



Høgskulen
på Vestlandet

BACHELOROPPGAVE

Overvannshåndtering på «Prærien»

Stormwater management on «Prærien»

Renate Knutsen

Øystein Nipen Egeland

BYG 150 Bacheloroppgave- bygg

Institutt for byggfag, Fakultet for ingeniør- og naturvitenskap

Veileder HVL: Leiv Petter Mjøs

Veileder Norconsult Steinkjer: Bjørn Jarle Risholt

Dato: 25. mai 2020

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 avslutning på det treårige studieprogrammet byggingeniør ved Høgskolen på Vestlandet, avdeling Bergen.

Oppgaven er skrevet våren 2020 av Renate Knutsen og Øystein Nipen Egeland, som begge går studieretning prosjekt- og byggeledelse med profil plan, miljø og infrastruktur.

Med et ønske om å fordype oss i vann- og avløpsfaget og da spesielt opp mot bærekraftig overvannshåndtering. Norconsult AS i Steinkjer ble forespurt om hjelp til oppgave. I samarbeid med Norconsult og Verdal kommune ble det dannet grunnlag for en oppgave som ser nærmere på overvannshåndtering på et sentrumsnært boligområde som for de lokale går under navnet «Prærien».

Denne oppgaven har åpnet muligheten til fordypning i VA- faget og innsikt i prosjekteringsarbeid. Prosessen gjennom arbeidet med oppgaven har gitt oss bredere forståelse for det faglige vi har lært på høgskolen og forståelse for samfunnsplanlegging.


Planen for arbeidet med oppgaven ble annerledes etter Norge ble rammet av Covid-19. Det bidro til utfordringer med samarbeid og veiledning. I tillegg ble ytterligere befaringer på området og bedriftsbesøk for å se på mulige løsninger umuliggjort. Gruppen og veiledere var tilpassingsdyktig og tok i bruk digitale hjelpemidler for samarbeid og veiledning.

Vi ønsker å rette stor takk til Norconsult Steinkjer og veileder Bjørn Jarle Risholt for god faglig veiledning gjennom hele arbeidsprosessen. Vi ønsker også å takke intern veileder Leiv Petter Mjøs for gode tilbakemeldinger og faglige råd.

Bergen, mai 2020



Renate Knutsen



Øystein Nipen Egeland

II. Sammendrag

Måten overvann håndteres er avgjørende for å lykkes med å ivareta sikkerhet mot skade på helse, miljø og infrastruktur, samt ivareta overvannet som en ressurs. Tradisjonell overvannshåndtering har vært å lede overvannet bort i lukkede rørsystem, men denne metoden er lite bærekraftig.

Klimaendringer som gir økt nedbør er utfordrende for aldrende infrastruktur, og gir økt behov for god planlegging og prosjektering av fremtidige løsninger som er trygge og bærekraftige.

Prosjektoppgaven er gitt av Norconsult i Steinkjer, og omhandler muligheter og måter for å håndtere overvannet på i et område i Verdal kommune. Kommunen har en langsiktig plan for å oppgradere VA- ledningsnett og prosjektområdet i denne oppgaven er det siste som gjenstår. Omfanget av oppgaven er overvannshåndteringen og etablering av bærekraftige løsninger som bidrar til lavere risiko for flomskader, men på samme tid sikrer naturlig infiltrasjon, vannbalanse og biologisk mangfold.

Fremlegging av alternativer til overvannshåndtering er basert på VA- teori og faglige vurderinger basert på områdets muligheter. Avgjørende faktorer for valgte løsninger har vært å vektlegge lokal infiltrasjon og fordrøyning som ledd i en fremtidsrettet og bærekraftig håndtering av overvannet. Det er ønskelig med en løsning som har lang levetid, god funksjonalitet, kvalitet og som sikrer mennesker- og materielle- verdier.

Løsningene som er beskrevet i oppgaven skal tilfredsstillende aktuelle lover, forskrifter, normer og blader. Vurderinger og valg av løsninger er basert på faglig informasjon og gruppens subjektive anbefaling.

III. Abstract

The handling of stormwater is crucial to maintain safety against infrastructure damage, and risks to environment and health, while still retaining the stormwater as a resource.

Traditionally the stormwater has been led away in closed piping systems, but this method is not sustainable.

Climate changes which increase rainfall can be a challenge for aging infrastructure and increase the need for better planning and engineering for future solutions, so they are safe and sustainable.

The engineering assignment given by Norconsult in Steinkjer entails finding methods to handle the stormwater in an area in the Verdal municipality. The municipality has created a long-term plan to upgrade the piping system, and the project site in this assignment is the last remaining. The scope of the assignment is the handling of stormwater, and the establishment of sustainable methods to contribute to a lower risk of flood. Simultaneously, securing natural infiltration, water balance, and biological diversity.

The presentation of alternatives of the stormwater handling bases on water supply and sewage theory, and professional assessment of the area's opportunities. Crucial factors for the chosen solutions have been to emphasize local infiltration and attenuation as a link in forward-looking and sustainable handling of stormwater. It is desirable to find a solution that has a long lifetime, good functionality, quality, and secures human- and material-assets.

The solutions described in the assignment is meant to satisfy current laws, regulations, norms, and standards. Assessments and choices of solutions are based on professional information and the group's subjective recommendation.

IV. Innhold

I.	Forord	ii
II.	Sammendrag	iii
III.	Abstract	iv
IV.	Innhold	v
V.	Figurer	vii
VI.	Tabeller.....	viii
VII.	Begrepsliste	ix
1	Innledning.....	1
1.1	Bakgrunn.....	1
1.2	Problemstilling.....	2
1.3	Oppgavens formål	2
2	Metode	4
2.1	Litteratur og datainnsamling	4
2.2	Befaring.....	4
2.2.1	Mål.....	5
2.2.2	Registreringer	5
2.3	Programvare og dataverktøy	7
2.4	Beregninger	7
3	Presentasjon av prosjektområdet	9
3.1	Overvannshåndtering i området og i kommunen generelt.....	10
4	Teori.....	12
4.1	Tre-ledds-strategi	12
4.2	Rasjonell metode	12
4.3	Ulike LOD-tiltak.....	17
4.3.1	Grønne tak.....	17
4.3.2	Regntønner.....	19
4.3.3	Regnbed.....	19
4.3.4	Infiltrasjonsarealer	20
4.3.5	Dammer.....	21
4.3.6	Lukkede magasin	22

4.3.7	Trygge flomveier.....	23
4.4	Utleggings- og gravemetoder	24
4.4.1	Konvensjonell graving	24
4.4.2	NoDig metoder	24
4.5	Ledningsmaterialer	26
5	Drøfting.....	28
5.1	0-alternativet	28
5.2	Alternativ 2 – Separere	29
5.2.1	Fremtidig avrenning	29
5.2.2	Eksisterende kapasitet	34
5.2.3	Vurdering.....	38
5.3	Alternativ 3 – separere og fordrøye	38
5.3.1	Mulig fordrøyning i området.....	38
5.3.2	Aktuelle tiltak	41
5.3.3	Vurdering.....	42
5.4	Alternativ 4 – nytt overvannsystem	43
5.4.1	Dimensjonering av overvannsledning.....	43
5.4.2	Valg av rørtrasé	43
5.4.3	Vurdering.....	45
5.5	Alternativ 5 – nytt overvannsystem og lokal fordrøyning.....	46
5.5.1	LOD tiltak og mulighet for lokal fordrøyning.....	46
5.5.2	Overvannsledning.....	48
5.5.3	Vurdering.....	49
6	Vurdering av alternativer og anbefaling.....	51
7	Konklusjon	53
	Litteraturliste.....	54
	Vedlegg 1 - Geotekniskrapport fra Norconsult	
	Vedlegg 2 - Beregninger av ledningenes kapasitet	
	Vedlegg 3 - Beregning av fordrøyningsvolum	

V. Figurer

Figur 1: Oversiktsbilde over prosjektområdet, Kilde:	1
Figur 2: Eneboliger nord-vest i området	5
Figur 3: Gressflate nord i området	6
Figur 4: Taknedløp fra enebolig ned i bakken	6
Figur 5: Bekken, Kvisla	6
Figur 6: Verdalselva	7
Figur 7: Utklipp fra Wavins beregningsprogram etter endt beregning, kilde: wavin.dk	8
Figur 8: Området i 1950, 1966 og 2004, kilde: kommunekart.no	9
Figur 9: Prosjektområdets avgrensning, kilde: kommunekart.no	9
Figur 10: Kvartærgeologisk kart, kilde: geo.ngu.no	10
Figur 11: Enkelt oversiktsbilde over overvannsledningene rundt "Prærien", Kilde: kommunekart.no	11
Figur 12: Norsk Vanns tre-ledds-strategi, kilde: Norsk Vann Rapport 162/2008	12
Figur 13: Diagram for beregning av tilrenningstid for avrenning på overflaten, kilde: Trondheim kommunes VA-norm	14
Figur 14: Illustrasjon av ekstensive tak (til venstre) og intensive tak (til høyre)	18
Figur 15: Oppmåling av området, kilde: kommunekart.com	30
Figur 16: Bruk av diagram for å finne tilrenningstid på overflaten	32
Figur 17: IVF-kurve hentet fra Trondheim kommunes VA-norm	33
Figur 18: Ledningsnett for 500mm betongledning	35
Figur 19: Første forgreiningspunkt	35
Figur 20: Forgreiningspunkt mot skolen	36
Figur 21: Ledningsnett for 600mm betongledning	36
Figur 22: Ledningsnett for 315mm PPP-ledning ved rådhuset	37
Figur 23: Nødvendig fordrøyningsvolum	40
Figur 24: Oversikt og lengde av mulige traséer, kilde: kommunekart.no	44
Figur 25: Eneboliger med skrå tak. Kilde: Google street view	46
Figur 26 Bygninger egnet for grønne tak. Kilde: Google street view	47
Figur 27 Mulighet for LOD- tiltak i Fridheimsgate. Kilde Google street view	47
Figur 28 Lekeplassen mellom Fridheims gate og Prof Ryghs gate. Kilde: Google street view ..	48
Figur 30: Strekk for åpen kanal. Kilde: kommunekart.com	49
Figur 31: Terrengprofil strekk for åpen kanal. Kilde: kommunekart.com	49

