



Høgskulen  
på Vestlandet

# BACHELOROPPGAVE

Flomutredning ved sjøfronten i Bergen

Flood analysis at the seafront in Bergen

**Baard Monsen**

**Simen Klokk**

**Øyvind Nordgård**

Byggingeniør

Fakultetet for ingeniør- og naturvitenskap

Veileder: Leiv Petter Mjøs

Innleveringsdato: 25. mai 2020

Antall ord: 10183

Jeg bekrefter at arbeidet er selvstendig utarbeidet, og at referanser/kildehenvisninger til alle kilder som er brukt i arbeidet er oppgitt, jf. Forskrift om studium og eksamen ved Høgskulen på Vestlandet, § 12-1.

## I Forord

Bacheloroppgaven er en del av avsluttende byggingeniørutdanning ved Høgskulen på Vestlandet, Campus Bergen. Oppgaven er et resultat av tverrfaglig samarbeid på tvers av studieretningene miljø, plan og infrastruktur og prosjekt- og byggeledelse.

Under planlegging av mulige bacheloroppgaver høsten 2019 ønsket vi å ha en oppgave som omfattet store deler av utdanningen. Vi tok kontakt med Vann- og avløpsetaten i Bergen kommune som foreslo en oppgave i forbindelse med etablering av en strandpromenade i Bergen. Dette prosjektet har fått navnet *Sjøfrontstrategien*, og vår oppgave skal undersøke hvilke overvannstiltak som bør gjennomføres for å realisere strategien.

Planen var å gjennomføre oppgaven i lokalene til Vann- og avløpsetaten, men utbruddet av viruset Covid-19 13. mars 2020 satte en stopper for dette. Dette medførte at både Bergen kommune og HVL stengte lokalene sine. Siden vi ikke hadde anledning til være i samme rom har store deler av samarbeidet med oppgaven foregått gjennom Microsoft Teams.

Vi ønsker å rette en takk til veilederen vår fra HVL, høyskolelektor Leiv Petter Mjøs som har hjulpet oss med å styre hvilken retning oppgaven skulle ta siden omfanget er stort. Vi ønsker også å takke veiledere i Vann- og avløpsetaten, senioringeniør Marit Aase og overingeniør Nazia Zia, og til senioringeniør Rolf Knudsen i Plan- og bygningsetaten for god hjelp underveis.



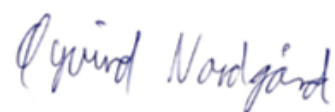
---

Baard Monsen



---

Simen Klokk



---

Øyvind Nordgård

## II Sammendrag

Bacheloroppgaven skal undersøke spesifikke tiltak for overvannshåndtering i forbindelse med Bergen kommunes «Strategi for sjøfronten i Bergen sentrale deler», heretter omtalt som sjøfrontstrategien. Strategien dreier seg om å gjøre sjøfronten i Bergen mer tilgjengelig for allmenn bruk og ferdsel, ved å bygge en sammenhengende strandpromenade fra Nyhavn til Laksevåg. Med bakgrunn i tilgjengelig tid og omfang, er planområdet i oppgaven avgrenset til Sandviken, mellom Skutevikstorget og krysset ved Gjensidigegården. Overvannstiltakene skal være i tråd med strategien, og det skal legges vekt på å sikre trygge flomveier. Oppgaven tar ikke hensyn til kostnadene av de ulike tiltakene.

Oppgaven inneholder en kort orientering om sjøfrontstrategien, metoder, teori, resultater og konklusjon. Teorien skal reflektere hvilke tiltak som er aktuelle. Bergen kommune supplerer datagrunnlag til oppgaven i form av kart over strandpromenaden, nedbørsfelt i planområdet, avrenningslinjer fra nedbørsfelt og kart over ledningsnett.

Grunnlag for valgte løsninger er vannføring fra nedbørsfeltene, plassering av avrenningslinjer og kapasiteten til ledningsnettet nær utslippspunktene. Utslippspunktene er lavbrekket i nedbørsfeltene som er lokalisert langs sjøen, og disse kan komme i konflikt med strandpromenaden. Beregning av vannføring gjøres ved bruk av den rasjonelle formelen, og kapasiteten til ledningsnettet er beregnet med Darcy-Weisbachs formel.

Overvannstiltakene er ment som en veiledning for videre arbeid med resten av sjøfrontstrategien, både når det gjelder metode og aktuelle tiltak.

### III Abstract

This bachelor thesis will examine specific solutions for stormwater management based on the City of Bergen's strategy «Strategi for sjøfronten i Bergen sentrale deler », later referred to as "sjøfrontstrategien". This strategy revolves around making the seafront in Bergen more accessible for public leisure, by building a continuous boardwalk from Nyhavn to Laksevåg. Due to time constraints and overall size of the strategy, the plan area in the assignment is limited to Sandviken, between Skutevikstorget and the intersection at Gjensidigegården. The stormwater solutions must reflect the strategy and securing safe flooding roads are a priority. The thesis does not consider the cost of the various solutions.

This thesis contains a brief summary of the "sjøfrontstrategien", methods, theory, results, and conclusion. Theory will reflect which solutions that are relevant. The City of Bergen supplements data for the thesis in the form of maps of the seafront, precipitation fields in the plan area, drainage lines from precipitation fields and maps of pipeline networks.

The solutions are selected based on water flow from the precipitation fields, the location of drainage lines and the capacity of the pipeline network near the lowest point in the precipitation fields. These points are located along the sea and can conflict with the seafront. The water flow is calculated by using the rational formula, and the capacity of the pipes is calculated using Darcy-Weisbach's formula.

The stormwater solutions are intended as a guide to further development with the rest of the project "sjøfrontstrategien", both in terms of method and relevant solutions.

## Innholdsfortegnelse

I Forord .....	1
II Sammendrag .....	2
III Abstract .....	3
IV Figurliste .....	7
V Tabelliste .....	9
VI Ordforklaring .....	9
1. Innledning .....	10
2. Problemstilling .....	10
3. Metode .....	11
3.1 Vannføring i nedbørsfelt .....	11
3.2 Ledningskapasitet .....	11
3.3 Kapasitet tiltak (kanal og vannspeil) .....	12
3.4 Framstille resultat .....	12
4. Planområdet .....	13
5. Strategi for sjøfronten i Bergen sentrale deler .....	15
5.1 Sjøfronten i Sandviken .....	16
6. Teori .....	19
6.1 Treleddsstrategien .....	19
6.1.1 Infiltrasjon – ledd 1 .....	20
6.1.2 Fordrøyning – ledd 2 .....	20

6.1.3 Flomveier - ledd 3 .....	20
6.2 Rasjonell formel .....	20
6.2.1 Avrenningskoeffisient.....	21
6.2.2 Areal.....	22
6.2.3 Intensitet.....	22
6.2.4 Klimafaktor .....	23
6.2.4.1 Forventet endring av nedbørintensitet .....	23
7. Overvann som ressurs .....	25
7.1 Åpent system .....	26
7.2 Lukket system.....	26
7.3 Utfordringer med lukkede vassdrag .....	26
8. Konsekvenser av dårlig overvannshåndtering .....	27
9. Overvannshåndtering langs sjøfronten .....	28
9.1 Tiltak.....	30
9.2 Nedbørsfelt 1 .....	31
9.2.1 Tiltak i nedbørsfelt 1 .....	33
9.3 Nedbørsfelt 2 og 3 .....	35
9.3.1 Nedbørsfelt 2.....	36
9.3.2 Nedbørsfelt 3.....	37
9.3.3 Tiltak i nedbørsfelt 2 og 3 .....	38
9.3.3.1 Kapasitet kanal.....	40

9.4 Nedbørsfelt 4 .....	40
9.4.1 Tiltak i nedbørsfelt 4.....	41
9.5 Nedbørsfelt 5 .....	43
9.5.1 Tiltak i nedbørsfelt 5 - Kristiansholm.....	44
9.5.1.1 Kapasitet kanal.....	44
9.5.2 Ytterligere tiltak nedbørsfelt 5 .....	46
9.6 Nedbørsfelt 6 .....	47
9.6.1 Tiltak i nedbørsfelt 6.....	48
9.6.1.1 Kapasitetsberegning kanal .....	49
10. Konklusjon.....	50
11. Referanser .....	52
12. Vedlegg.....	55
12.1 Vedlegg 1: Formler.....	55
12.2 Vedlegg 2: Beregninger av vannføring i nedbørsfelt 1. ....	55
12.3 Vedlegg 3: Beregninger av vannføring i nedbørsfelt 2. ....	56
12.4 Vedlegg 4: Beregninger av vannføring i nedbørsfelt 2, urban del. ....	56
12.5 Vedlegg 5: Beregninger av vannføring i nedbørsfelt 3. ....	57
12.6 Vedlegg 6: Beregninger av vannføring i nedbørsfelt 4. ....	57
12.7 Vedlegg 7: Beregninger av vannføring i nedbørsfelt 5. ....	58
12.8 Vedlegg 8: Beregninger av vannføring i nedbørsfelt 6. ....	58
12.9 Vedlegg 9: Beregninger av ledningskapasitet i nedbørsfeltene.....	59

## IV Figurliste

Figur 1: Flyfoto over planområdet i Sandviken.....	14
Figur 2: Oversiktsbilde over sjøfrontstrategien .....	15
Figur 3: Forslag til strandpromenade mellom Elsero og Ludebryggen. ....	17
Figur 4: Forslag til strandpromenade mellom Kristiansholm og Skutevikstorget. ....	18
Figur 5: Treleddsstrategien .....	19
Figur 6: Graf over intensitet og varighet i forskjellige områder. ....	21
Figur 7: Eksempel på IVF-kurve fra målestasjon på Florida.....	23
Figur 8: Nedbør i Norge og Vestlandet fra 1900 til 2019.....	24
Figur 9: Utvikling av overvannshåndtering. ....	25
Figur 10: Mulebanen og Mon Plaisir.....	27
Figur 11: Ekrenbakken.....	27
Figur 12: Rasulykke på Hatlestad terrasse i 2005.....	28
Figur 13: Oversvømmelser på Nesttun i 2005.....	28
Figur 14: Seks ulike nedbørsfelt i planområdet.....	29
Figur 15: Frakoblet takrenne.....	30
Figur 16: Permeabelt kontra tett dekke.....	31
Figur 17: Utsnitt over nedbørsfelt 1, .....	32
Figur 18: Utslippspunkt på Skutevikstorget.....	32
Figur 19: Parkeringsplass på Skutevikstorget.....	33



Figur 20: Åpen plass i Bøkkergaten.....	34
Figur 21: Gladsaxe sportspark i København.....	34
Figur 22: Tiltak i nedbørsfelt 1.....	35
Figur 23: Utsnitt over nedbørsfelt 2.....	36
Figur 24: Utsnitt over nedbørsfelt 3.....	37
Figur 25: Ny avrenningslinje i Johan Mohrs gate.....	38
Figur 26: Overvannsrenne Stora-Drain.....	39
Figur 27: Tiltak i nedbørsfelt 2 og 3.....	39
Figur 28: Mulelvens utløp ved Gamle Slaktehuskaien.....	40
Figur 29: Utsnitt over nedbørsfelt 4.....	41
Figur 30: Utslippspunktet i nedbørsfelt 4.....	41
Figur 31: Tiltaksområde ved Sandviken menighetshus.....	42
Figur 32: Tiltak i nedbørsfelt 4.....	42
Figur 33: Utsnitt over nedbørsfelt 5.....	43
Figur 34: Inntak til kanal ved Uren.....	44
Figur 35: Tiltak ved Kristiansholm.....	45
Figur 36: Asfalterte sidekanter i gangvei.....	46
Figur 37: Flerfunksjonell klatrepark.....	46
Figur 38: Ytterlige tiltak i nedbørsfelt 5.....	47
Figur 39: Utsnitt over nedbørsfelt 6.....	48
Figur 40: Opphøyet kantstein i Sandviksveien.....	48

Figur 41: Prinsippskisse av overvannskanal.....49

Figur 42: Tiltak i nedbørsfelt 6.....49

## V Tabelliste

Tabell 1: Nedbør på Florida i 2019.....24

Tabell 2: Oversikt over ulike tiltak i nedbørsfeltene.....31

Tabell 3: Oversikt over nedbørsfelt 1.....31

Tabell 4: Oversikt over nedbørsfelt 2.....36

Tabell 5: Oversikt over nedbørsfelt 3.....37

Tabell 6: Oversikt over nedbørsfelt 4.....40

Tabell 7: Oversikt over nedbørsfelt 5.....43

Tabell 8: Oversikt over nedbørsfelt 6.....47

## VI Ordforklaring

Uttrykk	Beskrivelse
Avløp fellesledning	Avløpsledning der spillvann og overvann renner i samme rør.
Avrenningslinje	Linje i terrenget hvor overvann samles og renner videre.
Energidreper	Installasjon i kum som «dreper» energien ved å senke hastigheten til vannet.
Flomvei	Lavpunkt i terreng der vann kan ledes bort, dersom overvann oversiger ledningsnettets kapasitet.
Fordrøyningsmagasin	Installasjon som forsinker overvann gjennom oppsamling.
IVF-kurve	Grafisk framstilling av forventet nedbørintensitet gitt ved ulik varighet og gjentakperiode.
Lavbrekk	Laveste punkt innenfor et avsatt området.
Nedbørsfelt	Avgrenset område som leder vann til et bestemt punkt.
Permeabelt dekke	Konstruerte dekker som tillater inntrengning av vann ned i grunn.
Regnbed	Beplantet område med gode infiltrasjonsegenskaper.
Rekreasjonsområde	Et område for lek og trivsel, og hvor man kan senke roen.
Sedimentering	Prosess der vann blir rensset for partikler ved at partiklene synker til bunns ved hjelp gravitasjon.
Tilbakeslagsventil	Installasjon som kun tillater enveis vannstrømning.

## 1. Innledning

Bergen kommune ved Plan- og bygningsetaten har utarbeidet forslag til Strategi for sjøfronten i Bergen sentrale deler, heretter omtalt som sjøfrontstrategien. Strategien viser hvordan sjøfronten kan utvikles fra dagens stedvis lite tilgjengelige områder til å bli del av det sentrale byområdet. Dette skal gjøres gjennom å etablere en sammenhengende strandpromenade med planlagt løsning for gående og syklende, fra Laksevåg til Nyhavn, en strekning på ca. 20 kilometer. Langs promenaden skal det tilrettelegges for attraktive byrom som skal bidra til å styrke byens kontakt med sjøen.

Sjøfronten ligger utsatt til både når det gjelder havnivåstigning og overvann, og denne bacheloroppgaven skal se nærmere på dette (Bergen kommune, 2019 a, side 30). I sjøfrontstrategien er ikke traséen og utformingen av strandpromenaden bestemt, det er kun avsatt areal til mulig trasé. Bacheloroppgaven vil ikke se på mulige traséer for strandpromenaden, men tar utgangspunkt i avsatt areal.

På grunn av strategiens omfang og tilgjengelig tid kan ikke hele sjøfronten dekkes i oppgaven. Studentene har i samarbeid med Vann- og avløpsetaten og Plan- og bygningsetaten i Bergen kommune, blitt enige om at fokusområdet blir mellom Skutevikstorget og Gjensidigegården i Sandviken. Langs denne strekningen skal studentene foreslå konkrete overvannstiltak for de problemene som avdekkes. Disse overvannstiltakene tar ikke hensyn til kostnader, men fokuserer på rekreasjon og flomsikkerhet.

I tillegg har Bergen kommune foreslått to konkrete områder i Sandviken som skal undersøkes mer detaljert, Kristiansholm og Skutevikstorget. På Kristiansholm skal det etableres et nytt friområde med badeplass og publikumsrettede funksjoner. Mens det er utfordringer med høyder på Skutevikstorget hvor bebyggelsen ligger lavere enn kaikanten.

## 2. Problemstilling

Denne bacheloroppgaven skal foreslå konkrete tiltak for å sikre robust overvannshåndtering og trygge flomveier ved etableringen av strandpromenaden langs sjøfronten. Tiltakene for overvannshåndteringen skal bidra til å tilgjengeliggjøre byrommene langs promenaden i tråd

med sjøfrontstrategien. For å avklare hvilke tiltak som bør gjennomføres skal modellerte avrenningslinjer kontrolleres med virkeligheten. I tillegg skal det gjennomføres beregninger på hvor stor vannføring nedbørsfeltene kan skape i utslippspunktet.

På bakgrunn av dette er det kommet frem til følgende problemstilling:

***Hvilke overvannstiltak sikrer trygge flomveier ved etablering av strandpromenade langs sjøfronten?***

### 3. Metode

Det er to forutsetninger for å besvare problemstillingen. Dette er størrelse på vannføringen i planområdet, og hvor vannføringen er lokalisert. Vannføring må beregnes innad i hvert nedbørsfelt. I planområdet er det totalt seks nedbørsfelt, og hvert felt har utslippspunkt som er i mulig konflikt med sjøfronten.

#### 3.1 Vannføring i nedbørsfelt

For å finne vannføringen i utslippspunktene brukes den rasjonelle formelen:

$$Q = A * \phi * I * k_f$$

Det er fire faktorer som inngår i den rasjonelle formelen og disse er areal, avrenningskoeffisient, intensitet og klimafaktor. Arealet av hvert nedbørsfelt er fastsatt i datasett fra Bergen kommune. Avrenningskoeffisient er basert på visuell observasjon. Intensiteten er beregnet i Excel ved bruk av høyde og lengde av hvert felt, samt et 100 års gjentaksintervall. Klimafaktor er fastsatt ved hjelp av formelverk fra offentlige aktører.

