfor har mye å si for hvordan nedbørsforholdene rundt omkring i landet. Derfor vil fremtidige endringer i klima, med fokus på lavtrykkbaner og atmosfæresirkulasjon, ha mye å si for nedbørsutviklingen i Norge. (I. Hanssen-Bauer & A.B. Sandø 2015)

Årsnedbøren er størst i midtre strøk av Vestlandet, hvor brorparten av målestasjonene registrerte en årsnedbør på mellom 3500-4000mm i perioden 1971-2000. Oppfangingsvikt tyder på at denne nedbør heller ligger opp mot eller godt over 5000 mm per år. I Nord-Norge

## Situasjonen i Norge og Norden

registreres en årsnedbør på godt over 2000mm, mens det for fastlands-Norge estimeres en årsnedbør på cirka 1600 mm i samme periode. Østlandet, Finnmarksvidda og områder nær grensen til Sverige ligger i le for fuktige luftstrømmer og nedbøren i disse områdene er derfor lav. Målestasjonen i Skjåk visste en midlere årsnedbør på under 300mm. I vinterhalvdelen av året var hovedtrekkene i nedbørsfordelingen omtrent som for sommerhalvåret. (I. Hanssen-Bauer & A.B. Sandø 2015)

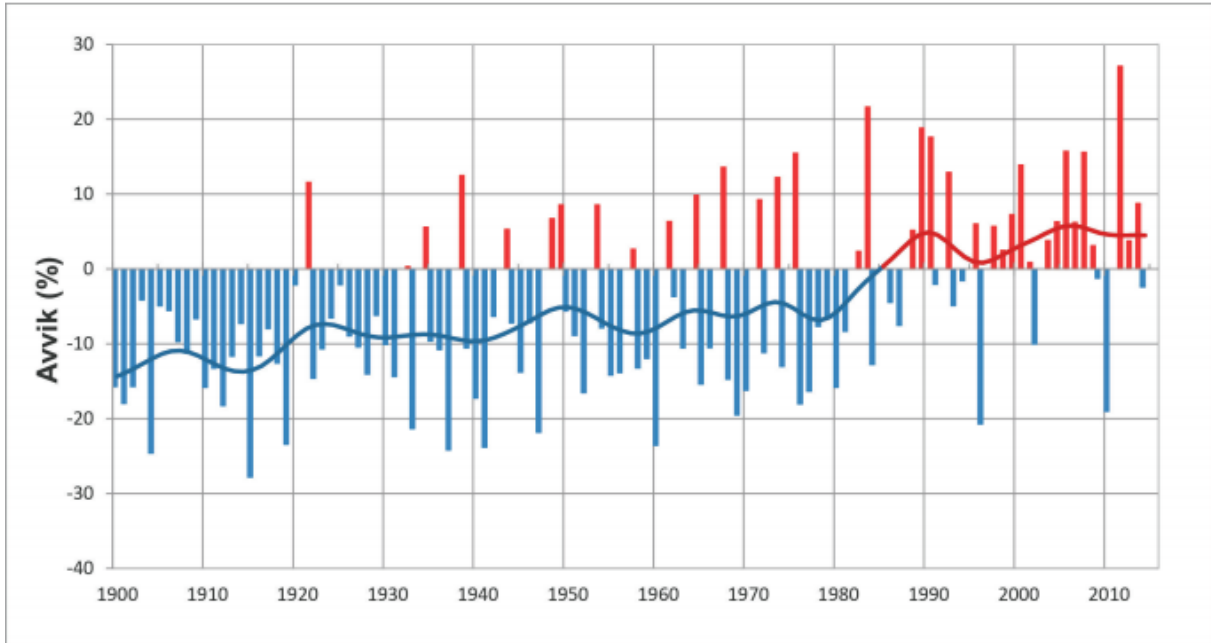


Figur 3-2 - Oversikten viser referansenedbøren i perioden 1971-2000. Figur a) viser nedbøren vinterstid, mens figur b) viser nedbør sommerstid. (I. Hanssen-Bauer & A.B. Sandø 2015)

Statistisk sett har årsnedbøren steget i samtlige deler av Norge de siste 115 årene. På fastlands-Norge har nedbøren steget med mer enn 18 %, mens den har steget mest i Østfold. Her har nedbørsmengdene økte med 27 %. I Figur 3-3 ses denne utviklingen over det siste århundret. Økningen er statistisk sikker i nesten alle regioner, bortsett fra to. Prosentvis nedbørsøkning vises også størst om våren, så det er i disse tidene man kan forvente størst utfordringer med store vannmengder i fremtiden. Både på grunn av akkumulerte snømengder over vinteren, men også som følge av økte nedbørsmengder om våren. Trenden viser også en raskere økning i årsnedbør de siste 30 årene. For perioden 1985-2014, en annen referanseperiode, er årsnedbøren i gjennomsnitt 4 % høyere for Norge som helhet. Den er også 7 % høyere enn perioden 1961-2000. I enkelt deler av Norge er årsnedbøren i perioden

## Situasjonen i Norge og Norden

1985-2014 opp mot 10 % høyere enn perioden 1971-2000. Dette tyder på økende nedbørsmengder og en form for «eksponentiell vekst» de siste 30 årene, noe som vil si at man kan forvente raskere økning i nedbørsmengdene i fremtiden. (I. Hanssen-Bauer & A.B. Sandø 2015)

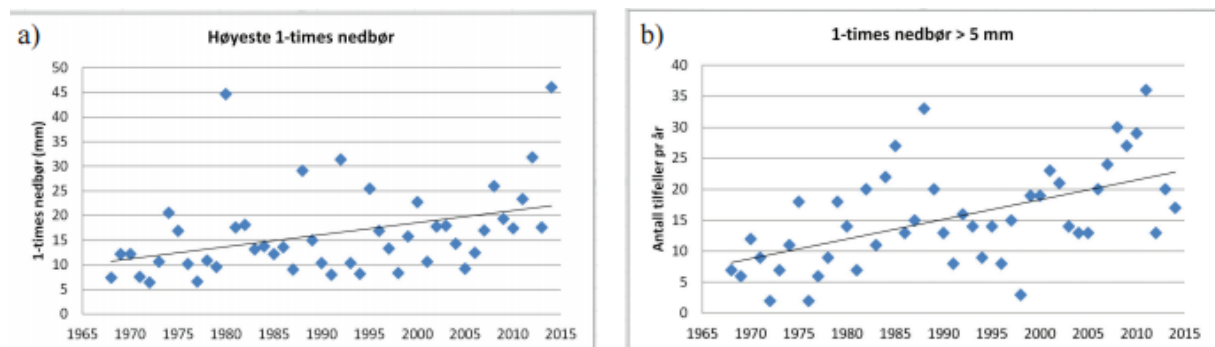


Figur 3-3 - Grafen viser prosentvis avvik fra en middelvei. Utviklingen for de senere årene er større avvik fra normalen og mer nedbør totalt sett. (I. Hanssen-Bauer & A.B. Sandø 2015)

### 3.1.3 Dimensjonerende nedbørsmengder

En stor del av infrastrukturen i Norge er basert på et estimat av ekstreme nedbørsmengder, som igjen baseres på en rekke måleserier over tid. I større vassdrag er det lengre regnfall, opp imot 1-10 dager, som forårsaker de største flommene. I tettbygde strøk er situasjonen en annen. Her forårsakes hoveddelen av skadene av korte, men intense byger. Ledningsnettene har ikke holdt tritt med den kraftige økningen i nedbørsmengder. Kapasiteten på overvannsnettene sprenges i tilfeller med kraftig nedbør og man får overløp. Kraftige vannmengder fører også med seg løsmasser som tetter kulverter og tvinger dermed vannmassene til å ta nye veier. Problemet er økende i takt med den økende graden av urbanisering og endringer i klima.

En av de største utfordringene med klimatilpasningen er derfor å dimensjonere for disse økte nedbørsmengdene. Tidligere verdier benyttet for dimensjonering ble ikke overskredet i mer enn 0,5 % av tilfellene. I «Klima 2100» rapporten valgte de å gå bort fra denne antagelsen og heller dimensjonere for de regnfallene som overskred prognosene med mer enn 0,5 %. Tanken bak dette er at man skal kunne dimensjonere bedre for fremtidige regnskyl og regnflommer. I praksis betyr dette nedbørsmengder som forekommer 1-2 ganger i året. I byer hentes målinger inn fra pluviometere\*. Fra disse målingene blir det beregnet dimensjonerende verdier for overvann. (I. Hanssen-Bauer & A.B. Sandø 2015)

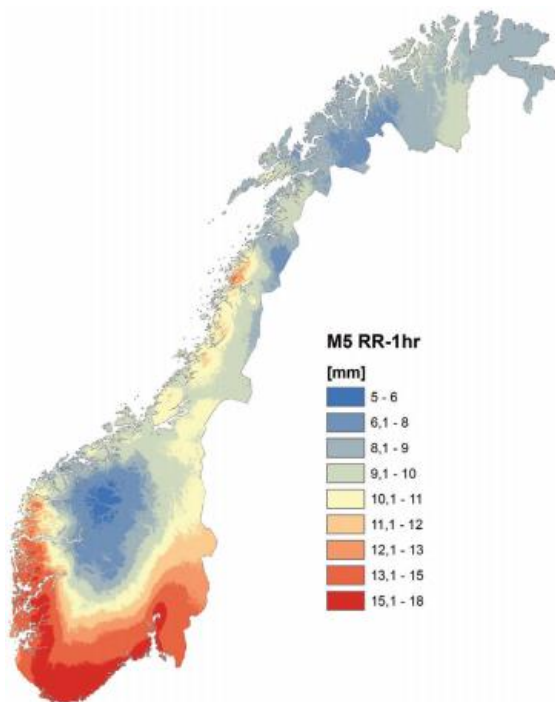


Figur 3-4 - Figurene fremstiller antall tilfeller med nedbørsverdier som overskrider en viss verdi. Dataene er hentet fra Oslo Blindern i perioden 1968-2014. (I. Hanssen-Bauer & A.B. Sandø 2015)

I områdene rundt Oslofjorden finner man som regel de mest intense regnbygene. Dette er byger med typisk varighet fra 1 minutt til en time, og med høye nedbørsverdier. Sørlandet og Vestlandet har henholdsvis størst nedbørsmengder over 1-6 timer og fra 12 timer og oppover. Det er observert en hyppig økning i moderate og kraftige nedbørshendelser de siste 50 årene. Økningen er størst i områder med allerede store nedbørsmengder. I regioner som vest og sørvest Norge har økning vært på gjennomsnittlig 30 prosent de siste 50 årene, og er forventet å stige mer og raskere i fremtiden. Kort og greit kan det sies at de høye verdiene opplever man

## Situasjonen i Norge og Norden

rundt Oslofjorden, på Sørlandet og deler av Vestlandet. I indre strøk og resterende deler av landet er verdiene lavere. (I. Hanssen-Bauer & A.B. Sandø 2015)



Figur 3-5 - En times nedbør med gjentakintervall på fem år. Dimensjonerende verdier kan hentes fra klimaservicesenter.no eller eklima.no (I. Hanssen-Bauer & A.B. Sandø 2015)

Dimensjonerende verdier kan hentes ut fra en nettressurs ved navn Klimaservicesenter.no.

Her finnes en liste med IVF-kurver som oppdateres jevnlig. I Figur 3-6 sees et eksempel på en slik kurve. I kurven finnes dimensjonerende verdier for Kristiansand-området. Målingene er hentet inn ved Sømskleiva målestasjon. (I. Hanssen-Bauer & A.B. Sandø 2015; Institutt 2014)



Figur 3-6 - IVF-kurve som viser regnintensiteten i perioden 1974-2012 i mm. Varighet fra 1-24 timer. Kurven er generert på klimaservicesenter.no

### 3.2 Fremtidige prognoser

#### 3.2.1 Modeller

For å bedre beskrive fremtidens situasjoner har forskerne utarbeidet fire alternative klimamodeller. De ulike modellene har forskjellig grad av utslipp og forbedringer i utslipp. Modellene kalles RCP-er og er alternative utslippsscenarioer. De avhenger mye av befolkningsvekst, teknologisk utvikling, politiske rammebetingelser og næringsutvikling. RCP-ene knytter anslått klimabelastning i året 2100 til en referanseverdi fra 1765. RCP 4,5 tilsier en ekstra tilførsel av energi på  $4,5 \text{ W/m}^2$  til jordens atmosfære. Formålet med disse modellene er at det skal bli enklere å forutsi hva de aktuelle klimatiltakene kan forbedre. (I. Hanssen-Bauer & A.B. Sandø 2015)

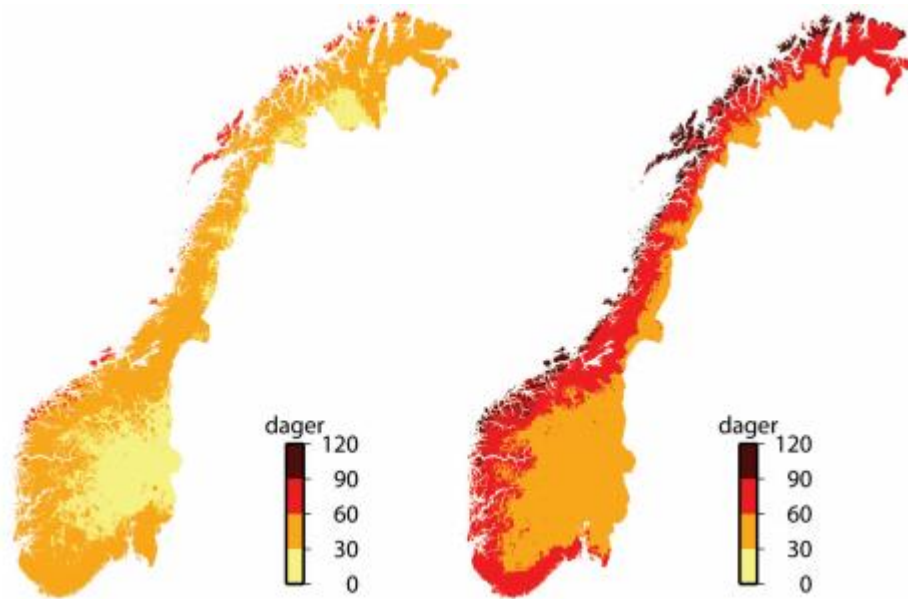
I Norge har man valgt å benytte tre ulike modeller. RCP2,6, RCP4,5 og RCP8,5. RCP2,6 tilsier et lavt utslippsscenario med bare  $2,6 \text{ W/m}^2$  tilført jordens atmosfære. RCP2,6 er det eneste scenarioet som fører til en global oppvarming som ikke overskrider 2 grader celsius. 2 grader celsius er det globale klimamålet. For at dette scenarioet skal kunne inntreffe må utslippene reduseres kraftig etter 2020, og innen 2080 må de menneskelige utslippene være redusert til null. Dette medfører at menneskeskapte klimagasser må fjernes fra atmosfæren. Det innebærer også at jordens befolkning ved utgangen av århundret ikke overskrider ni milliarder mennesker. I RCP4,5 er prognosene litt dårligere. Her forventes det at klimagassutslippet holdes på det nåværende nivået eller øker svakt. Når 2040 ankommer må jorden være i stand til å kutte klimagassutslippene sine drastisk. I 2080 må utslippene være redusert til cirka 40 % av utslippene i 2012 for at grensen, som i dette tilfellet ligger på 2,5 grader celsius, ikke skal overskrides. RCP8,5 forutsetter en kontinuerlig vekst i klimagassutslippene over det neste århundret og kan beskrives som et «i verste fall» scenario. Dette scenarioet innebærer at en forbedring i klimagassutslippene ikke inntreffer. Dette innebærer at jordens befolkning innen utgangen av 2100 har økt til 12 milliarder mennesker. Dette er også trenden klimagassutslippene har fulgt inntil nå, og dersom dette inntreffer vil den globale temperaturøkningen overskride 4 grader celsius. Det må imidlertid sies at det er knyttet en viss usikkerhet til disse modellene, og man kan ikke med sikkerhet forutsi klimaet i fremtiden på bakgrunn av disse modellene. (I. Hanssen-Bauer & A.B. Sandø 2015)

### 3.2.2 Temperatur

Prognoser basert på modeller viser en økning for alle årstider i Norge. En trend er at det sees en større utvikling i vintertemperaturene enn sommertemperaturene. For perioden 2071-2100 sees en økning på +2,7 °C for RCP4,5 og +4,5 °C for RCP8,5. Verdiene beregnet ut ifra de forskjellige modellene varierer imidlertid mye, også innad i modellene. For RCP4,5 varierer resultatene mellom +1,6 °C og +4,5 °C, mens de for RCP8,5 som regel ligger mellom +3,7 °C og +6,0. For RCP2,6 er økningen i årsmiddeltemperatur på 1,6 °C i den samme perioden, mens hovedtyngden av resultatene ligger mellom +0,9 °C og +3,1 °C. De høyeste temperaturendringene i perioden finner vi de Nordlige delene av Norge, mer spesifikt Varanger og Finnmark, med henholdsvis +2 °C for RCP2,6, +4 °C for RCP4,5 og +6 °C for RCP8,5. (I. Hanssen-Bauer & A.B. Sandø 2015)

Temperaturøkningen er mer utpreget i Nordlige deler av Norge og mer dominant i innlandet enn ved kysten. Naturlig nok er også temperaturendringene mer markante i RCP8,5 modellen enn i de to andre. For å bedre vise hvordan endringene påvirker klimaet i Norge har det blitt gjort en analyse av hvordan temperaturøkningene vil påvirke antall varme døgn i Norge. Disse prognosene viser for de to modellene med minst temperaturøkning en økning i antall slike dager i de nordligste fylkene i landet. For RCP8,5 ser man en økning i antall varme døgn over hele landet. For områdene rundt Oslofjorden, noen dalstrøk og områder på Vestlandet og Nord-Vestlandet vil man få opp mot 30 slike døgn per år. Det forventes også en økning for resten av landet på opp mot fem døgn per år. For samtlige modeller kan det også forventes en økning i vekstsesongen med opptil en måned for innlandsstrøk på Østlandet. I noen områder kan det oppleves en økning i vekstsesongen opp mot to måneder. Se Figur 3-7 for nærmere informasjon. (I. Hanssen-Bauer & A.B. Sandø 2015)





Figur 3-7 - Økning i antall dager med vekstsesong for perioden 2071-2100 for RCP4,5 (Venstre) og RCP8,5(Høyre)(I. Hanssen-Bauer & A.B. Sandø 2015)

### 3.2.3 Nedbør

For modellene RCP4,5 og RCP8,5 ser man en økning på henholdsvis 8 % og 18 % for årsnedbøren i Norge mot slutten av århundret. Målingene varierer mellom 3 % og 14 % for RCP4,5 og mellom 7 % og 23 % for RCP8,5. Se Tabell 3-1 for nærmere informasjon om målingene. Det som er interessant i disse målingene er at RCP8,5 gir framskrivninger som er sammenlignbare med hovedtrekkene for klimautviklingen i det forrige århundret. For RCP4,5 er det lagt opp til at disse endringene vil være betydelig mindre mot slutten av århundret. Dette er også naturlig i og med at modellen legger opp til mindre utslipp og også forbedrede forhold mot slutten av århundret. Igjen viser nedbørsendringene, som for temperaturendringene, seg størst i nordlige deler av Norge. Forandringen i mengde vil være størst i de allerede nedbørstette fylkene som Vestlandet og i Midt-Norge, og det er nok også her man finner de største overvannsutfordringene i fremtiden. Tilsvarende for dager med høy temperatur finnes det også prognoser for dager med høy nedbør. For RCP8,5 øker disse dagene med 89 % sammenlignet med perioden 1971-2000, og med 49 % for RCP4,5 scenarioet. I praksis vil dette bety at man vil oppleve en betydelig økning i antall dager med høy nedbør mot slutten av århundret. Forskerne utelukker ikke at det mot slutten av århundret kan sees en fordobling i antall dager med høy nedbør. Størst er forandringene i nordlige deler av Norge der temperaturøkningen er størst. For hver grad årsmiddeltemperaturen stiger er det forventet at man vil se en økning på 3,4 % i årsnedbør. Det er også beregnet at

## Situasjonen i Norge og Norden

---

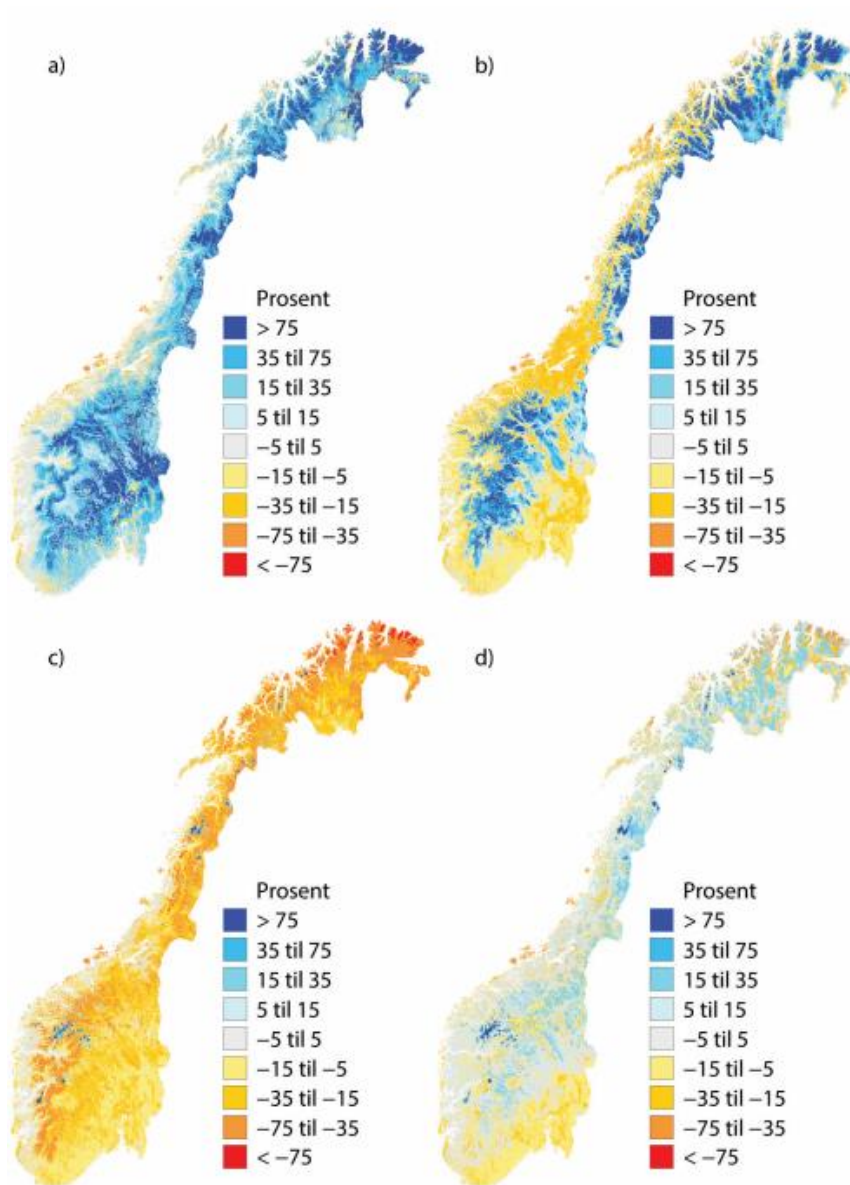
nedbørsmengden på de dagene med høy nedbør kommer til å øke i fremtiden. (I. Hanssen-Bauer & A.B. Sandø 2015)

Tabell 3-1 - Tabellen viser prosentvis forandring i årsnedbør for perioden 2071-2100 relativt til perioden 1971-2000. (I. Hanssen-Bauer & A.B. Sandø 2015)

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

### 3.2.4 Våte døgn og dimensjonering for fremtiden

Som nevnt i 3.2.3 vil det i fremtiden forventes flere tilfeller av våte døgn. Dette er døgn hvor nedbøren typisk er kraftig og intensiv. Typisk er det her tilfellene med styrtregn inntreffer. Økningen forventes å ligge på rundt +49% for RCP4,5 og + 89% for RCP8,5. De største utslagene sees om vinteren, men alle modellene viser økning for alle årstider. Antall dager med kraftig nedbør vil øke i alle regioner. Det er beregnet en økning i kraftig nedbør på dagene med stor nedbørsmengde, mer spesifikt 19 % for RCP8,5 og +12% for RCP4,5 i perioden 2071-2100. (I. Hanssen-Bauer & A.B. Sandø 2015)



Figur 3-8 - En fremstilling av avrenning for modellen RCP4,5. Grafene viser midlere endring i sesongavrenning fra perioden 1971-2000 til perioden 2071-2100. Det er en klar tendens til økt avrenning i fremtiden. Dette hos en av de to mer konservative klimamodellene. A) Vinter, B) Vår, C) Sommer og D) Høst. (I. Hanssen-Bauer & A.B. Sandø 2015)

En klimafaktor benyttes for å beregne påvirkningene klimaet vil ha på nedbørsmengdene og dimensjonerende overvannsmengder i fremtiden. For flomverdier benyttes ikke klimafaktor men et klimapåslag som legges til dimensjonerende verdi. Klimafaktoren avhenger av flere variabler blant dem gjentakintervall, nedbørvarighet, lokalitet, referanseperiode, scenario og en klimamodell tilpasset enten et globalt eller regionalt forløp. For RCP8,5 er klimafaktoren høyere enn for RCP4,5. I Tabell 3-2 sees en oversikt over forskjellige klimafaktorer for 3-timers og 1-døgns nedbør. Nedbørsmengder som overskrides i mer enn 0,5 % a tilfellene har liten forskjell mellom klimafaktorene. Forskjellen mellom 5 og 200 års gjentakintervall er

imidlertid stor, og det vil her være en høyere klimafaktor for 3 timer enn for 1 døgn.