VI. Tabeller

Tabell 1: Avrenningskoeffisienter, kilde: Trondheim kommunes VA-norm.....	13
Tabell 2: Minimum gjentakintervall som skal benyttes for regnskyllhyppighet, kilde: Trondheim kommunes VA-norm.....	15
Tabell 3: Klimafaktorer som skal benyttes for Trondheim som funksjon av varighet og gjentakintervall på nedbør, kilde: Trondheim kommunes VA-norm	15
Tabell 4: Fordeler og ulemper ved grønne tak.....	19
Tabell 5: Fordeler og ulemper ved regntønner	19
Tabell 6: Fordeler og ulemper ved regnbed.....	20
Tabell 7: Fordeler og ulemper ved infiltrasjonsarealer	21
Tabell 8: Fordeler og ulemper ved åpne dammer	22
Tabell 9: Fordeler og ulemper ved lukkede magasiner.....	23
Tabell 10: Fordeler og ulemper ved konvensjonell graving.....	24
Tabell 11: Fordeler og ulemper ved NoDig metoder	26
Tabell 12: Fordeler og ulemper med betongrør	26
Tabell 13: Fordeler og ulemper med PVC-U rør.....	27
Tabell 14: Fordeler og ulemper med PP-rør.....	27
Tabell 15: Sammenligning av nedbørintensitet på "Prærien" og Risvollan i Trondheim	32
Tabell 16: Kapasitet på eksisterende overvannsledninger	34
Tabell 17: Ledig kapasitet i eksisterende ledninger	37
Tabell 18: Oversikt over nødvendig innvendig rørdimensjon for overvannsledning	43
Tabell 19: Fordeler og ulemper ved de ulike alternativene.....	51

VII. Begrepsliste

Begrepsforklaringene er hentet fra læreboken «Vann og avløpsteknikk» (1) og ressursdatabasen hos miljokommune.no (2). Det er en liste over relevante VA-begrep som er brukt i oppgaven. Ytterligere relevante begreper er forklart underveis.

Uttrykk/begrep	Forklaring
Fellessystem	Spillvann og overvann går i samme ledning.
Hydrologisk kretsløp	Hvordan vannet beveger seg før, mens og etter det treffer bakken. Omhandler nedbør, fordamping, evapotranspirasjon, infiltrasjon til grunnen og avrenning på overflaten.
Infiltrasjonsrør	Rør med hull slik at vannet infiltreres ut av røret. Normalt brukes det dreneringsrør som legges med dreneringshullene ned.
IVF-kurve	Intensitet – Varighet – Frekvens. Kurve der regnintensiteten fremstilles som funksjon av regnvarighet og -frekvens.
LOD-tiltak	Lokal overvannsdiskonering – håndtering av overvannet lokalt.
Nedstrøms	I samme retning som strømmen, betegnet fra et bestemt punkt
Oppstrøms	Motsatt retning av strømmen, betegnet fra et bestemt punkt
Permeabilitet	Uttrykk for et materiales gjennomtrengelighet. I denne oppgaven brukt om overflatens eller massenes egenskap til å infiltrere vann.
Porevolum	Andelen av massene som er luft eller tomrom
Resipient	Mottaker for overvannavrenningen, ofte bekker, elver, innsjøer, sjø eller lignende.
Separatsystem	En ledning for spillvann og en annen ledning for overvann.
Synkehum	Åpne kummer hvor vannet skal infiltreres fra kummen ut til grunnen, i stedet for å føre inn i et rør.

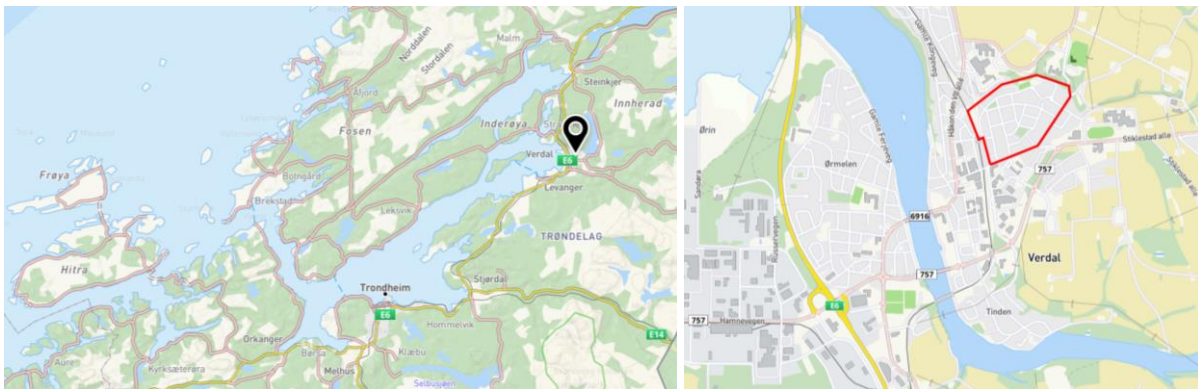
1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Tradisjonelt har håndtering av overvann i urbane områder gått ut på å lede vannet raskest mulig bort, gjerne gjennom lukkede ledningssystemer. Dette var ment som en metode for å sikre gode urbane miljøer og sikkerhet mot oversvømmelser. Dessverre har dette ofte resultert i økt overvannsavrenning, både i mengde og intensitet, senkning av grunnvannstanden, samt skader på vegetasjon, infrastruktur og bygninger (1).

Å fordrøye og infiltrere overvannet lokalt er en mer framtidsrettet og bærekraftig måte å håndtere overvannet på. Overvannsystemet skal avlede nedbør på en sikker, miljøtilpasset og kostnadseffektiv måte slik at innbyggernes helse, sikkerhet og økonomiske interesser ivaretas. På den måten ivaretas også vannbalansen og det biologiske mangfoldet i området.

Nord i Trøndelag ønsker Verdal kommune å utbedre overvannshåndteringen på et sentrumsnært boligområde kalt «Prærien». Årsaken er at dette er det siste sentrumsnære området som gjenstår etter flere år med omfattende VA- utbedringer i kommunen. Dagens ledningsnett ble utbygget i takt med boligutbygging på 1950-60 tallet. Det består i all hovedsak av fellesledninger for spill- og overvann, som ikke har nok kapasitet til framtidig utbygging og økt nedbør. I denne oppgaven fokuseres det på hvordan overvannet kan håndteres på en sikker og bærekraftig måte.



Figur 1: Oversiktsbilde over prosjektområdet, Kilde:

1.2 Problemstilling

Hvordan håndtere overvannet på "Prærien" med bærekraftige løsninger?

For å på best mulig måte kunne svare på denne problemstillingen er følgende delproblemstillinger lagt til grunn:

- Hvilke alternativer finnes for å håndtere overvannet?
- Hvilke løsninger sikrer tilstrekkelig håndtering av overvannet ved fremtidig nedbør og fortetting?
- Hvordan kan det sikres bærekraft?

1.3 Oppgavens formål

I denne oppgaven skal det foreslås en mulig løsning for å håndtere overvannet i området som kalles «Prærien» i Verdal kommune. Det skal gjøres på en bærekraftig måte, og det skal blant annet tas hensyn til klimaendringer og innbyggernes helse, samt det biologiske mangfoldet i området.

Klimaendringene bringer med seg flere ulike utfordringer – ikke bare økt temperatur og smelting av is, men også større nedbørsmengder og mer intensivt regn. I Norge har årsnedbøren økt med 18% siden 1900, og samtidig har det vært en økning i både hyppighet og intensitet for kraftig regn (3). Det er beregnet at årsnedbøren i Nord-Trøndelag vil øke med ca. 20% frem mot slutten av århundret (2071-2100) (4). Dette må det tas hensyn til ved planlegging av utbygging, fortetting eller transformasjon av områder. I de statlige planretningslinjene for klima og energiplanlegging og klimatilpassing legges det vekt på ivaretagelse av økosystemer, arealbruk og kvaliteten av uteområder (5). Blant annet står det at planene skal ta hensyn til behovet for åpne vannveier, overordnede blågrønne strukturer, og forsvarlig overvannshåndtering. Videre står det at naturbaserte løsninger skal vurderes, og dersom de velges bort må dette begrunnes. Dette er det tatt hensyn til i vurderingene som er gjort i denne oppgaven.

Bærekraft er et sentralt begrep i denne oppgaven. I Norsk Vann rapport 205/2014 «En bærekraftig forvaltning av VA-tjenestene» defineres bærekraft ved hjelp av tre sentrale dimensjoner (6):

Miljømessig bærekraft – «forvaltning og utvikling innenfor naturens tålegrenser». Det vil si at tiltakenes negative innvirkning på miljøet skal minimaliseres og miljø skal være i fokus ved planlegging og gjennomføring av tiltak.

- **Økonomisk bærekraft** – «bærekraftig ressursbruk, herunder kostnadseffektive løsninger». Som vil si at ressursene skal brukes mest mulig effektivt slik at kostnadene kan bli lavest mulig.
- **Sosial bærekraft** – «Bærekraftige VA-tjenester for brukerne». Dette innebærer at brukerne har en god opplevelse med tiltakene som settes i gang.

Disse tre dimensjonene av bærekraft skal føre til at tiltakene som gjennomføres skal være rettferdige, varige og levedyktige. Dette legges derfor til grunn for begrepet bærekraftig i denne oppgaven.

2 Metode

Metode er en planmessig fremgangsmåte, gjerne grunnet på regler og prinsipper (7). Ved å velge ulike metoder kan en innhente informasjon og tilegne seg kunnskap for å besvare problemstillingen. I denne oppgaven er det brukt en blanding av kvalitativ og kvantitativ metode for å samle inn informasjon. Det er brukt både litteratur og egne beregninger for å kunne løse problemstillingen på best mulig måte.

2.1 Litteratur og datainnsamling

Å samle inn god informasjon er viktig for å danne et godt grunnlag for prosjektet. Det har blitt lagt stor vekt på datainnsamling tidlig i arbeidsperioden for å sikre god arbeidsflyt og et godt grunnlag for videre arbeid.