#### 3.2 Ledningskapasitet

Det er vesentlig å vite om eksisterende ledningsnett har kapasitet til overflateavrenningen. For å beregne kapasiteten i ledningsnettet nær utslippspunktene benyttes Darcy-Weisbachs formel i kombinasjon med kontinuitetsligningen:  $Q = A * v$ , og får følgende uttrykk for dimensjon (Norsk Vann, 2014, side 308):

$$D^5 = \frac{f * L * Q^2 * 8}{g * \pi^2 * h_f}$$

I oppgaven er det aktuelt å finne vannmengden, derfor blir formelen omgjort med hensyn på  $Q$ . I tillegg kan fallet,  $I$ , uttrykkes som en kombinasjon av falltapet,  $h_f$ , og lengden:  $I = \frac{z-z_0}{L}$ , som gir ligningen:

$$Q = \sqrt{\frac{I * g * D^5 * \pi^2}{f * 8}}$$

I beregningene er det antatt en rørruhet ( $k$ ) på 1,0 mm siden rørene er av betong og støpejern (Norsk Vann, 2014, side 71). Denne ruheten blir benyttet i kombinasjon med diameteren for å finne friksjonsfaktoren,  $f$ , ved hjelp av Moodys diagram. Det er antatt fullt utviklet turbulens i rørene i beregningene (Norsk Vann, 2014, side 70). Tyngdeakselerasjonen,  $g$ , er satt til 9,81 m/s<sup>2</sup>.

### 3.3 Kapasitet tiltak (kanal og vannspeil)

Mannings formelen egner seg til å regne kapasitet der vanntransporten skjer med et åpent vannspeil, eksempelvis en kanal. Faktorer som inngår i formelen er fall på kanalen, hydraulisk radius og Mannings tall. Hydraulisk radius er vått areal dividert på våt omkrets, mens Mannings tall er en faktor basert på friksjon langs veggene (Norsk Vann, 2014, side 80).

$$v = M * R^{\frac{2}{3}} * I^{\frac{1}{2}}$$

Mannings formel gir væskehastigheten i den aktuelle kanalen. Denne væskehastigheten blir brukt i kontinuitetsligningen,  $Q = v * A$ , for å finne maksimal kapasitet.

Regnvelopemetoden med konstant utløp er en beregningsmetode som tar i bruk den rasjonelle formelen for å finne nødvendig fordrøyningsvolum (Basal AS, u.å., side 4).

### 3.4 Framstille resultat

Beregningsgrunnlag for å finne vannføring er supplert av Bergen kommune. I dette inngår data over ledningsnett, avrenningslinjer, nedbørsfelt og kart over sjøfronten i Bergen. De

ulike datasettene måtte bearbejdes før analyser kunne starte. Datasett over nedbørsfeltene er modellert basert på laserdata. Derfor er det viktig å befare planområdet for å undersøke om modellerte data stemmer overens med dagens situasjon. Lokale elementer som veiutforming, kanter, murer og fartsdempere kan ha mye å si for avrenningen.

På bakgrunn av dette foreslås overvannstiltak for å sikre at strandpromenaden ikke vil forårsake uønskede hendelser i form av skade på mennesker og bygninger. Det er i tillegg utført analyser i programvaren ArcGIS Pro for å avdekke eventuelle konfliktområder knyttet til overvannshåndtering og muligheter i nedbørsfeltene. Videre blir ArcGIS Pro og AutoCAD benyttet for å presentere resultatene av disse analysene og løsningene.

## 4. Planområdet

Planområdet ligger like nord for Bergen sentrum og har et areal på ca. 730 dekar. Området er regulert som byfortettingssone i KPA 2018, som innebærer at fremtidig bebyggelse skal ha et nettverk av gater, offentlige byrom og sammenhengende blågrønne strukturer (Bergen kommune, 2019 b, side 15). Bergen kommune ønsker å prioritere rekreasjon og aktivitet i byrommene. Dersom dette ikke lar seg kombinere med biologisk mangfold, skal tilrettelegging for lek og rekreasjon vektlegges sterkest (Bergen kommune, 2019 b, side 16).

I Sandviken ligger næringsområdene langs sjøen, og boligene ligger langs fjellsiden. Over bebyggelsen er terrenget bratt og består av fjell og skog, se figur 1 nedenfor. Siden utformingen av Sandviken er lagt opp slik, vil andelen av tette flater øke mot sjøen. Kombinert med stedets bratte terreng vil dette føre til en økt avrenning.

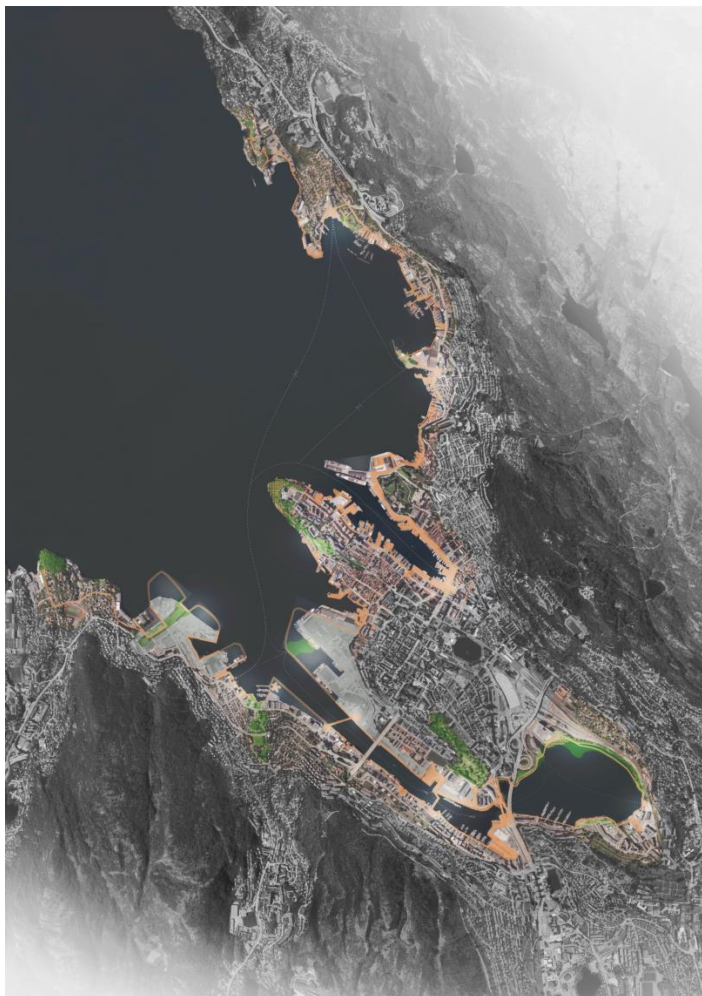




Figur 1: Flyfoto over planområdet i Sandviken. Kilde: Kartverket, Geovekst, kommuner – Geodata AS

## 5. Strategi for sjøfronten i Bergen sentrale deler

Hensikten med sjøfrontstrategien er å etablere en sammenhengende strandpromenade fra Laksevåg til Nyhavn, en strekning på ca. 20 kilometer. Bergen kommune har utredet et planforslag for hvor promenaden skal gå. Strategien deles inn i delområder, og de ulike områdene har forskjellig arealbruk, historie, topografi og karakter. Figur 2 viser tiltenkt trasé for sjøfronten.



Figur 2: Oversiktsbilde over sjøfrontstrategien, med planområdet markert i rødt. Kilde: Bergen kommune

Sjøfronten vil bli utviklet over lang tid av ulike aktører. Sjøfrontstrategien gir føring for hvordan arealene langs sjøen kan knyttes til bystrukturen og brukes av byens befolkning. Utredningen skal fremme byutvikling ved å gjøre områdene langs sjøen mer tilgjengelig for allmenn bruk og ferdsel. Strategien skal gi forutsigbarhet for grunneiere, leietagere, eiendomsutviklere og andre aktører (Bergen kommune, 2019 a, side 6).



Strategien (Bergen kommune, 2019 a, side 6) har flere formål og delmål:

- **Styrke byens kontakt med sjøen**
  - sikre gode gangforbindelser mellom sjøen og byen
  - redusere barrierer mellom sjøfronten og byen
  - gi sjøfronten en sammenhengende og offentlig tilgjengelig promenade
- **Skape rammebetingelser for god byutvikling langs sjøfronten**
  - ivareta siktakser mellom byen og sjøen
  - ivareta viktige kulturhistoriske verdier
  - ivareta viktige naturverdier, inkludert vassdrag
- **Bidra til god sammenheng og kvalitet i byrommene mot sjøen**

## 5.1 Sjøfronten i Sandviken

Sjøfronten i Sandviken er sammensatt av boliger, kontor og noe sjørelatert næring. Bergen kommune ser på Sandviken som et utviklingsområde, siden store deler av sjøfronten ikke er tilgjengelig for allmennheten (Bergen kommune, 2019 a, side 65). Bergen kommune har utarbeidet illustrasjonskart, som vist på figur 3 og 4, over sjøfronten i Sandviken.

Bergen kommune planlegger å etablere et nytt friområde på Kristiansholm. Området skal fylles med badeplass og publikumsrettede funksjoner, og vil fungere som et knutepunkt langs sjøfronten (Bergen kommune, 2019 a, side 67). På Skutevikstorget er det dårlig tilrettelagt for gående og syklende. Området er trangt, og har utfordringer med overvannshåndteringen på grunn av høydeforskjeller mellom kaikanten og bebyggelsen. Det er store kulturminneverdier i form av sjøhus på Skutevikstorget. Disse må ivaretas samtidig som et tilstrekkelig tilbud for gående sikres (Bergen kommune, 2019 a, side 66).



**Forbindelser**

- Sjøpromenade - eksisterende gangforbindelse
- Sjøpromenade - ny lenke
- Sjøpromenade - alternativ/midlertidig lenke
- Mulig forlengelse av sjøpromenade - mot friområde
- ■ ■ ■ Tidvis tilgjengelig sjøpromenade (ISPS-havn)
- ■ ■ ■ Tidvis tilgjengelig sjøpromenade - (ISPS-havn)ny lenke
- — — — Tverrforbindelse
- - - - Bybane på sjø
- — — — Bybane eksisterende
- Bybane fremtidig

**Arealbruk**

- Friområde / grønt byrom
- Friområde / del av promenade
- Målpunkt / publikumsrettet aktivitet
- Byrom - del av sjøpromenade
- Undersøkelsesområde endring sjøflate
- Undersøkelsesområde endring sjøflate - Sandviken
- Utvidelse av sjøflaten
- Rekreativ aktivitetsflate
- Badeplass - tilrettelagt
- Sjøkontakt / ikke tilrettelagt badeplass

**Havn**

- - - - - ISPS-gjerde
- Eksisterende dypvannskai (> 8 m dybde)

**Annet**

- ⓘ Problemområde
- ☀ Utsiktspunkt - overordnet siktlinje

Figur 3: Forslag til strandpromenade mellom Elsero og Ludebryggen. Utarbeidet av Bergen kommune.



Figur 4: Forslag til strandpromenade mellom Kristiansholm og Skutevikstorget. Utarbeidet av Bergen kommune.

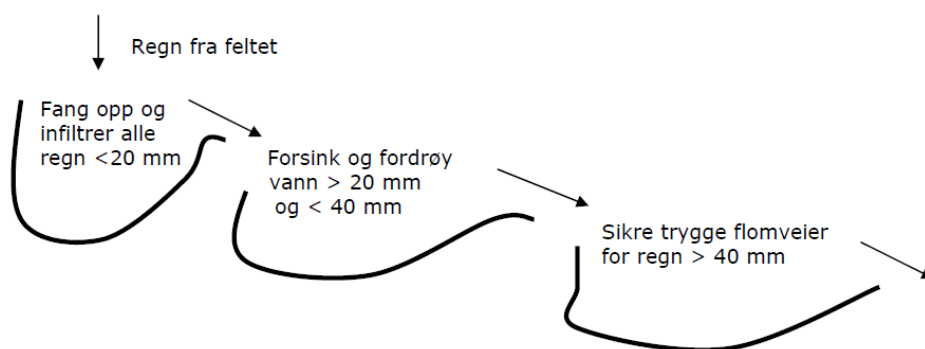
## 6. Teori

Bergen kommune definerer overvann som overflateavrenning som følge av nedbør eller smeltevann (Bergen kommune, 2019 c, side 7). Alt nedbør som ikke infiltrerer i grunnen, fordamper eller bli tatt opp i planeter, vil renne på overflaten.

Norsk Vann har laget noen viktige prinsipper for overvannshåndtering. Et av prinsippene er treleddsstrategien som definerer hvilke tiltak som iverksettes ved ulike nedbør (Norsk Vann, 2008, side 8). Disse prinsippene har vært gjeldende i Bergen kommune siden 2005 (Bergen kommune, 2019 c, side 30). I tillegg kommer de med en anbefaling om at planlegging for overvannshåndtering og flom må skje enkeltvis i hvert nedbørsfelt. Åpne løsninger bør velges framfor lukkede systemer (Norsk Vann, 2008, side 9).

### 6.1 Treleddsstrategien

Treleddsstrategien handler om generell overvannshåndtering. Det er ulike tiltak som må settes inn, ved ulike vannmengde. I Norsk Vanns rapport 162, Veiledning for klimatilpasset overvannshåndtering, er det laget en illustrasjon over treleddsstrategien som er vist på figur 5 nedenfor. Nedbørsmengden som kommer frem av illustrasjonen er veiledende og må tilpasses lokalt.



Figur 5: Treleddsstrategien. Kilde: (Norsk Vann, 2008, side 8).

### 6.1.1 Infiltrasjon – ledd 1

Første ledd handler om å fange opp og infiltrere nedbør som bidrar til å opprettholde den naturlige vannbalansen. Infiltrasjonsløsninger skal forsøke å håndtere forurensing nærmest mulig kilden ved at partikler holdes igjen i filtermediet, sedimenterer i basseng og/eller at forurensing brytes ned av biologiske prosesser. Første leddet i treleddsstrategien krever areal, og det er viktig at det blir avsatt tilstrekkelig areal til infiltrasjon tidlig i planleggingsfasen.

### 6.1.2 Fordrøyning – ledd 2

Andre ledd handler om å forsinke og fordrøye vannet som kommer. Dersom infiltrasjonen ikke klarer å ta unna alt vannet, er det behov for å forsinke overvannet og å sikre en kontrollert vannmengde videre.

### 6.1.3 Flomveier - ledd 3

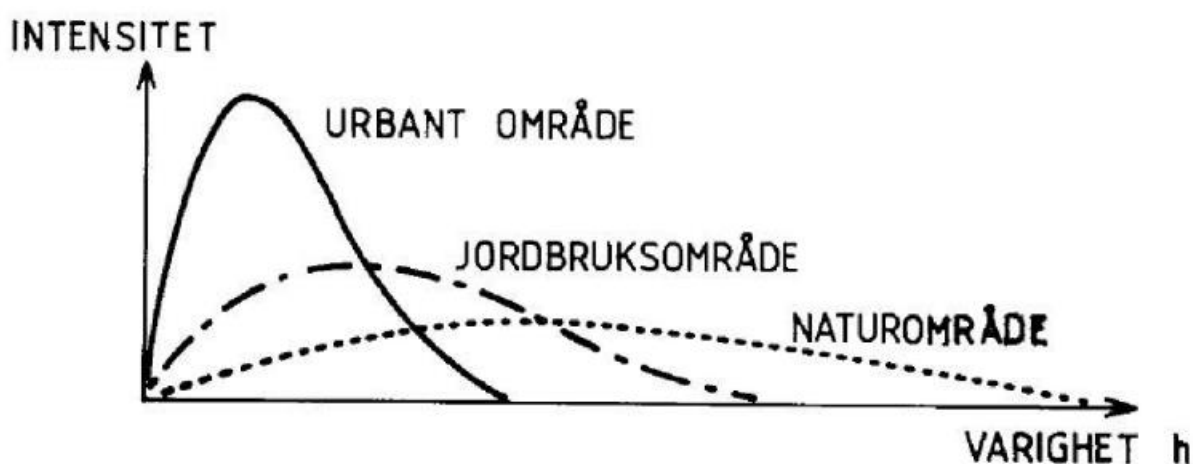
Tredje ledd skal sikre flomveier. En flomvei skal være robust og ha tilstrekkelig kapasitet til å håndtere de store nedbørshendelsene uten å gi materielle skader eller føre til fare for liv og helse. Det er viktig at flomveiene og overvannssystemene vedlikeholdes jevnlig, særlig i forkant av flom.

## 6.2 Rasjonell formel

Den rasjonelle formelen blir brukt for å gjøre et estimat på hvor mye vannføring en kan forvente i et punkt innenfor et nedbørsfelt. Faktorene i formelen er arealet til området, intensiteten på nedbøren, avrenningsfaktor og klimafaktor. Formelen er:  $Q = A * I * \varphi * K_f$ .

## 6.2.1 Avrenningskoeffisient

En av faktorene i den rasjonelle formelen er avrenningskoeffisienten. Denne er definert som forholdet mellom avrenningen fra et område, og nedbøren over det samme området (NOU 2015:16, side 63). I praksis betyr dette at overflaten i det aktuelle området vil påvirke avrenningsmengden betydelig, og det må dimensjoneres deretter. I en skog med myr, trær, vegetasjon og andre elementer som tar opp vann, vil mye nedbør infiltrere i grunnen. Sett bort i fra ekstremnedbør, vil all nedbør over et slikt område bli fanget opp, og avrenningen fra området blir minimal. I andre enden av skalaen er urbane miljøer. Urbane miljøer er sentrumskjerner med asfalterte gater, tette hustak og minimalt med grønne områder. Her vil tilnærmet all nedbør renne av på overflaten, og avrenningen fra området er høyt. Konsekvensen av dette er at flomtoppene vil være mye større i et urbanisert område, illustrert ved figur 6 nedenfor.



Figur 6: Graf over intensitet og varighet i forskjellige områder.