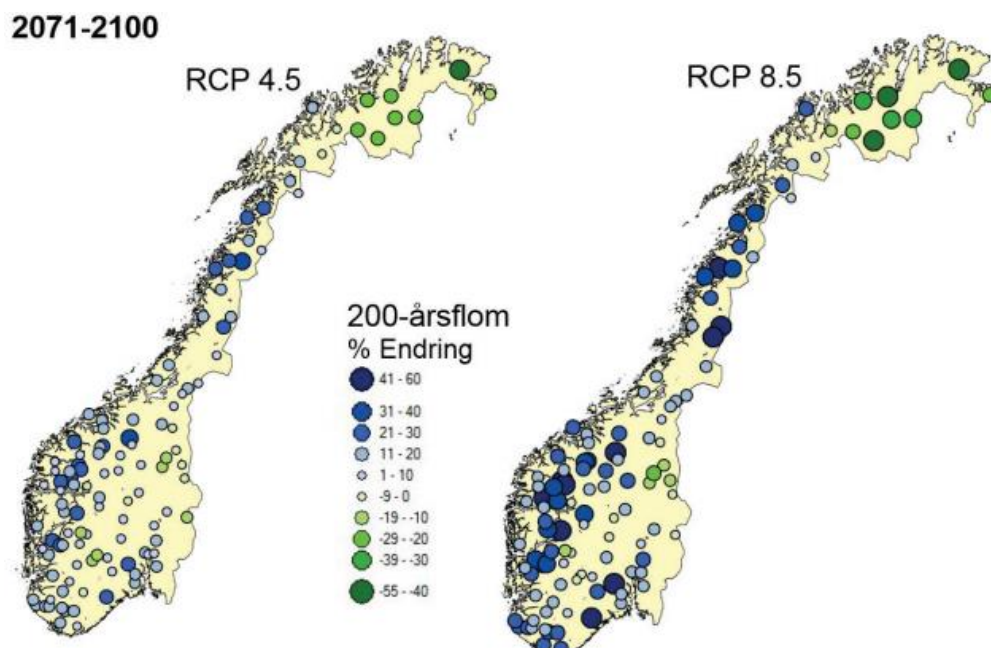
Tendensen for alle felt er en høyere klimafaktor for korte varigheter og økende gjentaksintervall. Dette stemmer overens med resultatene fra andre land. Beregningen av nøyaktige klimafaktorer er under kontinuerlig arbeid og blir fortløpende gjort tilgjengelig på klimaservicesenter.no. (I. Hanssen-Bauer & A.B. Sandø 2015)

Tabell 3-2 - Klimafaktor for endring 3-timers og 1-døgns nedbør for perioden 2071-2100. Sammenligningsgrunnlaget er hentet inn fra perioden 1976-2005. (I. Hanssen-Bauer & A.B. Sandø 2015)

Metode	RCP 4.5		RCP 8.5			
	3 timer	1 døgn	1 døgn	3 timer	1 døgn	1 døgn
		(6 modeller)	(10 modeller)		(6 modeller)	(10 modeller)
q99,5	1,11	1,11	1,12	1,20	1,20	1,19
M5	1,16	1,13	x	1,28	1,22	x
M200	1,19	1,14	x	1,38	1,26	x

### 3.2.5 Flom

Endringer i temperatur og nedbørsmengder vil mest sannsynlig også føre med seg endringer i form av økte tilfeller av flom og størrelsen på flommene som inntreffer. Framskrivningene kan benyttes for å anslå endringer i flomstørrelser. En 200 års flom vil, dersom klimaet ikke endrer seg, opptre en gang vært 200 år. Det vil si at det er omtrent 0,5 % sjans for at den inntreffer i et gitt vilkårlig år. I Figur 3-9 vises en fremstilling av denne forandringen. (I. Hanssen-Bauer & A.B. Sandø 2015)



Figur 3-9 - Viser en fremstilling av prosentvis forandring for 200-års flom for perioden 2071-2100 sammenlignet med referanseperioden 1971-2000. (I. Hanssen-Bauer & A.B. Sandø 2015)

## Situasjonen i Norge og Norden

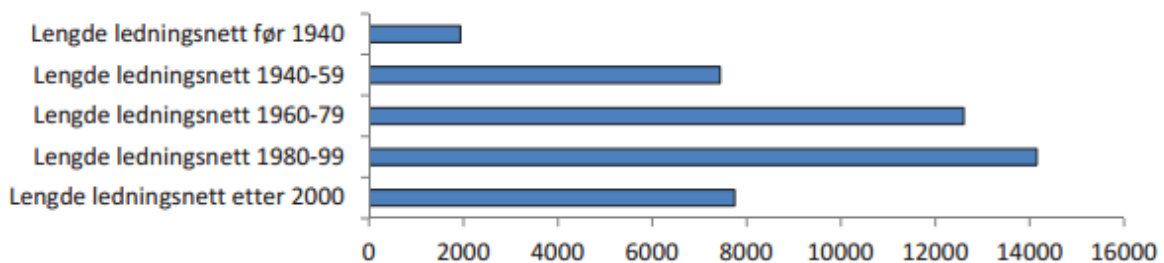
---

De største forandringene ser man for RCP4,5 på Vestlandet og i Nordland fylke. Dette er forandringer i 200-års nedbørsmengde på mellom 20 og 40 %. I enkelte fylker og regioner blir også flomstørrelsen redusert drastisk, slik som på Finnmarksvidda hvor man ser en reduksjon på 20 % i perioden 2071-2100. For RCP8,5 ser man en økning i de samme fylkene som for RCP4,5, men økningene er større. Her ligger verdiene mellom 40 og 60 % økning for 200-års flommene. I RCP8,5 finner man også økninger for indre deler av Østlandet på mellom 20 og 30 % og en liten økning i nedbørsmengdene for Trøndelag på cirka 10-20%. Prognosene viser med andre ord at vi kan vente oss kraftigere og mer frekvente flommer i fremtiden. (I. Hanssen-Bauer & A.B. Sandø 2015)

### 4 Etterslep i Norsk VA-sektor

#### 4.1 Foreldet ledningsnett

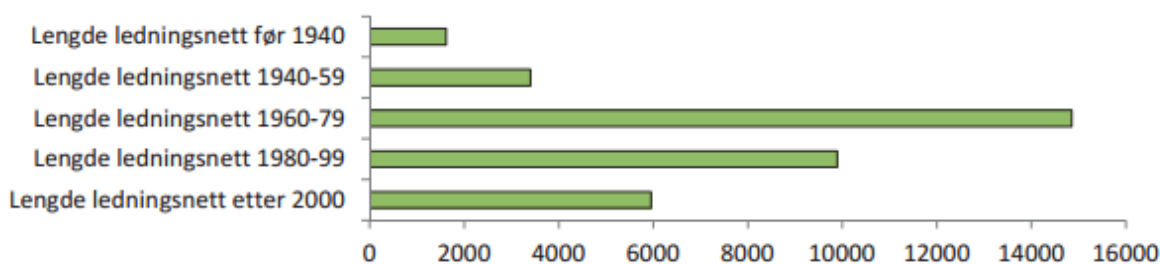
I Norge finnes store mengder tilgjengelig, rent vann. Rent drikkevann har aldri vært et problem. Dette merkes også på infrastrukturen og satsingen i vann og avløpssektoren. Årlig lekker omtrentlig 33 % av drikkevannet som produseres ut gjennom ødelagte drikkevannsledninger. I enkelte områder er anslaget oppe i så mye som 50 % lekkasjer. I Oslo har lekkasjene i lengre tid ligget på over 40 %. I perioden 1997-2007 halverte imidlertid kommunen utslippene sine. Arbeidet med en ny renoveringsperiode har startet, og målet er å redusere utslippene med ytterligere 10 % innen utgangen av 2020. Med 1522 vannverk landet over og 41000 km med ledningsnett er lekkasjene betydelige og det er viktig å arbeide for å redusert disse. Utslippene er estimert til å være rundt 10000 m<sup>3</sup> per km drikkevannsledning. I Fagernes har utslippene blitt registrert så høyt som 87463 m<sup>3</sup> per km ledningsnett hvert år. Beregnet levetid for dagens drikkevannsledninger er 100 år. Dette vil si at vi for hvert år må en prosent av ledningsnett fornyes for at standarden skal opprettholdes. Situasjonen frem til i dag har vært at for hvert år som går eldes ledningsnett med to. (Seehusen 2010; Skjærstad 2013)



Figur 4-1- Andel av ledningsnett som er konstruert i de aktuelle periodene. Norge har milevis med gammelt ledningsnett som etterhvert trenger fornying. Figuren fremstiller drikkevannsnett. (Vann 2013)

Tilgangen på rent vann gjør det enklere for kommunene å ignorere situasjonen. Dette er et problem både fordi rent vann i mange tilfeller siver inn i avløpsrør, og fordi drikkevannssituasjonen i fremtiden kan være en helt annen enn den vi ser i dag. Når rent vann siver inn avløpsledningene og føres til renseanleggene opptar man unødig kapasitet som kunne vært bedre benyttet i situasjoner hvor kapasiteten ikke er tilstrekkelig. Eksempler på slike situasjoner er tilfeller med styrtregn og flom. Ved flomsituasjoner blir presset på renseanleggene økt, noe som resulterer i overløp og dårligere kvalitet på rensset avløpsvann.

(Seehusen 2010)

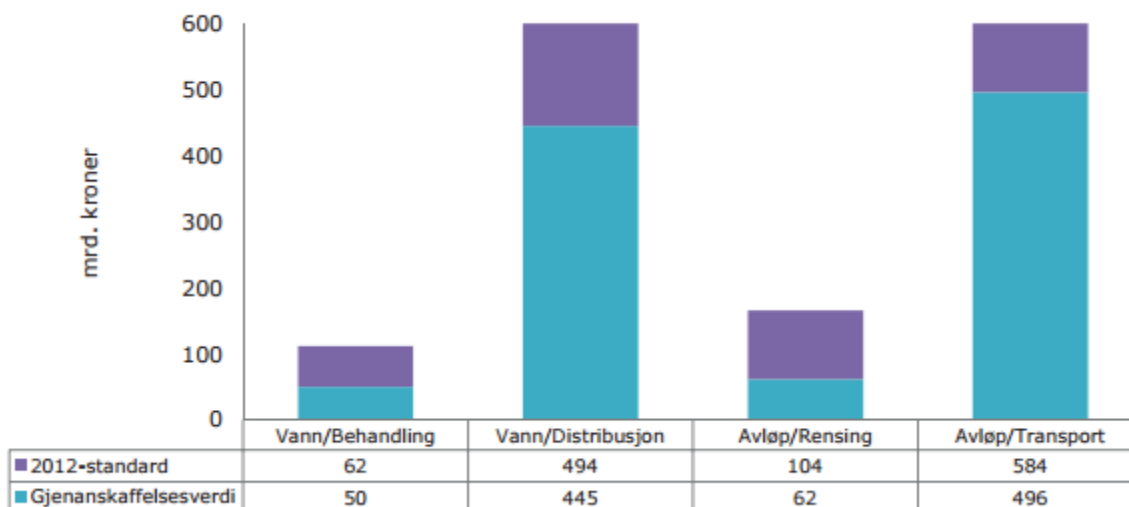


Figur 4-2 - Andel av ledningsnettet som er konstruert i de aktuelle periodene. Norge har milevis med gammelt ledningsnett som etterhvert trenger fornying. Figuren fremstiller kilometer ledning for avløpsnettet. (Vann 2013)

### 4.1.1 Gjenanskaffelsesverdi

Totalt har det norske ledningsnettet en gjenanskaffelsesverdi på rundt 1053 milliarder norske kroner. Se

Tabell 4-1 for nøyaktige verdier. Dette tilsvarer cirka 15 % av det norske oljefondet, 40 % av Norges bruttonasjonalprodukt, eller omtrent 200 000 per innbygger. Gjenanskaffelsesverdien for avløpsanlegget er noe høyere enn for drikkevannsanlegget. Kostnadene fordeler seg 60/40 mellom offentlige og private avløpsanlegg. I det private er kostnadene i hovedsak knyttet til stikkledninger eller andelsvannverk. For at standarden skal komme opp på et akseptabelt nivå må det investeres rundt 124 milliarder de nærmeste årene i offentlige VA-anlegg. Dersom man inkluderer private VA-installasjoner stiger investeringene med 64 milliarder kroner. Dette for at standarden skal komme opp på 2012-nivå. Frem mot 2030 må det investeres 290 milliarder, hvorav 186 milliarder i det offentlige. Det blir forutsatt at anleggene landet over allerede er brakt opp til 2012-standard. (Vann 2013)

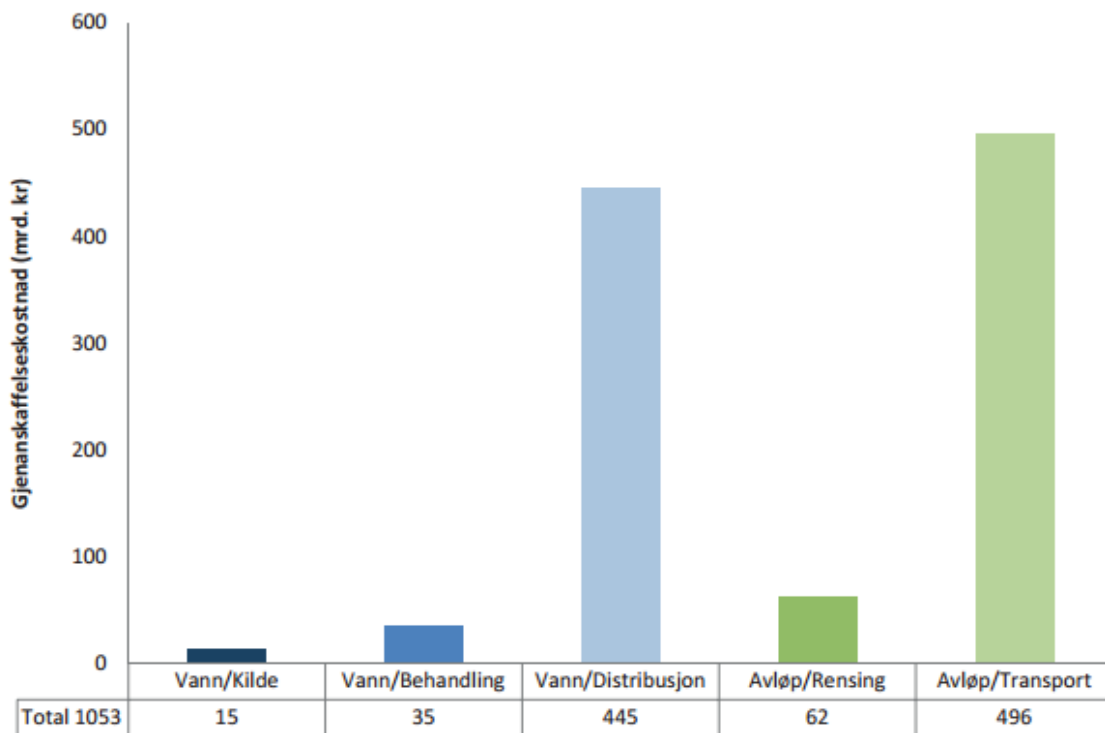


Figur 4-3- Beregnet kostnad for å oppnå perfekt 2012-standard samt gjenanskaffelsesverdien for anleggene. (Vann 2013)

I tillegg er følgende punkter viktig for investeringsbehovet: (Vann 2013)

- Klimaendringer og overvannsutfordringer.
- Befolkningsøkning og urbanisering.
- Energi og miljø.
- Sikkerhet og sårbarhet.
- Service- og samfunnskrav.
- Ledningsfornyelse.

Tabell 4-1 - Investeringsbehov innenfor VA-sektoren. Totalt må 1053 milliarder investeres for at vi skal få en fornying av eksisterende ledningsnett(Vann 2013).



### 4.1.2 Klimaendringer og investeringsbehov

Klimaendringene og overvannsutfordringene står sentralt for investeringsbehovet i fremtiden, mye på grunn av en forventet økning i mengder og frekvens, mens også på grunn av økt urbanisering. Totalt sett er investeringsbehovet for perioden frem mot 2030 45 % høyere enn for å heve dagens ledningsnett opp på 2012-standarden. Dagens overvannsnett er ikke dimensjonert for klimaendringene som forventes å komme i fremtiden. En annen ting er at det eksisterende ledningsnett er dårlig vedlikeholdt. Dette gir komplikasjoner når



situasjonen endrer seg ved flom og styrtregn. Dette skader en allerede delikat vann- og avløpshåndtering. (Vann 2013)

Årsmiddeltemperaturen er forventet å stige for alle årstider, men mest om vinteren. I tillegg er nedbørmengdene forventet å stige. Disse endringene må VA-sektoren være forberedt på. Det er også nyttig å ta hensyn til økning i havnivået og eventuell stormflo som skulle oppstå.

Løsningene må være fleksible og dimensjonert slik at de takler fremtidige klimaforhold på en god måte. Dette innebærer blant annet at kapasiteten ikke overskrides. Klimamodellene rangerer gjerne fra mellom 50 og 100 år frem i tid og framskrivningene er ikke 100 % nøyaktige. Det er derfor viktig å ta høyde for eventuelle uforutsette endringer i klimaet. (Vann 2013)

### 4.1.3 Vannbehandling

Med klimaendringene kommer også forandringer i vår- og høstsirkulasjon. Dette fører til et skifte og en forlengelse i periodene med dårlig råvannskvalitet. Den økte mengden nedbør og avrenning vil tilføre mer organisk materiale, noe som resulterer i dårlige drikkevannskvalitet og større rensutfordringer. Det forringer både den hygieniske og bruksmessige kvaliteten på vannet. Mange vannbehandlingsanlegg og renseanlegg må som følge av klimaendringene oppgraderes eller skiftes ut. Noen vannverk mangler også de nødvendige hygieniske barrierene som sørger for trygt drikkevann. Det er også i mange tilfeller behov for nye drikkevannskilder. (Vann 2013)

Blant tiltakene som kan bøte på situasjonen:(Vann 2013)

- Begrense tilførsel av forurensing og tiltak for regulering av vannkilden.
- Oppgradere og fornye eksisterende drikkevannsanlegg for å øke beredskapen mot forringet råvannskvalitet.
- Sikring av vanninntak.

Dersom man skulle implementere disse kravene i Norske vannbehandlingsanlegg vil investeringsbehovet per vannbehandlingsanlegg ligge på omtrent tre millioner norske kroner. Dette fordelt på omtrent 1600 anlegg. Dette resulterer i et totalt investeringsbehov på 4,8 milliarder kroner. Kun 5 % av dette tilføres private anlegg eller samvirker. (Vann 2013)

### 4.1.4 Fornyede kapasitetskrav

Større nedbørsmengder og økt andel av tette flater vil føre til økt press på nettet. Dette påvirker dimensjoneringen av overvannsledninger, avløpsrør og pumper. Disse har per dags dato for liten kapasitet for å takle fremtidens klima, med oversvømmelser og skade på bygg og eiendom som konsekvens. Det økte presset på ledningsnett vil også føre til økte kostnader til transport av væskene. I tillegg kommer et økt kapasitetsbehov og behandlingkostnader ved renseanleggene.

Per dags dato stiller noen kommuner krav til lokal håndtering av overvannet. Kristiansand kommune er en av disse kommunene. For å redusere presset på det kommunale nettet er det frem mot 2030 viktig at en stadig større andel av private foretak håndterer overvannet sitt lokalt. Det er også satt som mål at overvannet fra tettbygde strøk i stadig høyere grad skal håndteres lokalt på den enkeltes eiendom. I fremtiden vil det også bli lagt vekt på separering

av avløpsledninger og overvannsledninger slik at man unngår kapasitetsoverskridelser ved renseanlegg, påfølgende overløp og i noen tilfeller også tilbakeslag inn i folks kjellere. Dette vil føre med seg store kostnader. En total sanering av eksisterende ledningsnett vil ikke bli aktuelt da dette vil medføre graving på tett trafikkerte strekninger landet over. (Vann 2013)

Tiltak for å forbedre kapasiteten på ledningsnettet og renseanlegg:(Vann 2013)

- Øke kapasiteten på overvanns- og fellesledninger.
- Øke kapasiteten ved pumpestasjoner.
- Fornyng og kapasitetsøkning ved renseanlegg.
- Høyere grad av lokal håndtering av overvann både for private og det offentlige.

Totalt ligger dette investeringsbehovet på 65 milliarder kroner, der 18 av disse milliardene fordeles på private anlegg. 16 milliarder tilføres fellesanlegg og de resterende 31 milliardene flyttes til separatsystem og behandlingsanlegg.(Vann 2013)

### 4.1.5 Flom

Med en fremtidig økning i nedbør og avrenning, øker også risikoen for at flomsituasjoner inntreffer. Åpne og sikre flomveier er viktig for å lede bort de store vannmassene som inntreffer ved ekstremvær. Det er også en risiko for at flom forårsaker skader på renseanlegg og drikkevannsanlegg som ofte ligger i nærheten av vassdrag. EUs flomdirektiv stiller krav til risiko- og forvaltningsplaner som minimerer risikoen for skader ved flomutbrudd. Regelverket er ikke per dags dato implementert i det norske lovverket, men med en forventet økning i nedbør og tilfeller av flom vil nok dette med stor sikkerhet bli tilfellet. (Vann 2013)

Fremtidige forandringer i klimaet vil også føre med seg mer frekvente stormer. Dette vil føre til flere tilfeller av såkalt stormflo (1.3.2). En stigning i havnivå vil også være å forvente i fremtiden. Risikoen for at disse endringene i omgivelsene fører til skader på renseanlegg og vannbehandlingsanlegg langs kysten er til stede. Disse situasjonene kan også føre til inntrengning av salt havvann inn i ledninger og pumpestasjoner, noe som kan føre til korrosjon. Det er derfor viktig med en ombygging og sikring av eksisterende anlegg slik at dette ikke forekommer.(Vann 2013)

Tiltak som kan være effektive:(Vann 2013)

- For å sikre trygge flomveier åpnes lukkede bekker. Dette frigjør kapasitet ved flomsituasjoner.
- Areal til fordrøyning og alternative flomveier etableres.
- Sikre eksisterende anlegg mot flom og økt havnivå/stormflo.

Investeringsbehovet for disse oppgraderingen er estimert til å bli rundt 10 milliarder kroner. Det er imidlertid vanskelig å forutsi disse kostnadene fordi noen kostnader kommer inn under andre sektorer. Rundt 200 steder er forventet å bli påvirket av denne typen klimaendringer, og kostnadene er i all hovedsak knyttet til offentlige anlegg. (Vann 2013)

## 4.2 En helhetlig overvannsplanlegging

### 4.2.1 Moderne overvannsløsninger

Inntil nylig har overvann blitt sett på som et problem. Tiltakene har vært å lede overvannet bort i lukkede systemer og rør. Mulighetene er mange, og fra et opplevelsessynspunkt er det mange estetiske verdier knyttet til overvannet. De tradisjonelle løsningene er også i flere tilfeller lite egnet på grunn av kapasitetsproblemer og større kostnader knyttet til etablering. Overvann kan nyttes positivt for å fremme estetiske verdier. Åpent, rennende vann eller dammer kan i de fleste tilfeller skape et bedre bomiljø. I mange tilfeller er det også de rimeligste alternativet. Det er imidlertid viktig å huske på at infiltrasjon av overvann i noen tilfeller ikke er mulig. Eksempler på slike tilfeller er steder med tette masser i grunnen, slik som leire eller fjell.

Hovedvisjonen for fremtidige løsninger er at man muliggjør håndtering i overflaten. Overvannet skal være en synlig del av landskapet. Lukkede systemer vil i enkelte tilfeller være en nødvendig del av disse løsningene. Dette for å kontrollere, minske og forebygge skader. For det kraftige regnskyllene og flomsituasjoner er det viktig å planlegge åpne flomveier som sikrere en trygg rute for flomvannet til nærliggende vassdrag eller bekker. For at man skal nå disse målene er det viktig at flere fagområder samarbeider på en god måte.(Oddvar Lindholm & Aaby 2008)

Overvannsløsningene skal:(Oddvar Lindholm & Aaby 2008)

- Forebygge skader: Helse og miljø settes i fokus. Løsningene skal ha som mål og sikre omgivelsene for menneskene som bor i dem. Dette innebærer også redusert grad av forurensning.
- Overvannet nyttes som en ressurs: Vannet kan benyttes som et estetisk tilskudd til bymiljøet. Det kan også benyttes i forbindelse med rekreasjonsformål.
- Styrke det biologiske mangfoldet i bymiljøet: Infiltrasjon, åpne vannveier og dammer benyttes for å gjøre bymiljøet til et spennende og unikt sted å oppholde seg. Både for planter, dyr og mennesker.