Informasjonsinnhentingene baserer seg på lærebøker, håndbøker og teori fra fag på høgskolen. Det er også innhentet informasjon via samtaler med fagpersoner, som har relevant kunnskap innenfor overvannshåndtering. Siden Verdal kommune ikke har egen VA-norm er det, i samråd med Bjørn Jarle Risholt, blitt valgt å bruke VA-normen til Trondheim kommune som grunnlag for de tekniske kravene knyttet til VA-anlegg.

Innhentet litteratur og data som har blitt brukt i oppgaven er hentet fra:

- Kartdata: SOSI-filer med oversikt over eksisterende ledninger
- Vann- og avløpsteknikk utgitt av Norsk vann, skrevet av Hallvard Ødegaard
- Norsk vann rapporter
- Geotekniske rapporter laget av Norconsult, se vedlegg 1
- VA- miljøblader
- Andre relevante rapporter

2.2 Befaring

21. januar 2020 ble det gjennomført en befaring på området. Etter endt befaring ble det avholdt oppstartsmøte på Verdal rådhus hvor Bård Kotheim, virksomhetsleder teknisk drift, og Bjørn Jarle Risholt var til stede.

2.2.1 Mål

Hovedmålet for befaringen var å få et overblikk og en forståelse over prosjektområdet. For å få en systematisk oversikt satt vi følgende fokuspunkt:

- Topografi: flatt område, inntrykk av svak helning.
- Type bebyggelse, og utarbeidelse av uteareal.
- Veinettets oppbygning og tilstand, med tilhørende overvannsløsninger.
- Tilhørende områder, topografi og avrenning mot prosjektområdet.

2.2.2 Registreringer

Befaringen ble utført i startfasen av prosjektet for å få et overblikk over dagens situasjon. Bjørn Jarle Risholt var med for å vise området, samt tilhørende områder som har blitt oppgradert.

Prosjektområdets topografi gir inntrykk av et flatt område. Det var vanskelig å se om det var noe helning, foruten små lokale variasjoner. Det er flere plasser hvor overvannet samles, og dette er med på å gjøre at området bærer preg av slitasje. Veinettet er av dårlig befatning og består hovedsakelig av grusmasser. Bebyggelsen består i all hovedsak av eneboliger, men også mer moderne flermansboliger og leiligheter.

Det ble sett på ulike trasémuligheter for overvannsledning ut av området, da både direkte mot bekken (Kvisla) og påkobling til nyere anlegg. Det ble også vurdert områder hvor det kunne være mulighet for å etablere LOD tiltak.

Figur 2 til 6 viser deler av området.



Figur 2: Eneboliger nord-vest i området

Figur 2 gir et godt bilde av området. Det viser eneboliger til høyre i bildet, grusveier der vannet samler seg på overflaten, store hager og andre gressarealer. Det er også asfalterte veier i området, men mange steder er disse veiene i dårlig stand.



Figur 3: Gressflate nord i området

Figur 3 viser et av flere grøntarealer på «Prærien». Dette området brukes også til blant annet fotball og annen aktivitet.



Figur 4: Taknedløp fra enebolig ned i bakken

Det er mange av eneboligene som har taknedløp slik som vist i figur 4. Det er vanskelig å si om disse taknedløpene er koblet på avløpssystemet eller om de bare er ført ned i grunnen.



Figur 5: Bekken, Kvisla

Området har gode resipienter i umiddelbar nærhet. En av dem er bekken Kvisla. Figur 5 viser et av overvannsrørene som går ut i bekken.



Figur 6: Verdalselva

Kvisla renner ut i Verdalselva, som igjen renner ut i Trondheimsfjorden. Verdalselva er vist i figur 6.

2.3 Programvare og dataverktøy

I arbeidet med oppgaven er ulike programvarer og dataverktøy brukt.

AutoCAD

AutoCAD er blitt brukt til å fremstille kartdata av ledningsnettet i området. SOSI-filene som har blitt brukt er gjort tilgjengelige av Verdal kommune via Bjørn Jarle Risholt.

Excel

I denne oppgaven har Excel blitt brukt for å kunne lage formler og utføre beregninger.

EPASwmm

Det ble tidlig i oppgaven sett på programvaren EPA Swmm. Det ble sett på muligheten for å bruke programvaren til å beregne avrenningsfelt og effekten av LOD- tiltak. Etter VA-normen er området lite, og anbefalt metode på slike områder er å beregne etter den rasjonelle formelen. Etter diskusjon i gruppen av eventuelle feilkilder ved bruk av modellen ble det valgt å benytte den rasjonelle formelen for beregninger slik VA- normen anbefaler.

Kommunekart.no

I arbeidet med denne oppgaven har nettsiden kommunekart.no blitt brukt. Denne er blant annet blitt brukt for å få oversikt over området, måle feltets areal og høyder. Verktøyet i nettsiden gir mulighet for å få oversikt over områdets utvikling fra 1950 frem til i dag, samt dagens situasjon.

2.4 Beregninger

Rasjonell metode

I denne oppgaven er den rasjonelle metoden brukt for å regne ut fremtidig avrenning i området. Den er beskrevet i kapittel 4.2 og brukt i kapittel 5.2.

Colebrook diagram

I denne oppgaven er det bruk Colebrooks diagram for å beregne de eksisterende betongledningenes kapasitet, samt finne dimensjonen til en eventuell ny overvannsledning. Colebrooks diagrammet som er brukt ligger i vedlegg 1. For å lese ut ledningenes kapasitet tas det utgangspunkt i ledningens fall og dimensjon. Ved å følge fallet opp til man treffer riktig dimensjon kan man lese av hvor stor kapasitet ledningen har.

Wavins beregningsprogram

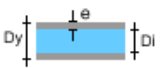
Som et alternativ til colebrooks diagram er det brukt Wavins beregningsprogram for å beregne kapasiteten til plastledningene. Dette er et program som baserer seg på colebrooks diagram, hvor man selv kan velge rørtype, dimensjon, ruhet og fall. Dette er måten programmet er brukt på i denne oppgaven:

1. Velge system: Avløp – gravitasjon
2. Velge hva som skal beregnes: eks vannføring og hastighet
3. Velge hvilken type ledning man har: eks PVC
4. Velge ledningens dimensjon: eks 315mm
5. Velge ruhet i mm: eks 0,25
6. Velge rørets fyllingsgrad: eks Helfylt rør
7. Velge trykktap/fall: eks 4,000 ‰
8. Beregne og lese av

Under vises et utklipp fra beregningsprogrammet hvor fremgangsmåten over er brukt.

Colebrook White - Vandføring/tryktab

Beregn vandføring/tryktab i vandledninger eller hel- og halvfylde afledninger.

Sags- eller ledningsnummer, etc.	<input type="text"/>				
System:	Afløb - Gravitation				
Beregn:	Vandføring & hastighed				
Rørtype:	PVC	Klasse:	SN8		
Dimension:	315.0 (e=9,2)	Dy (mm):	315,0		
Di (mm):	296,6	e (mm):	9,2		
Parametre					
Ruhed (mm):	0,250				
Fyldningsgrad:	Helfyldt rør				
Trykktab:	4,000 ‰	Startkote (m):	<input type="text"/>	Slutkote (m):	<input type="text"/>
Antal fittings pr. 100 m:	0	<< Trykktab	Rørlængde (m):	<input type="text"/>	
	<input type="button" value="Beregn"/>				
Resultat					
Vandføring (Q):	73.3 l/s	Vandhastighed (m/s):	1.06		
Opholdstid pr. m (s):	<1	Opholdstid, angiven længde (s):	-		
Ovenstående rør er selvrensende for spildevand og regnvand ved de beregnede parametre		Forskyd.spænding (N/m ²): 2.91			

Figur 7: Utklipp fra Wavins beregningsprogram etter endt beregning, kilde: wavin.dk

3 Presentasjon av prosjektområdet

Prosjektområdet ligger nord-øst for Verdal sentrum, og kalles gjerne «Prærien» på folkemunne. Tradisjonelt har Verdal vært en landbrukskommune. Særlig tidligere, men også i dag er store arealer dedikert til jordbruk og dyrehold. Fra midten av 1960 tallet bidro den gode beliggenheten i Trondheimsfjorden til en oppblomstring av skipsrelatert industri (8). Dette bidro også til vekst i folketallet, og områder som tidligere hadde vært brukt til landbruk ble omgjort til areal for boliger og næring. Dermed ble også prosjektområdet, «Prærien», utbygd.



Figur 8: Området i 1950, 1966 og 2004, kilde: kommunekart.no

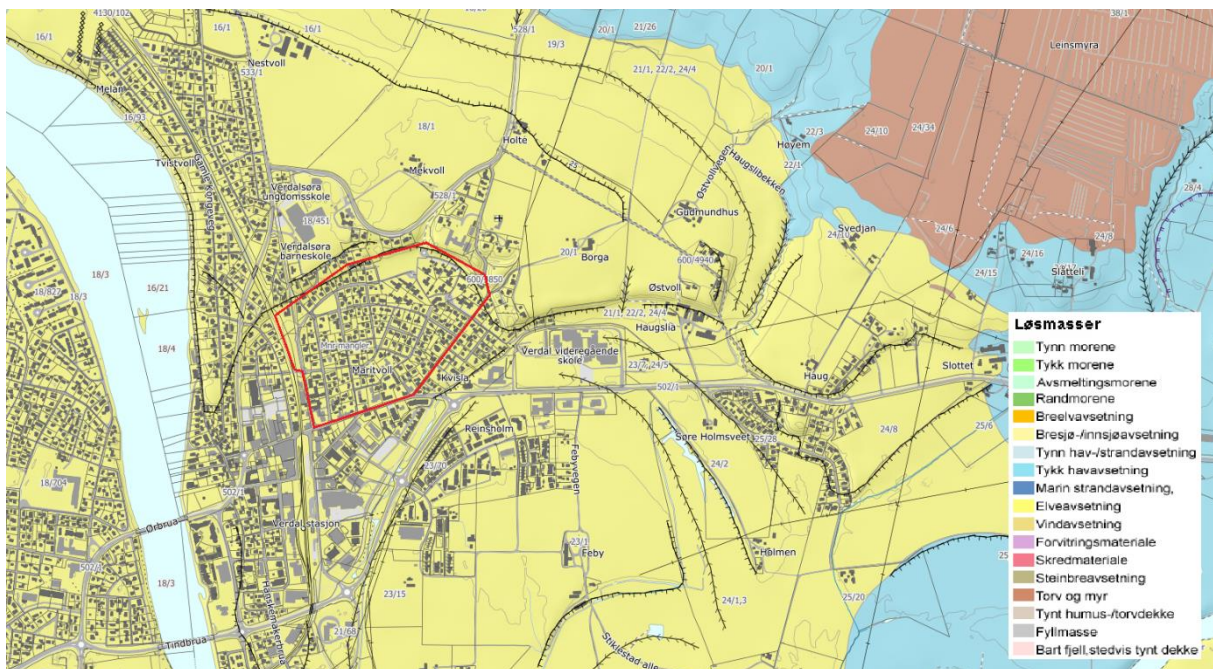
I dag består dette området hovedsakelig av frittliggende eneboliger, tomannsboliger, grøntarealer og kommunale veier. Både Verdalselva og bekken Kvisla er i umiddelbar nærhet til området, og er gode resipienter for å håndtere overvann. Infrastrukturen i området er generelt sett i dårlig stand slik det er i dag. I store deler av området er det grusveier med relativt store groper og fellessystem for håndtering av spill- og overvann.