Helningen på terrenget har innvirkning på avrenningskoeffisienten. Der terrenget har bratt helning vil avrenningen være høyere. Dermed økes avrenningskoeffisienten i beregninger dersom nedbørsfeltet ligger i et bratt terreng.

Det er flere elementer som gjør avrenningsfaktoren usikker. Et nedbørsfelt består ofte av flere ulike typer overflater som gjør det vanskelig å bestemme én avrenningskoeffisient. Det finnes metoder for å finne en «midlere» verdi, men en utfordring vil ofte være å definere overflatene og hvor stor andel det har i det aktuelle feltet. I tillegg har Norge et kaldt klima om vinteren og frosten gjør at overvannet blir liggende på is og snø, og de fleste stasjoner måler ikke korttidsnedbør om vinteren (Statens Vegvesen, 2014, side 144).

Et annet element som gjør avrenningsfaktoren usikker er hvilken metningsgrad jordsmonnet har. Disse to tilfellene vil medføre at vannet ikke infiltrerer ned i bakken i like stor grad.

### 6.2.2 Areal

Nedbørsfeltene i planområdet er relativt store, og arealet er funnet ved hjelp av modell. Avrenningslinjene viser hvor vannet renner, og blir kartlagt gjennom bruk av GIS-analyser. En GIS-analyse benytter ulike faktorer for å kalkulere geografisk kartinformasjon, blant annet høydepunkter i bakken. Disse faktorene kan inkludere terrengmodeller basert på laserdata og oversikt over store kulverter, elver og bekker. Resultatene fra slike analyser har vist seg å samsvare godt med observert avrenning etter større nedbørsepisoder (NOU 2015:16, side 62).

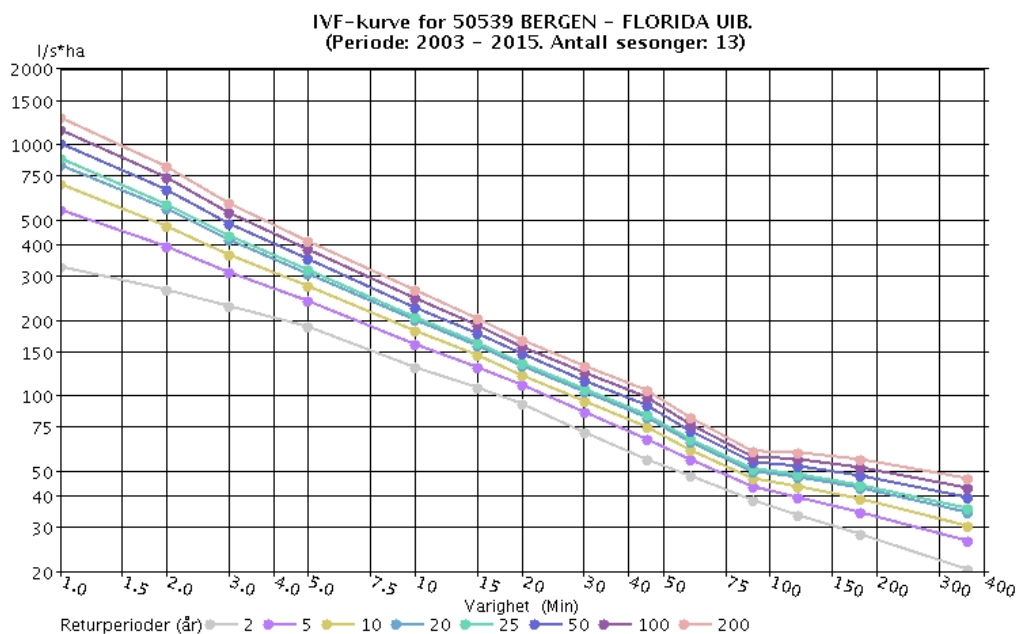
### 6.2.3 Intensitet

Intensiteten er en kombinasjon av konsentrasjonstiden og frekvens. Konsentrasjonstiden beskriver hvor lang tid en vandrdåpe vil bruke fra ytterst i nedbørsfeltet til målepunktet (Norsk Vann, 2014, side 346). Frekvens beskriver hvor ofte en kan anta at den bestemte intensiteten vil inntreffe. Frekvens blir ofte omtalt som gjentaksintervall.

Helningen på terrenget vil påvirke konsentrasjonstiden, og dermed også påvirke intensiteten. Ved store nedbørshendelser og i bratt terreng vil hastigheten på vannet øke, og konsentrasjonstiden blir redusert.

Intensiteten blir målt ved hjelp av målestasjoner, og det er usikkerheter tilknyttet disse stasjonene. Målestasjonen kan være lokalisert langt unna planområdet, og dermed vil det ikke være nøyaktige beregninger for planområdet. Nedbørsmålinger i bacheloroppgaven er hentet fra Meteorologisk institutt, se figur 7. Studentene har valgt å benytte seg av målestasjonen utenfor Geofysisk institutt på Florida ved UiB. Målestasjonen er plassert ca. 3 km unna planområdet.





Figur 7: Eksempel på IVF-kurve fra målestasjon på Florida i Bergen. Kilde: (Meteorologisk institutt - eKlima, u.å.).

## 6.2.4 Klimafaktor

Klimafaktoren tar hensyn til fremtidig relativ endring i nedbørintensitet som følge av klimaendringer (Miljødirektoratet, 2014, side 5). I Norge benytter ulike offentlige aktører forskjellige klimafaktorer. I Statens vegvesens håndbok N200 er det anbefalinger for bruk av ulike klimafaktorer. Dersom man beregner med en returperiode på 10 år bør man velge 1,3 som klimafaktor. Hvis returperioden er 100 år bør klimafaktoren være 1,4, og dersom returperioden er 200 år bør klimafaktoren være 1,5 (Statens Vegvesen, 2014, side 144).

Intensiteten i kortvarige regnskyll er ventet å øke mer enn for et døgn. Klimaprofil Hordaland anbefaler foreløpig et påslag på 40 % på nedbør med varighet under tre timer, noe som gir en klimafaktor på 1,4 (Norsk Klimaservicesenter, 2017, side 4). Det er generelt anbefalt å ha et konservativt syn på beregninger av klimafaktor.

### 6.2.4.1 Forventet endring av nedbørintensitet

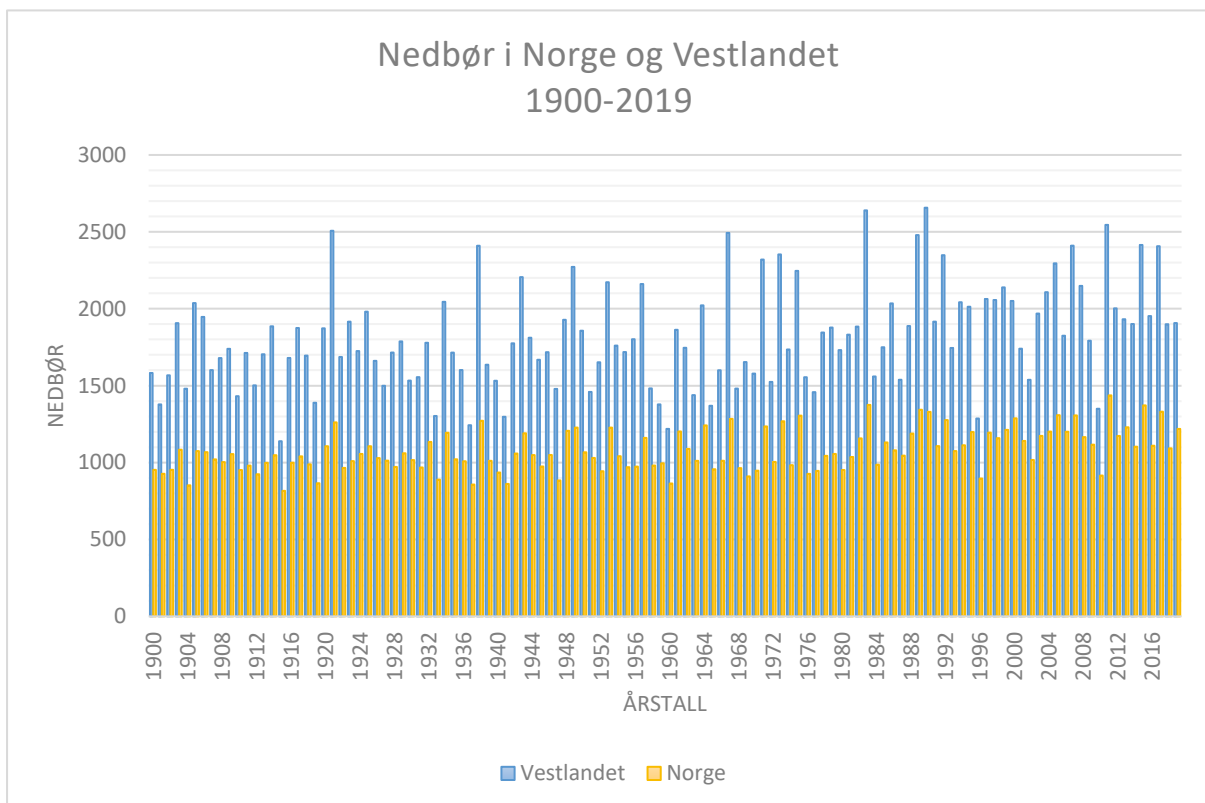
Verden opplever en global oppvarming som vil føre til høyere temperaturer og økt nedbørsmengde. I Norge og resten av verden ønsker man å bremse disse klimaendringene, som vil ha mye å si for overvannshåndteringen.



Nedbøren i Norge har økt med om lag 20 % siden 1900. Målinger utført av Meteorologisk institutt viser at korttidsnedbøren øker mest, det vil si den nedbøren som varer kortere enn ett døgn (Meteorologisk institutt, u.å.). Intensiteten har økt mest på Vestlandet, som skyldes at lavtrykket kommer fra vest over et relativt varmt hav og tar til seg mye fuktighet før det treffer vestlandskysten. Her møter lavtrykket fjell som medfører at luften blir presset opp i høyden og må gi slipp på fuktigheten. Dette er grunnen til at det regner mer på Vestlandet enn andre steder i Norge, noe som er illustrert på figur 8 (Meteorologisk institutt, 2019). Målinger fra meteorologisk institutt viser at det ble målt 2346,7 millimeter nedbør på Florida i 2019, se tabell 1.

Måned	Millimeter nedbør
Januar	190,9
Februar	117,1
Mars	249,5
April	12,9
Mai	89,9
Juni	159,6
Juli	151,5
August	399,6
September	259,5
Oktober	292,2
November	58,5
Desember	365,5
<b>Sum</b>	<b>2346,7</b>

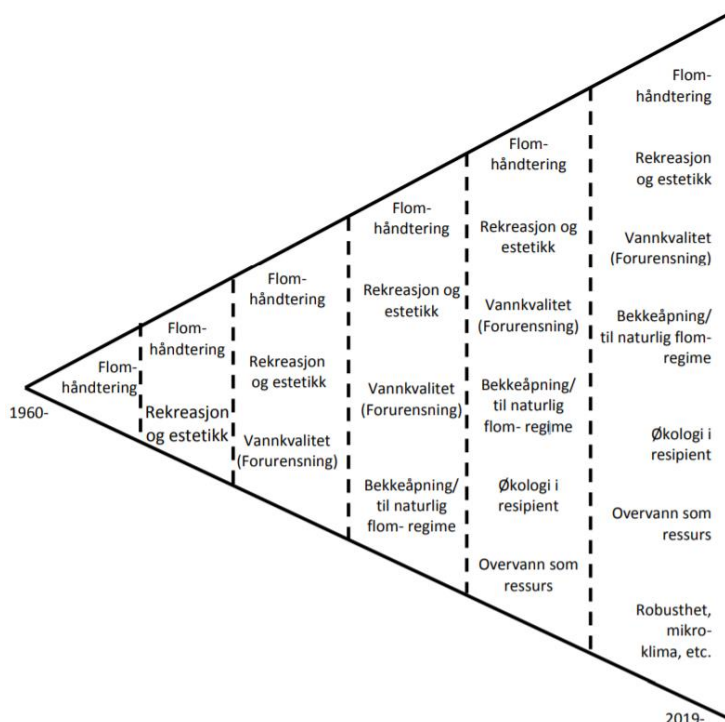
Tabell 1: Nedbør på Florida i 2019.



Figur 8: Nedbør i Norge og Vestlandet fra 1900 til 2019.

## 7. Overvann som ressurs

Overvannshåndteringen har utviklet seg gjennom årene, noe som er illustrert på figur 9. På 1960-tallet konsentrerte man seg om flomhåndtering, men i nyere tid har håndteringen av overvann tatt hensyn til flere aspekter (Bergen kommune, 2019 c, side 8). Dagens samfunn krever et bredt samarbeid for å finne de optimale overvannsløsningene. Dette innebærer samspill fra flere fagfelt som ingeniører, landskapsarkitekter og byplanleggere.



Figur 9: Utvikling av overvannshåndtering.

Overvann som ressurs har mange positive fordeler for mennesker. Dagens byer er ofte tettbygd og preget av grå arealer. Innslag av blågrønne arealer og nærhet til vann øker livskvaliteten gjennom blant annet å fremme rekreasjon, og lek og trivsel i nærområdet. I tillegg bidrar slike arealer til et økt naturmangfold og skaper et mer attraktivt boligområde. Gode systemer for overvannshåndtering bidrar også til økt infiltrasjon som reduserer forurensning og opprettholder grunnvannsnivået. Valg av system for hvordan overvannet håndteres har konsekvenser for hvordan en kan utnytte overvannet som en ressurs (NOU 2015: 16, side 60).

## 7.1 Åpent system

Et åpent system omhandler bortføring av overvann over bakken med grøfter, kanaler og rensedammer. Kapasiteten i et åpent system har ikke de samme begrensingene som lukket system, og vil normalt ha bedre reservekapasitet ved flom. Derfor vil en åpen løsning være bedre egnet ved stor vannføring, noe som kan forventes i årene som kommer. Et åpent system er ofte enklere å vedlikeholde og kan over tid være mer lønnsomt enn lukket system (Digitaliseringsdirektoratet, 2020).

Et åpent system er mer arealkrevende, og det kan være en stor utfordring i tettbygde strøk. Det er også utfordringer knyttet til vinteren siden frosten vil forhindre at overvannet renner i grøften, og det kan samle seg vann oppå snøen.

## 7.2 Lukket system

Et lukket system omhandler bortføring av overvann i ledningsnett under bakken med kummer, sluk og sandfang. Siden et lukket system etableres under bakken, frigir dette plass over bakken og har mindre arealinngrep. I tillegg er det ikke nødvendig å anlegge dype grøfter langs veier, som gir bedre trafiksikkerhet.

Den største utfordringen ved et lukket system er kapasiteten i røret. Ved store vannmengder vil ledningsnettet fylles opp, og kummene blir oversvømt og vannet vil renne ut på bakkeplan (NOU 2015: 16, side 167). Derfor krever lukkede systemer at flomveier må være på terreng. En annen utfordring med lukket system er at greiner, kvister og steiner kan blokkere røret. For å unngå tilstoppinger må bekkeinntak og sluker holdes fritt for hindringer. Derfor krever et lukket system jevnlig vedlikehold for å fungere best mulig.

## 7.3 Utfordringer med lukkede vassdrag

I tettbygde strøk har vassdrag historisk sett blitt lukket, men erfaringer fra hendelser med oversvømmelse kan ofte tilbakeføres til disse lukkingene. Med bakgrunn i dette kommer Klima- og miljødepartementet med oppfordring om restriktiv holdning knyttet til lukking av vassdrag. Det bør jobbes systematisk med separering av avløp og gjenåpning av lukkede systemer (NOU 2015: 16, side 17).

Et eksempel på hvilke konsekvenser lukkede vassdrag kan medføre er hentet fra den gang Mulelven gikk over sine bredder i 1936. Dette forårsaket at femti hus måtte evakueres og betydelige skader i Sandviken som kom opp i millionbeløp, se figur 10 og 11. «*Etter lang tid med kraftig nedbør ble kanalen under Fjellveien stoppet til. Med enorm kraft banet vannet seg vei og rev med seg grus og stein på sin vei mot sjøen. Halve Mulebanen raste ut, gatene ble forvandlet til dype kratere, og folk fikk husene sine fylt opp med vann, grus og jord.*» (Gjerstad, 1988, side 36).



Figur 10: Mulebanen og Mon Plaisir i 1936. Kilde: Atelier KK, 1936



Figur 11: Ekrenbakken. Kilde: Atelier KK, 1936.

## 8. Konsekvenser av dårlig overvannshåndtering

Overvann har en enorm ødeleggende kraft dersom det ikke håndteres godt nok. Det forventes mer nedbør i årene som kommer, og dersom overvannet ikke håndteres godt nok vil dette ha store konsekvenser for både sikkerhet og kostnader for samfunnet. Dersom terrenget består av ustabile masser, kan det oppstå jordras. Økt nedbør utgjør en stor sikkerhetsrisiko knyttet til dette, da nye områder kan bli rasfarlige. Professor ved Geofysisk institutt Helge Drange har beskrevet dette i en artikkel fra Teknisk Ukeblad etter raset i Jølster i 2019: «*Vannet danner nye bekkefar, som tar med seg jordsmonn og lager et stort sørperas med jord, stein og trær som tar med seg absolutt alt på sin vei. Dette er virkelig farlige hendelser som er vanskelige å forutse.*» (Teknisk ukeblad, 2019).