### 4.2.2 «Helhetlig overvannsplanlegging»

Tidligere ble overvannsproblematikken håndtert av VA-etaten. Dersom man skal lykkes med å benytte overvann som ressurs i et bymiljø må det samarbeides på tvers av etater. Overvann har heller ikke blitt vurdert som en nevneverdig forurensningskilde. Dersom økt grad av dammer og bekker skal benyttes kan ikke dette fortsette. Miljøgifter spesielt fra trafikk og industri må tas hensyn til. Der overvann tidligere ikke har vært nevnt i reguleringsplaner, bebyggelsesplaner, kommuneplaner og kommunedelsplaner må overvann bli tatt hensyn til, og man må utarbeide løsningene fra starten. Flom og overvannsplanlegging bør derfor samordnes med arealplanleggingen i kommunen. Dagens overvannshåndtering bør også styrkes med utarbeiding av flom- og drensplaner. EUs rammedirektiv oppfordrer til dette, og EUs flomdirektiv tilføyer at flomrisiko skal beregnes, en akseptabel grense for risiko skal settes og konkrete tiltak skal utarbeides slik man når denne grensen. I tillegg bør informasjon gis til private aktører og innbyggere som oppholder seg i soner med høy risiko for flom slik at disse kan forberede seg. Der er også mulig at dagens lovverk må forandres for å bedre møte fremtidens krav og utfordringer. (Oddvar Lindholm & Aaby 2008)

Åpne flomveier bør planlegges fordi rørsystemet ofte ikke klarer å ta unna alt overvannet. Sikre flomveier bør planlegges og konstruksjoner som hindrer flomveiene bør vurderes fjernet. Dette arbeidet innebærer også at man må opparbeide helhetlige planer for nedslagsfelt og kartlegge hvordan flommene utarter seg i disse områdene. Mange kommuner sliter med at tiltakene kommer etter flommen har inntruffet. Det er viktig at tiltakene kommer forut slik at skader unngås. (Oddvar Lindholm & Aaby 2008)

### 4.2.3 Forurenset overvann

Siden det i mange tilfeller er vanskelig og kostbart å etablere godt fungerende rensesystemer for overvannsløsninger, vil det være mest konstruktivt å sette inn tiltak for å begrense forurensningene før de når ut til omgivelsene. Dette innebærer reduksjon av skadelige stoffer benyttet i forbindelse med konstruksjon av bygninger, renhold av gater, og holde overvann som er forurenset atskilt fra ikke-forurenset overvann. Det er dessuten viktig med riktig vedlikehold av sandfang og gatesluk, en oppgave det i flere tilfeller blir slurvet med. Det er viktig å ha vannkvalitet i fokus når overvannet fungerer som en aktiv del av et bymiljø. Overvannet vasker med seg mye forurensninger på sin ferd gjennom byen, og det er også en risiko for at det kan forsøples.

Forurenset overvann kan enten renses lokalt eller ved at overvannet ledes til et nærliggende kommunalt renseanlegg. Problemet med sistnevnte er at kapasiteten ved renseanlegget fort overskrides. Enkle løsninger for å rense overvannet lokalt kan for eksempel være en form for sedimenteringsbasseng med etterfølgende sandfang og oljeavskiller. (Oddvar Lindholm & Aaby 2008)

Oppsummering av konkrete tiltak fordelt på de ulike instansene i offentlig sektor:(Oddvar Lindholm & Aaby 2008)

- Administrasjon og planlegging:
  - Klimaendringer må tas hensyn til. Langsiktige planer må utarbeides. 10-årsplaner er nødvendigvis ikke nok.
  - Risikoområder må utredes med nøyaktighet.
  - Byplanleggingen og beredskapsplanleggingen må tilpasses disse utredningene.
- Utredninger, informasjon og kommunikasjon:
  - Vurdere oversvømmelsesrisiko og lokale effekter av kraftig, intens nedbør.
  - Vurdere hvorvidt tidligere overvannssystemer vil takle fremtidens krav og om disse bør saneres.
  - Forbedre dagens systemer for varsling av flomsituasjoner.
  - Kommunikasjon med det private og huseiere for å informere disse om flomsituasjonen i boligområder og konstruksjonsområder.
- Tekniske og økonomiske tiltak:
  - Tekniske tiltak som forbedrer håndteringen av flom og overvann.

- Avgifter kan fremme/motvirke noen typer løsninger. Vurder bruken av disse for å få utviklingen på rett veg.
- Reglement:
  - Endring i sanitærreglement og eksisterende VA-normer.
  - Strengere krav til rensing både for private og offentlige anlegg.
  - Nivåbasert regulering. Komme med målrettede krav gjennom utviklingen av et prosjekt.
  - Krav til håndtering av overvann. Overvannssystem som ligger lengre oppe i et nedslagsfelt skal ikke overbelaste overvannssystem lengre ned i nedslagsfeltet.

### 4.2.4 Rettsregler og rettspraksis

I henhold til forurensningsloven paragraf 24a har ledningseier økt ansvar for skader som skulle oppstå. Dette medfører at kommunen eller privat ledningseier har et større ansvar dersom det skulle oppstå lekkasjer eller overbelastning av avløpssystemet. Dette såfremt den skadelidende parten ikke kan påberope seg force majeure. Det er essensielt kravet til force majeure som etter flere domsavsigelser har blitt skjerpet. Hovedsakelig med tanke på vedlikehold av rister, bekkeinntak og ikke selvrensende ledninger. Kommunen kan risikere et erstatningskrav dersom vedlikeholdet ikke skulle være tilstrekkelig, og dersom det kan påvises en årsakssammenheng med dette. (Oddvar Lindholm & Aaby 2008)

For drikkevannsledninger og vanntuneller vurderes ansvaret opp mot vannressursloven paragraf 47d. For avløpsledninger følger ansvaret §24a i forurensningsloven. Innskjerpingen når det kommer til ansvarsfraskrivelse fører til at kommunen i større grad må vurdere om egen praksis er god nok. Dette vil på sikt føre til bedre egnede overvannssystemer, i og med at sjansens for at force majeure skal gi ansvarsfritak er veldig liten. (Oddvar Lindholm & Aaby 2008)

I ny rettspraksis har det også blitt vedtatt at kommunen har ansvar for at ny byggegrunn er trygg. Fra plan og bygningslovens §68 lyder det at grunnen bare kan påbygges «dersom det er tilstrekkelig sikkerhet mot fare eller vesentlig ulempe som følge av natur- eller miljøforhold.»(Oddvar Lindholm & Aaby 2008)

Kommunen kan i tilfellet av slike hendelser blitt holdt ansvarlig for uaktsomme handlinger. Det samme gjelder om kommunen skulle ha unnlatt å ta ansvar for overvannshåndteringen i et område. For eksempel kan kommunen bli stilt til ansvar om det har blitt unnlatt å stille krav til tilstrekkelig infiltrasjon i grunnen, eller i tilfellet kommunens reguleringsmyndighet har forsømt seg i så måte at risikoutsatte områder har blitt bygd ut. Også utilstrekkelige krav i forbindelse med byggesøknader kan medføre ansvar. (Oddvar Lindholm & Aaby 2008)

### 4.2.5 Fremtidsrettet overvannshåndtering

En fremtidsrettet overvannshåndtering tar sikte på å beholde overvannet i opprinnelsesområdet, dette ved hjelp av fordrøyning, infiltrasjon og forhindre at overvannet blir forurenset. En fremtidsrettet overvannshåndtering tar sikte på å kombinere elementer som estetikk, biologisk mangfold, forbruk av ressurser og observasjon av overvannet fra start til



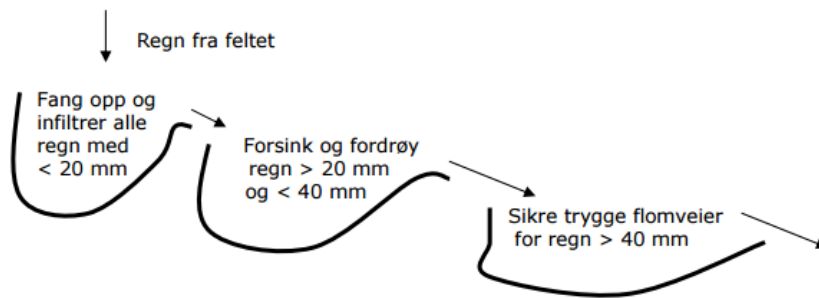
slutt. Prosessen er mer tidkrevende sammenlignet med konvensjonelle systemer, men på lang sikt vil fordelene med disse systemene helt klart oppveie for den ekstra tiden det tar i planleggingsfasen. Den mest praktiske metoden vil være å benytte lokal overvannshåndtering. Målet er at den overvannshåndteringen skal lede bort overvannet og samtidig drenere grunnen for å forhindre fuktskader. Det er også et mål at løsningene skal forhindre oversvømmelser og erosjon, samt bidra til at beboerne i området får gode levevilkår. (Oddvar Lindholm & Aaby 2008)

Før man benytter seg av ulike tiltak er det viktig med grundig planlegging.

Overvannshåndtering omfatter mange forskjellige fagområder som blant annet metrologi, arealplanlegging, vannkjemi og geologi. Det er viktig at de forskjellige instansene og fagområdene samarbeider godt for å oppnå de beste løsningene. (Oddvar Lindholm & Aaby 2008)

Sjekkpunktet før man setter i gang med LOD-tiltak:(Oddvar Lindholm & Aaby 2008)

- Det er viktig at det er mulighet for infiltrasjon i grunnen. Det må derfor undersøkes om infiltrasjonskapasiteten er tilstrekkelig for å ta unna vannmassene som oppstår.
- Kan lavbrekk i terrenget føre til oppsamling av vann? Hvilke skader kan eventuelt oppstå på bygninger og materiell som følge av denne oppsamlingen?
- Dersom tomten innehar trafikkarealer må det også fra disse sikres tilstrekkelig drenering og oppsamling av overvann. Tette flater er ugjennomtrengelige for vann og generer derfor mye avrenning ved nedbør.
- Frost og tele er elementer som er svært viktig å vurdere nøyaktig. I fremtiden vil mildere perioder kunne oppstå oftere også om vinteren. Det er derfor mulighet for at store mengder overvann kan oppstå også om vinteren. For at dette overvannet skal kunne ledes bort, må overvannsløsningen takle frost. Snø og is kan også forhindre at avrenningen foregår på måten den var tiltenkt. Trengs spesielle løsninger for å forhindre dette?
- Store vannmasser fører ofte til erosjon. Trengs det erosjonssikring for å forhindre dette?



Figur 4-4 - Treleddsstrategi som beskriver hendelsesforløpet for lokal overvannshåndtering. (Ødegaard 2013)

### 4.2.6 Hvorfor velge åpne flomveier

I fremtiden er det i større grad ønskelig at man benytter seg av åpne flomveier. Grunnen er enkel. Det forventes en stadig stigende nedbørsmengde i fremtiden, noe som vil resultere i et økt press på eksisterende infrastruktur. Dagens infrastruktur viser allerede tegn til kapasitetsproblemer. Dette resulterer i at vannet renner til områder det ikke var tiltenkt å være i utgangspunktet, noe som resulterer i store skader. Dagens VA-anlegg har også i mange tilfeller forfalt. Dårlig fornyingstakt og dårlig vedlikehold fører til et behov for alternative flomveier. Når avløpsledningene svikter, finner vannet nye veier. Disse veiene vil være naturlige lavbrekk i terrenget, men det er ikke alltid de er tiltenkt å fungere som flomveier. Manglende fornying og vedlikehold fører også til redusert hydraulisk kapasitet, noe som også kan føre overvannet til overflaten. Situasjonen er den samme for vannledninger hvor brudd ofte fører til økt vannmengde i spillvannssystem. ((SINTEF) et al. 2014)

I en del kommuner forventes også økt befolkningsvekst og økt grad av urbanisering. Dagens infrastruktur er ikke tilpasset denne økningen, og dette kan føre til overbelastninger.

Urbanisering fører til økt andel av tette flater, noe som fører til økt avrenning og økt press på avløpsnett. ((SINTEF) et al. 2014)

Fra myndighetenes side, og da spesielt EU, har det i senere tid kommet et sterkere fokus på klimatilpasning. Som nevnt tidlig har kommunene fått økt ansvar i forhold til vedlikehold og etablering av egne løsninger. Vann på avveier medfører en stor risiko. Både kommunene selv og fylkesmannen, samt sentral regjering, ser denne utviklingen og tilpasser lovverket deretter.((SINTEF) et al. 2014)

Overvann og flom har ofte store konsekvenser for annen infrastruktur. Særsilt veg og bane hvor det i mange tilfeller sees store ødeleggelser og påfølgende problemer med

trafikkavvikling og logistikk. Nylige historiske hendelser slik som flommen i 2011 og 2014 har økt betydningen av denne typen tiltak. Styrregn i Oslo-området har i mange tilfeller ført til kaos og ødeleggelser på grunn av overvann på avveie. Dette synliggjør behovet for åpne, robuste flomveier. ((SINTEF) et al. 2014)

Overvann er også en potensiell trussel mot liv og helse i de tilfellene det kommer i store mengder og er uhåndterlig. Også psykisk helse er i fokus, men da den positive virkningen rennende vann har. Det fører i større grad til aktiv bruk av elver og vassdrag til friluftsliv og andre aktiviteter. Overvannets betydning for innbyggerne er stor, og det har som følge av dette kommet et sterkere fokus på naturlige vannveier. ((SINTEF) et al. 2014)

## 5 Overvannsløsninger for boligområder

Boligområder generer store mengder overvann. Mye på grunn av lite gjennomtrengelige flater slik som tak, asfalt og betong. En god løsning kombinerer forskjellige elementer for best å håndtere overvannet fra området. Hovedprinsippet bak løsningene er at vannet ledes i renner og kanaler frem til grønne korridorer og videre til en sentral dam eller en egnet resipient. Underveis benyttes fordrøyningsløsninger slik at variasjonene i vannmengdene blir små. Overvannet som stammer fra trafikkerte arealer må behandles, mens det i andre situasjoner vurderes om kvaliteten tilsier at vannet bør renses. Valget av systemer avhenger av hvilket ledd i løsningen de befinner seg i, nær kilden eller ved utløpet. (Svein Endresen (Scandiaconsult) & (Norconsult) 2010; Ødegaard 2013)

### 5.1 Overvannsløsninger

#### 5.1.1 Renner og kanaler

Renner og kanaler benyttes i de fleste tilfeller for å transportere overvannet fra et område til et annet, eller for å eksempelvis samle opp vann fra tak og faste overflater. Rennene bør være enkle og krysse, og de må også tilføre estetisk verdi til området. Løsningene fungerer best når de konstrueres i åpen tilstand. Dette gjør vedlikehold enklere og reduserer også risikoen for tilstopping. Godt vedlikehold løser i de fleste tilfellene problemene man har med renner. Om vinteren må også vedlikeholdet opprettholdes slik at rennene ikke stoppes til med is og snø. Det er viktig å huske på at rennene ikke skal håndtere store mengder vann som oppstår i ekstraordinære situasjoner. Det bør derfor planlegges egne flomveier om kraftig nedbør skulle inntreffe. Ved større vannmengder kan rennene utformes som kanaler eller bekker. (Ødegaard 2013)



Figur 5-1 - Figuren viser en åpen renneløsning. Systemet er lite utsatt for tilstopping og er lett å vedlikeholde.(Johansen)

### 5.1.2 Fordrøyning

Fordrøyning går i all hovedsak ut på at noe av vannet holdes tilbake slik at ikke den resterende delen av et overvannssystem overbelastes. Prinsippet går også ut på at vannmengdene som oppstår ved nedbør fordrøyes, før de så slippes ut igjen i en jevn strøm. Dette fører også til at renner og kanaler ikke trenger å dimensjoneres for kraftig.

Tørr fordrøyning har i senere tid blitt mer og mer brukt, og skiller seg ut som en positiv løsning i områder hvor plass er et problem. Utgangspunktet er at et areal benyttet for eksempel til ballspill eller som lekeplass kan benyttes når situasjonen krever det. Når nedbøren øker og situasjonen krever det, fungerer ballgropene eller lekeplassen som fordrøyningsareal. Et krav er imidlertid at arealet må ha estetisk verdi, både i oversvømt tilstand og ved normal bruk. (Svein Endresen (Scandiaconsult) & (Norconsult) 2010)

### 5.1.3 Dammer

Et normalt og viktig element i mange overvannsløsninger, og ikke minst et element som bidrar positivt til den estetiske delen av arealutformingen. Vannstanden bør ikke variere med mer enn 20-30 cm, dette for å opprettholde den visuelle delen av løsningen. Størrelse, utstrekning og beliggenhet er viktige elementer som avgjør hvor godt løsningen mottas av brukerne. Vannspeilet bør heller ikke ligge for lavt i terrenget. Dette skaper en lite positiv barriere mellom vannet og resten av landskapet. Lukt og insektsplager oppstår sjeldent. Der er derimot viktig å ha gode rutiner for fjerning av søppel. Dammene bør sikres i bunnen med egnede materialer for på denne måten å hindre lekkasjer. (Svein Endresen (Scandiaconsult) & (Norconsult) 2010)

Konstruksjonskriterier ved konstruksjon av overvannsdamm:(Svein Endresen (Scandiaconsult) & (Norconsult) 2010)

- Oppholdstiden bør ikke overskride 3 uker. Problemer med lukt og forurensning kan oppstå.
- Middeldybde bør ikke overskride 1,5 meter.
- Formen bør være langstrakt. Dette sikrer god gjennomstrømming.
- Resirkulering og/eller tilførsel fra ekstern vannkilde sikrer riktig vannivå i dammen.
- Forurenset overvann bør forbehandles for å unngå kontaminering. Det er også fornuftig at utslipp av uheldige stoffer minimeres av hensyn til vannkvaliteten i dammen.
- Dersom dette ikke gjennomføres må overvannet behandles med renseløsninger.

Algevekst og tilgrusning kan oppstå. Dette tas hensyn under konstruksjonen av dammene. Hovedårsaken til algevekst er stillestående vann. Under slike forhold får algene ideelle vekstforhold. Det er derfor viktig at man sørger for sirkulasjon i vannet. Dette kan løses ved hjelp av pumper, men det er viktig å huske på å redusere bakevjer og stillestående soner. En fontene vil bidra med ytterligere sirkulasjon. Ved å etablere en bunnventil kan bassenget tømmes, og ved hjelp av vannuttak kan vann etterfylles om det skulle være nødvendig. Et biologisk rensetrinn vil redusere næringssalter og minske risikoen for algeoppblomstring. Etablering av vegetasjon, og da spesielt trær, reduserer sollyset på vannoverflaten og minsker risikoen for algevekst. (Ødegaard 2013)

### 5.1.4 Infiltrasjon

Takvann kan svært enkelt kobles fra det tradisjonelle overvannssystemet dersom forholdene på området er egnet for det. Ved at man infiltrerer takvannet til nærliggende, gressklede flater kan det tradisjonelle overvannssystemet avlastes. Dette kan gjøres med «nedløpsrørsutkast.» Denne metoden baserer seg på at takvannet ledes ut på en hensiktsmessig overflate, hvor det så infiltreres inn i porøse masser. Vannet ledes ut på denne overflaten ved hjelp av renner i betong eller naturstein. Det er viktig at rennene sørger for god drenering vekk fra husveggen slik at fuktskader på grunnmur unngås. (Ødegaard 2013)

Overflaten det infiltreres i bør være omtrent 1-2 ganger større enn takoverflaten. Dette for å sikre tilstrekkelig areal for infiltrasjon med tanke på volum og tid. Oversvømmelser kan

oppstå dersom det ikke er tilstrekkelig areal til disposisjon. Uforutsette omstendigheter kan imidlertid oppstå, og det er derfor viktig at vannet som ikke infiltreres samles opp. Dette kan gjøres for eksempel ved en steinsatt kum som kobles til overvannsnett. På denne måten forhindrer man oppstuvning og at vannet renner over til naboen. (Ødegaard 2013)

For å sikre levetiden til anlegget er det viktig at erosjon unngås. Dette gjøres ved at man benytter porøse masser til konstruksjonen av infiltrasjonsdelen: (Ødegaard 2013)

- Singel eller naturgrus med høy porøsitet.
- Singel som stabiliseres ved hjelp av netting.
- Naturstein som sikrer god drenering.
- Betongkassetter.
- Porøs asfalt og porøse dekker.

### 5.1.5 Permeabel asfalt

«I bymiljøer er problemer med overvann og utfordringer knyttet til perioder med høy nedbør av stadig økende betydning. Det brukes mer og mer ressurser på området fordi store vannmengder årlig forårsaker skader for millioner av kroner. Asfalt slik den som regel er konstruert i dag er ikke permeabel, og nedbør og overvann vil derfor renne oppå asfalten. En ny type permeabel asfalt konstruert av det britiske selskapet LaFarge Tarmac hevdes å sluke opp mot 1000 liter vann i minuttet per kvadratmeter. I overflaten finner man et permeabelt lag som slipper vannet gjennom før det når et forsinkelseslag som fordrøyer og drenerer vannet til et underliggende vannmagasin. Porøs betong har eksistert på markedet i lengre tid. Det selskapet har gjort er at de har videreutviklet denne ideen og gjort dekket mottakelig for belastningen forårsaket av trafikk.» (Haugom 2015; Olsen 2015)

«Med en gjennomstrømningsrate på 36.000 mm vann i timen takler asfalten enkelt vannmengden er hundreårsregn kan levere. For å takle et hundreårsregn trengs det en fordrøyningskapasitet på minimum 300 mm i timen. For at denne fordrøyningskapasiteten skal opprettholdes må imidlertid dekket vedlikeholdes. Selskapet anbefaler at dekket med jevne mellomrom spyles og smuss suges opp. De anbefaler også at dekket ikke benyttes i områder hvor det er fare for at store mengder smuss kan stoppe til porene i asfalten. Asfalten håndterer også frost fordi forsinkelseslaget har opp mot 35 prosent tomrom, og vil derfor tåle at vannet utvider seg når det fryser.» (Olsen 2015) (Haugom 2015)

### 5.1.6 Plastkassetter og steinfyllingsmagasin

Steinfyllingsmagasin er en slags kiste som fylles med singel, grus eller annet grovt steinmateriale velegnet for infiltrasjon. Overflaten av magasinet dekkes med enten porøse dekker som permeabel asfalt eller betong, eller en form for plen. Denne løsningen kan være svært aktuell i tilfeller hvor infiltrasjon over gresskledd overflater ikke er mulig. Løsningen kan også være et alternativ hvor vannet ikke kan infiltreres til grunnen i det hele tatt. Magasinet tømmes ved at vannet perkolerer ut i omgivelsene eller ved at det ledes direkte ut i nærliggende overvannsnett ved hjelp av et dreneringssystem. Når grunnen sikres mot infiltrasjon vil perkolasjonen ned til grunnen bli svært liten. (Ødegaard 2013)

Et risikoelement ved denne typen løsninger er faren for gjentetting. Jordmateriale som vaskes bort ved erosjon eller masser som samles opp fra tette flater kan tette igjen porevolumet i steinfyllingen. Det er derfor viktig at det ved slike løsninger korrekt dimensjoneres et sandfang eller en oljeavskiller før overvannsmagasinet. Dette reduserer faren for tetting. Et krav om et riktig dimensjonert sandfang gjelder for de fleste LOD-tiltak. (Ødegaard 2013)

I grunn hvor det finnes finkornet materiale i de stedlige massene bør det benyttes fiberduk slik at massene ikke blandes. Ved normal vedlikehold forventes en levetid på rundt 20-30 år. I steinmagasiner er porevolumet ofte på rundt 30 %. Det disponible volumet kan økes opp mot 95 % dersom man benytter seg av plastkassetter i stedet for steinmasser. (Ødegaard 2013)

### 5.1.7 Tilfeldig oppdemming

Gatedekket kan i visse tilfeller benyttes for fordrøye mindre mengder vann i kortere perioder, enten i rennestein eller på overflaten av selve gatedekket. Det er ikke hensiktsmessig med oversvømmelse av arealer som er i bruk. Små barrierer og tetting av sluk gjør at tilrenningstiden øker. På denne måten fordrøyes vannet. Om tetting av sluk skulle være nødvendig, er det en fordel om dette gjøres midlertidig med tette plater eller lignende i begynnelsen. Sluket kan så eventuelt fjernes. (Ødegaard 2013)

### 5.1.8 Grøfter og bekker

Grøfter, bekker og andre vassdrag som naturlig ligger i nærområdet kan benyttes som mottakere av overvann. Dette sparer utbygger for store ressurser og innebærer store fordeler. Grunnen er enkel. Eksisterende bekker, grøfter og vassdrag kan være et solid element i en bærekraftig, fremtidsrettet løsning. Også tette bekker og grøfter kan gjenåpnes og benyttes. Ukontrollert tilløp av vann kan imidlertid føre med seg erosjonsskader og oversvømmelser. Det er derfor viktig at utløpet og bekker sikres mot dette. Dette kan gjøres enkelt ved hjelp av steinsatte sidekanter, eller et støpt utløp i betong. Finstoff som ikke fjernes i sandfang risikerer også å stoppe til porer i eventuelle infiltrasjonsgrøfter. Ved å lede vannet direkte ut i bekker og vassdrag etter fordrøyning, elimineres problemene knyttet til tilstopping. (Ødegaard 2013)

## 5.2 Forurensning i overvann

### 5.2.1 Overvann og forurensning

Forurensningspotensialet fra overvann er heller lite. Den forurensningen som oppstår er imidlertid knyttet hovedsakelig til trafikk og de ulike materialene som benyttes i byggkonstruksjonene. Tak med lav grad av metallinstallasjoner og lite reaktivt materiale kan føre til noe akkumulering av giftstoffer over tid. Takflater med høy andel av metallinstallasjoner vil naturlig føre med seg mer avfallsstoffer. Avfallsstoffene er i hovedsak kobber, sink, bly og tinn. Skal man beskytte seg mot disse og akkumulering over tid, bør vannet behandles eller renses. Biltrafikk fører også med seg en del avfallsstoffer. Drivstoff, olje og partikler fra forbrenningsprosessen forurenser overvannet fra områder med høy trafikk. Dette kan typisk være parkeringsplasser eller trafikkerte områder i nærheten av området. (Ødegaard 2013)

Tabell 5-1 - Oversikt over forurensninger i overvann – Tak (Ødegaard 2013)

Overflatetype	Forurensningspotensial	Klassifisering	Kommentar
Takflater og grønne arealer			
Grønne arealer	Effektiv retensjon av forurensningsmidler	Lav	Dersom det er benyttet pesticider bør overvannet føres til avløp



## Overvannsløsninger for boligområder

<b>Tak av inert materiale og lavt metallinnhold</b>	Forurensing tilsvarende regnvann	Lav	Fordrøyes og videreføres
<b>Tak med normal bruk av metallinstallasjoner</b>	Akkumulering av tungmetaller over tid. I noen tilfeller hurtig.	Middels	Metalloverflaten utgjør som oftest en liten del (5-10%). Trenger ikke behandles
<b>Høy bruk av metallinstallasjoner</b>	Overvannet bør renses dersom det er behov for beskyttelse av resipient	Høy	Typisk bygninger med store metallfasader

Tabell 5-2 - Oversikt over forurensninger i overvann – Trafikk (Ødegaard 2013)

Overflatetype	Forurensningspotensial	Klassifisering	Kommentar
<b>Parkeringsplasser, oppkjørsler, gater og veger</b>			
<b>Oppkjørsler og privat parkering</b>	Lite forurensningspotensial	Lav	Fordrøyes og videreføres
<b>Transport og lagerplasser for farlig avfall</b>	Tap av drivstoff, olje etc. Kan forurense grunn	Middels	Ledes til avløp. Oljeavskiller.
<b>Offentlig parkering med høy trafikk tetthet</b>	Økt potensial for forurensning	Middels til høy	Grundig analysering av risiko.
<b>Veger og gater</b>	Forurensing avhenger av trafikken	Ofte høy	Forurensningene knyttet til partikulært materiale – for det meste kolloidale partikler

Tette flater genererer totalt sett en høy andel av tungmetaller i overvannet. Dette er hovedsakelig et problem i urbane områder. De hyppigste kildene til denne typen utslipp er

som oftest atmosfærisk nedfall, avgasser fra kjøretøy, maskiner, fyring, forbrenning av organisk stoff og nedbrytning av diverse bygninger og objekter. Biltrafikken er den største trusselen. Andelen kjemikalier er høy. Forbrenning av drivstoff, slitasje på bremses og resulterende bremsesøv, dekk og vegbane, samt korrosjon på komponenter i bilen. Nedbør og snøsmelting fører disse stoffene med seg til overvannsledninger eller fellesavløpssystemer. Konsentrasjonen avhenger mye av den lokale situasjonen. Tak med en høy andel av kobber i takinnstallasjoner, vil andelen kobber i overvannet bli tilsvarende høyt. (Ødegaard 2013)

Andelen miljøgifter i vannforekomstene vil derfor øke. Dette er de tre vanligste veiene avfallsstoffene pleier å ta til vannforekomstene:(Ødegaard 2013)

- Direkte utløp til separatavløpssystem.
- Utslipp fra regvannsoverløp til fellessystemer.
- Utslipp fra avløpsrensaneanlegg når disse settes i sammenheng med fellessystemer.