Prosjektområdets avgrensinger er satt til Jernbanegata i vest, Nordgata i sør, Vollhaugvegen i øst og den bratte skråningen nord for Fridheims gate i nord.



Figur 9: Prosjektområdets avgrensning, kilde: kommunekart.no

Området er relativt flatt og ligger lavt i terrenget – mellom kote +6 og +8. Kvartærgeologisk kart viser at løsmassene i området består av elveavsetninger, se figur 10. Elveavsetninger består som regel av relativt grov sand, men kan også inneholde lag av organisk materiale (9). Dette er vanligvis permeable masser som kan være gode til infiltrasjon. Videre er det i denne oppgaven tatt utgangspunkt i geotekniske rapporter fra omkringliggende prosjekter for å anslå grunnforholdene innenfor plangrensene. Disse rapportene viser at grunnen består av grov sand over sandig silt. Videre kommer det frem at grunnvannstanden ligger mellom kote +2 og +3, og er høyest nærmest bekken. For videre beregninger er det tatt utgangspunkt i at massene over kote +3 består av grov sand og at grunnvannstanden ligger på ca. kote +3 i hele området.



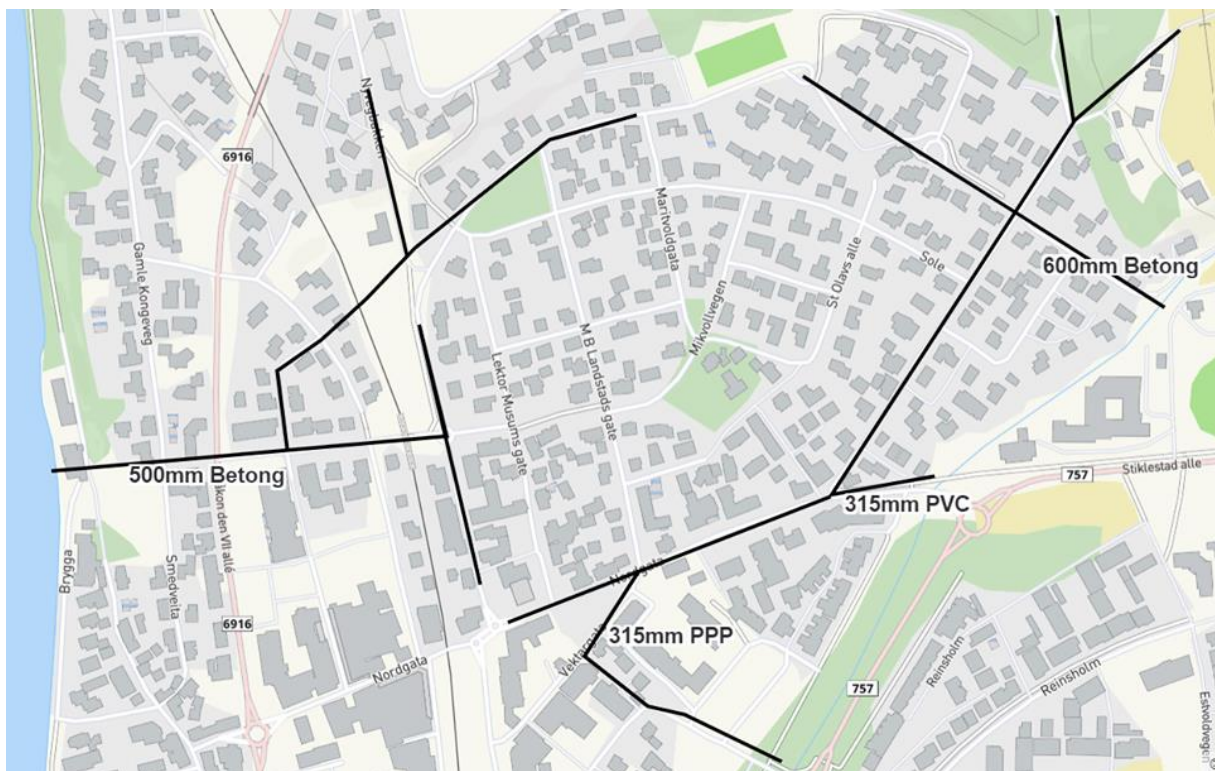
Figur 10: Kvartærgeologisk kart, kilde: geo.ngu.no

3.1 Overvannshåndtering i området og i kommunen generelt

Det er mangel på gode, eksisterende løsninger for å håndtere overvann på “Prærien”. I dag har området hovedsakelig felles avløpsledninger for spillvann og overvann. Dette var vanlig da området ble utbygd, men er en utdatert metode som kan kreve stor kapasitet i rensaneanleggene. Det kan også skape problemer med tilbakeslag i kjellere eller forurensning av elver og bekker. I Verdal kommune har det, de siste årene, blitt gjort et omfattende arbeid for å oppgradere områder med fellessystem til separatsystem. Den vanligste metoden for å håndtere overvann i Verdal er å legge overvannsledninger ut til nærmeste resipient. LOD- tiltak for å fordrøye overvannet er svært lite brukt. Kommunen begrunner dette med at de fleste områdene har bekker eller lignende i umiddelbar nærhet. Prærien er nå det siste sentrumsnære området som fremdeles har fellessystem.

Selv om området hovedsakelig har fellessystem, går det noen overvannsledninger ut av området. De eksisterende overvannsledningene er:

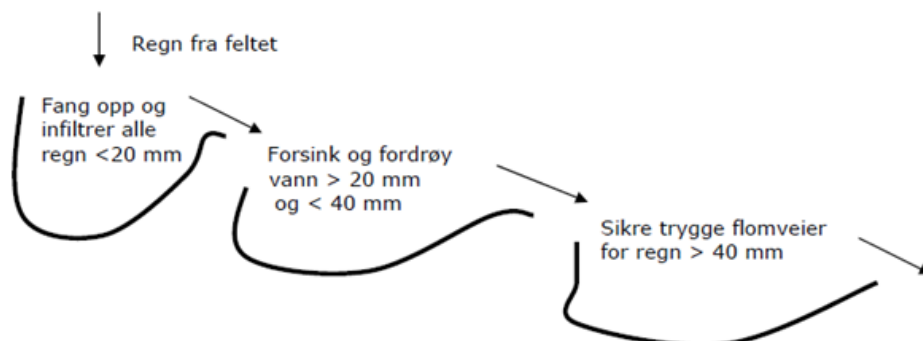
- En 500mm betongledning som går ut i Verdalselva. Denne ledningen har greiner som tar unna vann i Fridheimsgate og Jernbanegata. Den håndterer også overvannet fra Verdalsøra barne- og ungdomsskole, som ligger nord-vest for «Prærien», samt store deler av boligområdet vest for jernbanen. Dette er en gammel ledning som nye områder har blitt koblet på etter hvert som de har blitt utbygd. Derfor er kapasiteten til denne ledningen overbelastet. Kapasiteten til ledningene er nærmere beskrevet i kapittel 5.2.2.
- En relativt ny 600mm betongledning som går ut i Kvisla. Den dekker blokkbebyggelsen nord i området, samt områder utenfor «plangrensen». Denne ledningen har en del ledig kapasitet.
- En 315mm PVC-ledning som går ut fra området i krysset mellom Vollhaugvegen og Nordgata, ut i Kvisla. Det er nylig lagt om fra fellessystem til separatsystem i Vollhaugvegen og Nordgata, og overvannet er koblet på denne ledningen.
- En 315mm PPP-ledning som går ut i Kvisla ved rådhuset. Denne ledningen tar også unna overvannet fra deler av Nordgata.



Figur 11: Enkelt oversiktsbilde over overvannsledningene rundt "Prærien", Kilde: kommunekart.no

4 Teori

4.1 Tre-ledds-strategi



Figur 12: Norsk Vanns tre-ledds-strategi, kilde: Norsk Vann Rapport 162/2008

Norsk Vanns tre-ledds-strategi er en helhetlig og bærekraftig måte å håndtere overvann. Den deler overvannshåndteringen i tre ledd ut ifra nedbørsmengden. Nedbørsmengdene i figur 12 er eksempler og må derfor tilpasses lokalt (10).

Første ledd går ut på at nedbørsmengder som tilsvarer 20mm, primært skal fanges opp lokalt og infiltreres på tomten. Dette vil blant annet si i nærheten av boliger, parkeringsplasser, næringsbygg eller lignende. Disse dagligdagse nedbørsmengdene kan være med på å sikre vannbalanse og minstevannføring i bekker og vassdrag. Det kan også være med på å styrke det økologiske mangfoldet og den estetiske verdien i området. For å få nytte av dette er det viktig at nedbøren blir sett på som en ressurs, og utnyttes så godt som mulig.

Dersom nedbøren er større enn 20mm skal vannet føres videre på en trygg og sikker måte for å fordrøyes og forsinkes på overflatene i ledd to. Dette kan for eksempel være i åpne dammer eller på arealer for flerbruk.