En slik hendelse inntraff Bergen 14. september 2005. Da ble det registrert 165,4 millimeter nedbør i løpet av 24 timer som tilsvarer ca. en 100-årsflom. Dette forårsaket en rasulykke på Hatlestad terrasse, vist på figur 12. Som følge av de store vannmassene, løsnet et stort område med jord over et boligområde. Jordraset tok livet av to personer og flere ble hardt skadet. Skredet ble kategorisert som et «flakskred» som er en betegnelse for ras hvor hele det utløste volumet løsner momentant (NTNU, 2005, side 2). I tillegg skapte regnværet store oversvømmelser på Nesttun, hvor vannet tok et nytt løp gjennom Nesttun parkeringshus, se figur 13 (Byggfakta DOCU, 2014). Slike hendelser har store økonomiske konsekvenser for samfunnet. Det kreves mye opprydningsarbeid samt erstatning av materielle skader.



Figur 12: Rasulykke på Hatlestad terrasse i 2005. Kilde: ba.no.

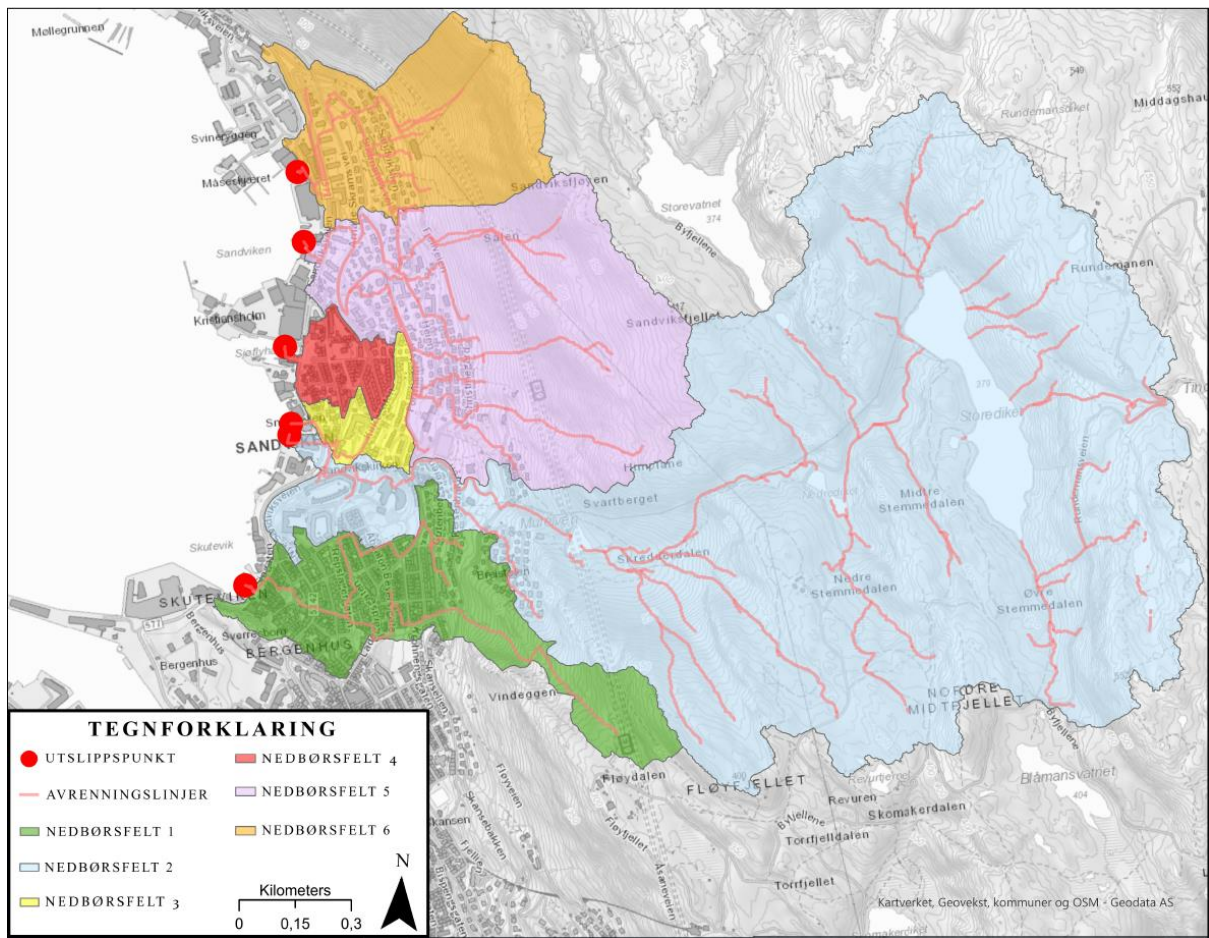


Figur 13: Oversvømmelser på Nesttun i 2005. Kilde: ba.no.

## 9. Overvannshåndtering langs sjøfronten

Planområdet består av seks nedbørsfelt representert med hver sin farge, som vist på figur 14. Vannføringen i disse feltene er dimensjonerende for overvannshåndteringen. Hvert felt har forskjellig vannføring, og for å foreslå konkrete tiltak for flomhåndtering langs sjøfronten er det nødvendig å vite hvor stor vannføringen vil være.





Figur 14: Seks ulike nedbørsfelt i planområdet.

For å finne vannføringen i nedbørsfeltet brukes den rasjonelle formelen med et gjentaksintervall på 100 år. Klimafaktoren settes til 1,4, som nevnt i kapittel 6.2.4. I formelen er det knyttet usikkerheter til beregning av konsentrasjonstid og avrenningsfaktor. Dette er fordi de ulike nedbørsfeltene har forskjellig sammensetning av tette flater, grøntareal og skogsområder. På bakgrunn av dette er det opprettet en vektfaktor, basert på en visuell vurdering av nedbørsfeltene, som tar høyde for prosentandel skogsområde og tette flater. Denne vektfaktoren brukes å finne midlere verdier for avrenningsfaktor og konsentrasjonstid. Det er nødvendig å gjennomføre flere beregninger med små variasjoner av disse verdiene for å se hvordan resultatet påvirkes.

For enkelhetens skyld videre i oppgaven velges kun en vannføring per nedbørsfelt. Denne vannføringen er bestemt ved å finne gjennomsnittet av beregningene, og justere tallet mot feltets karaktetikk. Beregninger er vedlagt, se vedlegg 2-8.

I planområdet er det eksisterende ledningsnett som fanger opp noe av vannføringen fra nedbørsfeltene. Derfor er ledningskapasiteten nær utslippspunktet beregnet. Både ledningskapasiteten og vannføring i nedbørsfeltene er avgjørende for hvilke tiltak som er aktuelle.

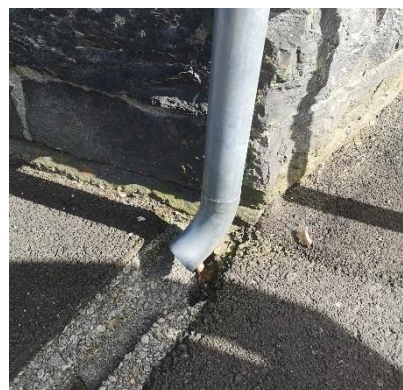
## 9.1 Tiltak

I alle nedbørsfelt i planområdet er det flere like tiltak som kan benyttes for å sikre håndtering av overvann:

- Bruk av kantstein
- Frakobling av takrenner fra ledningsnett
- Bruk av permeabelt dekke rundt utslippspunktene
- Separering av spillvann og overvann

De modellerte avrenningslinjene viser hvor overvannet renner i nedbørsfeltet. Bruk av kantstein kan forstyrre disse avrenningslinjene. Derfor er det viktig å ha kontroll på plasseringen av kantsteiner i nedbørsfeltet. I tillegg vil redusert bruk av kantstein sørge for at vannet fordeler seg over et større område, som igjen vil redusere avrenning (NOU 2015:16, side 69). Kantsteiner kan også bidra til å lede overvannet dit en ønsker.

Ved å frakoble takrenner fra ledningsnett vil overvannet renne på terrenget, og dermed forsinkes før det eventuelt havner i ledningsnett eller infiltrerer i grunnen (NOU 2015:16, side 68). Dette vil øke kapasiteten til ledningsnett. Det er derimot lite gjennomførbart at alle huseiere er villige til å frakoble sine takrenner, men under befaring ble det observert at flere takrenner var frakoblet, se figur 15.



Figur 15: Frakoblet takrenne.

Et permeabelt dekke er en kombinasjon av en spesifikk overflate og underliggende masser for å drenere overvann gjennom infiltrasjon. I byer og tettsteder er andel tette flater stor, og disse dekkene har dårlig infiltrasjonsevne. Et permeabelt dekke vil ha de samme funksjonene som tette flater, men i tillegg ha drenerende egenskaper, illustrert på figur 16 (Asak Miljøstein, u.å.). Å anlegge permeable dekker



Figur 16: Permeabelt kontra tett dekke. Kilde: (Asak Miljøstein, 2020)

rundt utslippspunktene i alle nedbørsfelt vil bidra positivt til overvannshåndteringen. Kapasiteten til permeable dekker er avhengig av lagringskapasiteten til de underliggende lagene, i tillegg til grunnvannstand (Sintef, 2018).

I Sandviken er det meste av ledningsnettets sammensatt av avløp fellesledninger. Dersom disse ledningene blir separert i egne spillvanns- og overvannsledninger vil dette øke kapasiteten i ledningsnettets. I tillegg vil det medføre at mengden overvann som blir transportert til rensesanlegg blir redusert.

I tillegg til disse fire generelle tiltakene, viser tabell 2 hvilke andre tiltak som er aktuelle for overvannshåndtering i planområdet, samt til hvilket ledd i treleddsstrategien de tilhører (NOU 2015:16, side 68 og 69). Disse tiltakene er omtalt i de nedbørsfeltene tiltakene blir benyttet.

Tiltak	Ledd	Beskrivelse
Regnbed	1, 2	Beplantet vegetasjon som infiltrerer, fordrøyer og renser overvann.
Overvannsdam	2	Et permanent vannspeil som tar opp overvann og fordrøyer avrenningen.
Åpen vannkanal	2, 3	Føre overvann i et åpent system for å unngå kapasitetsproblemer og tilstopping
Gjenåpning av bekk	(1, 2), 3	Åpne bekker som tidligere har rent i rør. Gir flomveien bedre kapasitet.
Fordrøyningsmagasin	1,2,3	Bassenget reduserer faren for for oversvømmelse og begrenser flompåvirkning

Tabell 2: Oversikt over ulike tiltak i nedbørsfeltene.

## 9.2 Nedbørsfelt 1

Det sørligste nedbørsfeltet i planområdet strekker seg fra Fløyfjellet og ned mot Bergenhus med utslippspunkt på Skutevikstorget, som vist på figur 17 og 18. Nedbørsfeltet har en høy andel tette flater og terrenget er bratt særlig i øvre deler av feltet. Fjellveien fungerer som et naturlig skille mellom fjellområde og bebyggelse.

Nedbørsfelt 1	
Areal	28,1 hektar
Vekting natur	40 %
Vekting bykjerne	60 %
Høydeforskjell	386 meter
Lengde	1245 meter
Karakteristikk	Bratt terreng
Ledningskapasitet	9,23 m <sup>3</sup> /s
<b>Vannføring</b>	<b>4,73 m<sup>3</sup>/s</b>

Tabell 3: Oversikt over nedbørsfelt 1.

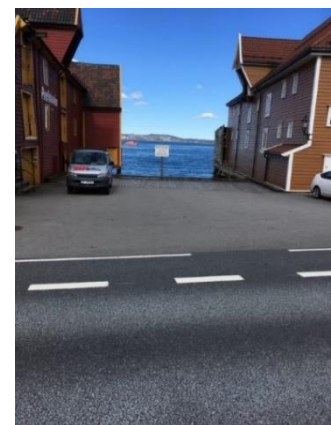


Utformingen av Skutevikstorget er krevende for overvannshåndteringen siden bebyggelsen ligger under kaikanten, og sjøbodene er registrert som kulturminner (Kulturminnesøk, u.å.). I tillegg er havnivåstigningen en utfordring for dette området. Tall fra Kystverket sier at havet kan stige med 72 cm innen 2090 (Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, 2016, side 40). Dersom dette skjer vil det trenge inn sjøvann i ledningsnettet, og kapasiteten reduseres.



Figur 17: Utsnitt over nedbørsfelt 1, med utslippspunkt markert med rødt punkt.

Det vil være urealistisk å forvente en vannføring på  $4,73 \text{ m}^3/\text{s}$  i lavbrekket. Mye av vannet vil bli fanget opp av overvannssystemet som finnes i området i dag. Det er tre offentlige avløps fellesledninger som går ut i sjøen ved utslippspunktet. Disse ledningene har en dimensjon på henholdsvis 375 mm, 800 mm og 1300 mm. Disse ledningene har en samlet kapasitet på  $9,23 \text{ m}^3/\text{s}$ .



Figur 18: Utslippspunkt på Skutevikstorget.

Siden kapasiteten i ledningsnettet er større enn beregnet vannføring i nedbørsfeltet, kan en argumentere med at ledningsnettet kan ta opp alt overflatevann. Til tross for dette argumentet må et lukket system ha flomvei på terrenget, og ved store nedbørsmengder kan inntak og sluk tettes igjen, som øker avrenningen. Basert på dette må det gjennomføres ulike overvannstiltak i nedbørsfeltet for å sikre overvannshåndteringen langs sjøfronten.

### 9.2.1 Tiltak i nedbørsfelt 1

Utslippspunktet i nedbørsfeltet er ved Skuteviksbodene 9 på Skutevikstorget. Bergen kommune har gjort studentene oppmerksom på at det er problematisk med høyder på Skutevikstorget, noe som ble bemerket på befarings, se figur 19. Skutevikstorget er et fokusområde i oppgaven med bakgrunn i høydeproblemene. I tillegg til høydeproblemene har det forekommet inntrengning av overvann i boligene ved Skutevikstorget når det er store nedbørsmengder.



Figur 19: Parkeringsplass på Skutevikstorget, med fall mot bebyggelsen.

Sjøgaten har et naturlig takfall, og takfallet fortsetter ut på parkeringsplassene i begge endene av veien. Dette medfører at boligene på Skutevikstorget ligger lavere enn kaikanten, og det blir ansamling av vann på parkeringsplassen foran boligene. På parkeringsplassen er det to sluker som håndterer mindre nedbørshendelser. Dette vil ikke være tilstrekkelig ved en 100-årsflom. Derfor er det nødvendig med ytterligere tiltak for å håndtere overvannet på en god måte.

Et alternativ er å anlegge en større kulvert under Sjøgaten for å lede overvannet til sjøen. Denne kulverten må ligge høyt i terrenget for å skape tilstrekkelig fall og den må ligge høyere enn havnivået. I tillegg bør den ha en tilbakeslagsventil for å unngå inntrengning av sjøvann. Dette alternativet er lite gjennomførbart på grunn av plassmangel og vil ikke bli vurdert videre.

Det mest gunstige alternativet for håndtering av overvann vil være å fjerne takfallet på Sjøgaten, og etablere et tverrfall ned mot kaikanten på Skutevikstorget. Det kan gjøres ved å ombygge Sjøgaten slik at den ligger lavere i terrenget. Dette vil fjerne demningseffekten som veibanen har i dag. I tillegg til dette bør parkeringsarealet ombygges til et permeabelt dekke for å infiltrere overvannet som blir liggende på bakkeplan. I sjøfrontstrategien planlegger Bergen kommune å oppgradere standarden på fortauet ved Skuteviksbodene (Bergen kommune, 2019 a, side 66). Da er det viktig at fortauskanten ikke er et hinder for overvannshåndteringen på Skutevikstorget.

I tillegg til tverrfallet på Sjøgaten er det gunstig med flere overvannstiltak i nedbørsfeltet. Ca. 60 meter øst for Sjøgaten ligger en åpen plass i Bøkkergaten som i dag blir brukt som rekreasjonsområde, se figur 20. Det er plassert flere lekeapparater på området, i tillegg til en liten grusbane på ca. 200 m<sup>2</sup>. Bergen kommune er hjemmelshaver over eiendommen som har gnr. 167 bnr. 764 (Kartverket, u.å.). Hovedavrenningslinjen i nedbørsfeltet går over den samme eiendommen, noe som gjør plasseringen av tiltak gunstig.



Figur 20: Åpen plass i Bøkkergaten.

Et aktuelt tiltak for området kan være å etablere et regnbed i deler av området som vil fordrøye overvannet på vei ned mot sjøfronten. Tiltaket fungerer godt for overvannshåndtering, men vil begrense lekearealet. Derfor kan en bedre løsning være å fremheve rekreasjonen, ved å bygge en flerfunksjonell lekeplass som håndterer overvann.

Dette kan gjøres ved å lage en lekeplass med permeabelt dekke eller en nedsenket fotballbane som kan fungere som regnvannsbasseng under flom (Oslo kommune, 2016 a, side 4). Inspirasjon til utforming av fotballbanen er hentet fra Gladsaxe sportspark i København, illustrert på figur 21.



Figur 21: Gladsaxe sportspark i København. Kilde: (HOFOR A/S og CALL Copenhagen, 2020)



Det som kan by på utfordringer er at tiltakene i nedbørsfeltet ligger innenfor middelalderbyen i Bergen (Kulturminnesøk, u.å.). Dersom det skulle bli funnet noen arkeologiske funn under anleggsfasen må det varsles om til myndigheter og behandles deretter (Kulturminneloven, 1978, § 3). I tillegg er Skuteviksbodene 7 og 9 registrert som kulturminner, og dette må bli tatt hensyn til under anleggsfasen av sjøfronten. Aktuelle tiltak i nedbørsfelt 1 er illustrert ved figur 22.



Figur 22: Tiltak i nedbørsfelt 1.