Konsentrasjonen av de mer tradisjonelle forurensningsparameterne, slik som for eksempel suspendert og organisk stoff, kan tidvis være svært høye, spesielt om våren og ved store regnfall eller flomsituasjoner. Det velges imidlertid å fokusere på miljøgiftene, da disse er mest skadelig på sikt i forbindelse med overvann. De resterende forurensningsparameterne kan ikke sies å være annet enn naturlige verdier. (Ødegaard 2013)

PAH (Polysykliske Aromatiske Hydrokarboner) og PCB (Polyklorinerte Bifenyl) er samlebetegnelser på to av de mest frekventerende forurensningstypene. PAH dannes i hovedsak ved oppvarming og forbrenning av organisk stoff, mens PCB er en samlebetegnelse på 209 likeartede kjemikalier. PCB har vært forbudt siden 1970-årene og finnes hovedsakelig i lysarmatur, sement, maling, kjølevæsker og smøremidler. PCB er svært lite nedbrytbart i naturen og kan føre til en rekke helseskadelige effekter på mennesker. Eksempler er leverproblemer, økt kreftrisiko og nedsatt forplantningsevne. Mesteparten av disse forurensningene er knyttet til partikulært, kolloidalt material. Dette gjør det svært enkelt å fjerne store deler av de forurensende stoffene. (Ødegaard 2013)

### 5.2.2 Klimaforandringer og sykdomsutbrudd

Som nevnt tidligere er det forventet at klimaforandringene vil føre til økt frekvens, intensitet og varighet av ekstremvær og vannrelaterte hendelser som flom og tørke. I en undersøkelse

## Overvannsløsninger for boligområder

utført i Storbritannia ble det sett nærmere på om det fantes noen klar sammenheng mellom klimaforandringer, da spesielt ekstremværhendelser, og vannbårne smittekilder som førte til infeksjon eller sykdom hos mennesker. Det ble hovedsakelig fokusert på vannbårne smittekilder som førte infeksjøs sykdommer, hvor de som trengte en midlertidig vert for å spre sykdommen ble utelukket. Sykdommer som krever en mellomvert er typisk tse-tse. (Cann et al. 2013)

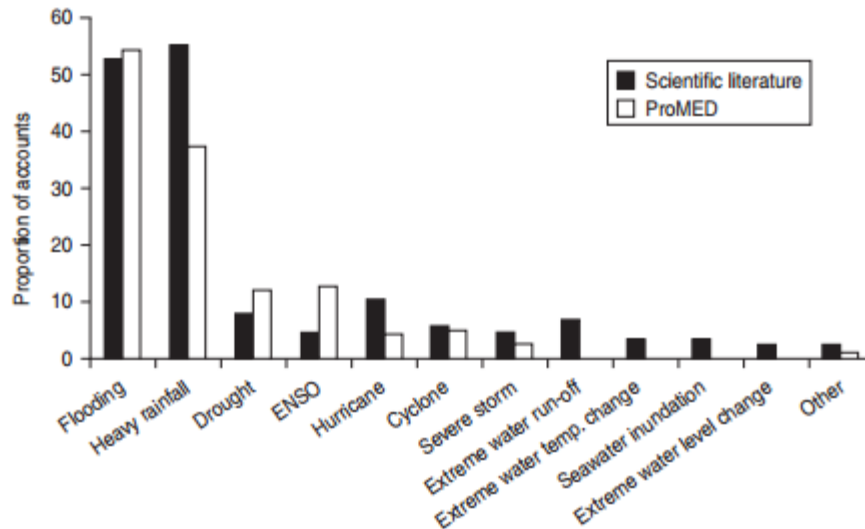
Tabell 5-3 - Prosentvis oversikt over utbrudd av ulike parasitter og virus. Utbruddene kan i de fleste tilfeller knyttes til ekstremværhendelser. (Cann et al. 2013)

Pathogen	No. reporting attack rate*	Mean attack rate (%)†	Median attack rate (%)	Lowest attack rate reported (%)	Highest attack rate reported (%)
Viruses	10	7.8	27.6	0.2	79.0
Rotavirus	1	79.0	79.0	79.0	79.0
Norovirus	3	44.0	36.2	30.6	77.0
Hepatitis A	3	3.1	5.5	0.2	24.5
Hepatitis E	2	3.4	29.2	0.2	58.2
Enterovirus	1	0.4	0.4	0.4	0.4
Bacteria	16	0.8	0.5	<0.1	68.0
<i>V. cholerae</i>	5	0.6	0.6	0.2	2.8
<i>Leptospira</i>	5	1.6	6.1	<0.1	32.0
<i>C. jejuni</i>	2	2.0	34.0	0.1	68.0
<i>E. coli</i>	1	42.0	42.0	42.0	42.0
<i>B. pseudomallei</i>	3	0.1	0.1	<0.1	0.4
Protozoa	5	2.3	5.4	<0.1	66.2
<i>Giardia</i>	1	5.4	5.4	5.4	5.4
<i>Cryptosporidium</i>	3	0.8	0.2	<0.1	66.2
<i>Acanthamoeba</i>	1	27.3	27.3	27.3	27.3
Multiple pathogens	8	14.8	26.0	0.3	85.0
Not stated	5	7.5	16.4	0.1	42.3
All	44	3.4	9.3	<0.1	85.0

\* Includes only those accounts which report this information.

† Geometric mean.

Under ekstremværhendelser er det stor risiko for forurensning av viktige drikkevannskilder som drikkevannsbrønner eller innlekking i drikkevannsledninger. Under ekstremværhendelser mobiliseres patogener som ligger ute i omgivelsene, og store vannmengder fører til økt avrenning fra jorder og overflater. Noe som videre resulterer i en transport til elver, innsjøer og brønner. Dette kan føre til økt turbiditet, noe som kan knyttes opp mot gastrointestinale sykdommer. De økte vannmengdene kan føre til en endring i den normale strømningsretningen. Det kan også forekomme krysskontaminasjon mellom drikkevannsrør og avløpsrør dersom det forekommer et undertrykk på drikkevannsledningen. Dette forekommer ofte under storm og ekstremvær. Under flomsituasjoner og ekstremvær økes også presset på renseanlegg, noe som kan forårsake overløp og utilstrekkelig rensing av avløpsvann. Dette øker innholdet av smittestoffer og forurensning i vannet. Ved flom utsettes også mennesker for økt kontakt med flomvann, noe som potensielt kan medføre smittefare. I motsatt situasjon vil det under en tørkeperiode inntreffe fordampning av vann. Dette fører igjen til at konsentrasjonen av smittestoffer i vannet øker, og en eventuell eksponering kan medføre smitte og sykdom. (Cann et al. 2013)



Figur 5-2 - Figuren viser en oversikt over rapporterte tilfeller av vannbårne sykdommer og infeksjoner relatert til ekstremværhendelser. (Cann et al. 2013)

Innførsel av smitte inn i de kommunale drikkevannssystemene har vist seg å medføre stor risiko for utbrudd av epidemier. Spesielt i de stedene hvor det offentlige helsevesenet er dårlig utbygd. Dette vil da typisk være land i utviklingsfasen. Vannbårne sykdommer forventes å øke ettersom regnfallene og regnintensiteten øker og tørkeperioder inntreffer mer frekvent. Det er viktig å undersøke påvirkningen dagens ekstremværhendelser har slik at man kan komme med gode forutsigelser slik at de riktige tiltakene kan bli satt i verk. Senere undersøkelser har vist at også industriland har hatt problemer med å takle denne utviklingen. Det er også lite informasjon om hvordan de ulike ekstremværhendelsene vil påvirke ulike landområder og patogen. Undersøkelsen utført av Communicable Disease Surveillance Centre er en av de første på området og formålet med undersøkelsen var å finne ut av hvordan de ulike ekstremværhendelsene påvirket utbrudd av vannbårne sykdommer. Henholdsvis med fokus på geografiske områder, patogen og konsekvens. Metodene benyttet i undersøkelsen bestod hovedsakelig av en gjennomgang av ulike databaser for å finne tilfeller av utbrudd, tilfeller av ekstremværhendelser i de aktuelle områdene og en rekke analyser av dataene som ble hentet ut. (Cann et al. 2013)

I studien ble 83 forskjellige skrifter inkludert. Studien fant 93 tilfeller hvor det ble registrert utbrudd av 87 forskjellige typer vannbårne sykdommer fra 29 forskjellige land. Majoriteten av de rapporterte tilfellene viste seg å kunne knyttes opp mot ekstremværhendelser. Patogenene involvert var spesifisert i 74 av utbruddene hvor de to mest vanlige var *Vibrio* og *Leptospira*. Majoriteten av tilfellene med *Vibrio* ble rapportert i Asia, fulgt av Afrika og Sør-Amerika,

mens majoriteten av *Leptospira* utbruddene stammet fra Nord-Amerika og Asia. I hoveddelen av tilfellene var vannkilden rapportert som årsaken. Både *Vibrio* og *Leptospira* kan forårsake potensielt dødelige infeksjoner. Av ekstremværtillfellene rapportert samtidig med utbruddene av sykdom var kraftige regnfall og flom blant de mest frekvente. Kraftige regnfall var også ofte linket opp mot orkaner, og det samme for flom. I mer enn halvparten av tilfellene som var rapportert inn, ble de kraftige regnskyllene og påfølgende flom og forgiftning av vannkilden rapportert som årsak til utbruddene. Eksponering for flomvann var oppgitt som årsak i 16 % av tilfellene. Det ble også anslått at i omtrent 9 % av tilfellene var den stigende temperaturen årsaken til sykdomsutbruddene. I kun 7 % av tilfellene ble svikt i rensesystem og behandlingssystem for drikkevann og kloakk oppgitt som årsak. Vannbåren smitte er blant de største årsakene til sykdom og dødelighet hos mennesker. Det forventes at det skiftende klimaet vil bidra til at forekomsten av denne typen sykdommer og infeksjoner øker i fremtiden. Det er derfor viktig at man forstår og tar forholdsregler for denne typen tilfeller slik at man reduserer risikoen for utbrudd. (Cann et al. 2013)

### 5.2.3 Fordrøyningsdammer som rensedammer

Dette er dammer med et permanent vannspeil som har mulighet for fordrøyning, og som samtidig kan rense overvann ved hjelp av suspensjon. Dammene har et tørrværsvolum beregnet for dager med fint vær og lite nedbør, og et fordrøyningsvolum beregnet for dager med nedbør eller flom. Dammene sees ofte som et ledd i en slags grøntstruktur, og det er også viktig at de fungerer om vinteren med et tykt isdekke. Tørrværsvolumet er viktigst med tanke på rensing, men et samarbeid mellom de to volumene bidrar til best renseseffekt. (Ødegaard 2013)



Figur 5-3 - Bildet viser hvordan en fordrøyningsdam kan utformes. Bildet er hentet fra Bjølsen, i Oslo.(COWI)

Prosesser som er avgjørende for rensingen i en overvannsdam:(Ødegaard 2013)

- Bunnfelling av partikler. Hovedsakelig er forurensningene knyttet til partikler.
- Oppløste stoffer kan tas opp i spesielle vannplanter.
- Adsorpsjon til faste overflater. Dette kan for eksempel være planter eller bunnsedimenter.

Formålet med bassenget er hovedsakelig evnen til å rense overvannet. Det kan imidlertid etablere seg dyreliv og planteliv i og rundt dammen. Det kan også ha rekreasjons- og landskapsmessig verdi, men i bunn og grunn er renseevnen viktigst. (Ødegaard 2013)

### 5.2.4 Dimensjonering av rensedammer og overvannsbasseng

Dimensjoneringsverdier for bassengvolumet bør være på røft regnet 100-200 m<sup>3</sup> per redusert areal i ha i nedslagsfeltet. Dette vil gi en renseeffekt på cirka 60 % for fosfor. Dette i forhold til retningslinjer publisert av USEPA i 1986. Et areal på 50 ha med en avrenningskoeffisient på 0,3, vil da få et foreslått damvolum på 1500 m<sup>3</sup>-3000 m<sup>3</sup> med disse retningslinjene.

Retningslinjer fremsatt av Statens Vegvesen fastslår to mulige verdier. 180 m<sup>3</sup> og 250 m<sup>3</sup> per redusert areal i hektar. Dette vil også omtrentlig gi en renseeffekt på 60 %.

Et forsøk gjort på en rensedam ved Riksveg 18 i Skullerudkrysset i Oslo har vist gode verdier for rensing. I måleperioden var det normal vinterklima med opptil 30 cm isdekke i bassenget. (Ødegaard 2013)

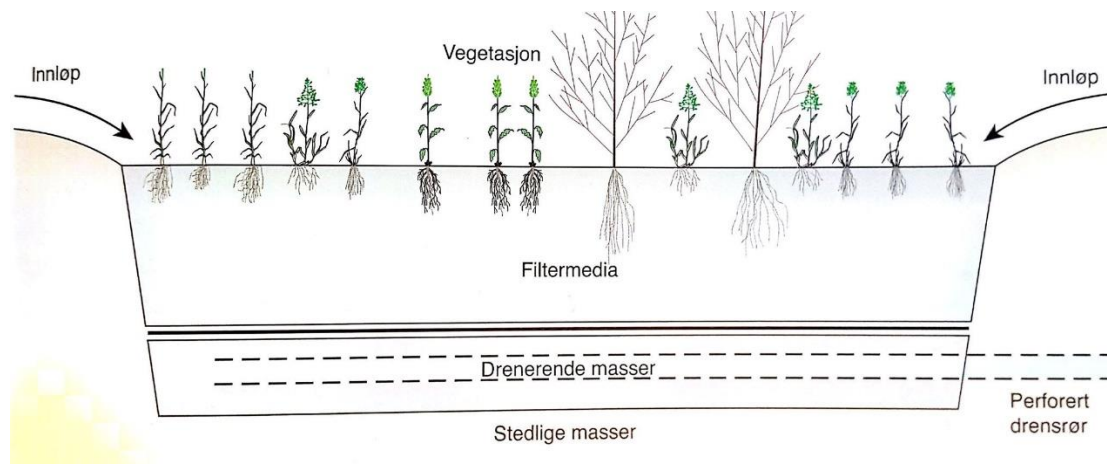
## Overvannsløsninger for boligområder

Tabell 5-4 - Midlere renseseffekt i overvannsbasseng. Målingene er hentet ved E18 Skullerudkrysset i Oslo. Målingene er gjort over en tidsperiode på ett år.(Ødegaard 2013)

Parameter	SS	Tot P	Tot N	Pb	Zn	Cu	Cd	PAH <sub>16</sub>	PAH <sub>4</sub>	Olje
Renseeffekt, %	85	61	29	76	71	58	60	86	89	82

### 5.2.5 Regnbed

Regnbed er i utgangspunktet tenkt som et infiltrasjonsanlegg. Det samler opp, fordroyer og infiltrerer overvannet, eventuelt samler det opp og leder vannet videre til en egnet resipient i nærheten. Et regnbed egner seg meget godt til lokal overvannshåndtering da utformingen er universal, og enkel å tilpasse ulike områder. Det egner seg godt for overvann fra takarealer eller gårdsplasser, men også parkeringsplasser og industriområder. Det bidrar også til å øke det biologiske mangfoldet i området, og bedet vil i de fleste tilfeller være et positivt tilskudd til det estetiske. Bedet består av et vegetasjonslag på toppen med ett underliggende filtermedium. I bunnen kan regnbedet enten infiltrere direkte til grunnen, eller det kan lede vannet ved at man i bunnen plasserer drenerende masser med et perforert rør som samler opp vannet. (Ødegaard 2013)



Figur 5-4 – Figuren viser en prinsippskisse av et regnbed. (Ødegaard 2013)

Det er viktig å etablere trygge flomveier for å ta høyde for overskredet kapasitet i regnbedet. I tilfeller hvor regnbedet er underdrenert legger man et overløp i form av et rør som kobles på det eksisterende drenerørret. Et regnbed regnes som den første delen i en treleddsstrategi og vil normalt dimensjoneres for å holde tilbake regn med lavere intensitet enn 20 mm i døgnet. Filtermediumet består normalt sett av 50-60% sand og 20-30% matjord. Det er viktig at bedet er tilstrekkelig drenert slik at det ikke fryser med stående vann.



Et regnbed har også svært god renskapasitet. Løste metaller og organiske miljøgifter holdes i stor grad tilbake i det øverste filtermaterialet. Renseevnen avhenger av mengden kompost i filtermaterialet. (Ødegaard 2013)

### 5.2.6 Grønne tak

Et grønt tak kan anlegges enten på nye eller eksisterende tak. Det består som regel av et tynt lag med vegetasjon, men kan i enkelte tilfeller være opp mot 40 cm tykke. Det er viktig at taket som det skal etableres vegetasjon på ikke er for bratt. Man skiller ofte mellom intensive og ekstensive tak. Intensive tak er som regel mellom 15 og 40 cm tykke og innehar flere ulike planter. De krever derfor mye vedlikehold. Ekstensive tak kalles også ofte for sedumtak. Dette på grunn av artene som vokser på taket, hovedsakelig planter fra bergknappfamilien. Vegetasjonsdekket er ofte på rundt 3-4 cm tykkelse, mens det drenerende laget har en tykkelse på 1-2 cm. Over et år kan grønne tak holde tilbake omtrent 50 % av nedbøren som kommer, men siden kapasiteten raskt overskrides ved intensive nedbørsbyger, er det viktig å konstruere trygge flomveier også for denne løsningen.



Figur 5-5 - Figuren viser et grønt tak. Konstruksjonen og vegetasjonen har lang levetid og krever lite vedlikehold i dette tilfellet. (Protan.no)

### 5.2.7 Gresskleddede forsenkninger

Gresskleddede veggrøfter som samler opp vann fra parkeringsarealer eller større boligområder. Vannet fordrøyes, infiltreres og renses også delvis når det infiltrerer gjennom løsmassene. I og med at løsningen er infiltrasjonsbasert, er det viktig at det etableres en kum i enden av forsenkningen slik at overskuddsvannet samles opp og ledes til en egnet resipient eller et kommunalt overvannssystem. Forsenkningen dimensjoneres med hensyn til flomtopp og forventet oppholdstid i grøften. Etablert vegetasjon vil medføre en økt oppholdstid og reduksjon i flomtoppen. Dette kan være gress eller egnede plantevekster. Vegetasjon sørger også for økt oppsamling av partikulært materiale og miljøgifter gjennom sedimentasjon og



infiltrasjon. For ytterligere å forsinke overvannet kan det etableres terskler som vist i Figur 5-6.(Ødegaard 2013)



*Figur 5-6 - Bildet viser en gresskledd forsenkning med terskler som forsinke overvannet ytterligere.(Ødegaard 2013)*

## 6 Metode

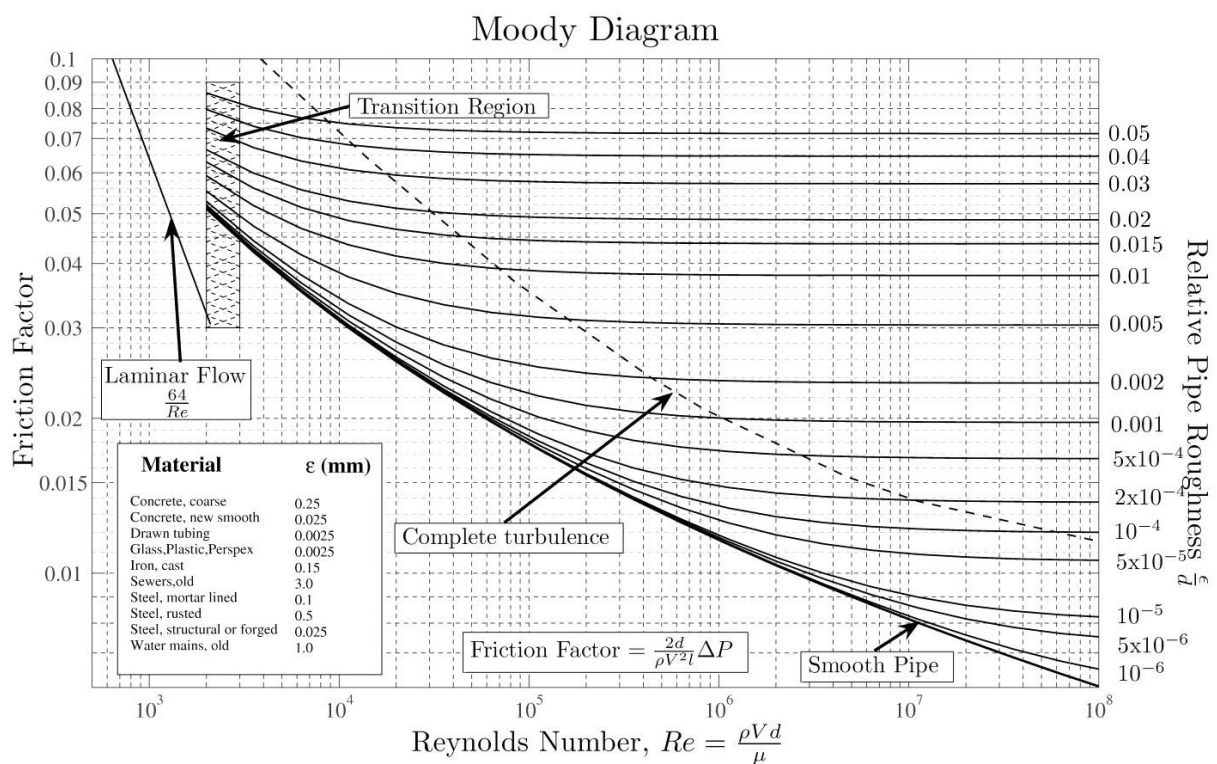
### 6.1 Rørruhet

Når vannføringskapasiteten i ledninger skal beregnes trenger man en friksjonskoeffisient. Denne friksjonskoeffisienten blir sjeldent oppgitt av rørprodusentene, og det kreves derfor en omregning fra absolutt ruhet til koeffisienten som behøves. Friksjonskoeffisienten kan beregnes på tre forskjellige måter med ruheten (k) og diameteren (D) som grunnlag. Den ene ved Colebrooks formel, den andre ved Prandtls formel og den tredje ut i fra Moodys diagram.(Ødegaard 2013)

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \left( 3,71 \frac{k}{D} \right)$$

Figur 6-1 - Colebrooks formel. (Ødegaard 2013)

Denne metoden er noe tungvint, og det er derfor mer hensiktsmessig å finne friksjonskoeffisienten fra Moodys diagram (Figur 6-2).