Det siste leddet i tre-ledds-strategien går ut på å sikre trygge flomveier ved ekstreme nedbørshendelser. Her skal overskuddet fra de to første leddene føres videre på en trygg måte med utslipp til bekker, elver, havner eller andre resipienter. Dette leddet går ut på å sikre at flommene gjør minst mulig skade på omgivelsene, bygninger, veier eller annet (11).

4.2 Rasjonell metode

Den rasjonelle formelen er en formel for å beregne overflateavrenning. Den gir et enkelt overslag og er mye brukt for dimensjonering av små urbane felt. Hovedsakelig brukes den for felt med areal mindre enn 20-50ha og avrenning som er direkte tilknyttet til nedbøren (1).

Den rasjonelle formelen er:

$$Q = \varphi * A * I * K_f$$

Her er:

- Q = Avrent vannføring fra feltet [l/s]
- φ = Avrenningskoeffisient
- A = Feltets areal [ha]
- I = nedbørintensiteten [l/s*ha]
- K_f = Klimafaktor

Avrenningskoeffisient

Avrenningskoeffisienten er et forholdstall mellom nedbøren og avrenningen fra et felt (10). Den er avhengig av overflatens infiltrasjonsegenskaper og oppbygging, fallforhold, nedbørintensitet og -varighet. Tabellen 1 viser retningsgivende verdier for avrenningskoeffisienter hentet fra Trondheim kommunes VA-norm.

Type areal	Avrenningskoeffisient φ
Tette flater	0,85 – 0,95
Bykjerne	0,70 – 0,90
Rekkehus-/leilighetsområder	0,60 – 0,80
Eneboligområder	0,50 – 0,70
Grusveier/-plasser	0,60 – 0,80
Industriområder	0,50 – 0,90
Plen, park, eng, skog, dyrket mark	0,30 – 0,50

Tabell 1: Avrenningskoeffisienter, kilde: Trondheim kommunes VA-norm

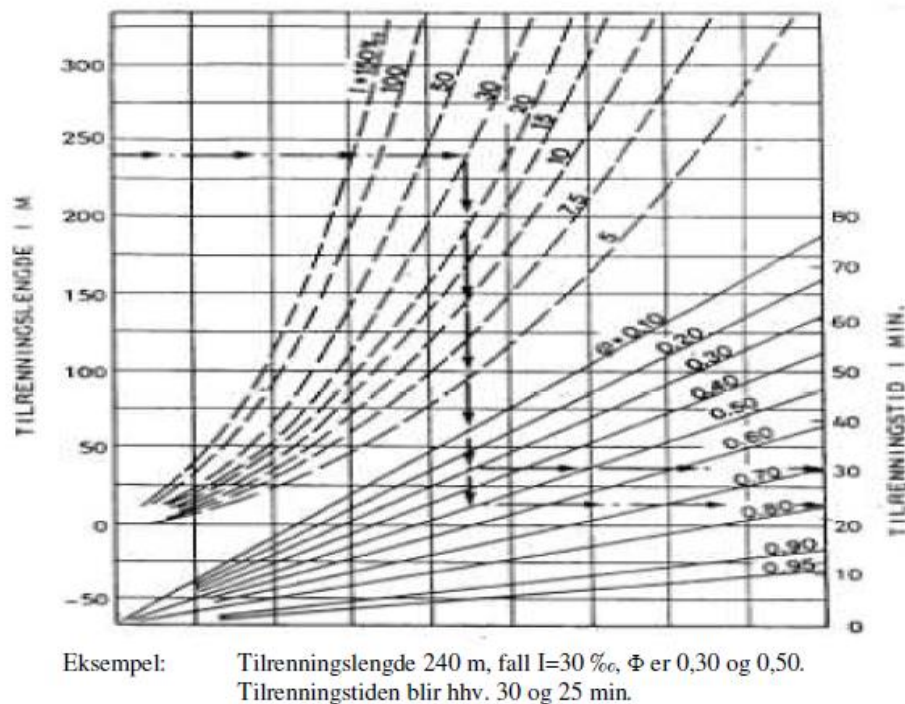
Ved valg av avrenningskoeffisient bør det tas hensyn til lokale forhold. Flate områder med permeable overflater og stor avstand til grunnvannet har gjerne lave avrenningsverdier. Derimot har områder med bratte, tette overflater og høy grunnvannstand høye verdier (12). Ved økende regnintensitet eller regnvarighet vil avrenningskoeffisienten kunne øke betydelig. Dette er fordi andelen vann som blir infiltrert til grunnen, holdt tilbake på vegetasjon eller samles i små groper eller pytter kan sees som konstant, også ved større regnhendelser. Dermed vil avrenningen på overflaten øke dersom regnvolumet øker (1).

Nedbørsfelt

Et nedbørsfelt er et område som har felles avrenning til en resipient. Grensen mellom nedbørsfeltene går langs vannskillet. Det vil si hvor nedbøren som faller på hver side av vannskillet vil ende i ulike resipienter (1).

Nedbørintensitet

For å finne nedbørintensitet tas det hensyn til både regnskyllets varighet og dimensjonerende returperiode. Regnskyllets varighet settes ofte lik nedbørsfeltets konsentrasjonstid. Det vil si den lengste tiden det tar fra vannet treffer bakken i feltets ytterste punkt til det når frem dit vannmengden skal beregnes. Konsentrasjonstiden består av avrenningstiden på overflaten og strømningstiden i rør, kanaler eller grøfter. Tilrenningstiden på overflaten kan leses ut av figur 13.



Figur 13: Diagram for beregning av tilrenningstid for avrenning på overflaten, kilde: Trondheim kommunes VA-norm

Dimensjonerende gjentakintervall er den tiden det antas at det tar fra et regnskyll med en viss størrelse til et nytt regnskyll med samme størrelse. Dersom man ser på de aller minste regnhendelsene vil gjentakintervallet være lavt, men for flommer eller andre store regnhendelser vil gjentakintervallet være vesentlig større. I tabell 2 er en oversikt over hvilke gjentakintervall som bør velges ut fra områdets funksjon. Verdiene i tabellen er minimumsverdier og ved behov bør det brukes høyere verdier, for eksempel hvis skadepotensialet er stort (12).

Dimensjonerende regnskylhyppighet (gjentakintervall ¹ i løpet av n år)	Områdetype	Dimensjonerende oversvømmelshyppighet (gjentakintervall ² i løpet av n år)
2 år	Ubebygde område	10 år
10 år 20 år	Boligområde Åpent Lukket	20 år 30 år
20 år 30 år	By/sentrumsområde Åpent Lukket	30 år 50 år

¹ Det skal ikke oppstå oppstuvning i ledningsnettet for disse dimensjonerende regnskyl.

² Det skal ikke oppstå oppstuvning til kjellernivå/marknivå for disse gjentakintervall.

Tabell 2: Minimum gjentakintervall som skal benyttes for regnskylhyppighet, kilde: Trondheim kommunes VA-norm

Videre brukes dimensjonerende gjentakintervall og varighet til å lese nedbørintensiteten ut fra IVF-kurver.

Klimafaktor

I fremtiden vil det bli flere intensive nedbørsperioder i Norge (13). For å ta hensyn til dette når man bruker den rasjonelle formelen, multipliseres dagens dimensjonerende nedbørintensitet med en klimafaktor. Klimapåslaget varierer gjerne mellom 0, 20 og 40% avhengig av om området i hovedsak er og vil bli utsatt for flom fra nedbør eller snøsmelting (14). I Nord-Trøndelag er det beregnet at årsnedbøren vil øke med ca. 20%. Det er også forventet at episoder med kraftig nedbør øker både i hyppighet og intensitet. Denne økningen vil være størst om sommeren og høsten. I «Klimaprofil – Nord-Trøndelag» er det foreslått klimapåslag på minst 40% ved regnskyl med kortere varighet enn 3 timer (4). Det vil si en klimafaktor på 1,4. Trondheim kommunes VA-norm tar utgangspunkt i Rapport 5/2019 fra Norsk klima servicesenter og bruker klimafaktorene som er vist i tabell 3 (12).

Varighet	Returperiode < 50 år	Returperiode ≥ 50 år
≤ 1 time	1.4	1.5
2-3 timer	1.4	1.4
4-6 timer	1.3	1.4
7-24 timer	1.3	1.3

Tabell 3: Klimafaktorer som skal benyttes for Trondheim som funksjon av varighet og gjentakintervall på nedbør, kilde: Trondheim kommunes VA-norm

Feilkilder

Den rasjonelle formelen har flere usikkerheter som kan forstyrre resultatet.

Avrenningskoeffisient:

- Ved lange perioder med nedbør kan løsmassene i grunnen bli vannmettet. Dette kan føre til at avrenningskoeffisienten endrer seg under regnskyll.
- Avrenningskoeffisienten kan variere ut ifra årstid, blant annet som følge av frost.
- Et område kan ha varierende avrenningskoeffisient som følge av ulike typer overflater. Dette kan tas hensyn til ved å regne avrenningen fra mindre delområder.

Nedbørsfelt:

- Noen nedbørsfelt kan være vanskelig å avgrense. For eksempel kan det i sentrumsområder være overvannsledninger som fører vannet fra områder som tilsynelatende ikke er en del av nedbørsfeltet.
- Ved flom kan bekker og elver skifte løp, dette kan føre til at nedbørsfeltet endres.
- Grunnvannstrømmer kan påvirke nedbørsfeltet.

Nedbørintensitet:

- Nedbørintensiteten vil ikke være konstant for hele området eller under hele regnskyll.
- Det brukes historiske målinger for å beregne fremtidig nedbør. Nedbørintensiteten er derfor et anslag basert på tidligere målinger.
- Geografi og lokale forhold påvirker nedbørintensiteten, derfor må forholdene fra målestasjonen være de samme som forholdene der avrenningen skal beregnes.

Klimafaktor:

- Det er ikke sikkert hvordan klimaet vil forandre seg, derfor er det vanskelig å vite hvor stor klimafaktor som er nødvendig.