### 9.3 Nedbørsfelt 2 og 3

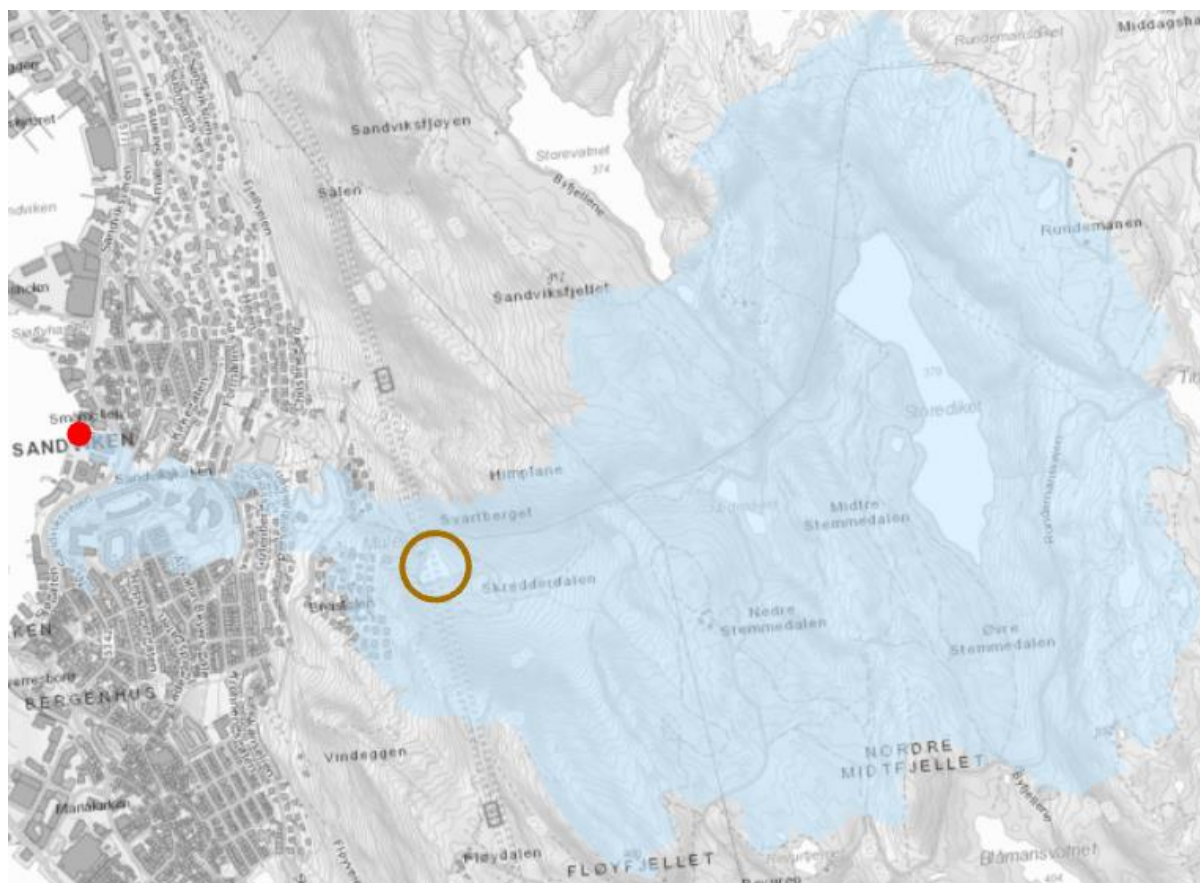
Utslippspunktene til nedbørsfelt 2 og 3 ligger nærmere hverandre, og det er derfor hensiktsmessig å etablere en felles løsning for håndtering av overvannet fra disse feltene. I tillegg renner hovedavrenningslinjene fra de to feltene med kort avstand mellom hverandre, og det vurderes derfor løsninger som vil forene disse.

### 9.3.1 Nedbørsfelt 2

Nedbørsfelt 2 er det største nedbørsfeltet i planområdet, og omfatter store deler av Fløyfjellet. Feltet strekker seg opp til Blåmannen og Rundemannen, og har flere innsjøer i seg, som vist på figur 23. Nedbørsfeltet smalner inn i Skredderdalen, og vannføringen ovenfor dette området samles i Mulelven. Dette vassdraget er i dag lagt i rør med utslipp til sjøen. Utslippspunktet til feltet ligger ved Gamle Slaktehuskaian ved Sjøgaten 1.

Nedbørsfelt 2	
Areal	219,0 hektar
Vekting natur	90 %
Vekting bykjerne	10 %
Høydeforskjell	530 meter
Lengde	2400 meter
Karakteristikk	Stort felt med innsjøer
Ledningskapasitet	80,95 m <sup>3</sup> /s
Total vannføring	10,53 m <sup>3</sup> /s
<b>Urban vannføring</b>	<b>3,31 m<sup>3</sup>/s</b>

Tabell 4: Oversikt over nedbørsfelt 2.



Figur 23: Utsnitt over nedbørsfelt 2. Utslippspunkt markert med rødt punkt og demningen ved Mulelven markert med brun sirkel.

Nedbørsfeltet er stort, og består av mye naturlig område. I tillegg er det noen innsjøer i feltet som vil bidra til at avrenningen minker. Basert på dette beregnes vannføring til 10,53 m<sup>3</sup>/s. Nedbørsfeltet smalner inn ved Skredderdalen og avrenningen blir demmet opp i demningen på Mulelven. Fra Mulelven blir overvannet transportert i en kanal til sjøen. Denne kanalen har en diameter på 2500 mm og har en kapasitet på ca. 80,63 m<sup>3</sup>/s.

I oppgaven antas det at all nedbør som havner ovenfor demningen ender opp i kanalen. For å finne en realistisk avrenning til utslippspunktet bør en kun se på arealet mellom demningen og nedbørsfeltets lavbrekk. Basert på dette er det antatt en vannføring på 3,31 m<sup>3</sup>/s i den urbane delen av nedbørsfeltet.

### 9.3.2 Nedbørsfelt 3

Nedbørsfelt 3 er det minste nedbørsfeltet i planområdet og strekker seg over et urbant område. Feltet er sammensatt av tette flater og bykjerne, og avgrenses fra Formanns vei og avrenningen går til Sjøgaten, som vist på figur 24. Utslippspunktet er ved Sandviksbodene 5.

Nedbørsfelt 3	
Areal	4,8 hektar
Vekting tette flater	30 %
Vekting bykjerne	70 %
Høydeforskjell	42 meter
Lengde	385 meter
Karakteristikk	Bykjerne og tette flater
Ledningskapasitet	0,17 m <sup>3</sup> /s
<b>Vannføring</b>	<b>1,94 m<sup>3</sup>/s</b>

Tabell 5: Oversikt over nedbørsfelt 3.



Figur 24: Utsnitt over nedbørsfelt 3. Utslippspunktet er markert med rødt punkt.

Basert på feltets karakteristikk er det kommet frem til en vannføring på 1,94 m<sup>3</sup>/s. Det er én offentlig avløp fellesledning med dimensjon på 300 mm nær utslippspunktet. Denne ledningen har en kapasitet på ca. 0,17 m<sup>3</sup>/s, og fanger opp noe av overvannet i feltet. Dermed er det naturlig at den reelle avrenningen til utslippspunktet er noe lavere.

### 9.3.3 Tiltak i nedbørsfelt 2 og 3

Utslippspunktet i nedbørsfelt 2 er plassert ved Gamle Slaktehuskaaien ved Sjøgaten 1. I området er det flere bedrifter og uteoppholdsarealet er tilrettelagt med rød belegningsstein. Under befaring fremstod det som lite hensiktsmessig å føre overvannet over denne tomten.

I nedbørsfelt 3 går hovedavrenningslinjen ned i en parkeringsgarasje tilknyttet Sjøgaten 2A. Plasseringen til garasjen gjør at overvannet vil samle seg der, og ikke i utslippspunktet. På bakgrunn av dette skal hovedavrenningslinjene fra nedbørsfeltene samles i Johan Mohrs gate og bli ledet til et nytt utslippspunkt, se figur 25.



Figur 25: Ny avrenningslinje i Johan Mohrs gate.

Tiltakene må håndtere avrenningen fra begge nedbørsfeltene. Det rimeligste alternativet vil være å bygge opp en ekstra høy mur langs Sandviksveien for å demme opp avrenningen og lede overvannet bort til Johan Mohrs gate. Dette alternativet vil by på flere utfordringer siden bebyggelsen langs Johan Mohrs gate ligger lavere enn bakkeplan, og overvannet kan dermed gjøre skade på boligene.

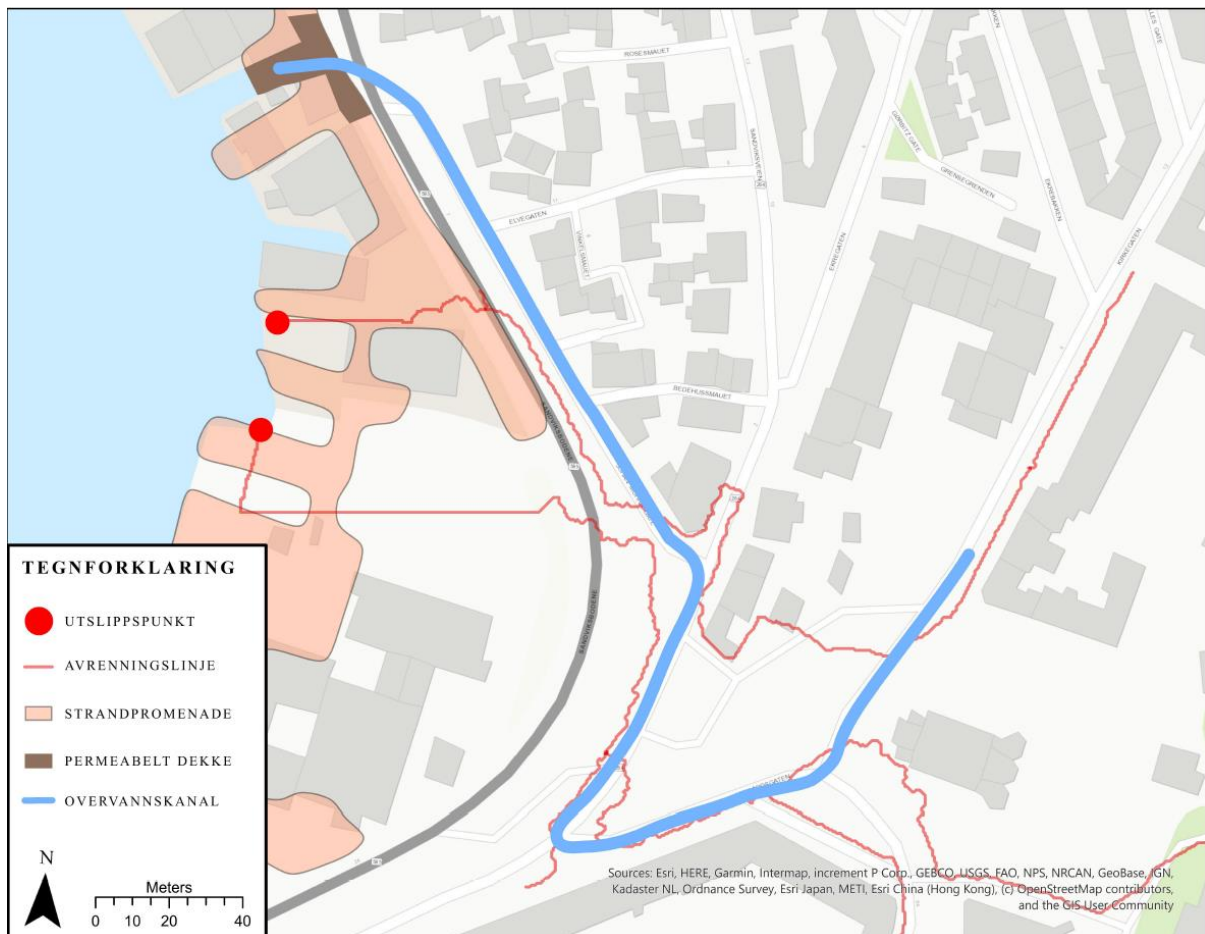
Studentenes vurdering er at det beste alternativet er å anlegge en delvis åpen kanal som starter i Kirkegaten og ender opp i krysset mellom Sjøgaten og Johan Mohrs gate. Kanalen skal etableres langs hovedavrenningslinjene til både nedbørsfelt 2 og 3. Tiltaket vil på denne måten fange opp store deler av overflatevannet fra feltene. Et slikt tiltak vil fungere som en sikker flomvei i tillegg til å skape rekreative områder ved utslippspunktet. Med «delvis åpen» kanal menes en kanal etablert under bakkeplan, med metall-slisser på toppen. Kanalen skal legges i veibanen, og utformes slik at den ikke er til hinder for kjøretøy. Plasseringen vil være tett inn til fortauet, der fortauskanten vil bidra til å lede vannet ned i kanalen. Figur 26 er et eksempel på hvordan tverrsnittet til kanalen kan se ut.



Der kanalen krysser Sjøgaten må den legges under veibanen. Dette kan løses på flere måter, enten i rør, eller ved bruk av en liten kulvert. Det anbefales at valgt løsning har samme dimensjoner som selve kanalen. Der kanalen renner ut i sjøen kan strandpromenaden bygges som en bro for å skape et rekreativt område. Denne løsningen innebærer at løsning under bakken må ha utslipp før sjøkanten, noe som er gunstig med tanke på høy vannstand. Da unngår man at sjøvann vil gå inn i overvannsrøret. Aktuelle tiltak i nedbørsfelt 2 og 3 er illustrert ved figur 27.



Figur 26: Overvannsrenne Stora-Drain.  
Kilde: (HAIEX Plastrør AS, u.å.)



Figur 27: Tiltak i nedbørsfelt 2 og 3.



### 9.3.3.1 Kapasitet kanal

Kapasiteten til kanalen er beregnet ved bruk av Mannings formel. I beregningen er Manningstall satt til 77, som er minimumsverdi for en rett betongkulvert uten sedimenter (Norsk Vann, 2014, side 80). Ettersom kanalen er delvis åpen velges det minste Manningstallet siden det i praksis vil være litt sedimenter i kanalen. En bredde lik 0,5 meter og dybde lik 0,5 meter, gir en hydraulisk radius, R, på ca. 0,25 meter. Mannings formel gir væskehastigheten:  $v = M * R^{\frac{2}{3}} * I^{\frac{1}{2}} = 77 * 0,25^{\frac{2}{3}} * 0,047^{\frac{1}{2}} = 6,62 \text{ m/s}$

Deretter blir væskehastigheten brukt i kontinuitetsligningen for å finne vannføringen. Dette gir en vannføring på ca.  $1,66 \text{ m}^3/\text{s}$ :  $Q = A * V = 0,25 \text{ m}^2 * 6,62 \text{ m/s} = 1,66 \text{ m}^3/\text{s}$

I tillegg til kanalen, bør det vurderes å gjøre ytterlige tiltak i nedbørsfelt 2. I dag renner Mulelven i rør gjennom nedbørsfeltet med utslipp ved Gamle Slaktehuskaien, se figur 28. Myndighetene oppfordrer at det bør systematisk jobbes med gjenåpning av lukkede systemer (NOU 2015:16, side 17). Med bakgrunn i dette bør en mulig gjenåpning av Mulelven vurderes. Dette vil øke flomsikkerheten i nedbørsfelt 2, i tillegg til å skape rekreative områder langs vassdraget. Et slikt tiltak vil medføre store utfordringer siden området nedstrøms er utbygd med boliger og veier. Til tross for utfordringene råder studentene Bergen kommune til å se på muligheten til å gjennomføre et slikt tiltak.



Figur 28: Mulelvens utløp ved Gamle Slaktehuskaien.

## 9.4 Nedbørsfelt 4

Nedbørsfelt 4 er det nest minste nedbørsfeltet i planområdet, og det strekker seg fra Kirkegaten til Kristiansholm, som vist på figur 29. Feltet smaler inn nær utslippspunktet og terrenget er flatt. Området har en stor andel av tette flater. Utslippspunktet i nedbørsfeltet er ved Skuteviksbodene 23.

Nedbørsfelt 4	
Areal	5,2 hektar
Vekting tette flater	60 %
Vekting bykjerne	40 %
Høydeforskjell	32,9
Lengde	308 meter
Karakteristikk	Bykjerne og tette flater
Ledningskapasitet	0,65 m <sup>3</sup> /s
<b>Vannføring</b>	<b>2,10 m<sup>3</sup>/s</b>

Tabell 6: Oversikt over nedbørsfelt 4.



Figur 29: Utsnitt over nedbørsfelt 4, med utslippspunkt markert med rødt punkt.

Vannføring i feltet er beregnet til  $2,10 \text{ m}^3/\text{s}$ . I tillegg er det en 600 mm offentlig avløp fellesledning nær utslippspunktet, og denne ledningen har en kapasitet på ca.  $0,65 \text{ m}^3/\text{s}$ . Noe av overvannet i feltet vil bli fanget opp av denne ledningen.

#### 9.4.1 Tiltak i nedbørsfelt 4

Utslippspunktet i nedbørsfelt 4 er plassert ved Sandviksbodene 23, se figur 30. Dette er et område med eldre sjøhus som er registrert som kulturminner (Kulturminnesøk, u.å.). Arealet fra Sandvikstorget og ut til utslippspunktet er flatt, og det er derfor vanskelig å gjennomføre gode tiltak for overvannshåndteringen. For å sikre infiltrasjon skal det anlegges permeabelt dekke på områdene mellom sjøhusene og på fortauet ut mot Sjøgaten, samt på deler av Sandvikstorget. I forkant av dette må det gjennomføres geologiske undersøkelser for å finne grunnforhold og minimere sannsynligheten for skader på kulturminnene.



Figur 30: Utslippspunktet i nedbørsfelt 4.