Figur 6-2 - Moodys diagram (Wikipedia 2015)

I Moodys diagram finner man den relative ruheten (Figur 6-3) før man går horisontalt over til venstre side av diagrammet hvor friksjonskoeffisienten kan leses av. Reynolds tall benyttes for avlesning i y-retning.(Ødegaard 2013)

$$\text{Relativ ruhet: } \frac{k}{D}$$

Figur 6-3 - Relativ ruhet(Ødegaard 2013)

I de fleste tilfeller er det vanskelig å finne den aktuelle ruheten, og en utredning bør forekomme før man tar noen beslutninger. Den aktuelle ruheten varierer som regel fra rør til rør. Det er alltid mange forhold som påvirker de ulike tapene som blant annet ventiler, bend og kryss med flere. Det er derfor vanlig at man ikke benytter seg av en ruhet lavere enn 0,5 i nettberegninger, uansett om rørene er laget av plast. I Tabell 6-1 vises noen eksempler på ulike typer ruheter ofte benyttet i praktiske situasjoner. (Ødegaard 2013)

Tabell 6-1 - Eksempler på ulike ruheter benyttet i praksis.(Ødegaard 2013)

Ledningsmateriale	Teoretisk ruhet (mm)	Ofte brukte ruheter (mm)
Plastrør (PE, PVC,	0,002-0,007	0,1-0,4
Betongrør	0,3-1,0	1,0
Nye støpejernsrør	0,3	0,5
Eldre støpejernsrør	0,8-1,5	1-1,5
Gamle, rustne støpejernsrør	1,5-2,5	1,5-2,5

## 6.2 Beregning av nødvendig diameter i et overvannsnett

Når man ønsker å fastsette kapasiteten til et overvannssystem er det nødvendig å vite diameteren på rørene i systemet. Her har man et gitt fall til rådighet som tilsvarer falltapet i ledningsnettet fordi vannføringen innstiller seg på en slik mengde. Den vanligste metoden for å beregne dette er ved å kombinere Darcy Weisbachs ligning og kontinuitetsligningen. (Ødegaard 2013)

$$\text{Darcy Weisbach: } h_f = f \frac{L v^2}{D 2g}$$

Figur 6-4 - Darcy Weisbach (Ødegaard 2013)

$$\text{Kontinuitetsligningen: } Q = \frac{A}{V}$$

Figur 6-5 – Kontinuitetsligningen(Ødegaard 2013)

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{D^2}{4}\pi} = \frac{4Q}{D^2\pi}$$

Figur 6-6 - Kontinuitetsligningen løst med fokus på diameter (Ødegaard 2013)

Ved å kombinere disse to med prinsippet i Figur 6-6 får man Darcy Weisbachs ligningen løst med hensyn på diameteren.

$$D^5 = \frac{fLQ^2 8}{g\pi^2 h_f}$$

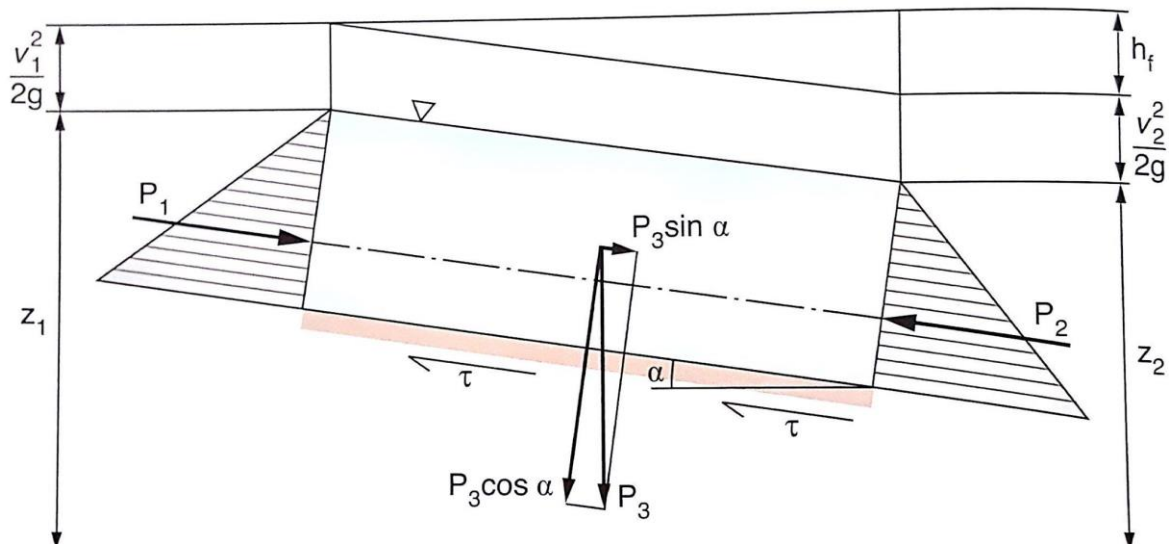
Figur 6-7 - Darcy Weisbach løst med hensyn på diameter (Ødegaard 2013)

Falltapet vil i dette tilfellet bli lengden av rørstrekket multiplisert med antall promille fall. (Ødegaard 2013)

### 6.3 Skjærkraftberegninger for overvannsledninger og avløpsrør

Normalt sett er det ikke vanlig å utføre skjærkraftberegninger på overvannsrør. Det blir som regel bare benyttet i spesielle tilfeller. I denne situasjonen er det imidlertid aktuelt med skjærkraftberegninger for å kalkulere fallet på betongplaten. Først beregnes diameteren før en serie med skjærkraftberegninger deretter kan gjennomføres. (Ødegaard 2013)

Når vannet strømmer langs sidene i en ledning utøver vannet krefter på sidene i ledningen. Dette tilsvarer skjærspenning per flateenhet,  $\tau$  (N/m<sup>2</sup>). For at ledningen skal være selvrensende må skjærspenningen være større enn en viss verdi i omtrent 2-3 timer per døgn. For overvannssituasjoner er denne verdien 3-4 N/m<sup>2</sup>. I overvannssituasjoner stilles det også et krav om at ledningen skal være selvrensende for  $0,1 * Q_{\max}$ . Dette fordi de maksimale overvannsmengdene inntreffer heller sjeldent over en viss periode, og det er derfor viktig at ledningstrekket er selvrensende for en lavere og mer representativ vannføring som opptrer mer regelmessig. (Ødegaard 2013) (Oddvar Lindholm 2007; Oddvar Lindholm 2012)



Figur 6-8 - En skjematisk fremstilling av krefter i forbindelse med selvrensing i kanal. (Ødegaard 2013)

Når skjærkraftberegningene utføres forutsettes samme vannføring og dybde i hele kanalen. Dette fører til at trykkraften  $P_1$  er lik trykkraften  $P_2$ . De resterende kreftene som da virker er tyngdekraften ( $g$ ) og friksjonskraften representert ved skjærspenningen ( $\tau$ ). Vannet innstiller seg ved konstant hastighet og en balanse oppnås. (Ødegaard 2013)

$$P * L * \tau = \gamma * A * L * \sin \alpha$$

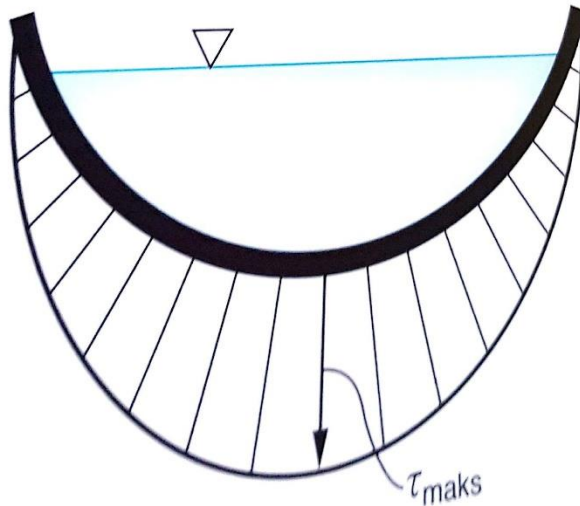
Figur 6-9 - Energibalansen for friksjonskraften og skjærspenningen i rør. (Ødegaard 2013)

$$\text{Hydraulisk radius: } R = \frac{A}{P}$$

Figur 6-10 - Hydraulisk radius (Ødegaard 2013)

$$\tau = \gamma * R * I$$

Figur 6-11 - Hydraulisk radius satt inn i energibalansen. (Ødegaard 2013)



Figur 6-12 - Maksimal skjærspenning langs bunnen.(Ødegaard 2013)

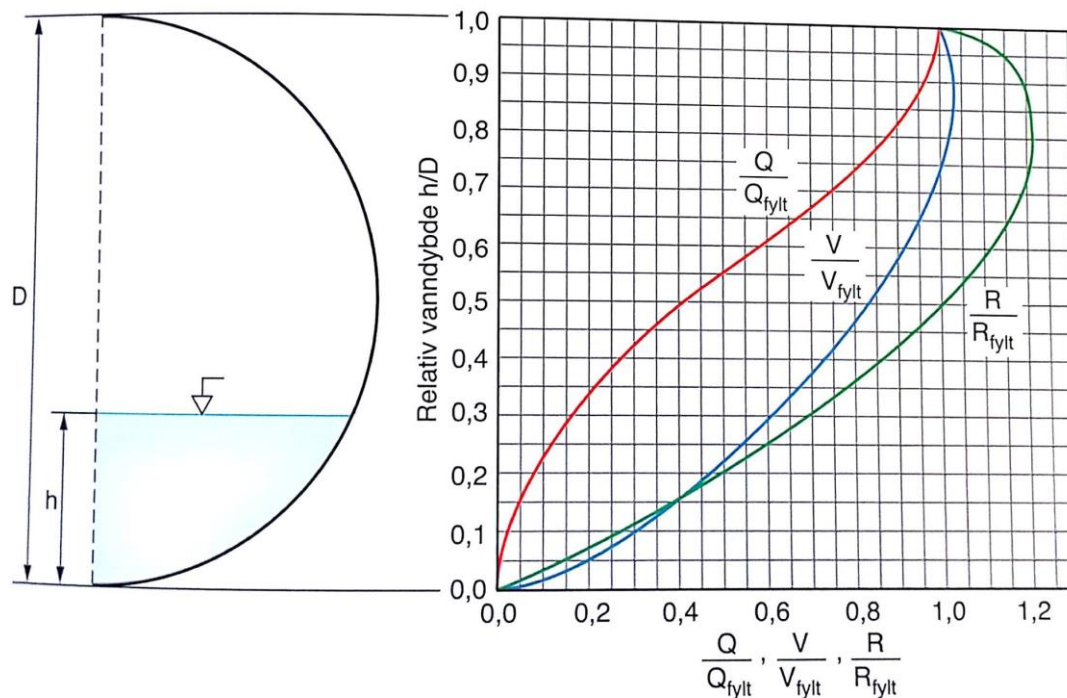
For små vinkler er helningen (I) omtrent den samme som for  $\sin \alpha$ . Partiklene legger seg i bunnen av ledningen, og det er derfor man må vite skjærspenningen langs bunnen av ledningen for å være sikker på at disse transporteres bort.

I vanlige situasjoner kan man regne med at den maksimale skjærspenningen langs bunnen kan skrives på formen:(Ødegaard 2013)

$$\tau_{max} = \tau_{fylt} * 4 * \frac{h}{D} (1 - \frac{h}{D})$$

Figur 6-13 - Maksimal skjærspenning uttrykt ved fylt skjærspenning (Figur 5-9).(Ødegaard 2013)

For å finne  $h/D$  benyttes delfyllingskurver som vist i Figur 6-14.



Figur 6-14 - Delfyllingskurve for en bestemt vannføring i et rørtverrsnitt. Benyttes for å finne  $h/D$ . (Ødegaard 2013)

## 6.4 Regnenvelopmetode for konstant utløp

Regnenvelopmetoden benyttes for å finne ut av massebalansen i fordrøyningsmagasinet som konstrueres. Metoden henter sine data fra forskjellige regnvarigheter og nedbørsmålinger med IVF-kurver og regndata som grunnlag. Den regnvarigheten som blir dimensjonerende, er den varigheten hvor akkumulert innløpsmengde minus akkumulert utløpsmengde er størst. Det finnes flere situasjoner og bruksområder for en regnenvelopmetode. I dette tilfellet blir det tatt utgangspunkt i et fast utløp på 15 l/s fastsatt av kommunen. (Oddvar Lindholm 2012)

$$V_{inn} = i_{z,t_r} * t_r * A * \varphi$$

$$i_{z,t_r} = \text{regnintensitet for et kasseregn med varighet } t$$

$$A = \text{arealet}$$

$$\varphi = \text{avrenningskoeffisienten}$$

Figur 6-15 - Volum generert som følge av nedbør.

Fremgangsmåten for metoden lyder som følgende: (Oddvar Lindholm 2012)

1. Først velges et passende gjentaksintervall. Dette kan for eksempel være 10 år.
2. Så beregnes et innløpsvolum for forskjellige varigheter. Som regel er det gjort målinger for 5-200 års gjentaksintervall og 1-1440 minutters varighet. Deretter plottes volumet inn opp mot varigheten, og dette danner omhylningskurven (envelopen) for tilrenningen. Se Figur 6-18 for et eksempel.

## Metode

- Deretter velges et passende utløp. I dette tilfellet vil det være 15 l/s. Dette maksimale verdi for utslipp fastsatt av Kristiansand kommune. Deretter beregnes utløpsmengden,  $V_{ut}$ .

$$V_{ut} = Q_{ut} * t_r$$

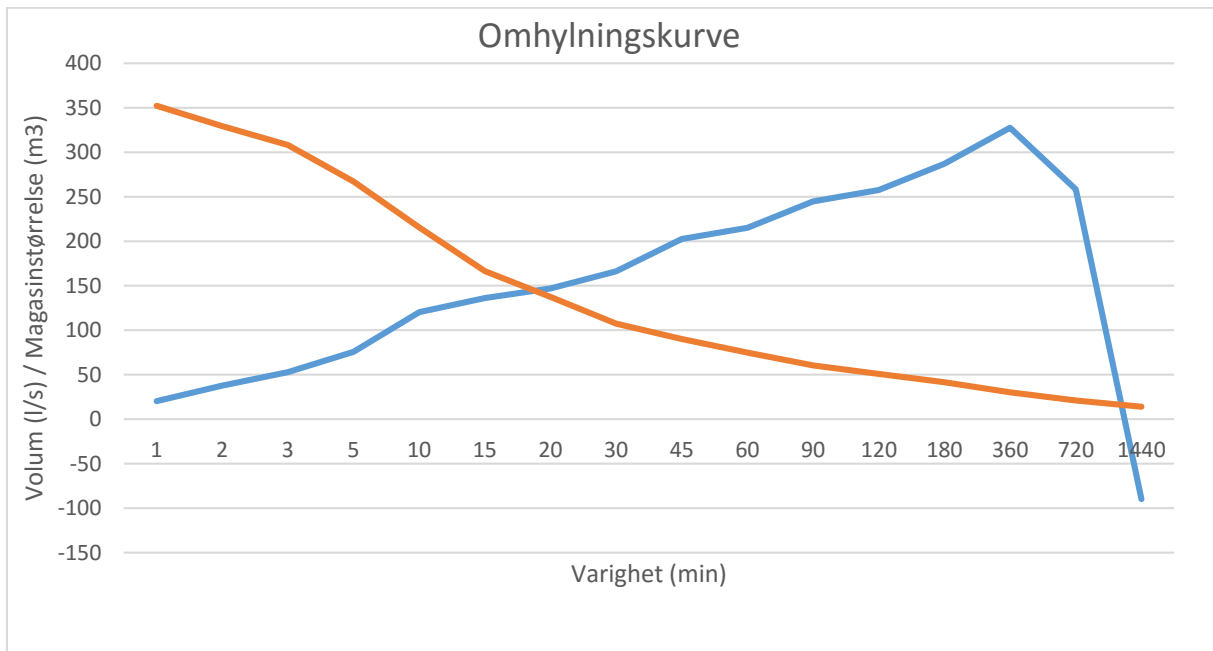
Figur 6-16 - Volumet ut av fordrøyningsmagasinet som en funksjon av  $Q$  (vanngang) og varigheten ( $t$ ).

- Følgende beregnes nødvendig volum for de ulike regnvarighetene.

$$V_{fordrøyning} = V_{inn} - V_{ut}$$

Figur 6-17 - Fordrøyningsvolumet som en funksjon av differansen mellom utgående og inngående.

- Den største verdien av  $V_{fordrøyning}$  vil være nødvendig magasin størrelse. Denne finner man på bakgrunn av informasjonen man har gått igjennom, eller ved å lese av omhylningskurven.



Figur 6-18 - Et reelt eksempel på en omhylningskurve (envelop). Horizontal akse viser varigheten, mens vertikal akse viser volumet ved en viss regnintensitet og magasin størrelsen som en funksjon av varighet.



# 7 Utbyggingen av Trekanten

## 7.1 Oppstart og bakgrunn

Arbeidet ble startet opp av entreprenør Torleif Repstad i samarbeid med Kristiansand Eiendom og Svensson Arkitekter AS i 2010. Hovedformålet med bebyggingen av Trekanten var å opprette nye rimelige leiligheter. Det var fra starten ønskelig at boenhetene skulle være tilgjengelige for førstegangsetablerende eller leiligheter for sosiale klienter, men det kunne også bli aktuelt med større leiligheter for andre kjøpergrupper. (Svensson 2015)



Figur 7-1 - Bakre boligblokk vil bli konstruert i syv etasjer, de andre enhetene vil trappes noe ned. (Svensson 2015)

Totalt vil boligkomplekset romme 84 boenheter, butikk, parkeringsplass, hagearealer, en vinterhage og en lekeplass for de mindre. Siden det er gode kollektive muligheter i området fokuserer utbygger på at disse bør benyttes, og parkeringsdekningen er derfor lagt til å være 0,5 pr bolig. Boenhetene skal konstrueres i massivt tre i opptil 7 etasjer med mulighet for en loftetasje, noe som gir en utnyttelse på opp til 8 etasjer. Utgangspunktet for konstruksjonen var at all konstruksjon over fundamentplaten skulle konstrueres i massivt tre, noe som inkluderer boenheter, bærende konstruksjoner og selve dekket. Det er ønskelig at virket blir funnet i nærområdene. (Svensson 2015)

### 7.2 Planforslag

Hovedplanen for konstruksjonen er å lage boliggrupper som muliggjør spennende romopplevelser og plassdannelser med frodige fellesarealer. Butikk og parkering legges i egen etasje. Meningen er at Trekanten kan fungere som et positivt tilskudd til området med sin signaliserende konstruksjon i massivt tre, frodige hageløsninger i form av en vinterhage og fellesarealer og butikkarealer som generer et lokalt sentrum. (Svensson 2015)



Figur 7-2 - Trekanten vist fra tunnelåpningen mot syd. (Svensson 2015)

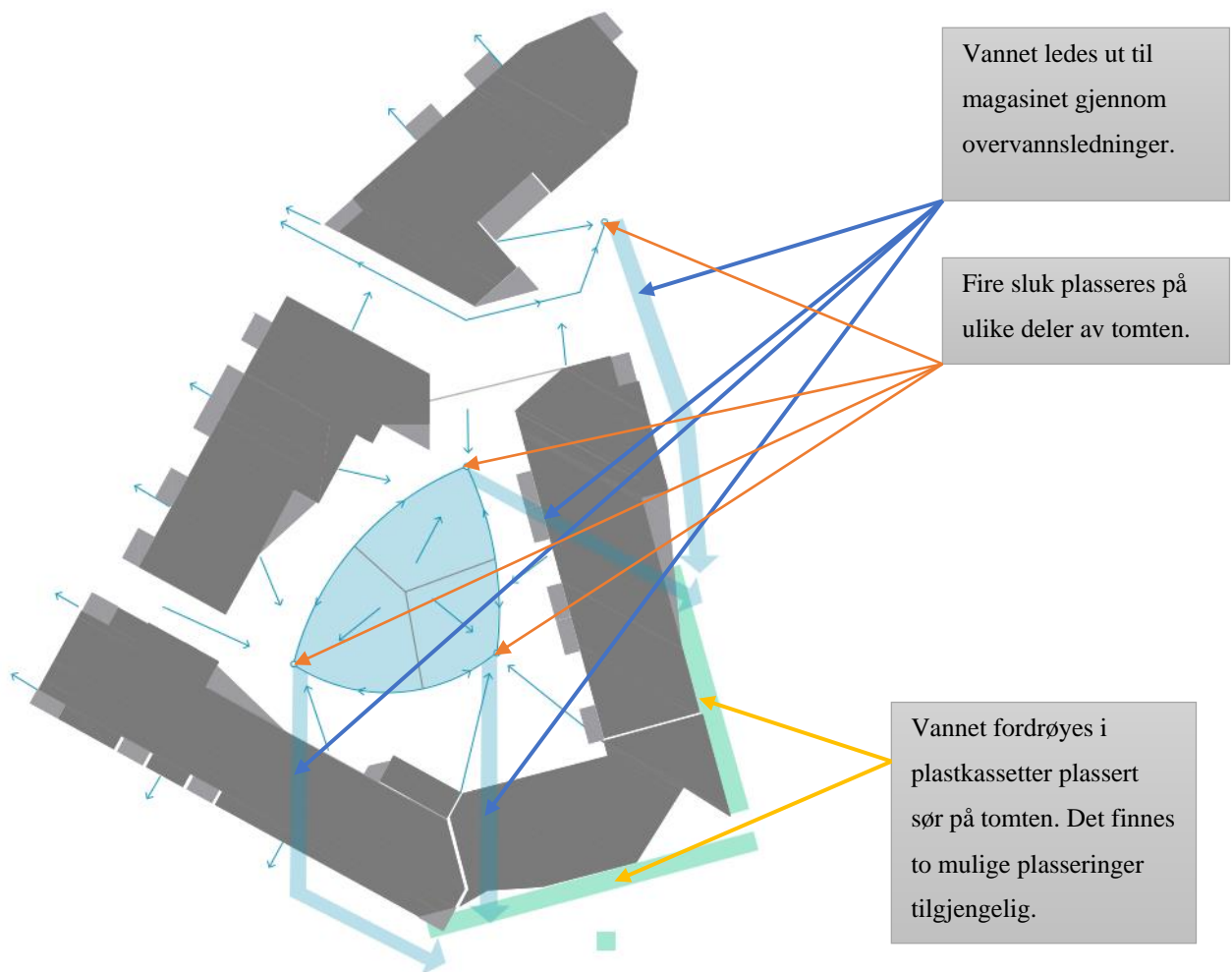
Alle leiligheter vil få inngang med heis, og meningen er at området skal være universelt utformet. Fra parkeringsarealene er det direkte adkomst med heis til alle etasjer. Mot rundkjøringen vil boenhetene senkes slik at man får to nivåer. Det vil fremdeles bli tilrettelagt slik at rullestolbrukere kan ta seg uhindret frem. Alle krav til brann, lydgjennomgang og u-verdier vil bli ivaretatt gjennom byggeprosessen. (Svensson 2015)

Samlet er planområdet på omtrentlig 5,4 dekar. Hver boenhet tildeles et uteareal på 50 kvadratmeter hvor balkonger, takterrasser og vinterhage er inkludert i beregningene. Hagearealene med vinterhagen inkludert vil være tilpasset beboere i alle aldre, også de minste. Unger skal ha mulighet til å leke på tunet og i vinterhagen uten at foreldrene mister oversikten. Vinterhagen skal ha mulighet for lukking om vinteren slik at den fungerer som et halvklimalisert rom. (Svensson 2015)

# 8 Overvannshåndtering ved Trekanten

## 8.1 Kostnadseffektiv tilnærming

I den kostnadseffektive tilnærmingen vil det bli lagt vekt på minimal jordtykkelse. Det vil maksimalt være 20 cm overdekning tilgjengelig. I de tilfellene hvor økt jordtykkelse er påkrevd vil det være aktuelt med plantekasser. Dette muliggjør planting av trær og innslag av planter og busker. I denne løsningen legges det opp til at mesteparten av vannet skal fordrøyes utenfor området ved hjelp av plastkassetter. Løsningen har sådan et lite potensial for fordrøyning sammenlignet med det mer intensive alternativet.



Figur 8-1 - Figuren viser en skisse over planlagt overvannshåndtering ved Trekanten, Kristiansand. Skissen er laget av Landskapsarkitekt Stefån Jøn Ingølfsson. (Ingølfsson 2016)

På tomten vil det bli konstruert fire sluk og påfølgende overvannsledninger. Overvannet ledes sør på tomten hvor fordrøyningsmagasinet bestående av plastkassetter er lokalisert. For dette ses to mulige plasseringer. Se Figur 8-1 for nøyaktig beskrivelse. Fra husveggene settes fallet til 2,5 % ved overflaten. For resten av overflaten settes fallet til 1 %. Magasinstørrelser og

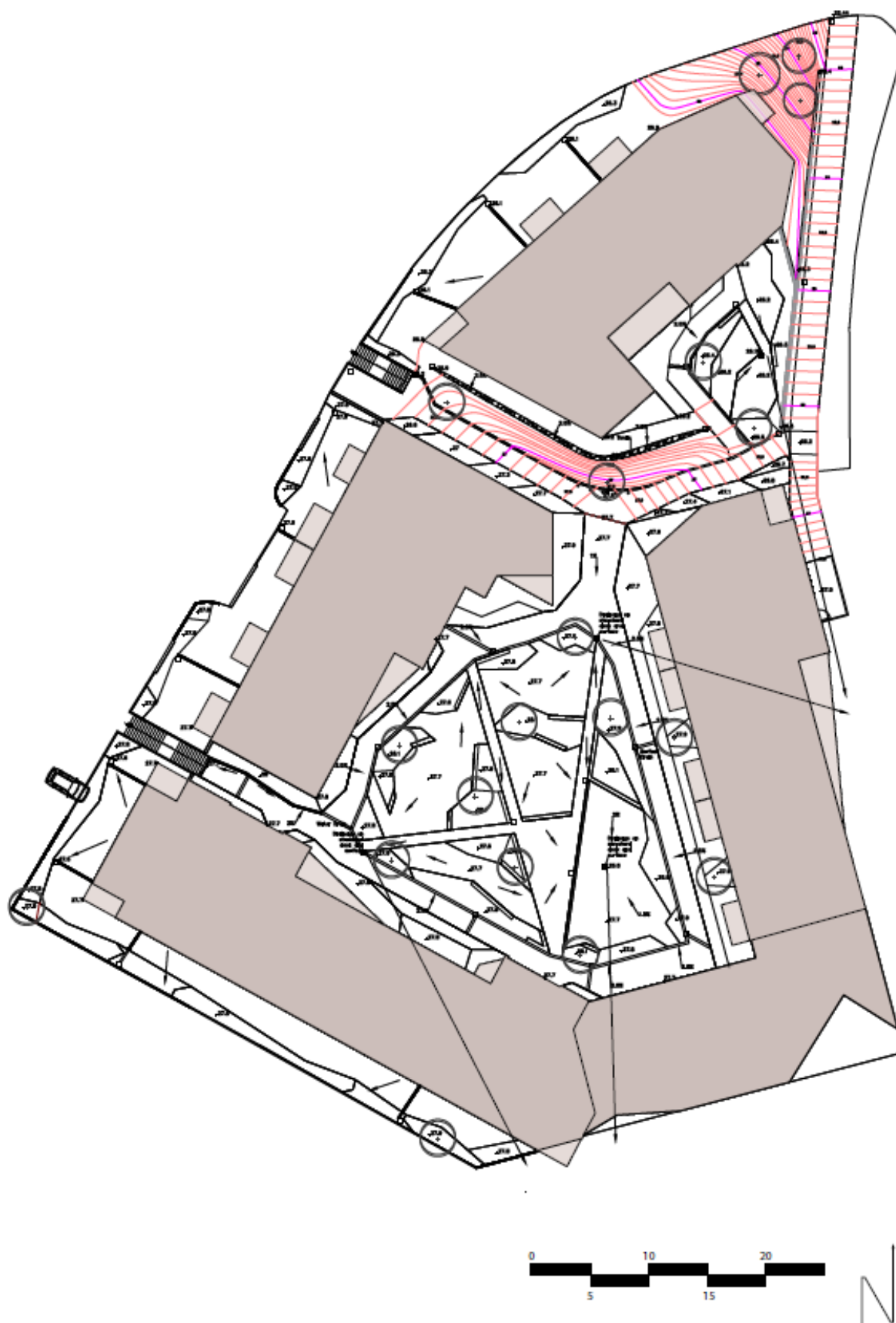
## Overvannshåndtering ved Trekanten

---

utforming er vist i Tabell 9-1. Dimensjoner for overvannsrør er vist i Tabell 9-4. (Ingølfsson 2016; Skumglas 2016)

Av de 20 centimeterne tilgjengelig vil 15 cm bli benyttet som grobunn for gress og planter. Dette gjør 5 cm tilgjengelig som et drenerende og fordrøyende lag. Disse 5 centimeterne vil fylles opp med et lett, porøst materiale som har et høyt potensiale for fordrøyning. Vanlige materialer benyttet til denne typen løsninger er resirkulert skumglass eller ekspandert leire som for eksempel Leca. På grunn av at Leca er laget av leire og derfor har naturlig innhold av mineraler som jern. Dette fører til at eventuelle næringsstoffer som finnes i overvannet holdes tilbake i den ekspanderte leiren, og materialet vil tettes raskere. Resirkulert skumglass har derfor blitt valgt som det mest aktuelle materialet i denne situasjonen. Hasopor Skumglas har et totalt porevolum på 31 % etter 28 døgn neddykket og et porevolum på 40 % etter 68 uker fullstendig neddykket. Med 5 cm tilgjengelig resulterer dette i en fordrøyningskapasitet på rundt 14 m<sup>3</sup>. Se Tabell 9-9 for nærmere informasjon. Vannet kan potensielt infiltreres ned til materialet gjennom grunnen, men ved korte intensive regnskyll vil det øverste laget mettes og det vil bli lite gjennomtrenging. Det vil derfor anlegges stier bestående av porøst materiale som grov grus og singel, eller et porøst dekke som beskrevet i kapittel 5.1.5 (Permeabel asfalt). (Skumglas 2016)

I Figur 8-2 vises en oversikt over teknisk plan for Trekanten i Kristiansand. Trær og busker er representert ved sirkler. På figuren finnes også strømningspiler som indikerer fallets retning og strømningsretningen for vannet som faller på overflaten.