4.3 Ulike LOD-tiltak

For å infiltrere nedbøren i første ledd i tre- ledds- strategien kan det blant annet brukes følgende tekniske løsninger:

- Grønne tak
- Regnbed
- Infiltrasjon på gressflater
- Brostein eller andre permeable flater
- Tønner for oppsamling av regnvann fra tak
- Nedgravde steinmagasin
- Rørmagasin
- Tanker
- Plastkassetter
- Små dammer

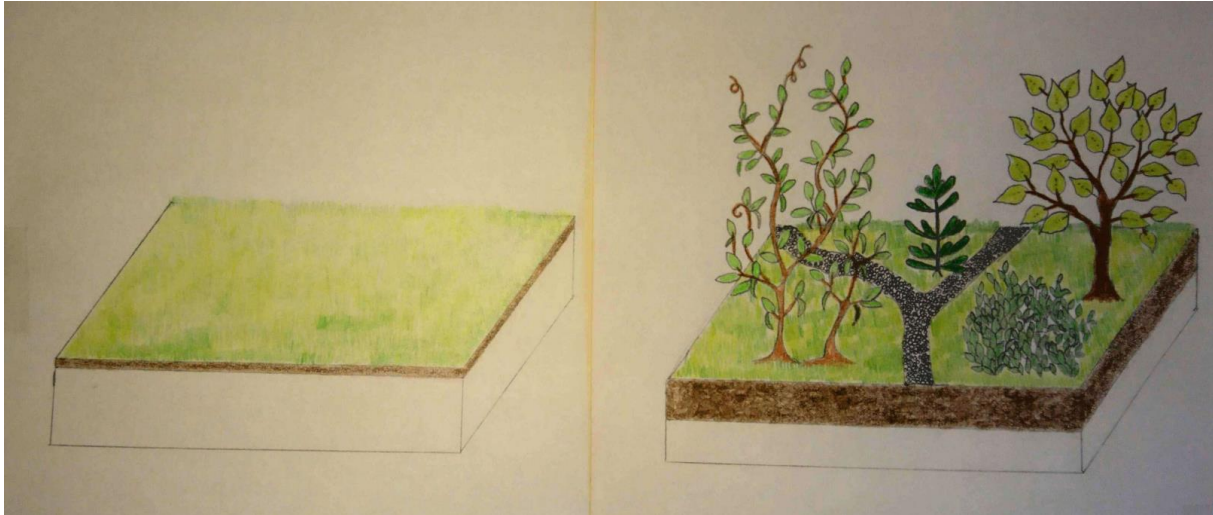
For små nedbørsfelt, nedbørsfelt langt oppe i et avrenningsområde, fungerer løsninger som grønne tak, regnbed og lignende bra. Men for felt lenger ned i avrenningsområdet, større nedbørsfelt, kreves det ofte større tiltak og fordrøyningsvolum (11).

4.3.1 Grønne tak

Grønne tak er en gammel tradisjon i Norge, takene har blitt tekket med torv i flere hundre år (15). Denne tradisjonen sluttet imidlertid i stor grad på 1800-tallet. Ved utbygging og fortetting i dag øker andelen tette flater, blant annet som følge av flere tak, og dermed også overflateavrenningen. Anleggelse av grønne tak kan derimot være med på å erstatte deler av den tapte infiltrasjonen til grunnen i byene og tettstedene. Dette vil være med på å dempe avrenningen og øke det biologiske mangfoldet.

Det finnes to hovedtyper av grønne tak: ekstensive og intensive (11). De ekstensive takene består gjerne av sedumarter¹ som tåler perioder med tørke og næringsfattig jord. Derfor krever denne typen tak ofte lite vedlikehold – ettersyn en til tre ganger i året er nok. Vekstlaget er under 10cm tykt inkludert beskyttelse- og dretningslag, og takene kan veie mellom 40 og 130kg/m² ved full vannmettning (15). Intensive tak har gjerne større busker eller trær og tykkere vekstlag. Disse blir i større grad brukt som for eksempel takhager og krever derfor mer vedlikehold for å opprettholde sin estetiske verdi. Vekten kan variere mye ut ifra hvilke busker og trær som brukes. Det finnes også en mellomting mellom ekstensive og intensive tak. Dette kalles semi-intensive tak, har gjerne vekstmedium med tykkelse 10 til 20cm og større artsmangfold. Torvtak hører til denne undergruppen, men også gress, urter, mose og andre lignende arter brukes i forbindelse med denne typen tak. Figur 14 er en illustrasjon av ekstensive og intensive tak.

¹ Sedumarter = bergknappfamilien, 23 ulike arter i Norge som tåler tørke og næringsfattig jord (36)



Figur 14: Illustrasjon av ekstensive tak (til venstre) og intensive tak (til høyre)

Grønne tak kan holde tilbake betydelige deler av avrenningen fra takflatene. Tilbakeholdelsene er størst for lave regnintensiteter, men også betydelig for kraftigere regnhendelser. I et forsøk utført i Oslo i 2009 ble 25% av årsnedbøren holdt tilbake i vegetasjonen. Her var det brukt 3 cm tykt substrat og en helling på 3°. Tilbakeholdningen var størst om vinteren, selv om det meste av dette rant av om våren som følge av snøsmelting. Om sommeren holdt de grønne takene tilbake ca. 36% av avrenningen blant annet på grunn av fordamping, mot 8% på det vanlige taket. I dette forsøket ble det også sett på demping av avrenningsintensiteten fra taket. Med en nedbørshendelse på 29 mm på 30 min og tørre tak ble de første 12-14 mm holdt helt tilbake. Avrenningsintensiteten ble dempet med ca. 40% i forhold til nedbøren. Også med våte tak ble avrenningsintensiteten dempet (15).

Å introdusere større mengder vegetasjon i bybildet vil kunne bidra til at det biologiske mangfoldet øker. Det innbyr blant annet til leveplass for sommerfugler og fugler, og kan også tilrettelegges til å være levested for «rødlistearter²». Det er ikke bare dyrearter som nyter godt av å grønne tiltak, byene og tettstedene vil også kunne bli mer innbydende og attraktive for innbyggerne. Likevel er det viktig å ta hensyn til at noen sedumarter er «svartelistet³», og derfor er det svært uønsket at disse sprer seg til norsk natur. Grønne tak kan være med på å redusere forurensningen i området rundt. Støy som kommer ovenfra kan dempes fordi myke flater fanger og reduserer lyd, og svevestøv fra veier kan fanges inn i vegetasjonen. Man kan også spare energi på oppvarming og nedkjøling av bygget, da grønne tak er med på å kjøle bygningene på varme dager og isolere litt på kalde dager.

² Rødliste = sortering av arter i grupper etter risiko for at de skal dø ut fra norsk natur (2)

³ Svartelista = arter som ikke er ønsket, i 2018 ble navnet på lista endret til «Fremmedartlista» (37)

Fordeler	Ulemper
<ul style="list-style-type: none"> • Avrenningsmengden og avrenningsintensiteten reduseres. • Bymiljøet bedres for innbyggerne. • Vegetasjon er med på å regulere temperaturen i bygningene. • Svevestøv kan fanges inn. • Støy ovenfra dempes. • Det biologiske mangfoldet øker. • Mindre snørasfare som følge av friksjon fra vegetasjonen 	<ul style="list-style-type: none"> • Anleggskostnadene er ofte større enn andre alternativer • Det er nødvendig med ettersyn og oppfølging. • Hvis det oppstår lekkasje på taket, er det mer krevende å finne skaden • Sedumarter på «svartelista» kan spre seg til norsk natur. • Vegetasjonen kan dø dersom dreneringen av taket feiler.

Tabell 4: Fordeler og ulemper ved grønne tak

4.3.2 Regntønner

Avrenningen fra tak kan samles i en regntønne og brukes til blant annet vanning i hagen eller grovvask. I seg selv kan ikke en regntønne ta unna mye av avrenningen, men sammen med andre tiltak utgjør den et verdifullt bidrag (11). Med en regntønne på 250 l kan man fange opp regn mindre enn 2 mm fra et tak på 125 m². Fordi ca. 0,5 mm vil binde seg til overflaten uten å renne av, vil regntønningen kunne sørge for at det ikke blir avrenning fra regn helt opp til 2,5 mm.

Fordeler	Ulemper
<ul style="list-style-type: none"> • Det er et forholdsvis billig tiltak • De har flerbruksverdi 	<ul style="list-style-type: none"> • De fanger bare opp de minste nedbørhendelsene

Tabell 5: Fordeler og ulemper ved regntønner

4.3.3 Regnbed

Regnbed er et av flere tiltak der det naturlige hydrologiske kretsløpet etterlignes i urbane områder. Formålet er å dempe overflateavrenningen og holde tilbake overvannet slik at flomtoppene reduseres. Det overvannet som er mest aktuelt å fordrøye eller infiltrere i regnbed er fra hustak, gårdsplasser, parkeringsareal og veier.

For å fange opp mest mulig vann er regnbedene utformet som en forsenkning i terrenget og er beplantet med vannkjære planter. Mesteparten av vannet infiltreres gjennom et filtermedium til grunnen eller eventuelt til overvannsnett. Noe av vannet suges også opp av plantene og fordampes. For at regnbedet skal være mest mulig effektivt bør det utformes slik at vannet ledes utover hele overflaten. Da vil alle planene få vann og regnbedets evne til å rense forurenset overvann vil bli utnyttet. Vegetasjonen som benyttes i bedet er somregel stedegen, slik at den er tilpasset lokalt klima. Det viktig at «svartelistede» arter ikke brukes for å unngå at de sprer seg til naturen i området. Filtermediet som benyttes bør ha god infiltrasjonskapasitet for å effektivt kunne håndtere overvann gjennom hele året (16).

Regnbed kan anlegges ved utbygging, men kan også etter monteres i eksisterende nedbørsfelt som har overvannsutfordringer. Anleggene krever at det er plass til dem på overflaten. Som et grovt anslag regnes det at regnbedets areal må være ca. 5-10% av det arealet det skal fange opp vann fra (11). Dersom de stedlige massene er tette, for eksempel ved leirholdig grunn eller berg, må disse massene skiftes ut og regnbedet må dreneres. På den måten kan vannet holdes tilbake lokalt og etterfylle grunnvannet. Regnbedene er også med på å innføre eller beholde grønne elementer i de urbane områdene, og er dermed med på å øke det biologiske mangfoldet. De krever en god del vedlikehold for å opprettholde sin estetiske verdi.