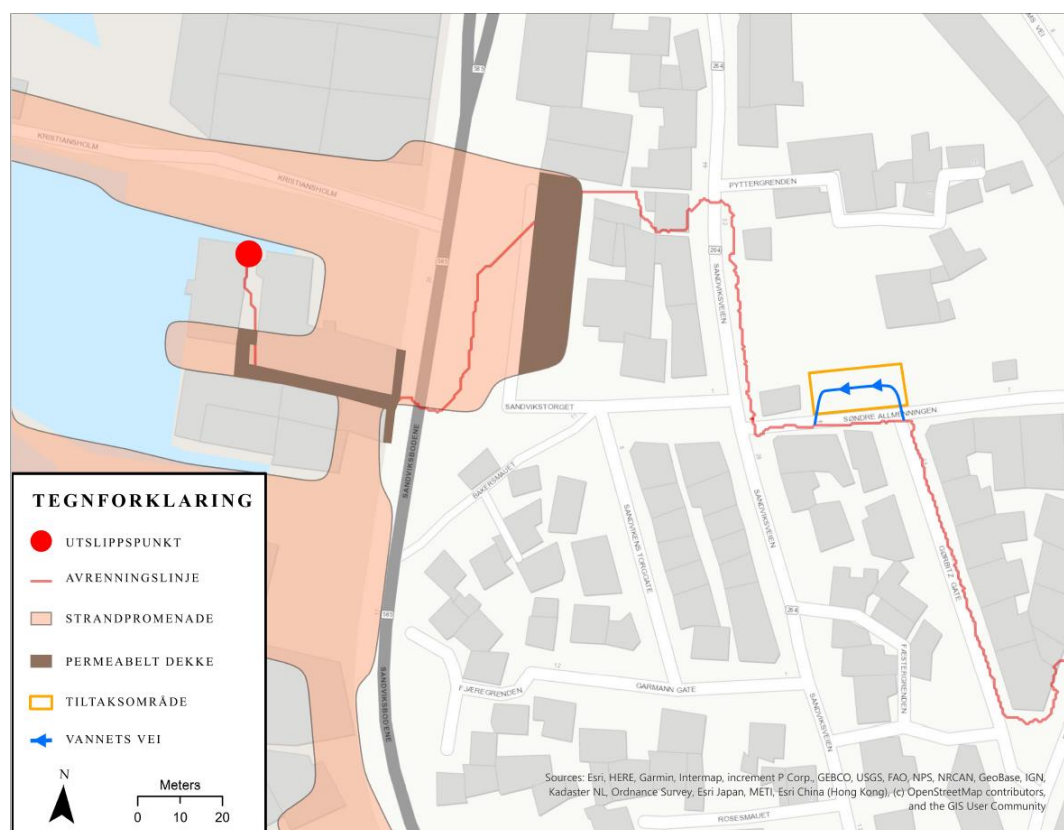
For å håndtere den resterende vannføringen, er et alternativ å lede overvannet fra Sandvikstorget via en kanal til Kristiansholm. Dette alternativet vil ikke bli vurdert videre siden det er motfall mot Kristiansholm. Derfor er det mer hensiktsmessig å etablere andre tiltak høyere oppe i nedbørsfeltet.

Et mulig tiltaksområde er på sørsiden av Sandviken menighetshus, se figur 31. Hjemmelshaver for tomten er Bergen kommune, mens Sandviken menighetspleie har festerett (Kartverket, u.å.). Det aktuelle tiltaksområdet er i dag dekket av gress. For å øke infiltrasjonsevnen skal det etableres et regnbed på tomten. Regnbed er et godt eksempel på tiltak som forsinkes og fordrøyer overvann, og har som hovedhensikt å holde overvann tilbake helt eller midlertidig (Oslo kommune, 2016 b, side 1). Regnbedet fungerer ikke



Figur 31: Tiltaksområde ved Sandviken menighetshus.

som en flomvei, men bedet kan avlaste flomtoppen, og dermed redusere vannmengden langs sjøfronten. For å føre overvannet inn på regnbedet, må kantsteinen langs Søndre Allmenning fjernes, i tillegg til å korrigere fallet på den samme veien. Aktuelle tiltak i nedbørsfelt 4 er illustrert ved figur 32.



Figur 32: Tiltak i nedbørsfelt 4.



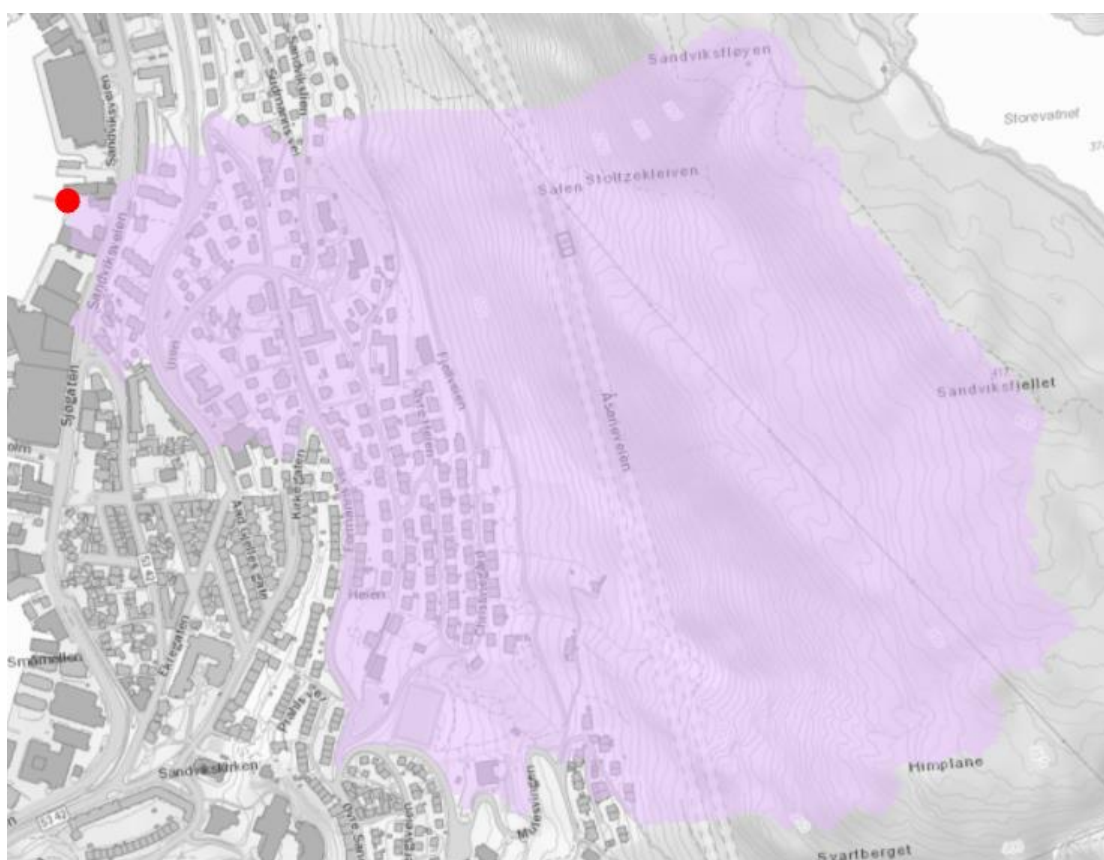
## 9.5 Nedbørsfelt 5

Nedbørsfelt 5 strekker seg fra Sandviksfjellet til Ludebryggen, og området bærer preg av bratt terreng med mye skog, som vist på figur 33. Feltet smaler inn mot utslippspunktet som gjør at avrenningen fra feltet vil samle seg på et mindre areal.

Utslippspunktet er ved Sandviksbodene 65B.

Nedbørsfelt 5	
Areal	58,0 hektar
Vekting natur	70 %
Vekting bykjerne	30 %
Høydeforskjell	375 meter
Lengde	1160 meter
Karakteristikk	Bratt terreng og mye skog
Ledningskapasitet	0,16 m <sup>3</sup> /s
<b>Vannføring</b>	<b>5,90 m<sup>3</sup>/s</b>

Tabell 7: Oversikt over nedbørsfelt 5.



Figur 33: Utsnitt over nedbørsfelt 5, med utslippspunkt markert med rødt punkt.

Vannføring i feltet er beregnet til 5,90 m<sup>3</sup>/s. Bratt terreng vil øke vannføringen, men den høye andelen av skog vil redusere avrenning. En samlet vurdering av disse faktorene resulterer i nevnt vannføring. Nær utslippspunktet er det én offentlig 600 mm avløp fellesledning som har ledningskapasitet på 0,16 m<sup>3</sup>/s. Denne ledningen går langs Sandviksveien og vil fange opp noe av overvannet.

### 9.5.1 Tiltak i nedbørsfelt 5 - Kristiansholm

På Kristiansholm skal det etableres et nytt friområde. Området skal bli en ny stor, sosial møteplass tilrettelagt som en attraktiv sjøfront med muligheter for bading og andre publikumsrettede aktiviteter (Bergen kommune, 2019 a, side 67). Med bakgrunn i hvilke planer kommunen har for området, er det ønskelig å bruke overvannet som en ressurs ved å føre det inn på Kristiansholm. Dette kan gjøres ved å anlegge en lukket kanal med utgangspunkt i avrenningslinjene fra halve nedbørsfelt 5, ca. 39,2 ha. Arealet er avgrenset fra avrenningslinjene oppstrøms for inntaket. Kanalen leder vannet under Sandviksveien og inn på Kristiansholm. Deretter åpnes kanalen, og fører overvannet inn i et stort åpent vannspeil, før det ledes ut i sjøen.

Inntaket er tiltenkt ved Uren, og dette er en gunstig plassering for å bryte avrenningslinjen, se figur 34. I tillegg er det nødvendig å starte kanalen her, for å ha tilstrekkelig fall på kanalen slik at overvannet kan føres til Kristiansholm. Ved Amalie Skrams vei 20 må kanalen passere en mur med et fall på ca. 3 meter, for deretter å følge en eksisterende gangvei videre ned til Sandviksveien (Kartverket, u.å.). Siden traséen til kanalen er bratt, og den passerer et boligområde og går under Sandviksveien, bør den anlegges som en lukket kanal.



Figur 34: Inntak til kanal ved Uren.

Ved innløpet til kanalen skal det anlegges et bekkeinntak med rist, for å holde steiner og greiner tilbake. Da unngår man slitasje og tilstopping i kanalen. Kanalen har utløp på Kristiansholm, hvor den går over i en åpen elv. Her skal det anlegges en energidreper med steinfang siden det er stort fall på kanalen. Deretter ledes vannet med naturlig fall til en vanddam. Denne dammen vil ikke fordrøye overvannet, men fungerer som en rekreasjonsdam. For å sikre at det alltid vil være vann i dammen, og motvirke infiltrasjon skal det brukes en gummi- eller plastmembran i bunnen (Norsk Vann, 2014, side 365).

#### 9.5.1.1 Kapasitet kanal

Kanalen dimensjoneres etter vannføringen fra halve nedbørsfelt 5, ca. 2,95 m<sup>3</sup>/s. Fra innløpet ved Uren til utløpet på Kristiansholm har kanalen et fall på ca. 76 ‰ (Kartverket, u.å.). Kanalen er dimensjonert ved bruk av Mannings formel, der Mannings tall er satt 85.

Dette er noe under normalverdi for betongkulerter ettersom det forventes noen forekomster av sedimenter i kanalen (Norsk Vann, 2014, side 80). Bredden og dybden har blitt justert slik at kapasiteten blir noe høyere enn vanntilførselen. En bredde på 0,6 meter og dybde på 0,6 meter, gir en hydraulisk radius, R, på ca. 0,27 meter. Mannings formel gir

$$v = M * R^{\frac{2}{3}} * I^{\frac{1}{2}} = 85 * 0,27^{\frac{2}{3}} * 0,076^{\frac{1}{2}} = 9,85 \text{ m/s}$$

Deretter blir væskehastigheten brukt i kontinuitetsligningen for å finne vannføringen. Dette gir en vannføring på ca. 3,55 m<sup>3</sup>/s:  $Q = A * V = 0,36 \text{ m}^2 * 9,85 \text{ m/s} = 3,55 \text{ m}^3/\text{s}$



Figur 35: Tiltak ved Kristiansholm.

Figur 35 fungerer som en prinsippsskisse for overvannstiltakene på Kristiansholm. Kartet tar ikke hensyn til hvordan sjøfrontstrategien har sett på utviklingen av området.

### 9.5.2 Ytterligere tiltak nedbørsfelt 5

Tiltaket ved Kristiansholm håndterer ikke overvannet fra hele nedbørsfeltet. Et alternativ for å håndtere det resterende overvannet er å etablere et nødoverløp med inntak ved Sandviksveien 87A. Dette inntaket vil være langs avrenningslinjen i nedbørsfeltet, og utløp i sjø ved Ludebryggen. Etter befaringer i området faller dette alternativet bort ettersom avrenningslinjene ikke stemmer overens med tilsendt data. Asfalterte sidekanter langs en gangvei mellom Amalie Skrams vei og Sandviksveien, illustrert på figur 36. Asfaltkantene gjør at overvannet blir ledet ned mot krysset utenfor Gjensidigegården i nedbørsfelt 6.



Figur 36: Asfalterte sidekanter i gangvei.

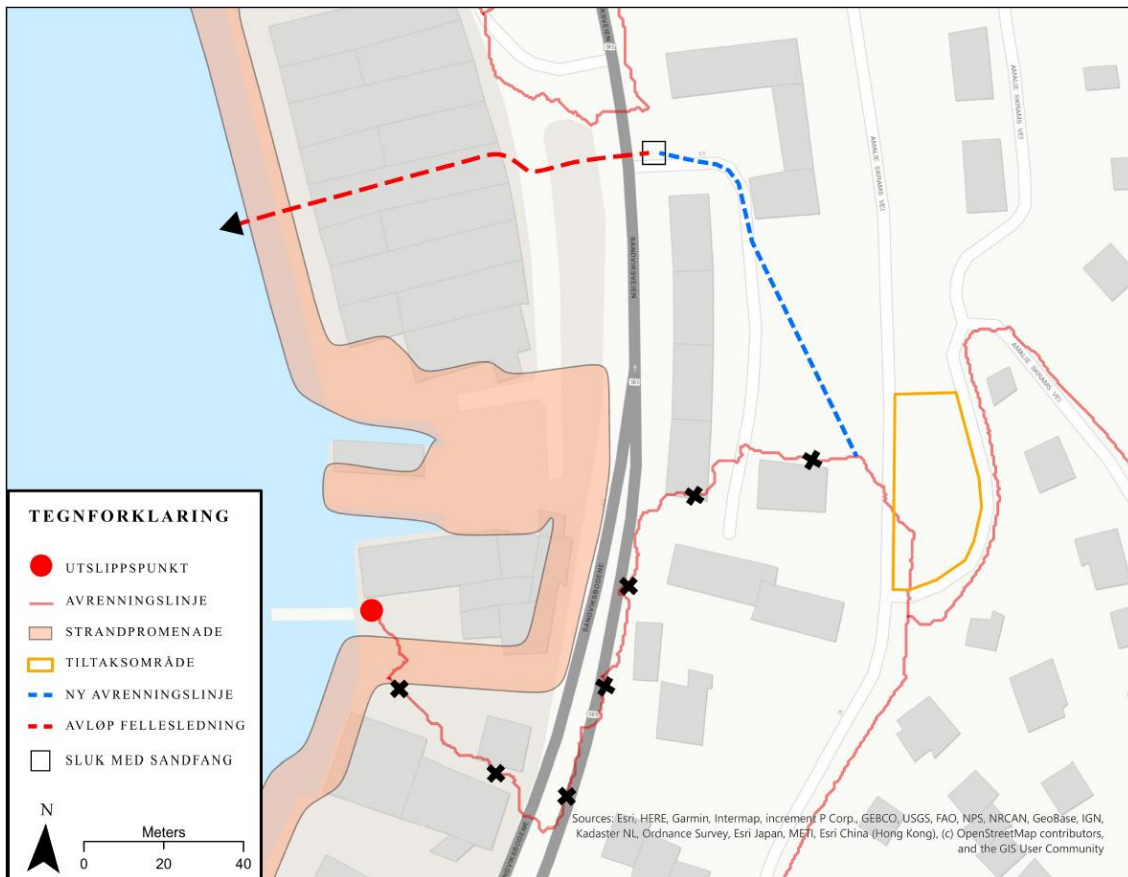
For å redusere avrenningen fra nedbørsfelt 5 inn i nedbørsfelt 6 er det tiltenkt et tiltaksområde i Amalie Skrams vei, se figur 38. Området tilhører eiendom med gnr. 168 og bnr. 2, hvor Bergen kommune er hjemmelshaver (Kartverket, u.å.). I dag er området et grøntareal med enkelte benker. Plasseringen er valgt med bakgrunn i de resterende avrenningslinjene i feltet. Tilgjengelig areal for området er ca. 650 m<sup>2</sup>.

Studentene ønsker å tilby barn i området flere lekearealer og ser på den aktuelle tomten som et ideelt sted å anlegge en flerfunksjonell lekeplass. Dette arealet vil fungere som et fordrøyningsmagasin ved større nedbørsmengder, som vist på figur 37. Lekeplassen skal bygges med fall mot en av sidene, hvor det plasseres et utløp i laveste punkt. På denne måten vil vannmengden ut av magasinet være lav og kontrollert. Utløpet kobles på eksisterende kommunal avløp fellesledning i Amalie Skrams vei. Lekeplassen blir senket 1 meter ned i terrenget, og kan dermed holde ca. 650 m<sup>3</sup> vann. Området kan utformes som en liten klatrepark, inspirert fra Gladsaxe sportspark i København (HOFOR A/S og CALL Copenhagen, 2020).