Figur 8-2 - Figuren viser teknisk plan for overvannshåndtering ved Trekanten. Figuren gjelder for det konvensjonelle alternativet. (Ingdølfsson 2016)

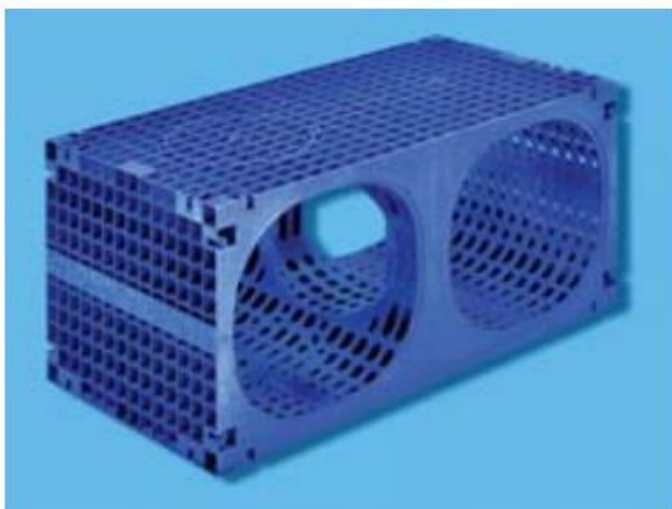


### 8.2 Intensiv løsning

I den intensive løsningen legges det opp til økt jordtykkelse, et mer frodig hagemiljø, mer utfordrende løsninger for overvann som er synlige i dagen og økt fordrøyningskapasitet i form av et tykt lag med resirkulert skumglass i bunnen. Dette resulterer også i at fordrøyningsvolumet i form av plastkassetter potensielt kan reduseres. Hovedformålet med denne løsningen er et mer frodig hagelandskap med overvannsløsninger synlige i dagen. Den økte jordtykkelsen på 50 cm muliggjør dette, samtidig som det også åpner for et mer fluidt landskap hvis linjer går bedre i ett med hverandre. For gress kreves en jordtykkelse på 15 cm, og for stauder kreves en tykkelse på 0,3. Trær krever mer. 0,5-0,6 m er vanlig. Se Tabell 9-11 for nøyaktige verdier.

For den intensive løsningen kalkuleres den teoretiske økningen i fordrøyningspotensialet til å bli 130,5 m<sup>3</sup>. Sammenlignet med den mer konvensjonelle løsningen er dette en markant økning i volum tilgjengelig for fordrøying. Plasseringen av sluk og fordrøyningsmagasiner blir den samme som for i det første alternativet. Se Figur 8-1 for en oversikt. I begge alternativene vil det konstrueres et sandfang før fordrøyningsmagasinene. Dette motvirker at grus og grovere partikler tetter plastkassetene. Sandfanget må vedlikeholdes jevnlig. Skulle imidlertid sandfangets funksjonalitet bli redusert kan plastkassetene spyles på en enkel måte. Q-Bic Wavin synes å ha den beste konstruksjonen. Denne muliggjør også inspeksjon med kameraer. (Wavin.com 2016)

### Q-Bic overvannskassett



Figur 8-3 - Figuren viser en inspiserbar overvannskassett av typen Q-Bic.(Wavin.com 2016)



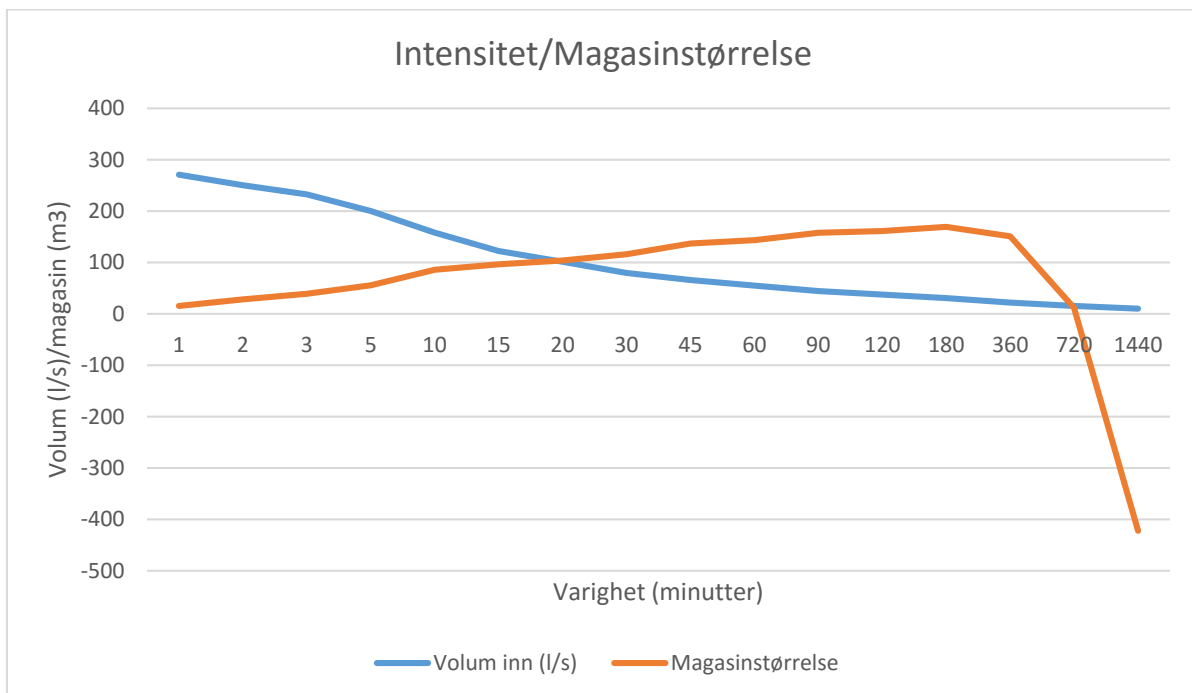
Figur 8-4 - Figuren viser teknisk plan for overvannshåndtering ved Trekanten. Figuren gjelder for intensiv løsning nummer to. (Ingølfsson 2016)

# 9 Dimensjonering og resultater

## 9.1 Magasin størrelse og avrenning

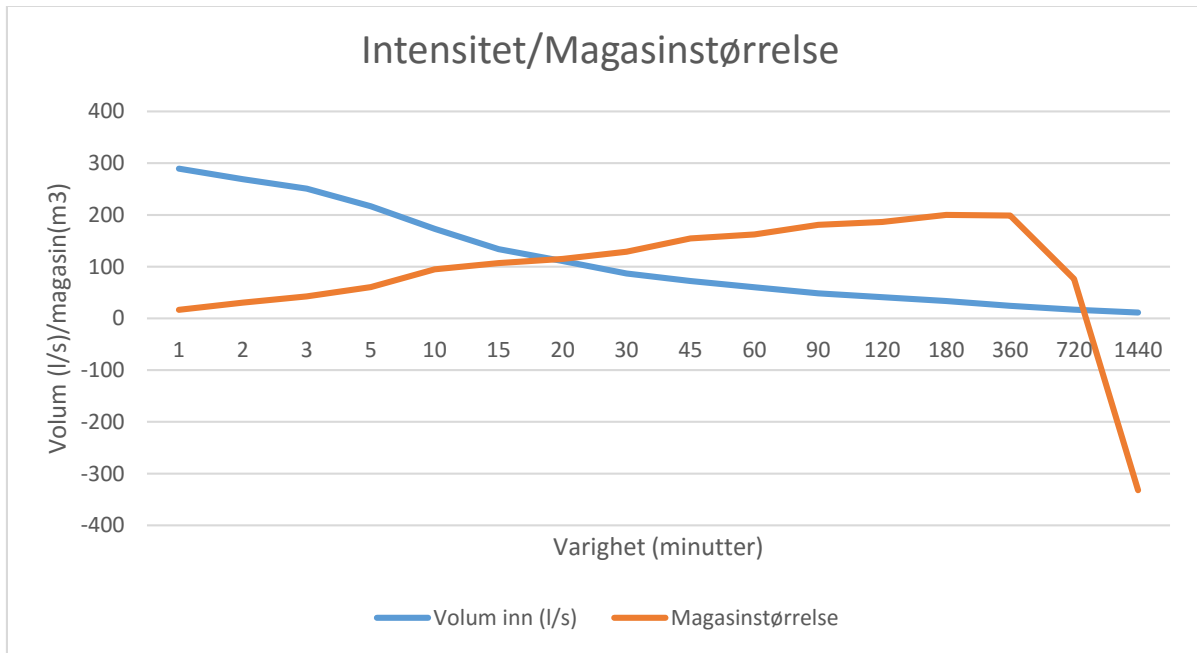
### 9.1.1 Normal avrenning

I kapittel 9.1.1 fremstilles forventede overvannsmengder for området ved Trekanten, Kristiansand. En regnvelopmetode benyttes for å kalkulere magasin størrelser. Verdiene plottes opp mot nedbørsverdiene inn i feltet. Kurvene er basert på konkrete nedbørsverdier fra målestasjonen ved Sømkleiva i Kristiansandsområdet. Kurvene fremstiller overvannsmengder og magasin størrelser for 25, 50 og 100 års gjentaksintervaller.

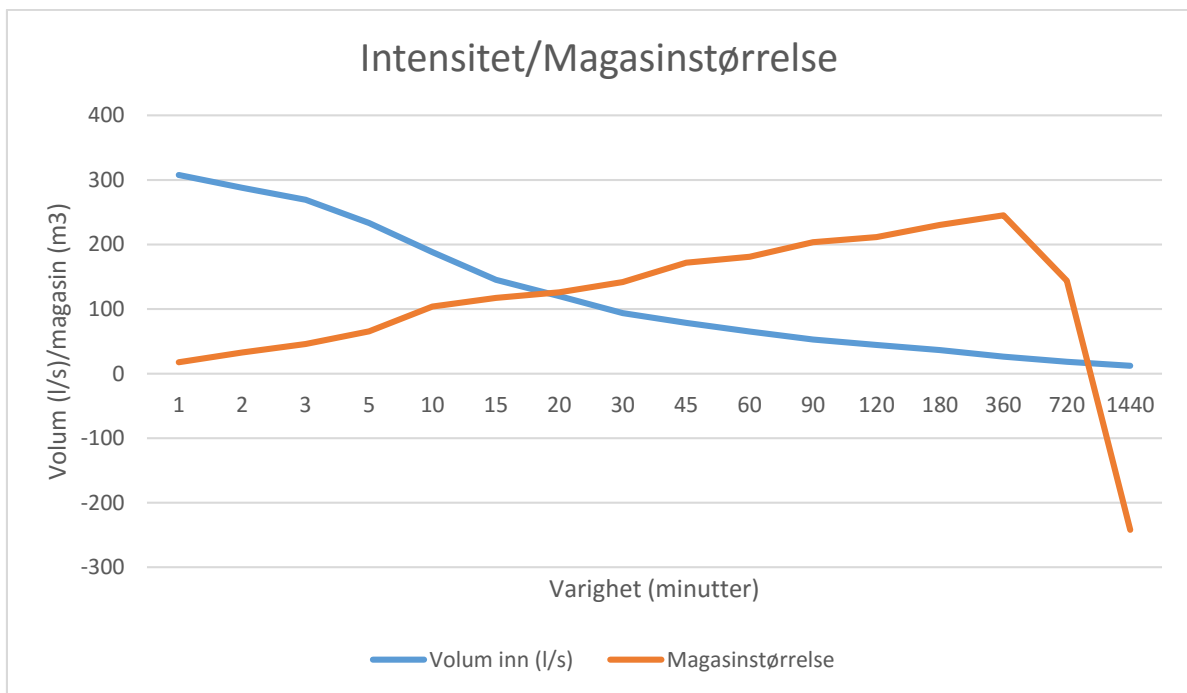


Figur 9-1 - 25 års gjentaksintervall, omhylningskurve for magasin størrelse.





Figur 9-2 - 50 års gjentakintervall, omhylningskurve for magasinstørrelse.



Figur 9-3 - 100 års gjentakintervall, omhylningskurve for magasinstørrelse.

### 9.1.2 Kommentarer til resultatene

Ved normal avrenning trengs en magasin størrelse på 200,15 m<sup>3</sup> når det velges et gjentaksintervall på 50 år. Dette regnet når toppen etter 180 minutters varighet. Utløpet settes konstant lik 15 l/s og dette vannet renner ut på kommunens nett som følger Slettheiveien. En magasin størrelse på 200 m<sup>3</sup> tilsvarer 489 kassetter av typen Q-Bic Wavin. Disse har et lagringspotensiale på 0,41 m<sup>3</sup> per kassett. Fordrøyningspotensialet er på 95 % av totalt volum. Kassetene kan stables i fem lag, noe som fører til en total høyde på 3m. Dimensjonene for bassenget er som vist i Tabell 9-1. I Tabell 9-1 er det også listet opp to andre leverandører av plastkassetter. Som et alternativ nummer to kan Pipelife sin Stormbox benyttes. Denne kan stables til samme høyde som Q-Bic Wavin. (Pipelife.com 2016; Wavin.com 2016)

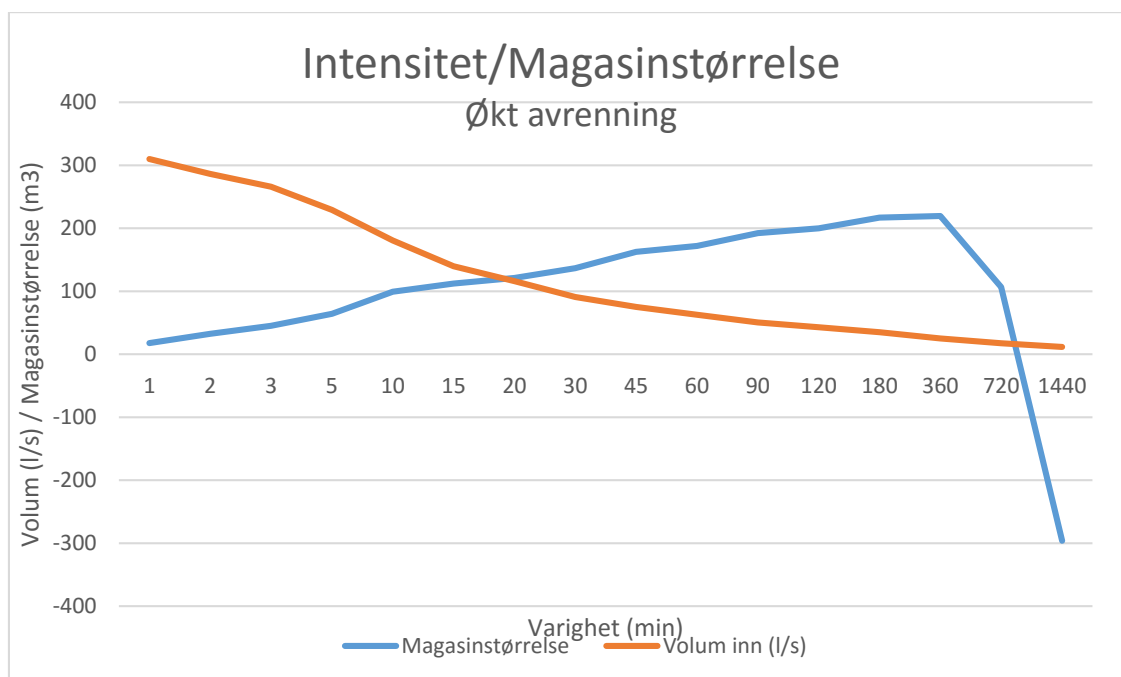
## Dimensjonering og resultater

Tabell 9-1 - Tabellen viser nødvendig antall plastkassetter for tre alternativer. Dimensjonene er oppgitt for 25, 50 og 100 års gjentakintervall. Q-Bic Wavin blir anbefalt benyttet, men Pipelife Stormbox kan også benyttes

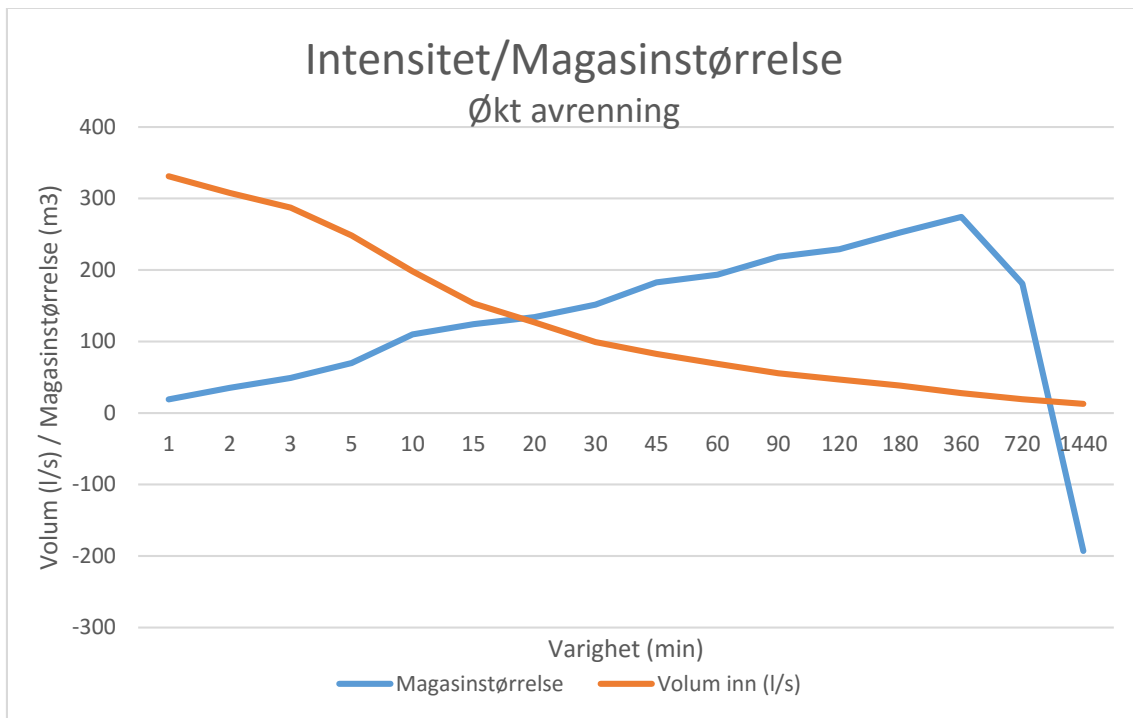
<b>Nødvendig antall plastkassetter</b>						
<b>Pipelife - Stormbox</b>						
<b>Lagringsvolum (m3)</b>	0,206		<b>Volum</b>	<b>Dimensjoner (m)</b>	<b>Maksimalt antall lag</b>	<b>Foreslått utforming (m, bxhxd)</b>
25 år	821,1220078	Kassetter	169,1511336	1,2x0,6x0,3	10 lag	5,4x3x10,8
50 år	971,6141569	Kassetter	200,1525163			6x3x12
100 år	1190,767568	Kassetter	245,298119			6x3x14,4
<b>VA-systemer - D-Raintak</b>						
<b>Lagringsvolum (m3)</b>	0,2489					
25 år	679,5947513	Kassetter	169,1511336	0,81x0,81x0,4	3 lag	6,48x1,2x26,9
50 år	804,1483179	Kassetter	200,1525163			6,48x1,2x31,8
100 år	985,5288029	Kassetter	245,298119			8,1x1,2x31,2
<b>Wavin - Q-Bic</b>						
<b>Lagringsvolum (m3)</b>	0,41					
25 år	412,5637405	Kassetter	169,1511336	0,6x1,2x0,6	5 lag	5,4x3x10,5
50 år	488,1768691	Kassetter	200,1525163			6x3x12
100 år	598,2880952	Kassetter	245,298119			6x3x14,4

### 9.1.3 Økt avrenning som følge av tendenser og fremtidige klimaendringer

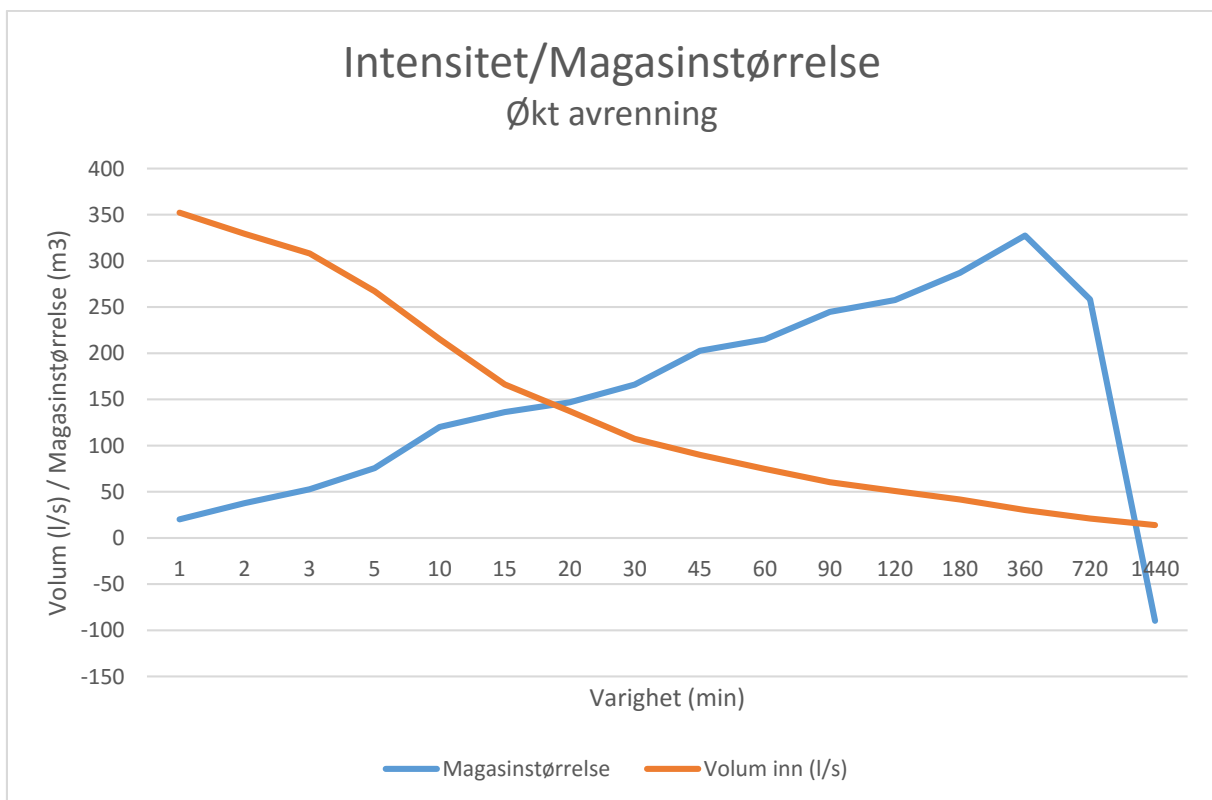
I kapittel 9.1.3 fremstilles forventede overvannsmengder for området ved Trekanten, Kristiansand i et tilfelle av økt avrenning. Avrenningskoeffisienten settes i dette tilfellet lik 0,9 og klimafaktoren settes lik 1,38 i tråd med anbefalinger gitt av «Klima 2100» rapporten. Grafene er tenkt å symbolisere en situasjon med mettede overflater og økt avrenning. En regnvelopmetode benyttes for å kalkulere magasin størrelser. Verdiene plottes opp mot nedbørsverdiene inn i feltet. Kurvene er basert på konkrete nedbørsverdier fra målestasjonen ved Sømkleiva i Kristiansandsområdet. Kurvene fremstiller overvannsmengder og magasin størrelser for 25, 50 og 100 års gjentaksintervaller.