I Norge er regnbed relativt nytt, men det gjennomføres tester og undersøkelser flere steder i landet. Regnbed fungerer godt eller svært godt i det norske klimaet, også under vinterforhold. For at regnbedet skal fungere best mulig om vinteren, med frost, er det viktig at filtermediet er lett drenert slik at man unngår isdekke og betongfrost (17). Virkningsgraden på regnbedene er best ved langvarige regn dersom gjentaksintervallet for nedbøren er det samme.

Fordeler	Ulemper
<ul style="list-style-type: none"> • Reduserer flomtoppbelastningen • Holder overvannet tilbake lokalt og etterfyller grunnvannet • Lar seg ettermontere i eksisterende nedbørsfelt som har utfordringer • Kan rense forurenset overvann • Øker mengden grønt i bybildet • Øker det biologiske mangfoldet 	<ul style="list-style-type: none"> • Krever overflateareal • Kostnadene øker dersom de stedlige massene må skiftes ut • Fortsatt lite utprøvd i Norge • Krever vedlikehold

Tabell 6: Fordeler og ulemper ved regnbed

4.3.4 Infiltrasjonsarealer

Infiltrasjon kan foregå på flere ulike overflater, blant annet gresskledde flater, jord- og markområder eller områder med belegningsstein med permeable fuger. Grunnens evne til å motta vann er vesentlig for at vannet skal infiltreres. Ved store mengder finstoff, liten dybde til fjell, underliggende leirlag eller høyt grunnvannsspeil begrenses muligheten for infiltrasjon (10). Forurenset overvann bør ikke infiltreres grunnet faren for å forurense grunnvannet. Avrenning fra tak, gårdsrom, parker og veier i boligområder regnes som lite forurenset, og er derfor velegnet til infiltrasjon. Det er også viktig at infiltrasjonsanleggene legges så langt unna bygninger og veier at store vannmengder ikke skaper problemer.

Gressflater er godt egnet til infiltrasjon for avrenning fra blant annet takflater og gårdsrom. På den måten kan avrenningen håndteres lokalt på hver enkelt tomt. Infiltrasjonsarealer av gress bør ha lite fall for at vannet skal renne langsomt, slik at det fordeles og infiltreres over størst mulig overflate. For å ta opp og infiltrere mesteparten av vannet fra avrenningsområdet må gressarealet være opp imot 1,5 til 2 ganger så stort. Denne typen infiltrasjonsarealer er forholdsvis lette å vedlikeholde: gresset må slå, planter må pleies som ved vanlige hageanlegg, avfall og blader må fjernes med jevne mellomrom og planter må

vannes i tørre perioder (18). Det kan også anlegges åpne infiltrasjonsgrøfter eller renner, som kan ha flere formål. De kan blant annet være rene infiltrasjonsgrøfter, vannveier frem mot dammer og sikkerhetsareal for bilveier. Utformingen er som en langstrakt nedsenkning i terrenget langs gressplener, veier, hus eller lignende. Grøftene bør maksimalt ha fall på 6% og gjøres så brede som mulig. Også for disse grøftene består driften i å slå gresset og å fjerne søppel.

Permeable dekker med belegningsstein består av tette betongheller og fuger som fylles med steinmaterialer uten finstoff. De kan ha stor infiltrasjonskapasitet, og de underliggende pukkmassene kan magasinere store mengder vann og dempe flomtopper. Over tid vil vannet som magasineres i pukklaget infiltreres til grunnen. Derfor må ikke grunnen komprimeres så mye at permeabiliteten reduseres i vesentlig grad. Det kan også anlegges drenering i overkant av pukklaget som overløp. For å beholde god kapasitet i dekkene er det viktig at overflatene holdes rene for finstoff slik at fugene ikke tettes. Vedlikeholdet kan blant annet være rengjøring med suge- eller feiebil om våren og høsten, manuell feiing, og å strø med finpukk om vinteren som kan brukes til å fylle opp fugene om våren (19).

Fordeler:	Ulemper:
<ul style="list-style-type: none"> • Har flere funksjoner • Håndterer overvannet lokalt • Har lang levetid • Enkelt å drifte 	<ul style="list-style-type: none"> • Kan kreve at man skifter ut stedlige masser • Bør ikke brukes for forurenset overvann • Kan skape problemer for hus og veier dersom de anlegges for nære

Tabell 7: Fordeler og ulemper ved infiltrasjonsarealer

4.3.5 Dammer

Overvannsdammer kan være tiltak både i første og andre ledd i tre-ledds-strategien, avhengig av størrelsen og kapasiteten til dammen. De minste dammene inngår gjerne i første ledd mens de største inngår i andre ledd. Utover dette finnes det både tørre og våte dammer. Tørre dammer har ikke permanent vannspeil og er derfor ofte tomme når regnhendelsene starter. I disse dammene infiltreres vannet delvis via bunnen og sidene i dammen. Når vannmengden er større enn infiltrasjonskapasiteten i grunnen fylles dammen opp og det overstigende vannet renner videre. Våte dammer har derimot alltid vannspeil, og ingen infiltrasjon til grunnen. Derfor stiger vannspeilet når det starter å regne, og fordrøyningsvolumet er det vannet som ligger over det normale vannspeilet (11).

Utformingen av dammene er viktig både med tanke på effekten til å ta unna overvannet, men også for at de ikke skal være til fare eller hindring for folk i området. For å unngå drukningsfare bør det anlegges en "grunnsoner" rundt det åpne vannspeilet (20). Her kan det plantes våtmarks-planter og det vil være lettere å komme opp dersom noen skulle trække uti. Store dammer kan også virke som barrierer i terrenget, men dette kan løses ved å anlegge trinn eller broer over dammene.

I urbane områder kan overvannsdammer være med på å løfte det estetiske inntrykket og øke det biologiske mangfoldet. Områder med blågrønne kvaliteter, som overvannsdammer, innbyder til oppholdelse og rekreasjon, og er derfor et positivt tiltak for folkehelsen. Dammer med permanent vannspeil kan også være et effektivt tiltak for skille ut forurensninger i overvannet i urbane områder. Rensemekanismene i overvannsdammene består av sedimentering av partikler, opptak til plantene, avsetninger og mikrobiologisk nedbryting. Det er de permanente vannmassene som står for den største renseseffekten. For å øke renseseffekten ytterligere kan det også anlegges vegetasjon i strandsonen i dammene. Vannkjære planter er ofte sjeldne i urbane områder og anleggelse av disse kan derfor være med på å styrke det biologiske mangfoldet.

Fordeler:	Ulemper
<ul style="list-style-type: none"> • Reduserer flomtopper i urbane områder • Kan ta unna store mengder overvann • Renser overvannet • Bidrar til gode rekreasjonsområder • Øker det biologiske mangfoldet 	<ul style="list-style-type: none"> • Krever stort areal • Krever kontinuerlig drift og vedlikehold • Kan utgjøre en fare for drukning • Kan virke som barrierer i terrenget

Tabell 8: Fordeler og ulemper ved åpne dammer

4.3.6 Lukkede magasiner

Lukkede magasiner er et LOD tiltak der vannet samles opp og fordrøyes under bakken. De kan brukes som tiltak både i første og andre ledd i tre-ledds-strategien. Fordi de anlegges under bakken, kan overflaten brukes til parkeringsplasser eller andre ting.

Å bruke steinfyllingsmagasiner og plastkassetmagasiner er en måte å magasinere overvannet. Steinmagasiner består av grov stein eller pukk som fylles i en nedgravd grop. Fordrøyningsvolumet i magasinet er hulrommene mellom steinene, og kan bli opptil 30% av det totale volumet av gropen. Magasiner med plastkassetter fungerer på samme måte, men her byttes steinene ut med plastkassetter med stort porevolum. Porevolumet kan være så stort som 95% av det totale volumet. Kassetene er som store legoklosser og kan settes sammen til ønsket volum. Disse to typene magasiner tømmes enten ved at vannet filtreres ut til omgivelsene, ved kontrollert tapping eller ved en kombinasjon. For å få full effekt av magasinene bør grunnvannstanden være under bunnen av magasinet. Magasinenes levetid kan kortes betraktelig ned dersom de fylles med finstoff.

Finstoffet kan komme inn sammen med overvannet, eller ved at omkringliggende jordmaterialer trenger inn i fyllingen. Derfor bør det brukes filterduk rundt magasinet i områder med mye finstoff i grunnen. Videre bør det anlegges sandfang eller andre former for filtrering før vannet føres inn i magasinene (10).

En annen måte å magasinere vannet under bakken på er ved å bruke rørmagasiner. Rørmagasiner er tanker eller rør med stor diameter der vannet fordrøyes. Volumet reguleres med lengden av rørene eller størrelsen av tankene. For å utnytte fordrøyningsvolumet best mulig bør fallet på rørene være så lite som mulig. For å unngå at kapasiteten i rørmagasinene reduseres ved at de fylles med sand eller annet finstoff, vil det være vesentlig å føre vannet gjennom sandfang før det kommer inn i magasinene.

Fordeler:	Ulemper:
<ul style="list-style-type: none"> • Kan håndtere store mengder overvann • Håndterer overvannet lokalt • Bruker ikke overflatevolum 	<ul style="list-style-type: none"> • Bruker ikke vannet som en ressurs i nærmiljøet • Vanskelig/ ikke mulig å komme til etter ferdigstillelse

Tabell 9: Fordeler og ulemper ved lukkede magasiner

4.3.7 Trygge flomveier

Flomveier er alle overflater som leder vann ved flom, det kan både være kunstige tiltak eller naturlige terrengformasjoner (21). Dette vannet kan komme som følge av at avløpsnettets og LOD- anleggenes kapasitet overstiges, eller ved tilstoppinger i systemene. For å sikre at flomvannet er til minst mulig fare eller skade for mennesker, bygninger og lignende, bør det anlegges egne kanaler eller områder hvor vannet kan føres bort på en sikker måte.