Figur 37: Flerfunksjonell klatrepark. Kilde: (HOFOR A/S og CALL Copenhagen, 2020)





Figur 38: Ytterlige tiltak i nedbørsfelt 5.

## 9.6 Nedbørsfelt 6

Nedbørsfelt 6 er det nordligste nedbørsfeltet i planområdet og strekker seg fra Sandviksfløyen til Gjensidigegården, som vist på figur 39. Feltet bærer preg av bratt terreng og en høy andel av skog. Utslippspunktet er ved Sandviksbodene 69.

Bratt terreng vil øke vannføringen, men den høye andelen av skog vil redusere avrenning. En samlet vurdering av disse faktorene etter beregning med den rasjonelle formelen, resulterer i en vannføring på 4,32 m<sup>3</sup>/s. I feltet er det flere ledninger nær utslippspunktet som gir en samlet kapasitet på 2,77 m<sup>3</sup>/s, og vil bidra til å redusere avrenningen.

Nedbørsfelt 6	
Areal	26,9 hektar
Vekting natur	65 %
Vekting tette flater	35 %
Høydeforskjell	360 meter
Lengde	686 meter
Karakteristikk	Bratt terreng og mye skog
Ledningskapasitet	2,77 m <sup>3</sup> /s
<b>Vannføring</b>	<b>4,32 m<sup>3</sup>/s</b>

Tabell 8: Oversikt over nedbørsfelt 6.





Figur 39: Utsnitt over nedbørsfelt 6, med utslippspunkt markert med rødt punkt.

### 9.6.1 Tiltak i nedbørsfelt 6

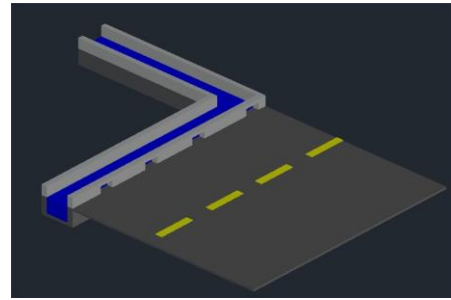
Utslippspunktet i nedbørsfelt 6 er ved Sandviksbodene 69. Sandviksbodene er registrert som kulturminner, og dette må bli tatt hensyn til under utforming av strandpromenade og tilhørende overvannstiltak (Kulturminnesøk, u.å.). Hovedavrenningslinjen fra feltet går ned i krysset ved Gjensidigegården og videre bortover Sandviksveien til utslippspunktet.

I Sandviksveien er det laget en opphøyet kantstein som fungerer som et skille mellom bilveien og fortauet, se figur 40. Denne kantsteinen er til hinder for overflateavrenningen i nedbørsfeltet, men er nødvendig for trafiksikkerheten. Med dette som bakgrunn må eksisterende kantstein omformes slik at overvannet kan håndteres. Dette kan gjøres ved å bruke kantsteinen som en overvannskanal, og forlenge denne ut i sjøen. Eksempel på tenkt løsning er vist på figur 41.



Figur 40: Opphøyet kantstein i Sandviksveien.

Langs kantsteinen må det anlegges innløp for å drenere overvannet i Sandviksveien. Disse innløpene vil ha en tilbakeslagsventil som gjør at overvannet vil renne i kanalen, og ikke tilbake på veibanen. På toppen av kanalen legges et metallgitter av sikkerhetsmessige hensyn. Det er problemer med fallet langs strekningen. For å unngå motfall, må dybden til kanalen øke hele veien mot sjøen, for å skape tilstrekkelig fall. Sjøfronten er tiltenkt å gå langs fortauet i Sandviksveien, og strandpromenaden vil gå i en bro over kanalen.



Figur 41: Prinsippskisse av overvannskanal.

### 9.6.1.1 Kapasitetsberegning kanal

Størrelsen på kanalen er beregnet med Mannings formel, hvor Mannings tallet er satt til 77. Ved inntaket til kanalen er bredden lik 0,4 meter og dybden lik 0,2 meter. Da vil kapasiteten være 0,20 m<sup>3</sup>/s. Deretter vil dybden til kanalen øke lineært til maksimaldybde 1,2 meter. Her vil kapasiteten være 2,18 m<sup>3</sup>/s. Inntakene langs kanalen, i tillegg til permeabelt dekke vil bidra til drenering av veibanen og strandpromenaden.



Figur 42: Tiltak i nedbørsfelt 6.

Basert på tilsendt data fra Bergen kommune og befaringer i området, er det tydelig at mye av avrenningen fra feltet vil gå i eksisterende ledningsnett, se figur 42. Ettersom kapasiteten til ledningsnettet er god nær utslippspunktet, vil overvannkanalen og permeabelt dekke være tilstrekkelige tiltak.

## 10. Konklusjon

Denne bacheloroppgaven skal svare på hvilke overvannstiltak som sikrer trygge flomveier ved etablering av strandpromenade langs sjøfronten i Bergen. Planområdet er fra Skutevikstorget til Gjensidigegården i Sandviken, og har seks nedbørsfelt med avrenningslinjer til sjøen. Oppgaven har blitt løst nedbørsfeltvis, der det har vært fokus på å plassere tiltakene nært utslippspunkt langs avrenningslinjene. I problemstillingen står det at tiltakene for overvannshåndtering skal bidra til å tilgjengeliggjøre byrommene langs promenaden. Sandviken er utformet på en slik måte at det er arealkrevende å utnytte overvannet som ressurs langs sjøfronten. Dette medfører at i noen av feltene har det kun vært fokus på trygge flomveier, mens i andre områder løses problemstillingen godt.

Skutevikstorget har utfordringer med overvannshåndtering fordi veibanen har takfall mot bebyggelsen. Ved store nedbørshendelser vil vannet samle seg på parkeringsplassen på Skutevikstorget. Tiltakene som er beskrevet i kapittel 9.2.1 vil fjerne demningseffekten fra parkeringsplassen. I tillegg vil tiltaket i Bøkkergaten fordrøye avrenningen, og det permeable dekke infiltrerer overvannet som samler seg på Skutevikstorget. Dette vil bidra til at strandpromenaden kan utformes ved Skuteviksbryggen, uten at overvannet vil være til hinder.

Avrenningslinjene fra nedbørsfelt 2 og 3 er tett inntil hverandre i Sandviksveien ved Sandviken brannstasjon. Det er derfor mest hensiktsmessig å samle avrenningslinjene i en delvis åpen kanal med utløp til sjøen. Tiltaket, beskrevet i kapittel 9.3.3, fungerer som en trygg flomvei, i tillegg til å bidra positivt til rekreasjon langs sjøfronten.

Nedbørsfelt 4 er et av de minste feltene i planområdet, og det vil være utfordrende å sikre trygge flomveier siden terrenget på Sandvikstorget er flatt. Ettersom vannføringen i feltet er lav, rettes tiltakene mot fordrøyning. Utenfor Sandviken menighetshus skal det anlegges et regnbed, i tillegg til at Sandvikstorget ombygges med permeabelt dekke.

Kristiansholm skal transformeres til et friområde med badeplass og andre fritidsrettede aktiviteter. Nærheten til vann er med på å fremme lek og trivsel, og det sees derfor på muligheten til å lede avrenning fra nedbørsfelt 5 ut på Kristiansholm. Store deler av avrenningen fra nedbørsfelt 5 blir fanget opp ved Uren. Overvannet ledes i en lukket kanal under Sandviksveien, med utløp i elv på Kristiansholm. Tiltaket vil gjøre byrom tilgjengelige langs sjøfronten og fungerer som en flomvei. Den resterende avrenningen fra feltet fordrøyes ved bruk av en flerfunksjonell lekeplass i Amalie Skrams vei. Tiltaket vil sørge for kontrollert vannføring til eksisterende ledningsnett med utslipp i sjø ved Gjensidigegården.

Avrenningslinjene fra nedbørsfelt 6 samles ved Gjensidigegården, hvor det er god ledningskapasitet. Avrenningen fra feltet blir hindret av en opphøyd kantstein nær utslippspunktet i Sandviksveien, og det blir en ansamling av vann i veibanen. For å løse dette skal kantsteinen omformes til en delvis åpen kanal. Dette bidrar positivt til overvannshåndteringen under store nedbørshendelser og skaper rekreasjonsområder ved sjøfronten.

I sjøfrontstrategien skal det etableres en sammenhengende strandpromenade fra Laksevåg til Nyhavn, en strekning på 20 kilometer. Basert på erfaringer fra denne bacheloroppgaven anbefales det at videre arbeid med sjøfronten bør kontrolleres nedbørsfeltvis. Når en planlegger utformingen av strandpromenaden er det intuitivt å tenke at den bør anlegges høyere i terrenget på grunn av havnivåstigning. I noen tilfeller bør det vurderes om eksisterende terreng kan justeres ned siden terreng høyden kan bryte avrenningslinjer som kan medføre uønskede hendelser.

## 11. Referanser

Asak Miljøstein, (2020) *Permeable dekker*.

Tilgjengelig fra: <https://www.asak.no/Offentlig-uterom/Permeable-dekker>  
[Hentet 09. mai 2020].

Asak Miljøstein, (u.å.) *Permeable dekker - overvannshåndtering i urbane områder*. Sjetten: Asak Miljøstein.

Basal AS, (u.å.) *Teknisk informasjon, Brukerveiledning Håndtering Overvann*.

Tilgjengelig fra: <https://www.basal.no/Teknisk-informasjon> [Hentet 05. mai 2020].

Bergen kommune, (2019 a) *Strategi for sjøfronten i Bergen sentrale deler*, Bergen: Bergen kommune.

Bergen kommune, (2019 b) *Kommuneplanens arealdel 2018*, Bergen: Bergen kommune.

Bergen kommune, (2019 c) *Kommunedelplan for overvann 2019-2029*, Bergen: Bergen kommune.

Byggfakta DOCU, (2014) *Nesttun utsatt ved 200-års flom*.

Tilgjengelig fra: <https://www.byggfakta.no/nesttun-utsatt-ved-200-ars-flom-64151/nyhet.html> [Hentet 07. april 2020].

Digitaliseringsdirektoratet, (2020) *Åpen overvannshåndtering, overvann utnyttes som ressurs*.

Tilgjengelig fra: <https://kriterieveiviseren.difi.no/nb/content/nb-åpen-overvannshandtering-overvann-utnyttes-som-ressurs> [Hentet 07. mai 2020].

Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, (2016) *Havnivåstigning og stormflo*, Tønsberg: Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap.

Gjerstad, J., (1988) *I ettertanke gjennom Fjellveien - historien forteller*. 1. utg. Bergen: Alma Mater - Forlag.

HAIEX Plastrør AS, (u.å.) *Overvannsrenner*.

Tilgjengelig fra: <http://www.haix.no/index.php?id=889> [Hentet 09. mai 2020].

HOFOR A/S og CALL Copenhagen, (2020) *Gladsaxe Sports Park - Dual Function Climate Adaptation Solutions*.

Tilgjengelig fra: <https://www.callcopenhagen.dk/en/gladsaxe-sports-park/>

[Hentet 04. mai 2020].

Kartverket, (u.å.) *Finn informasjon om eiendom*.

Tilgjengelig fra: <https://seeiendom.kartverket.no/> [Hentet 08. mai 2020].

Kartverket, (u.å.) *Høydedata*.

Tilgjengelig fra: <https://hoydedata.no/LaserInnsyn/> [Hentet 23. april 2020].

Kulturminneloven. *Lov 9. juni 1978 nr. 50 om kulturminner*.

Kulturminnesøk, (u.å.) *kulturminnesok.no*.

Tilgjengelig fra:

<https://kulturminnesok.no/search?lat=60.40099739967637&lng=5.323102052314139&north=60.403432517186886&west=5.313311627878496&south=60.3985620999616&east=5.332892476749783> [Hentet 21. april 2020].

Marcus spesialsamlingene ved Universitetsbiblioteket i Bergen (u.å.)

*Flomskader i Sandviken, Mon Plaisir*

Tilgjengelig fra: <http://marcus.uib.no/instance/photograph/ubb-kk-n-418-047.html>

[Hentet: 15.mars 2020]

Marcus spesialsamlingene ved Universitetsbiblioteket i Bergen (u.å.)

*Flomskader i Sandviken, Ekrebakken*

Tilgjengelig fra: <http://marcus.uib.no/instance/photograph/ubb-kk-n-418-054.html>

[Hentet: 15.mars 2020]

Meteorologisk institutt, (2019) *Her regner det 200 dager i året*.

Tilgjengelig fra: <https://www.yr.no/artikkel/her-regner-det-200-dager-i-aret-1.14485816>

[Hentet 13. februar 2020].

Meteorologisk institutt (u.å.) *eKlima*.

Tilgjengelig fra:

[http://sharki.oslo.dnmi.no/portal/page?\\_pageid=73,39035,73\\_39049&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL](http://sharki.oslo.dnmi.no/portal/page?_pageid=73,39035,73_39049&_dad=portal&_schema=PORTAL) [Hentet: 15. mai 2020]

Meteorologisk institutt, (u.å.). *Det blir våtere.*

Tilgjengelig fra: <https://www.met.no/vaer-og-klima/det-blir-vatere> [Hentet 16. mars 2020].

Miljødirektoratet, (2014) *Metoder for beregning av klimafaktorer for fremtidig nedbørintensitet*, Oslo: COWI.

Norges tekniske-naturvitenskapelige universitet, (2005) *Ras mot boliger ved Hatlestad Terrasse, Bergen. Vurdering av rapporter fra Multiconsult AS*. Trondheim: NTNU.

Norsk Klimaservicesenter, (2017) *Klimaprofil Hordaland - Eit kompetansegrunnlag for klimatilpassing*. Norsk Klimaservicesenter.

Norsk Vann, (2008) *Rapport 162 - Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering*, Hamar: Norsk Vann.

Norsk Vann, (2014) *Vann- og avløpsteknikk. 2. utg.* Hamar: Norsk Vann.

*NOU 2015:16 Overvann i byer og tettsteder som problem og ressurs*

Oslo kommune, Vann- og avløpsetaten, (2016 a) *Blågrønne overvannsløsninger, flerfunksjonelle lekeområder (versjon 1.0)*, Oslo: Oslo kommune.

Oslo kommune, Vann- og avløpsetaten, (2016 b) *Blågrønne overvannsløsninger, Regnbed for lokal flomdemping*. Oslo: Oslo kommune

Sintef, (2018) *Permeable dekker med belegningsstein i betong håndterer overvann*.

Tilgjengelig fra: <https://www.sintef.no/community/fagblogg/poster/permeable-dekker-med-belegningsstein-i-betong-handterer-overvann/> [Hentet 01. mai 2020].

Statens Vegvesen, 2014. *Vegbygging – Håndbok N200*. Oslo: Vegdirektoratet.

Teknisk ukeblad, (2019) *Mer uforutsigbar nedbør gir ras på nye steder: - Å være kjentmann holder ikke lenger*.

Tilgjengelig fra: <https://www.tu.no/artikler/mer-uforutsigbar-nedbor-gir-ras-pa-nye-steder-a-vaere-kjentmann-holder-ikke-lenger/470655> [Hentet 3. mars 2020].

## 12. Vedlegg

### 12.1 Vedlegg 1: Formler

Formler	
Konsentrasjonstid urbant område	$t_c = 0,02 * L^{1,15} * H^{-0,39}$
Konsentrasjonstid naturlig område	$t_c = 0,6 * L * H^{-0,5}$
Midlere konsentrasjonstid	$t_{c\ midl} = t_{c\ natur} * V_1 + t_{c\ urban} * V_2$
Midlere avrenningsfaktor	$\Phi_{midl} = \frac{A * V_1 * \Phi_{fjell} + A * V_2 * \Phi_{tette\ flater}}{A}$
Rasjonell formel	$Q = A * \Phi * I * K_f$

### 12.2 Vedlegg 2: Beregninger av vannføring i nedbørsfelt 1.

Nedbørsfelt 1												
Merknad	A [ha]	L [m]	H [m]	$t_{c\ natur}$ [min]	$t_{c\ urban}$ [min]	$t_{c\ midl}$ [min]	I [l/s*ha]	$K_f$	$\Phi_{fjell}$	$\Phi_{tette\ flater}$	$\Phi_{midl}$	Q [m <sup>3</sup> /s]
$\Phi_{midlere\ 0,70}$	28,1	1245	386	38,02	7,11	19,47	159,3	1,4	0,40	0,90	0,70	4,38
$\Phi_{midlere\ 0,71}$	28,1	1245	386	38,02	7,11	19,47	159,3	1,4	0,42	0,91	0,71	4,47
$\Phi_{midlere\ 0,73}$	28,1	1245	386	38,02	7,11	19,47	159,3	1,4	0,44	0,92	0,73	4,55
$\Phi_{midlere\ 0,74}$	28,1	1245	386	38,02	7,11	19,47	159,3	1,4	0,46	0,93	0,74	4,64
$\Phi_{midlere\ 0,76}$	28,1	1245	386	38,02	7,11	19,47	159,3	1,4	0,48	0,94	0,76	4,73
$\Phi_{midlere\ 0,77}$	28,1	1245	386	38,02	7,11	19,47	159,3	1,4	0,50	0,95	0,77	4,82
Konsentrasjonstid 15 min	28,1	1245	386	38,02	7,11	15,00	189,5	1,4	0,40	0,90	0,70	5,21
Konsentrasjonstid 17 min	28,1	1245	386	38,02	7,11	17,00	176,0	1,4	0,40	0,90	0,70	4,84
Konsentrasjonstid 20 min	28,1	1245	386	38,02	7,11	20,00	155,7	1,4	0,40	0,90	0,70	4,28
Konsentrasjonstid 22 min	28,1	1245	386	38,02	7,11	22,00	149,1	1,4	0,40	0,90	0,70	4,10
Konsentrasjonstid 25 min	28,1	1245	386	38,02	7,11	25,00	139,2	1,4	0,40	0,90	0,70	3,83