Figur 9-4 - 25 års gjentaksintervall, økt avrenning, omhylningskurve for magasin størrelse.



Figur 9-5 - 50 års gjentakintervall, økt avrenning, omhylningskurve for magasinstørrelse.



Figur 9-6 - 100 års gjentakintervall, økt avrenning, omhylningskurve for magasinstørrelse.

### 9.1.4 Kommentarer til resultatene

Scenarioet med økt avrenning er representert ved en økt avrenningskoeffisient. Dette er ment å simulere en fremtidig forventet økning i avrenning som følge av klimaendringer. En annen side ved mulig økt avrenning er at noen flater i realiteten ikke opptrer som porøse og gjennomtrengelige når de blir utsatt for kortvarig, men intenst regn. Disse tilfellene opptrer typisk vinterstid eller i perioder med sterk nedbør.

### 9.2 Diameter og skjærspenningsbetraktninger

Tabell 9-2 - Tabellen viser dimensjoner for overvannsrør. Ledningen har 15 promille fall og et gjentakintervall på 25 år.

Sluk	Areal (m2)	Areal (ha)	k	I (l/s*ha)	Qdim(m3/s)	Fall(‰)	L	f	D
1	1070	0,107	0,9	247	0,024	15	60	0,023	0,186
2	862	0,0862	0,9	247	0,019	15	60	0,023	0,171
3	943	0,0943	0,9	247	0,021	15	60	0,023	0,177
4	728	0,0728	0,9	247	0,016	15	60	0,023	0,160

Tabell 9-3 - Tabellen viser skjærspenningsbetraktninger for ledningen i Tabell 9-2.

v(fylt)	Q(fylt)	Q(dim)	Q(dim)/Q(fylt)	h/D	$\tau$ (fylt)	$\tau$ (maks)	3 (N/m2)
1,54	0,042	0,0024	0,0564	0,15	6,992	3,566	Ok
1,48	0,034	0,0019	0,0564	0,15	6,413	3,270	Ok
1,51	0,037	0,0021	0,0564	0,15	6,647	3,390	Ok
1,43	0,029	0,0016	0,0564	0,15	5,994	3,057	OK

Tabell 9-4 - Tabellen viser dimensjoner for overvannsrør. Ledningen har 15 promille fall og et gjentakintervall på 50 år.

Sluk	Areal (m2)	Areal (ha)	k	I (l/s*ha)	Qdim(m3/s)	Fall(‰)	L	f	D
1	1070	0,107	0,9	265,3	0,026	15	60	0,023	0,192
2	862	0,0862	0,9	265,3	0,021	15	60	0,023	0,176
3	943	0,0943	0,9	265,3	0,023	15	60	0,023	0,182
4	728	0,0728	0,9	265,3	0,017	15	60	0,023	0,164

## Dimensjonering og resultater

Tabell 9-5 - Tabellen viser skjærspenningsbetraktninger for ledningen i Tabell 9-4.

v(fylt)	Q(fylt)	Q(dim)	Q(dim)/Q(fylt)	h/D	$\tau$ (fylt)	$\tau$ (maks)	3 (N/m <sup>2</sup> )
1,5668	0,0453	0,0026	0,0564	0,15	7,1945	3,6692	Ok
1,5005	0,0365	0,0021	0,0564	0,15	6,5986	3,3653	Ok
1,5277	0,0399	0,0023	0,0564	0,15	6,8400	3,4884	Ok
1,4507	0,0308	0,0017	0,0564	0,15	6,1674	3,1454	OK

Tabell 9-6 - Tabellen viser dimensjoner for overvannsrør. Ledningen har 15 promille fall og et gjentaksintervall på 100 år.

Sluk	Areal (m <sup>2</sup> )	Areal (ha)	k	I (l/s*ha)	Qdim(m <sup>3</sup> /s)	Fall(‰)	L	f	D
1	1070	0,107	0,9	288,5	0,02778255	15	60	0,023	0,198
2	862	0,0862	0,9	288,5	0,02238183	15	60	0,023	0,182
3	943	0,0943	0,9	288,5	0,024484995	15	60	0,023	0,189
4	728	0,0728	0,9	288,5	0,01890252	15	60	0,023	0,170

Tabell 9-7 Tabellen viser skjærspenningsbetraktninger for ledningen i Tabell 9-6.

v(fylt)	Q(fylt)	Q(dim)	Q(dim)/Q(fylt)	h/D	$\tau$ (fylt)	$\tau$ (maks)	3 (N/m <sup>2</sup> )
1,5933	0,0492	0,0028	0,0564	0,15	7,4399	3,7943	Ok
1,5259	0,0397	0,0022	0,0564	0,15	6,8236	3,4800	Ok
1,5535	0,0434	0,0024	0,0564	0,15	7,0732	3,6073	Ok
1,4752	0,0335	0,0019	0,0564	0,15	6,3777	3,2526	Ok



### 9.2.1 Kommentar til resultatene

Dersom man går ut ifra at det dimensjoneres for 10 minutters varighet og 50 års gjentakintervall vil den nødvendige diameteren på overvannsledningene være 250 mm for sluk 1, 250 mm for Sluk 2, 250 mm for sluk 3 og 200 mm for sluk 4. Etter beregningene vil dette også medføre ledningsdimensjonene vil takle også et regn som normalt inntreffer hvert 100 år. Skjærspenningsberegningene viser at et fall på 15 promille er tilstrekkelig for rørdimensjonene som har blitt valgt. Dersom fallet økes kan man gå ned på dimensjonen til overvannsledningene. Det har blitt tatt utgangspunkt i rør og dimensjoner tilsvarende de fra Pragma overvannsrør. Friksjonsfaktoren settes lik 0,023 som tilsvarer en ruhet på ca. 0,5. Dette vil i de fleste tilfeller representere den reelle situasjonen for plastrør godt. (Pipelife 2016)

Tabell 9-8 - Oversikt over tilgjengelige diametere for overvannsrør fra Pipelife. (Pipelife 2016)

$D(\text{ytre},$ $\text{mm})$	$D(\text{indre},$ $\text{mm})$
160	139
200	174
250	218

### 9.3 Estimert fordrøyningsvolum for de ulike løsningene

I den konvensjonelle løsningen legges det opp til et total jordtykkelse på 20 cm. Dette gir noen begrensninger for planter som fører til at trær og planter som krever en jordtykkelse typisk over 20 cm må etableres i plantekasser. Den intensive løsningen har en jordtykkelse på opp mot 50 cm, noe som muliggjør økt fordrøyning ved at Hasopor Skumglas benyttes. Hasopor har et effektivt porevolum på rundt 31 %. Fordrøyningsvolumene nedenfor er ikke medregnet potensialet takløsningene tilfører. De grønne takløsningen kan potensielt fordrøye opp mot 50 % av nedbøren over tid, men ved korte regnskylt vil de øverste lagene mettes og man får en lite gjennomtrengelig flate. Dataene er hentet ut av modellen lagt til grunn av landskapsarkitekten.

## Dimensjonering og resultater

### 9.3.1 Forventet fordrøyningsvolum for det konvensjonelle alternativet

Tabell 9-9 - Forventet fordrøyningsvolum for det konvensjonelle alternativet (Ingølfsson 2016)

	<i>Gress</i>
<i>Totalt areal tilgjengelig</i>	884,8
<i>Forventet fordrøyningsvolum tilgjengelig</i>	13,7144
<i>Totalt fordrøyningsvolum (forventet, m3)</i>	13,7144

### 9.3.2 Forventet fordrøyningsvolum for den intensive løsningen

Tabell 9-10 - Forventet fordrøyningsvolum for den intensive løsningen

	<i>Stauder</i>	<i>Gress</i>	<i>Grus</i>	<i>Tre</i>
<i>Totalt areal tilgjengelig</i>	382,7	830	120	90
<i>Forventet fordrøyningsvolum tilgjengelig</i>	23,7274	90,055	16,74	0
<i>Totalt fordrøyningsvolum (forventet, m3)</i>	130,5224			

### 9.3.3 Jordtykkelser

Tabell 9-11 - Behovet de ulike plantene har for jordtykkelser - Intensiv løsning (Ingølfsson 2016)

	<i>Stauder</i>	<i>Gress</i>	<i>Grus</i>	<i>Tre</i>
<i>Behov tykkelse planter</i>	0,3	0,15	0,05	0,5
<i>Tykkelse tilgjengelig for fordrøyning</i>	0,2	0,35	0,45	0

## Dimensjonering og resultater

---

Tabell 9-12 - Behovet de ulike plantene har for jordtykkelser - Konvensjonell løsning (Ingølfsson 2016)

	<i>Stauder</i>	<i>Gress</i>	<i>Grus</i>	<i>Tre</i>
<i>Behov tykkelse planter</i>	0,3	0,15	0,05	0,5
<i>Tykkelse tilgjengelig for fordrøyning</i>	0	0,05	0	0

### 9.3.4 Kommentar til resultatene

Det potensielle fordrøyningsvolumet er for den intensive løsningen markant høyere enn det for den konvensjonelle løsningen. 130,5 m<sup>3</sup> kontra 13,7 m<sup>3</sup> er en stor økning. Økningen kommer av differansen i jordtykkelse og det økte fordrøyningspotensialet som finnes i Hasopor. Arealene bestående av grus eller porøse dekker har blitt sett bort fra da disse er svært små.

# 10 Diskusjon

## 10.1 Drift og vedlikehold

Et problem som ofte oppstår i forbindelse med fordrøyning av vann ved hjelp av plastkassetter og porøse masser er gjentetting av kassetene og materialet som benyttes i fordrøyingsprosessen. Avrenning fra tette flater og da spesielt gangarealer, fører ofte med seg grovere partikler, sand og grus som potensielt kan tette igjen både kassetter og fordrøyingsmaterialet. For å motvirke problematikken med gjentetting av plastkassetene vil det bli etablert et sandfang i forkant som skal minske risikoen for at dette oppstår. Inne på platen ledes også vannet fra gangarealer, som typisk har det største innholdet av grovere partikler, direkte ned i slukene i form av renner. Ledningsnettets er slik det er designet selvrensende og vil derfor ikke kreve nevneverdig vedlikehold. De partiklene som eventuelt passerer gjennom ledningsnettets, fanges opp i det første rensetrinnet og sedimenteres. Problemet er imidlertid at disse ledningene sjeldent vedlikeholdes. Sandfang vil over tid tettes igjen, og tømmes de ikke over tid vil man også risikere at plastkassetene stoppes til. Brukerundersøkelser utført både i Norge og Sverige tilsier at sandfang sjeldent vedlikeholdes og tømmes. I Sverige hvor de har lengre erfaring med denne typen løsninger, både i form av fordrøyingsmateriale og kassetter, vises det til manglende vedlikehold. (Heistad 2016)

Kassetene er derfor valgt med nettopp dette i bakhånd. Q-Bic Wavin kan både inspiseres med kamera og spyles rene dersom gjentetting skulle forekomme. Dette arbeidet kan potensielt være tidkrevende, så det er derfor viktig at sandfanget tømmes og vedlikeholdes jevnlig.

Massene som benyttes til fordrøyning vil også trenge vedlikehold. Over tid vil vannet som filtrerer gjennom de øvre lagene føre med seg finere partikler som potensielt kan stoppe til det resirkulerte skumglasset. Næringsstoffer kan også potensielt stoppe til løsningen. Dette er også en av grunnene til at Hasopor ble anbefalt benyttet. Materialet inneholder i liten grad mineraler og metaller som typisk binder næringsstoffer til seg. Dette vil minske problematikken. Det kan tenkes at materialet over tid, også i levetiden til boligen, vil tettes igjen og delvis miste sin fordrøyende kapasitet. Det er imidlertid ikke trolig at det blir noe stort problem.

Et annet aspekt ved denne løsningen er effektiviteten. Vannet er tenkt å infiltrere til skumglasset hovedsakelig gjennom gangarealer med permeabelt dekke og gjennom gressoverflatene. Det permeable dekket må som beskrevet i kapittel 5.1.5 vedlikeholdes for opprettholde sin drenerende kapasitet. Tilstopping av disse flatene vil potensielt føre til delvis oppstuvning av vann langs gangarealene. Utføres dette vedlikeholdet jevnlig vil kapasiteten være mer enn stor nok til å ta unna vannmengdene som skulle komme.

### 10.2 Økt avrenning og kraftige nedbørsmengder

I fremtiden forventes det en kraftig økning i nedbørsmengder så vel som avrenning. Dersom klimaforhandlingene og påfølgende tiltak ikke lykkes vil prognosene fra klimamodellene bli fremtidens realitet. En antagelse som mest sannsynlig i fremtiden vil bli realiteten, er økte nedbørsmengder. Dette vil forekomme uavhengig av tiltak. Spørsmålet er mer hvorvidt det lykkes å begrense det. Dagens 100-års regn kan bli fremtidens 50-års regn, og faren for at boliger som konstrueres i dag vil oppleve et 200-års regn er overhengende. I kapittel 9.1.3 vises en fremstilling av overvannsmengder som tar høyde for økt avrenning ved området i Kristiansand. Trekanten kan utsettes for en markant økning i avrenningsmengder sammenlignet med dagens situasjon. Denne problemstillingen blir også mere aktuell som følge av at vi muligens også i lengre tid feilaktig har sett på enkelte flater som permeable. Flater som om vinteren er frosset vil ikke være mottagelig for infiltrasjon. Også om sommeren kan slike situasjoner inntreffe. Ved korte, intensive regnskyll vil de øverste lagene og flatene mettes med vann, og vil derfor ikke være mottagelige for at vann kan infiltreres gjennom dem. I kapittel 9.1.3 er det tatt høyde for et slikt utfall av endringene. Resultatene er i all hovedsak basert på antagelser og mer forskning innenfor området er helt klart å foretrekke.

Når disse situasjonene inntreffer vil det føre til økt på press overvannsnett, flomveier og fordrøyningsmagasin. Det er derfor viktig at man tar hensyn til at slike situasjoner kan inntreffe når man dimensjonerer overvannsystemene for et område. Sammenligner man grafene for den tenkte situasjonen hvor økt avrenning forekommer, med grafene for normal avrenning vil man se at avrenningen vil øke omtrentlig med 30 %. Dataene baserer seg på et snevert utvalg av nedbørsverdier, og vil som følge av dette være lite konkluderende, men det kan likevel gi en pekepinn på økningen som er å vente. Det er imidlertid viktig å huske på at avrenningskoeffisienten som har blitt valgt er et røft estimat på hva som er å forvente. Det er tatt høyde for at flatene ikke er helt ugjennomtrengelige, så avrenningskoeffisienten settes

derfor til 0,9. Fra Figur 3-8 ser man økningen i avrenning for en av klimamodellene, RCP4,5. I sommerhalvåret synes økt avrenning i store deler av Norge på mellom 15 % og 50 %. I noen deler passerer også tallet 30 %. Dette for RCP4,5 som forutsetter en kraftig reduksjon i dagens utslipp av klimagasser. Om utviklingen fortsetter som nå vil utslippene og påfølgende avrenning mest sannsynlig overstige den som er beskrevet i RCP4,5 modellen. En økning på 30 % er derfor ikke å anse som et dårlig estimat på hva som kan forventes. Trolig kan også økningen bli større.

I Vedlegg A - 1 og Vedlegg A - 2 sees en oversikt over temperaturer målt med en jorddybdesensor ved NMBU for årene 1998 og 2013. Her måles temperaturer 2, 5, 10, 20, 50 og 100 cm ned i bakken. I grafene vises også snittemperaturen for den øverste sensoren, den som måler temperaturen to centimeter under bakken. Sammenlignet med 1998 har snittemperaturen for 2013 sunket med 0,5 grader fra 7,1 til 6,6 grader celsius. I Vedlegg A - 3 vises en oversikt over snødybde for 1998 sammenlignet med nivåene for 2013. Det observeres en synlig reduksjon i temperatur i det øverste jordlaget om 1998 sammenlignes med 2013. Hypotesen er at en stadig økende del av nedbøren om vinteren faller i form av regn. Når snøfallet reduseres tapes også den isolerende effekten snø gir. De øverste lagene vil da fryse til, og regn som eventuelt faller på de frosne overflatene vil falle på overflater med en avrenningskoeffisient tilnærmet lik 1. Avrenningen vil i slike tilfeller bli svært stor, og flomsituasjoner kan da potensielt oppstå også om vinteren. I de fleste tilfeller vil uansett det øverste laget være frosset på grunn av de lave temperaturene som finnes i de fleste deler av landet om vinteren. Regn som eventuelt faller, vil da med sikkerhet ikke infiltreres til grunnen og det vil observeres økt avrenning.

I Vedlegg A - 3 vises også til en markant økning i nedbør for dag 41 til dag 61. Dette tilsvarer omtrent januar til februar. Normalt sett vil nedbør på denne delen av året falle som snø. Det kan også tenkes at målte data viser snø, men er sensorene som benyttes av den eldre typen vil regn som eventuelt faller bli omgjort til ekvivalente snømengder. Det kan da tenkes at målte data i realiteten viser regn.

### 10.3 Risikovurdering

Et annet element med dimensjoneringen for fremtidige endringer i klimaet er risikoen ved å ikke gjøre det slik. Som nevnt i kapittel 7.1 skal store deler av den bærende konstruksjonen anlegges i massivt tre. Vannskader vil i så måte få fatale konsekvenser om det skulle inntreffe. Fukt vil påvirke bæreevnen til trekonstruksjonen på en negativ måte, og eventuelle flomsituasjoner som overskrider dimensjonerende mengder kan få fatale konsekvenser. Potensielt kan dette føre til store reparasjonskostnader på bygningsmassene og i verste fall risikerer man at bygningsmassene må saneres og bygges opp igjen.

Et annet element er risikoen som flomsituasjoner representerer for beboerne. I de fleste situasjoner vil ikke dette være noe problem med tanke på fremkommelighet. Risikoen for skader på bygningsmassene er også i de fleste situasjoner liten, men det er i de ekstraordinære situasjonene som kan inntreffe en viss mulighet for at noe sånt kan inntreffe. Det er derfor viktig at man tar hensyn til dette i form av riktig dimensjonering og etablering av trygge flomveier for at overvannet ikke skal gjøre stor skade inne på området om kapasiteten på nettet skulle overskrides. Dette kan for eksempel løses ved at man etablerer renneløsninger mellom byggene som leder vannet ut og vekk fra platen om en slik situasjon skulle inntreffe. Løsningene vil da oversvømmes inne på platen og vannet renne mellom husene, ut av platen og vekk.

Et aspekt ved dette er valg av gjentaksintervall. Det blir i denne oppgaven gått inn for at gjentaksintervallet økes til minimum 50 års nedbør slik at det bedre tas hensyn til fremtidige endringer i klimaet. En ytterlige økning hadde i enkelte tilfeller vært å foretrekke, men det er heller tvilsomt om dette er økonomisk forsvarlig. Differansen i kostnad vil i så måte komme av et økt antall plastkassetter og kraftigere rørdimensjoner. Det er imidlertid mer enn trolig at god nok flomsikkerhet ivaretas ved å ha åpne, trygge flomveier tilgjengelig.

### 10.4 Vannkvalitet – Separere taknedløp og gangarealer

I enkelte tilfeller kan det tenkes at forbedret overvannskvalitet kan oppnås ved å separere overvannet som genereres fra tak og overvannet som genereres fra arealer hvor mennesker ferdes og arealer benyttes til biltrafikk. Biltrafikk og mennesker fører ofte med seg en del forurensning, både i form av søppel, tungmetaller, oljerester og partikler fra avgasser. Er innholdet av denne typen forurensningsparametere høyt, bør det vurderes om overvannet skal renses. Ved å separere de mer alvorlige forurensningskildene fra overvannet som

nødvendigvis ikke trenger behandling, kan man redusere belastningen på nettet ved at vannet som ikke trenger behandling ledes direkte ut i en lokal resipient. På denne måten reduseres også forurensningen i lokale vannkilder og bekker.

Ved Trekanten i Kristiansand er problematikken knyttet til en slik situasjon lav.

Forurensningen som kan oppstå kommer hovedsakelig fra trafikken i området og da spesielt fra tunnelåpningen og avgasser produsert fra biltrafikken. Dette vil i liten grad påvirke arealene inne på området, og forurensningspotensialet heller lite. Problematikken er i hovedsak knyttet til konstruksjonsmaterialene og forurensing som kan oppstå som følge av materialene benyttet i prosjektet. Heller ikke her forventes nevneverdig forurensing da store deler av konstruksjonen består av massivt tre. Også i takløsningene vil det bli benyttet tre, så heller ikke her kan man forvente å finne store konsentrasjoner av tungmetaller.

### 10.5 Videre forskning og refleksjoner

Den siste tiden før levering sitter man ofte igjen med en del spørsmål. Ting som kunne vært gjort annerledes, nye og kanskje mer relevante problemstillinger, emner verdt å forske på? Fokuset har overordnet hvert klimaendringene vi står overfor i fremtiden og hvordan disse påvirker det aktuelle prosjektet i Kristiansand. Det jeg biter meg mest merke i, er hvordan fremtidige klimaendringer påvirker avrenningen. Som diskutert over er hypotesen enkel; økt avrenning i fremtiden som følge av regn om vinteren og kraftigere nedbør om sommeren. Det jeg føler at jeg mangler for trekke en sterkere konklusjon, er data som viser utviklingen over tid. Nedbørsverdier og temperaturer ved overflaten og i bakken, da spesielt om vinteren, bør samles inn og analyseres. Jeg har i min oppgave analysert data for to år, 1998 og 2013. Ved NMBU finnes data helt tilbake til 80-tallet for nedbør og jordtemperaturer. Ved å benytte og analysere disse dataene kan man bedre gi et estimat på hvordan klimaet forandres og hvordan avrenningen påvirkes som følge av disse endringene. Det er ikke tvil om at økt avrenning vil være et økende problem i fremtiden. Sommer som vinter. Klimaendringene i form av temperaturer og nedbørsendringer er allerede godt dokumentert av flere forskningsinstitusjoner verden over.

Jeg har i oppgaven valgt å fokusere mest på hvordan de ulike komponentene i overvannssystemet påvirkes og kan dimensjoneres for fremtidige klimaendringer. Da hovedsakelig dimensjoner på rør og overvannsmagasin. I et overvannssystem finnes mange flere komponenter, sluk og utforming av sluk er et av dem. Løsningene burde også i større



## Diskusjon

---

grad vært prosjektert i detaljform, men på grunn av manglende tid har dette ikke blitt fokusert på. I en fremtidig masteroppgave vill jeg lagt mer vekt på dette. Det ville også vært fornuftig å fokusere på hvordan konstruksjonen påvirkes av den økte jordtykkelsen og vanninnholdet. Jorden i seg selv tilfører vekt til konstruksjonen, og når porevolumet i skumglasset fylles med vann vil også dette tilføre vekt til konstruksjonen. Det vil derfor være fornuftig å se på hvordan konstruksjonen påvirkes av disse endringene. Høyst sannsynlig må de bærende konstruksjonene dimensjoneres kraftigere. Det har også i liten grad blitt fokusert på hvordan trekonstruksjonen bør beskyttes mot fuktighet fra materialene som fordrøyer vann inne på platen. Det har blitt gjort mange forsøk på å skjerme betong mot fuktighet i denne situasjonen, og fullstendig beskyttelse er sjeldent tilfelle. I en fremtidig masteroppgave vil det også være fornuftig å fokusere på hvordan betong og trekonstruksjoner bedre kan skjermes mot fuktgjennomtrengning fra fordrøyningsmasser.

### 11 Konklusjon

Klimaendringene vi står ovenfor vil uten tvil være en stor utfordring i fremtiden. Det er derfor viktig at dagens overvannssystemer og løsninger dimensjoneres for fremtidens vannmengder. Nedbøren forventes å stige for de fleste områder og fylker i Norge, og forandringer i nedbørsmengder vil i tillegg forekomme om vinteren. Den økte nedbøren vil føre til økt avrenning som igjen fører til økt press på ledningsnett og fordrøyningsløsninger. I enkelte deler av landet vil avrenningen stige med opp mot 30 %, noe som fører til markant større vannmengder. Flater som i lengre tid har blitt sett på som permeable, kan ikke lenger sees på som dette. Ved korte intensive regnskyl og i de tilfellene hvor nedbør inntreffer vinterstid, vil en økt avrenning på så mye som 30 % kunne oppleves. Avrenningskoeffisienten kan i slike tilfeller settes tilnærmet lik 1. Selv om dette er en forenkling, vil det i flere praktiske tilfeller være realiteten. Det er ikke alltid tilrådelig at overvannssystemene dimensjoneres for denne forventede økningen på grunn av økonomiske hensyn, men det blir derfor desto viktig med åpne, trygge flomveier som reduserer skadepotensialet ved flom.

For Trekanten har fokuset vært på overvannsløsninger som muliggjør frodig vegetasjon og vakre hageløsninger, men samtidig ivaretar og sikrer håndtering av fremtidige vannmengder. Dette oppnås med en økning fra 20 til 50 cm i jordtykkelse. Vegetasjon blir mer utfordrende og den ekstra tykkelsen vil føre til økt fordrøyningspotensiale. Dette oppnås ved å benytte resirkulert skumglass som et fyllingsmateriale. Fordrøyningsvolumet utenfor platen kan som følge reduseres. Ved å gjøre dette tidobles fordrøyningskapasiteten inne på platen og hagelandskapet blir mer utfordrende og fluid. Bakdelen er imidlertid økte kostnader ved konstruksjon. Det var derfor også et mål at en løsning som dekker de fleste kravene skulle utformes og dimensjoneres. Fordrøyningspotensialet inne på platen er i dette tilfellet ikke like stor, men ivaretas i stedet av plastkassetter plassert sør på tomten. Vannet ledes i begge tilfeller ut på kommunalt nett med en tilstrømning på 15 l/s, noe som er i tråd med kommunens retningslinjer.