Vektfaktor fjell ( $V_1$ )	0,4
Vektfaktor tette flater ( $V_2$ )	0,6

Antatt vannføring 4,73 m<sup>3</sup>/s

Gjentaksintervall	1 min	2 min	3 min	5 min	10 min	15 min	20 min	30 min	45 min	60 min	90 min	120 min
100 års periode	1145,4	732,4	533,9	379,1	242,6	189,5	155,7	122,6	98	76,3	56,8	55,4



## 12.3 Vedlegg 3: Beregninger av vannføring i nedbørsfelt 2.

Nedbørsfelt 2												
Merknad	A [ha]	L [m]	H [m]	t <sub>c</sub> natur [min]	t <sub>c</sub> urban [min]	t <sub>c</sub> midl [min]	I [l/s*ha]	K <sub>f</sub>	Φ <sub>fjell</sub>	Φ <sub>tette flater</sub>	Φ <sub>midlere</sub>	Q [m <sup>3</sup> /s]
Φ <sub>midlere</sub> 0,45	219	2400	530	62,55	13,36	57,63	79,7	1,4	0,40	0,90	0,45	11,00
Φ <sub>midlere</sub> 0,47	219	2400	530	62,55	13,36	57,63	79,7	1,4	0,42	0,91	0,47	11,46
Φ <sub>midlere</sub> 0,49	219	2400	530	62,55	13,36	57,63	79,7	1,4	0,44	0,92	0,49	11,93
Φ <sub>midlere</sub> 0,51	219	2400	530	62,55	13,36	57,63	79,7	1,4	0,46	0,93	0,51	12,39
Φ <sub>midlere</sub> 0,53	219	2400	530	62,55	13,36	57,63	79,7	1,4	0,48	0,94	0,53	12,86
Φ <sub>midlere</sub> 0,53	219	2400	530	62,55	13,36	57,63	79,7	1,4	0,50	0,95	0,55	13,32
Konsentrasjonstid 52 min	219	2400	530	62,55	13,36	52,00	87,9	1,4	0,40	0,90	0,45	12,12
Konsentrasjonstid 55 min	219	2400	530	62,55	13,36	55,00	83,5	1,4	0,40	0,90	0,45	11,53
Konsentrasjonstid 57 min	219	2400	530	62,55	13,36	57,00	80,6	1,4	0,40	0,90	0,45	11,13
Konsentrasjonstid 60 min	219	2400	530	62,55	13,36	60,00	76,3	1,4	0,40	0,90	0,45	10,53
Konsentrasjonstid 63 min	219	2400	530	62,55	13,36	63,00	74,4	1,4	0,40	0,90	0,45	10,26

Vektfaktor fjell (V <sub>1</sub> )	0,9
Vektfaktor tette flater (V <sub>2</sub> )	0,1

Antatt vannføring 10,53 m<sup>3</sup>/s

Gjentaksintervall	1 min	2 min	3 min	5 min	10 min	15 min	20 min	30 min	45 min	60 min	90 min	120 min
100 års periode	1145,4	732,4	533,9	379,1	242,6	189,5	155,7	122,6	98	76,3	56,8	55,4

## 12.4 Vedlegg 4: Beregninger av vannføring i nedbørsfelt 2, urban del.

Nedbørsfelt 2, urban del												
Merknad	A [ha]	L [m]	H [m]	t <sub>c</sub> natur [min]	t <sub>c</sub> urban [min]	t <sub>c</sub> midl [min]	I [l/s*ha]	K <sub>f</sub>	Φ <sub>bykjerne</sub>	Φ <sub>tette flater</sub>	Φ <sub>midlere</sub>	Q [m <sup>3</sup> /s]
Φ <sub>midlere</sub> 0,78	21,9	795	174	36,16	5,79	24,01	135,81	1,4	0,70	0,90	0,78	3,25
Φ <sub>midlere</sub> 0,80	21,9	795	174	36,16	5,79	24,01	135,81	1,4	0,72	0,91	0,80	3,31
Φ <sub>midlere</sub> 0,81	21,9	795	174	36,16	5,79	24,01	135,81	1,4	0,74	0,92	0,81	3,38
Φ <sub>midlere</sub> 0,83	21,9	795	174	36,16	5,79	24,01	135,81	1,4	0,76	0,93	0,83	3,45
Φ <sub>midlere</sub> 0,84	21,9	795	174	36,16	5,79	24,01	135,81	1,4	0,78	0,94	0,84	3,51
Φ <sub>midlere</sub> 0,86	21,9	795	174	36,16	5,79	24,01	135,81	1,4	0,80	0,95	0,86	3,58
Konsentrasjonstid 52 min	21,9	795	174	36,16	5,79	20,00	144,67	1,4	0,70	0,90	0,78	3,46
Konsentrasjonstid 55 min	21,9	795	174	36,16	5,79	22,00	140,25	1,4	0,70	0,90	0,78	3,35
Konsentrasjonstid 57 min	21,9	795	174	36,16	5,79	26,00	131,43	1,4	0,70	0,90	0,78	3,14
Konsentrasjonstid 60 min	21,9	795	174	36,16	5,79	28,00	127,01	1,4	0,70	0,90	0,78	3,04
Konsentrasjonstid 63 min	21,9	795	174	36,16	5,79	30,00	122,60	1,4	0,70	0,90	0,78	2,93

Vektfaktor bykjerne (V <sub>1</sub> )	0,6
Vektfaktor tette flater (V <sub>2</sub> )	0,4

Antatt vannføring 3,29 m<sup>3</sup>/s

Gjentaksintervall	1 min	2 min	3 min	5 min	10 min	15 min	20 min	30 min	45 min	60 min	90 min	120 min
100 års periode	1145,4	732,4	533,9	379,1	242,6	189,5	155,7	122,6	98	76,3	56,8	55,4

## 12.5 Vedlegg 5: Beregninger av vannføring i nedbørsfelt 3.

Nedbørsfelt 3										
Merknad	A [ha]	L [m]	H [m]	t <sub>c</sub> [min]	I [l/s*ha]	K <sub>f</sub>	Φ <sub>bykjerne</sub>	Φ <sub>tette flater</sub>	Φ <sub>midlere</sub>	Q [m <sup>3</sup> /s]
Φ <sub>midlere</sub> 0,76	4,8	385	42	5,00	379,1	1,4	0,70	0,90	0,76	1,94
Φ <sub>midlere</sub> 0,78	4,8	385	42	5,00	379,1	1,4	0,72	0,91	0,78	1,98
Φ <sub>midlere</sub> 0,79	4,8	385	42	5,00	379,1	1,4	0,74	0,92	0,79	2,02
Φ <sub>midlere</sub> 0,81	4,8	385	42	5,00	379,1	1,4	0,76	0,93	0,81	2,07
Φ <sub>midlere</sub> 0,83	4,8	385	42	5,00	379,1	1,4	0,78	0,94	0,83	2,11
Φ <sub>midlere</sub> 0,85	4,8	385	42	5,00	379,1	1,4	0,80	0,95	0,85	2,15
Konsentrasjonstid 7 min	4,8	385	42	7,00	324,5	1,4	0,70	0,90	0,76	1,66
Konsentrasjonstid 8 min	4,8	385	42	8,00	297,2	1,4	0,70	0,90	0,76	1,52
Konsentrasjonstid 10 min	4,8	385	42	10,00	242,6	1,4	0,70	0,90	0,76	1,24
Konsentrasjonstid 12 min	4,8	385	42	12,00	221,4	1,4	0,70	0,90	0,76	1,13
Konsentrasjonstid 15 min	4,8	385	42	15,00	189,5	1,4	0,70	0,90	0,76	0,97

Vektfaktor bykjerne (V <sub>1</sub> )	0,7
Vektfaktor tette flater (V <sub>2</sub> )	0,3

Antatt vannføring	1,94 m <sup>3</sup> /s
-------------------	------------------------

Gjentaksintervall	1 min	2 min	3 min	5 min	10 min	15 min	20 min	30 min	45 min	60 min
100 års periode	1145,4	732,4	533,9	379,1	242,6	189,5	155,7	122,6	98	76,3

## 12.6 Vedlegg 6: Beregninger av vannføring i nedbørsfelt 4.

Nedbørsfelt 4										
Merknad	A [ha]	L [m]	H [m]	t <sub>c</sub> [min]	I [l/s*ha]	K <sub>f</sub>	Φ <sub>bykjerne</sub>	Φ <sub>tette flater</sub>	Φ <sub>midlere</sub>	Q [m <sup>3</sup> /s]
Φ <sub>midlere</sub> 0,82	5,2	308	32,9	5,00	379,10	1,4	0,70	0,90	0,82	2,26
Φ <sub>midlere</sub> 0,83	5,2	308	32,9	5,00	379,10	1,4	0,72	0,91	0,83	2,30
Φ <sub>midlere</sub> 0,85	5,2	308	32,9	5,00	379,10	1,4	0,74	0,92	0,85	2,34
Φ <sub>midlere</sub> 0,86	5,2	308	32,9	5,00	379,10	1,4	0,76	0,93	0,86	2,37
Φ <sub>midlere</sub> 0,88	5,2	308	32,9	5,00	379,10	1,4	0,78	0,94	0,88	2,41
Φ <sub>midlere</sub> 0,89	5,2	308	32,9	5,00	379,10	1,4	0,80	0,95	0,89	2,45
Konsentrasjonstid 6 min	5,2	308	32,9	6,00	351,80	1,4	0,70	0,90	0,82	2,10
Konsentrasjonstid 8 min	5,2	308	32,9	8,00	297,20	1,4	0,70	0,90	0,82	1,77
Konsentrasjonstid 10 min	5,2	308	32,9	10,00	242,60	1,4	0,70	0,90	0,82	1,45
Konsentrasjonstid 12 min	5,2	308	32,9	12,00	221,36	1,4	0,70	0,90	0,82	1,32
Konsentrasjonstid 14 min	5,2	308	32,9	14,00	200,12	1,4	0,70	0,90	0,82	1,19

Vektfaktor bykjerne (V <sub>1</sub> )	0,4
Vektfaktor tette flater (V <sub>2</sub> )	0,6

Antatt vannføring	2,10 m <sup>3</sup> /s
-------------------	------------------------

Gjentaksintervall	1 min	2 min	3 min	5 min	10 min	15 min	20 min	30 min	45 min	60 min
100 års periode	1145,4	732,4	533,9	379,1	242,6	189,5	155,7	122,6	98	76,3

## 12.7 Vedlegg 7: Beregninger av vannføring i nedbørsfelt 5.

Nedbørsfelt 5												
Merknad	A [ha]	L [m]	H [m]	t <sub>c</sub> natur [min]	t <sub>c</sub> urban [min]	t <sub>c</sub> midl [min]	I [l/s*ha]	K <sub>f</sub>	Φ <sub>fjell</sub>	Φ <sub>tette flater</sub>	Φ <sub>midlere</sub>	Q [m <sup>3</sup> /s]
Φ <sub>midlere</sub> 0,55	58	1160	375	35,94	6,63	27,15	132,04	1,4	0,40	0,90	0,55	5,90
Φ <sub>midlere</sub> 0,57	58	1160	375	35,94	6,63	27,15	132,04	1,4	0,42	0,91	0,57	6,08
Φ <sub>midlere</sub> 0,58	58	1160	375	35,94	6,63	27,15	132,04	1,4	0,44	0,92	0,58	6,26
Φ <sub>midlere</sub> 0,60	58	1160	375	35,94	6,63	27,15	132,04	1,4	0,46	0,93	0,60	6,44
Φ <sub>midlere</sub> 0,62	58	1160	375	35,94	6,63	27,15	132,04	1,4	0,48	0,94	0,62	6,63
Φ <sub>midlere</sub> 0,64	58	1160	375	35,94	6,63	27,15	132,04	1,4	0,50	0,95	0,64	6,81
Konsentrasjonstid 23 min	58	1160	375	35,94	6,63	23,00	145,77	1,4	0,40	0,90	0,55	6,51
Konsentrasjonstid 25 min	58	1160	375	35,94	6,63	25,00	139,15	1,4	0,40	0,90	0,55	6,21
Konsentrasjonstid 29 min	58	1160	375	35,94	6,63	29,00	125,91	1,4	0,40	0,90	0,55	5,62
Konsentrasjonstid 30 min	58	1160	375	35,94	6,63	30,00	122,60	1,4	0,40	0,90	0,55	5,48
Konsentrasjonstid 32 min	58	1160	375	35,94	6,63	32,00	119,32	1,4	0,40	0,90	0,55	5,33

Vektfaktor fjell (V <sub>1</sub> )	0,7
Vektfaktor tette flater (V <sub>2</sub> )	0,3

Antatt vannføring **5,90 m<sup>3</sup>/s**

Gjentaksintervall	1 min	2 min	3 min	5 min	10 min	15 min	20 min	30 min	45 min	60 min	90 min	120 min
100 års periode	1145,4	732,4	533,9	379,1	242,6	189,5	155,7	122,6	98	76,3	56,8	55,4

## 12.8 Vedlegg 8: Beregninger av vannføring i nedbørsfelt 6.

Nedbørsfelt 6												
Merknad	A [ha]	L [m]	H [m]	t <sub>c</sub> natur [min]	t <sub>c</sub> urban [min]	t <sub>c</sub> midl [min]	I [l/s*ha]	K <sub>f</sub>	Φ <sub>fjell</sub>	Φ <sub>tette flater</sub>	Φ <sub>midlere</sub>	Q [m <sup>3</sup> /s]
Φ <sub>midlere</sub> 0,67	26,9	686	360	21,69	5,00	15,85	183,75	1,4	0,40	0,90	0,58	3,98
Φ <sub>midlere</sub> 0,68	26,9	686	360	21,69	5,00	15,85	183,75	1,4	0,42	0,91	0,59	4,09
Φ <sub>midlere</sub> 0,70	26,9	686	360	21,69	5,00	15,85	183,75	1,4	0,44	0,92	0,61	4,21
Φ <sub>midlere</sub> 0,72	26,9	686	360	21,69	5,00	15,85	183,75	1,4	0,46	0,93	0,62	4,32
Φ <sub>midlere</sub> 0,74	26,9	686	360	21,69	5,00	15,85	183,75	1,4	0,48	0,94	0,64	4,44
Φ <sub>midlere</sub> 0,75	26,9	686	360	21,69	5,00	15,85	183,75	1,4	0,50	0,95	0,66	4,55
Konsentrasjonstid 10 min	26,9	686	360	21,69	5,00	10,00	242,60	1,4	0,40	0,90	0,58	5,25
Konsentrasjonstid 13 min	26,9	686	360	21,69	5,00	13,00	210,74	1,4	0,40	0,90	0,58	4,56
Konsentrasjonstid 15 min	26,9	686	360	21,69	5,00	15,00	189,50	1,4	0,40	0,90	0,58	4,10
Konsentrasjonstid 17 min	26,9	686	360	21,69	5,00	17,00	175,98	1,4	0,40	0,90	0,58	3,81
Konsentrasjonstid 20 min	26,9	686	360	21,69	5,00	20,00	155,70	1,4	0,40	0,90	0,58	3,37

Vektfaktor fjell (V <sub>1</sub> )	0,65
Vektfaktor tette flater (V <sub>2</sub> )	0,35

Antatt vannføring **4,32 m<sup>3</sup>/s**

Gjentaksintervall	1 min	2 min	3 min	5 min	10 min	15 min	20 min	30 min	45 min	60 min	90 min	120 min
100 års periode	1145,4	732,4	533,9	379,1	242,6	189,5	155,7	122,6	98	76,3	56,8	55,4

## 12.9 Vedlegg 9: Beregninger av ledningskapasitet i nedbørsfeltene.

Darcy-Weisbachs formel: 
$$Q = \sqrt{\frac{l * g * D^5 * \pi^2}{f * 8}}$$

Nedbørsfelt	Dimensjon [m]	Lengde [m]	Z <sub>0</sub> [m]	Z [m]	I fall [m/m]	Ruhet [mm]	Relativ ruhet	F	π <sup>2</sup>	G	Q [m <sup>3</sup> /s]
1	0,375	32,52	0,34	-0,54	0,027	1	0,027	0,027	9,87	9,81	0,30
1	1,300	19,45	0,19	-0,54	0,038	1	0,008	0,035	9,87	9,81	6,94
1	0,800	19,88	0,29	-0,54	0,042	1	0,013	0,042	9,87	9,81	1,99
<b>SUM</b>											<b>9,23</b>
2	0,525	31,83	1,19	0,85	0,011	1	0,019	0,049	9,87	9,81	0,32
2	2,500	623,68	99,48	0	0,160	1	0,004	0,029	9,87	9,81	80,63
<b>SUM</b>											<b>80,95</b>
3	0,300	6,41	1,1	0,7	0,062	1	0,033	0,062	9,87	9,81	0,17
<b>SUM</b>											<b>0,17</b>
4	0,600	19,75	-0,93	-1,35	0,021	1	0,017	0,047	9,87	9,81	0,65
<b>SUM</b>											<b>0,65</b>
5	0,600	57,28	0,59	0,52	0,001	1	0,017	0,047	9,87	9,81	0,16
<b>SUM</b>											<b>0,16</b>
6	0,600	6,68	0,22	0,04	0,027	1	0,017	0,034	9,87	9,81	0,86
6	0,800	19,31	0,3	0,07	0,012	1	0,013	0,040	9,87	9,81	1,09
6	0,600	7,01	0,12	0,07	0,007	1	0,017	0,045	9,87	9,81	0,39
6	0,400	57,23	-0,11	-0,5	0,007	1	0,025	0,052	9,87	9,81	0,13
6	0,650	4,3	0,03	-0,1	0,030	1	0,015	0,45	9,87	9,81	0,31
<b>SUM</b>											<b>2,77</b>