For å tilfredsstille fremtidens krav dimensjoneres det for nedbørsmengder som normalt inntreffer hvert 50. år. Med diametere mellom 200 og 250 mm og et fall på 15 promille er ledningen ved hjelp av skjærkraftberegninger kontrollert selvrensende for 10 % av maksimal vannføring. Økes fallet kan dimensjonene reduseres, men da mister man også noe av den fordrøyende kapasiteten. For disse ledningsdimensjonene vil systemet også takle 100-års

## **Konklusjon**

---

nedbør. Fordrøyningsmagasinene vil imidlertid ikke takle denne mengden. For nedbørmengder som overstiger nevnte gjentaksintervall må trygge flomveier anlegges. Disse plasseres mellom husene som renner, med fall fra husvegg. Dette fører til at flomsikkerheten til boligområdene ivaretas også om man ikke dimensjonerer for økt nedbør.

### Kilder

- (SINTEF), J. R. o. S. B., Trond Sekse, B. B., Carolina Uribe og & AS), E. M. N. (2014). Åpne flomveger i bebygde områder, 204.2014. Norsk Vann.
- Aaheim, H. A., Dannevig, H., Ericson, T., Oort, B. v., Innbjør, L., Rauken, T., Veenemo, H., Johansen, H., Tofteng, M. & Aall, C. (2009). Konsekvenser av klimaendringer, tilpasning og sårbarhet i Norge. Rapport til Klimatilpasningsutvalget. *Cicero Report*.
- Bates, B., Kundzewicz, Z. W., Wu, S. & Palutikof, J. (2008). *Climate change and water: Technical paper vi*: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
- Benestad, R. (2007). *Ny metode bekrefter mer ekstremnedbør*: Forskningsrådet. Tilgjengelig fra: <http://www.forskningsradet.no/servlet/Satellite?blobcol=urldata&blobheader=application%2Fpdf&blobheadername1=Content-Disposition%3A&blobheadervalue1=+attachment%3B+filename%3D2007-4-1nymetodebekreftermerekstremnedb%C3%B8r.pdf&blobkey=id&blobtable=MungoBlobs&blobwhere=1274460395016&ssbinary=true> (lest 17.02.2016).
- Cann, K., Thomas, D. R., Salmon, R., Wyn-Jones, A. & Kay, D. (2013). Extreme water-related weather events and waterborne disease. *Epidemiology and infection*, 141 (04): 671-686.
- COWI. *På lag med regnet - Veilder for lokal overvannshåndtering*.
- Haugom, J. O. (2015). *Drenering i veikonstruksjoner*. Ås: NMBU. 27 s.
- Heistad, A. (2016). *Samtaler med Arve Heistad*. Haugom, J. O. (red.).
- I. Hanssen-Bauer, E. J. F., I. Haddeland, H. Hisdal, S. Mayer, A. Nesje, J.E.Ø. Nilsen, S. Sandven, & A.B. Sandø, A. S. o. B. Å. (2015). Klima i Norge 2100. *Kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning oppdatert i 2015, 02/2015*. 202 s.
- Ingølfsson, S. J. (2016). *A Design of Intensive Green Roofs and Open Stormwater mangement. Case: Trekanten, Kristiansand*. Master Thesis. NMBU, ILP.
- Institutt, M. (2014). *39150 Kristiansand-Sømskleiva*: Meteorologisk Institutt. Tilgjengelig fra: [https://cms.met.no/site/2/klimaservicesenteret/dimensjonerende-nedb%C3%B8r/ivf-verdier-fra-et-utvalg-m%C3%A5lestasjoner/\\_attachment/6419?ts=14fcac7df6b](https://cms.met.no/site/2/klimaservicesenteret/dimensjonerende-nedb%C3%B8r/ivf-verdier-fra-et-utvalg-m%C3%A5lestasjoner/_attachment/6419?ts=14fcac7df6b) (lest 23.02.2016).
- Institutt, M. (2015). *Fremtidig Klima i Norge*. Tilgjengelig fra: [http://met.no/Klima/Fremtidsklima/Virkninger/Klimaendringer\\_i\\_Norge/](http://met.no/Klima/Fremtidsklima/Virkninger/Klimaendringer_i_Norge/) (lest 21.02.2016).
- Johansen, E. S. *Brosteinsrenner blir laget på nytt*. Tilgjengelig fra: <http://nordnesrepublikken.no/2016/03/09/brosteinsrenner-blir-laget-pa-nytt/> (lest 24.05.2016).
- Kroken, S. (2016). *Snødybde- og jorbdybde målinger* (01.05.2016).
- Lau, C. L., Smythe, L. D., Craig, S. B. & Weinstein, P. (2010). Climate change, flooding, urbanisation and leptospirosis: fuelling the fire? *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 104 (10): 631-638.

## Kilder

---

- Meehl, G. A., Arblaster, J. M. & Tebaldi, C. (2005). Understanding future patterns of increased precipitation intensity in climate model simulations. *Geophysical Research Letters*, 32 (18).
- Meinshausen, M., Meinshausen, N., Hare, W., Raper, S. C. B., Frieler, K., Knutti, R., Frame, D. J. & Allen, M. R. (2009). Greenhouse-gas emission targets for limiting global warming to 2[thinsp][deg]C. *Nature*, 458 (7242): 1158-1162.
- Naturvernforbundet. (2016). *Norges Klimamål*. I: Naturvernforbundet (red.). Naturvernforbundet. Tilgjengelig fra: [http://naturvernforbundet.no/klima/norsk\\_klimapolitikk/norges-klimamal-article31620-131.html](http://naturvernforbundet.no/klima/norsk_klimapolitikk/norges-klimamal-article31620-131.html).
- Oddvar Lindholm, N. (2007). VA Miljø Blad - Dimensjonering av avløpsledninger.
- Selvrensing. *VA Miljø Blad* (79): 5.
- Oddvar Lindholm, S. E., Bjørn Tønder Smith og Sveinn Thorolfsson. (2012). Veiledning i dimensjonering og utforming av VA-transportssystem, 193. 126 s.
- Oddvar Lindholm, S. E., Sveinn Thorolfsson, Sveinung Sægrov, & Aaby, G. J. o. L. (2008). Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering, 2008.162. 79 s.
- Olsen, S. J. (2015). *Ny type asfalt sluker 4000 liter vann på 60 sekunder*: Teknisk Ukeblad. Tilgjengelig fra: <http://www.tu.no/artikler/ny-type-asfalt-sluker-4000-liter-vann-pa-60-sekunder/275718> (lest 23.03.2016).
- Pipelife. (2016). *Pragma overvannsrør og drenerør*. Tilgjengelig fra: <http://felles.trd.atea.no/pipelife/Diverse/Pragma%20overvannsr%C3%B8r%20og%20drensr%C3%B8r.pdf> (lest 29.04.2016).
- Pipelife.com. (2016). *Eco System - Stormbox*. Tilgjengelig fra: [http://www.pipelife.com/com/products/eco\\_systems/stormbox/stormbox\\_main.php](http://www.pipelife.com/com/products/eco_systems/stormbox/stormbox_main.php) (lest 02.05.2016).
- Protan.no. *Membraner og Grønne tak*: Protan.
- Seehusen, J. (2010). Ledningsnett i forfall.
- Skjærstad, E. M. (2013). Ledningsnettet.
- Skumglas, H. (2016). *Egenskaper Hasopor Skumglas 10-60mm*. Tilgjengelig fra: <http://www.hasopor.se/Dokument/Produktdatablad-HASOPOR-skumglas-10-60-mm.pdf>.
- Solomon, S., Plattner, G.-K., Knutti, R. & Friedlingstein, P. (2009). Irreversible climate change due to carbon dioxide emissions. *Proceedings of the national academy of sciences: pnas*. 0812721106.
- Svein Endresen (Scandiaconsult), J. G. S., Stein Røed & (Norconsult), S. O. Å. I. (2010). Åpne overvannsløsninger. *Erfaringer og anbefalinger*. 41 s.
- Svensson, s. A. (2015). Detaljplan for trekanten alternativ 2, 1250.
- Vann, N. (2013). Innvesteringsbehov i vann- og avløpssektoren, 2013:B17. 64 s.

## Kilder

---

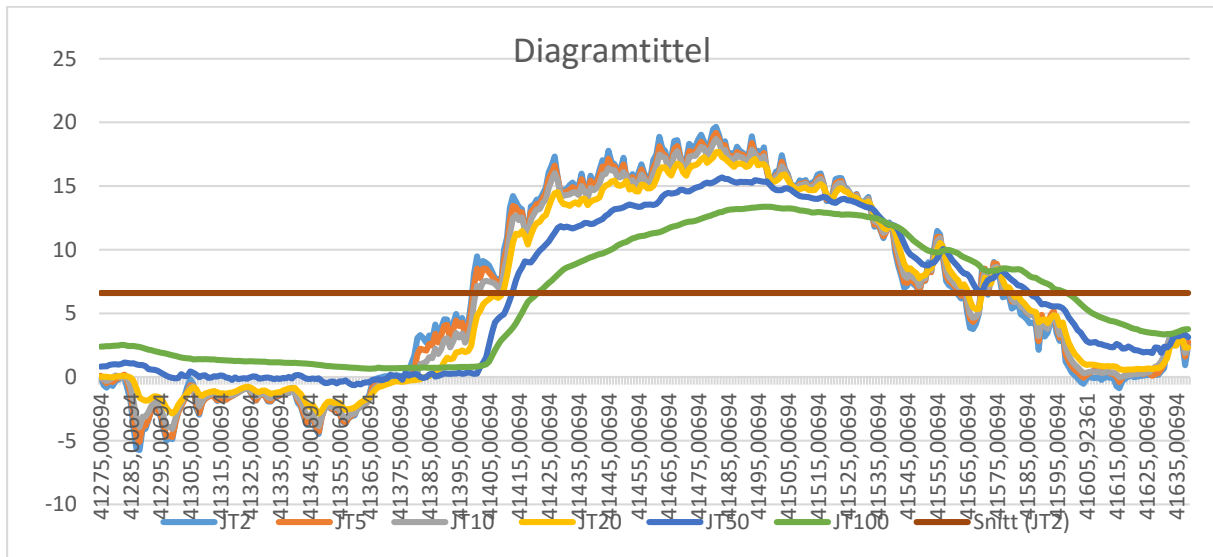
Walther, G.-R., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T. J., Fromentin, J.-M., Hoegh-Guldberg, O. & Bairlein, F. (2002). Ecological responses to recent climate change. *Nature*, 416 (6879): 389-395.

Wavin.com. (2016). *Inspiserbar overvannskassett Q-Bic*. Tilgjengelig fra: <http://no.wavin.com/web/systemlosninger/overvann/fordroyning-og-infiltrasjon/inspiserbar-overvannskassett-qbic.htm> (lest 02.05.2016).

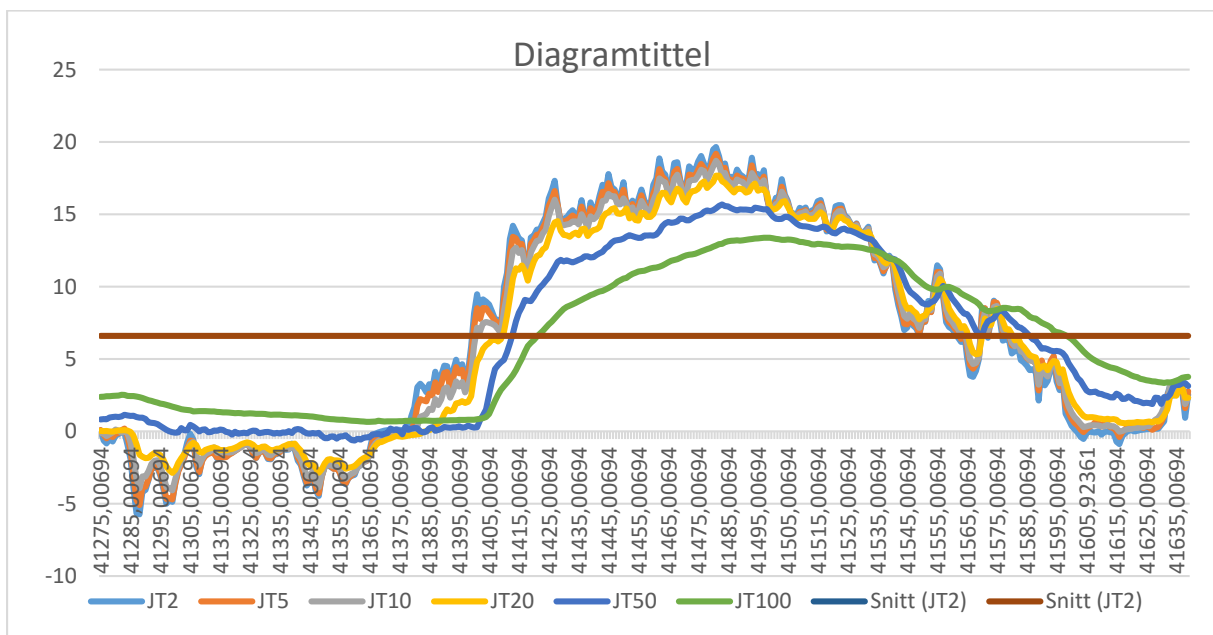
Wikipedia. (2015). *Moody Chart*. Tilgjengelig fra: [https://en.wikipedia.org/wiki/Moody\\_chart](https://en.wikipedia.org/wiki/Moody_chart) (lest 24.05.2015).

Ødegaard, H. (2013). *Vann- og avløpsteknikk*, b. 3. 705 s.

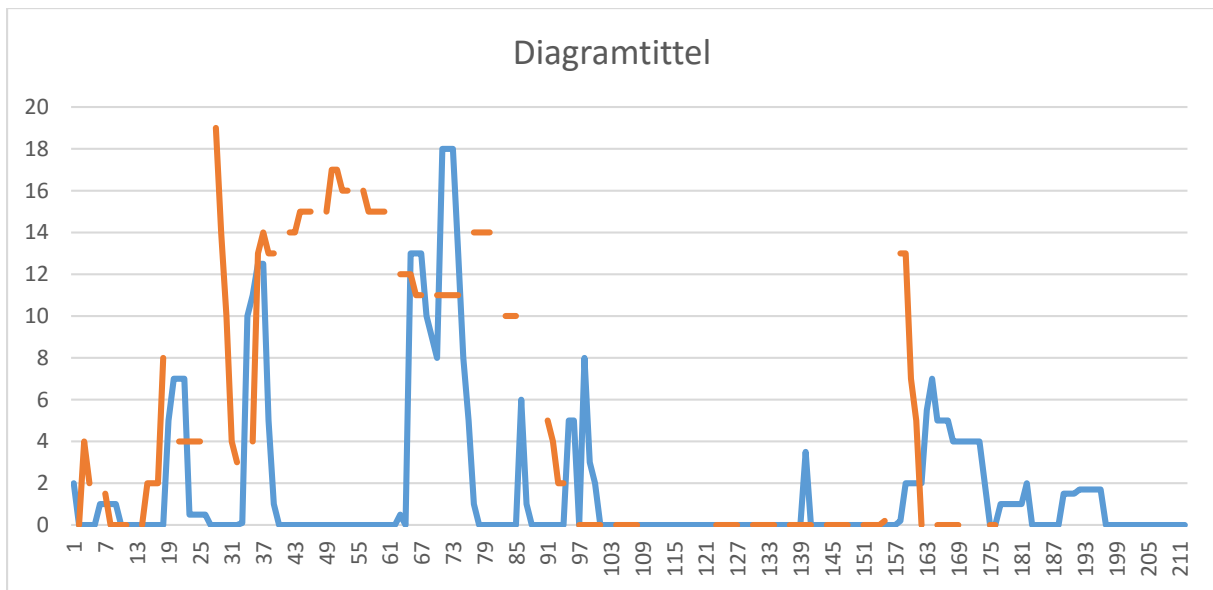
Vedlegg



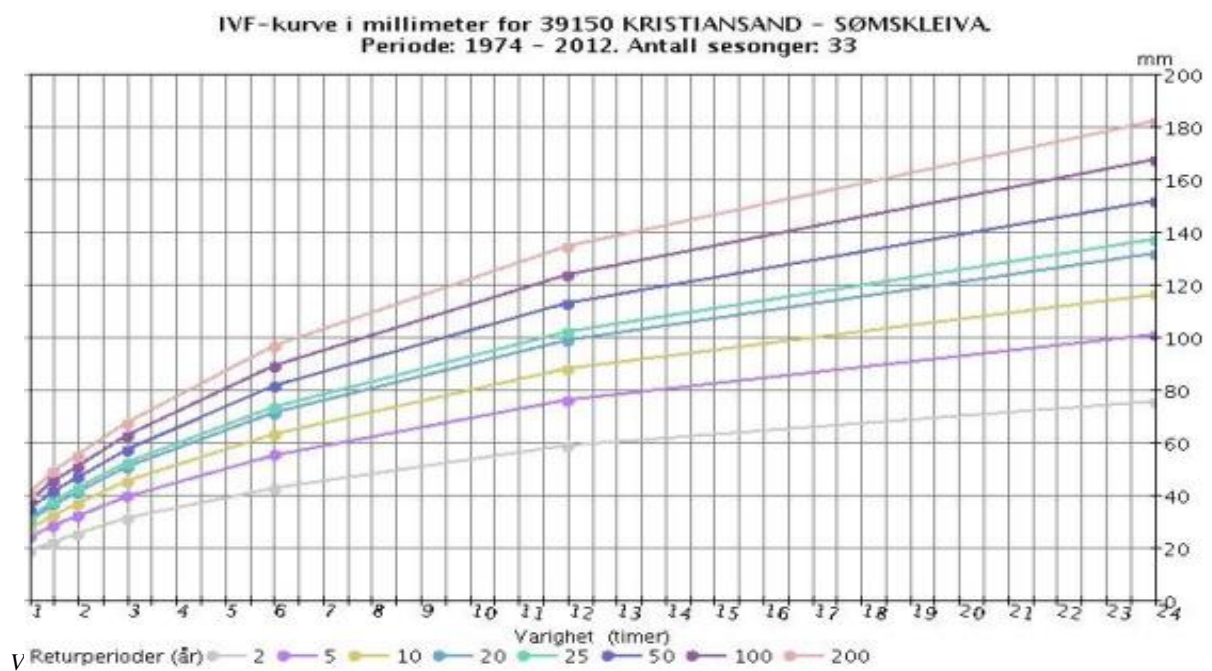
Vedlegg A - 1 – Gjennomsnittlig temperatur for jorddybdesensor på 2, 5, 10, 20, 50 og 100 cm. Temperaturene er hentet fra året 2013. Snittet for 2013 er på 6,6.(Kroken 2016)



Vedlegg A - 2 - Gjennomsnittlig temperatur for jorddybdesensor på 2, 5, 10, 20, 50 og 100 cm. Temperaturene er hentet fra året 1998. Snittet for 1998 er på 7,1.(Kroken 2016)

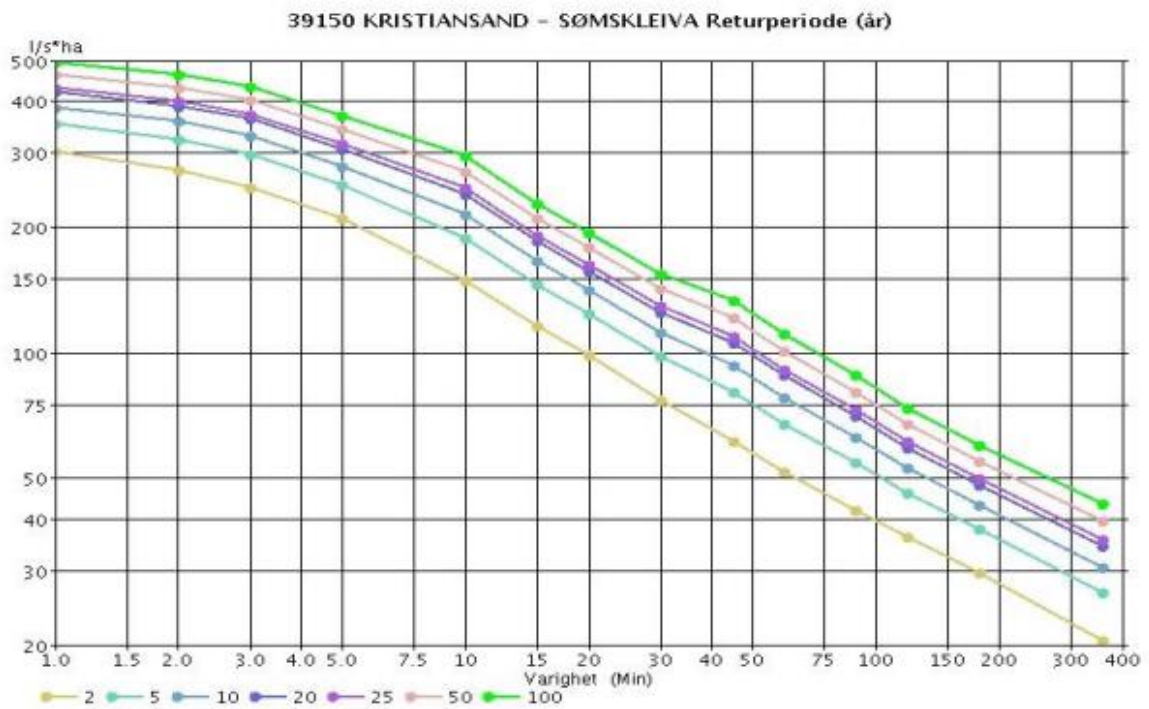


Vedlegg A - 3 - Figuren viser snødybde for 1998 sammenlignet med den for 2013. (Kroken 2016)



Vedlegg A - 4 - IVF-kurve for målestasjonen ved Sømkleiva i Kristiansandsområdet. Figuren viser regnintensitet i mm for ulike gjentaksintervall opp til 200 år. Kurven er hentet fra eklima.no.





**Figur 9. IVF-kurven (Sømkleiva)**

Vedlegg A - 5 - IVF-kurve for målestasjonen ved Sømkleiva i Kristiansandsområdet. Figuren viser regnintensitet ( $I/(s*ha)$ ) for ulike gjentakintervall opp til 200 år. Kurven er hentet fra [eklima.no](http://eklima.no).



## Vedlegg

Å...r	1 min.	2 min.	3 min.	5 min.	10 min.	15 min.	20 min.	30 min.	45 min.	60 min.	90 min.	120 min.	180 min.	360 min.	720 min.	1440 min.
2	1,8	3,2	4,4	6,1	8,9	10,4	11,7	13,9	16,4	18,6	22,5	25,7	32	43,6	59,6	76,9
5	2,1	3,8	5,2	7,4	11,1	13	14,5	17,1	20,7	23,3	28,1	32	39,5	55,3	76	99,4
10	2,3	4,1	5,7	8,2	12,6	14,7	16,3	19,2	23,6	26,4	31,9	36,1	44,5	63,1	87,3	114,9
20	2,4	4,5	6,2	9	14,1	16,3	18,1	21,3	26,3	29,3	35,5	40	49,2	70,4	97,6	128,7
25	2,5	4,6	6,4	9,2	14,5	16,9	18,6	21,9	27,2	30,3	36,6	41,3	50,8	72,8	101,1	133,9
50	2,7	4,9	6,9	10	15,9	18,5	20,4	23,9	29,9	33,2	40,1	45,1	55,5	80,1	111	147,7
100	2,8	5,3	7,4	10,7	17,3	20,1	22,1	25,9	32,6	36	43,6	49	60,2	87,3	121,4	161,6
200	3	5,6	7,9	11,5	18,7	21,6	23,8	27,8	35,2	38,9	47,1	52,8	64,8	94,4	131,3	175,4

Vedlegg A - 6 - Tabellen viser nedbørsdata for målestasjonen ved Sømkleiva i Kristiansand. Dataene er hentet fra eklima.no. Verdiene viser mm nedbør som funksjon av varighet. Dataene er hentet fra eklima.no.

Å...r	1 min.	2 min.	3 min.	5 min.	10 min.	15 min.	20 min.	30 min.	45 min.	60 min.	90 min.	120 min.	180 min.	360 min.	720 min.	1440 min.
2	300,6	266,9	242,5	204,2	148	115,6	97,6	77,4	60,7	51,8	41,6	35,7	29,6	20,2	13,8	8,9
5	346,4	313,5	288,1	245,3	185,6	144,3	120,7	95,1	76,7	64,7	52,1	44,4	36,6	25,6	17,6	11,5
10	376,7	344,4	318,2	272,5	210,5	163,3	136	106,9	87,3	73,3	59	50,1	41,2	29,2	20,2	13,3
20	405,8	374	347,2	298,6	234,4	181,5	150,7	118,2	97,5	81,5	65,7	55,6	45,6	32,6	22,6	14,9
25	415,1	383,4	356,3	306,9	242	187,3	155,4	121,7	100,7	84,1	67,8	57,3	47	33,7	23,4	15,5
50	443,5	412,4	384,6	332,4	265,3	205,1	169,8	132,8	110,7	92,1	74,3	62,7	51,4	37,1	25,7	17,1
100	471,7	441,1	412,7	357,8	288,5	222,8	184	143,7	120,6	100,1	80,8	68	55,7	40,4	28,1	18,7
200	499,9	469,8	440,7	383	311,7	240,4	198,2	154,6	130,4	108	87,2	73,4	60	43,7	30,4	20,3

Vedlegg A - 7- Tabellen viser nedbørsdata for målestasjonen ved Sømkleiva i Kristiansand. Dataene er hentet fra eklima.no. Verdiene viser l/ha nedbør som funksjon av varighet. Dataene er hentet fra eklima.no.





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

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
Norway