I de senere årene har behovet for å etablere trygge flomveier i urbane strøk økt. Dette skyldes klimaendringer, større andel tette flater, begrenset kapasitet i avløpsnett og at kostnadene for å utbedre kapasiteten er store. Ved å anlegge åpne flomveier kan flomvannet brukes til rekreasjon, øke de biologiske mangfoldet og eventuelt åpne bekker som tidligere har blitt lukket. Ved å gjennomføre en del tiltak kan bestemte gater brukes til å lede flomvannet. Tiltakene kan for eksempel innebære å senke gatenivået og forhøye fortauskantene for å lede vannet riktig vei. Det kan også være nødvendig å lage ledekanter som hindrer vannet i å renne ned i underjordiske garasjer, kjellere eller lignende. Flomvannet kan også ledes over offentlige områder som for eksempel parkeringsplasser, kirkegårder, parker og lekeplasser. Her kan vannet renne eller stå uten at det oppstår store ulemper.

Flomveier bør analyseres og dimensjoneres for regnhendelser med gjentaksintervall på minst 100år (11).

4.4 Utleggings- og gravemetoder

Det finnes ulike metoder for å legge rør både ved hjelp av konvensjonell graving og gravefrie metoder, såkalt NoDig. Gravefrie metoder kan være fordelaktig med tanke på kostnad, men er også avhengig av grunnforhold og det eksisterende rørets tilstand.

4.4.1 Konvensjonell graving

Ved konvensjonell graving legges nye rør i åpen grøft. Dette er den vanligste utleggingsmetoden og den innehar en rekke fordeler som ubegrenset grøftelengde samt at alle rørmaterialer kan benyttes. Det er også en metode som er fordelaktig når det skal utføres større prosjekt hvor flere rør skal byttes.

Miljømessig er konvensjonell graving underlegen i forhold til NoDig metoder. Det er en mer inngripende metode for lokalmiljøet, trafikkforhold og mer sårbar ovenfor naturmiljø. Det medfører ofte lengre anleggstid og ulemper for naboer langs trasen (22).

Fordeler:	Ulemper:
<ul style="list-style-type: none">• Kan i tillegg til overvannsledning legge vann- og spillvannsledninger i samme grøft• Ubegrenset grøftelengde• Gammel og kjent metode• God kontroll på ledningsfall	<ul style="list-style-type: none">• Større inngrep i natur og bebygd areal• Større klimabelastning ved anleggsarbeid• Ulemper for trafikk og naboer• Antatt lengre anleggstid

Tabell 10: Fordeler og ulemper ved konvensjonell graving

4.4.2 NoDig metoder

NoDig metoder er en fellesbetegnelse på teknikk for fornyelse av gamle, eller etablering av nye VA- ledninger. Metodene sikrer ingen eller minimal graving og benyttes ofte der graving er kostbart, eller umulig som følger av grunnforhold eller eksisterende infrastruktur og bygningsmasse (23).

I hvilken grad de ulike metodene egner seg er avhengig av grunnforhold, tilstanden til det gamle røret og krav til ønsket resultat. Metodene deles inn i tre klassifiseringer; strukturell, semi- strukturell og ikke- strukturelle metoder (23).

VA/ miljøblad nr. 90 gir en oversikt over de ulike metodene, og under gis en kort gjennomgang av disse:

Strukturell metode:

Det nye røret kan alene motstå opptredende krefter i hele levetiden.

- **Rørtrykking/ nytt rør:** det etableres et nytt rør i jomfruelige løsmasser. Ofte brukt er helviseiset stålrør med åpen front. Røret blir normalt utført med nytt medierør, men kan brukes til overvann uten ytterligere tiltak. Anbefalt ledningsfall er > 15 ‰. Metoden brukes ofte på korte strekninger (< 60 meter) under veier eller jernbane.
- **Boring i løsmasser/ nytt rør:** det etableres nytt medierør direkte i jomfruelige løsmasser. Dette skjer ved fremføring av stålstring og deretter direkte inntrekking av nytt rør. Metoden er fordelaktig i vernede områder, bymiljø ol. Kravet til nøyaktighet avhenger av type ledning, men det er ønskelig med minimum 10 ‰ fall på selvføllsledninger.
- **Boring i fjell eller kombinasjonsmasser/ nytt rør:** det bores et hull direkte eller ved varerør. Det utføres ved hjelp av borestring påmontert fjellborekrone. Borelengden kan variere fra 10-600 meter. I kombinasjonsmasser benyttes «Hammerboring» med en normal borelengde på 10-90 meter.
- **Rørrinnføring («relining») / nytt rør:** det innføres et nytt rør direkte i det gamle røret. Det forutsettes at eksisterende rørtverrsnitt kan reduseres.
- **Utblokking / nytt rør:** det gamle røret blokkes ut med et konisk utblokkingshode med nytt rør påmontert for fortløpende innføring. Ved bruk av denne metoden kan eksisterende rør oppdimensjoneres. Det krever også at omfyllingsmassene kan ta imot denne oppdimensjoneringen, da med tanke på nærhet til fjell. Nærhet til annen infrastruktur må også vurderes.

Semi- strukturell metode:

Det nye røret er delvis avhengig av støtte fra det eksisterende røret, for å kunne motstå krefter i hele levetiden.

- **Strømperenovering:** det blir ført en fleksibel foring (gjerne glassfiber) inn i det gamle røret. Dette trykkesett og foringen legger seg mot rørveggen og herder. Metoden krever liten plass for innføring.
- **Tetttilsluttet rør:** det føres inn innsnevret rør i det gamle røret. Det blir trykksatt og det nye røret legger seg mot rørveggen i det gamle.

Ikke strukturell metode:

Det nye røret er helt avhengig av støtte fra det gamle røret, for å kunne motstå krefter i hele levetiden.

- **Belegg:** det foretas påsprøyting direkte på eksisterende rørvegg med et to- komponent stoff som herder på stedet. Beleggtykkelsen varierer fra 1-5 mm. Innvendig korrosjon i røret stoppes og ruheten minimeres.

Fordeler:	Ulemper:
<ul style="list-style-type: none"> • Minimal forstyrrelse av omgivelsene • Mindre ulemper for trafikk og naboer. • Større økonomiske og miljø gevinster. • Minimale terrenginngrep • Mulighet for kortere anleggstid. 	<ul style="list-style-type: none"> • Vanskelig med nøyaktig fall ved boring. • Økt dimensjon ved nærhet av annen infrastruktur. • Kan gi vanskeligheter ved varierende grunnforhold.

Tabell 11: Fordeler og ulemper ved NoDig metoder

4.5 Ledningsmaterialer

VA- miljø blad nr. 30 «Valg av rørmaterialer» viser til at riktig valg av materiale er avgjørende for å oppnå tilstrekkelig levetid innenfor gitte økonomiske rammer. Det er ulike parametere som må tas med i vurderingen, herunder hensyn til trykk, vannmengder, vannkvalitet, grunnforhold, grøftetyper etc. Ledningsmaterialet skal ha en levetid på 100 år, og dermed være motstandsdyktig mot interne og eksterne påkjenninger (24).

I dette kapittelet ses det nærmere på de vanligste rørmaterialene som brukes for å transportere overvann. Det er naturlig at ledningssystemet på «Prærien» vil bli lagt med selvfal, det blir derfor kun sett på materialer som er vanlig og egner seg for trykkløse system.

Betong

Betongrør er historisk sett det mest brukte rørmaterialet for avløpsrør i Norge. I dag er det mest benyttet ved store dimensjoner (DN>600) og da også armerte (1). Kravspesifikasjoner for betong avløpsrør er beskrevet i VA- miljøblad nr. 14. Betongrør tåler store belastninger og kan produseres i styrke tilpasset det aktuelle prosjektet.

Fordeler:	Ulemper:
<ul style="list-style-type: none"> • Sterkt materiale • God korrosjonsbestandighet • Store dimensjoner 	<ul style="list-style-type: none"> • Sårbar for kjemisk nedbrytning ved lav pH. • Sårbar for uforsiktig håndtering • Korte rørlengder dermed mange skjøter.

Tabell 12: Fordeler og ulemper med betongrør

PVC- U

Polyvinylkloridrør (PVC) er i dag det mest brukte rørmaterialet i Norge til vann og avløp (25). PVC-U står for «uten tilsatt mykner» og består av hydrokarboner og klor. PVC er sårbar ved legging og krever korrekt komprimering (1).

Fordeler:	Ulemper:
<ul style="list-style-type: none">• Enkel å arbeide med (lav vekt, enkel å kappe)• Hydraulisk glatte rør• Motstandsdyktig mot korrosjon• God formbestandighet• God tetthet	<ul style="list-style-type: none">• Sårbar ved uforsiktig håndtering• Redusert slagfasthet i kulde• Sårbar for trykkstøt som oppstår ofte.

Tabell 13: Fordeler og ulemper med PVC-U rør

PP

Polypropylen (PP) er en termoplast og består av hydrokarboner. Det finnes mange ulike typer polypropylen med ulike materialegenskaper, men som avløpsrør er den mest vanlige kalt PP-B. I Norge brukes PP- rør hovedsakelig til trykløst grunnavløp (26).

Fordeler:	Ulemper:
<ul style="list-style-type: none">• Enkel å arbeide med (lav vekt, enkel å kappe)• Hydraulisk glatte rør• Meget motstandsdyktig mot kjemikalier og korrosjon• Høy slagfasthet ved lave temperaturer• Tåler høye temperaturer	<ul style="list-style-type: none">• Større lengdeutvidelse ved temperaturendringer enn PVC-U

Tabell 14: Fordeler og ulemper med PP-rør

5 Drøfting

I dette kapitlet skal det drøftes ulike løsninger for å håndtere overvannet på «Prærien». Målet er å finne en bærekraftig løsning som har kapasitet til å ta unna den fremtidige avrenningen. I tillegg til at systemet skal ha stor nok kapasitet til å håndtere overvannet, skal det også tas hensyn til folkehelse, miljø og biologisk mangfold i området. Kostnaden for de ulike tiltakene spiller også en rolle i vurderingene som gjøres.

De ulike alternativene som skal drøftes er:

1. 0-alternativet – å beholde systemet slik det er i dag.
2. Separere overvann og spillvann, og bruke de eksisterende overvannsledningene ut av området slik de er i dag.
3. Separere overvann og spillvann, bruke de eksisterende overvannsledningene ut av området slik de er i dag og også fordrøye overvann lokalt på området.
4. Separere overvann og spillvann, og legge ny overvannsledning ut av området
5. Separere overvann og spillvann, legge ny overvannsledning ut av området og også fordrøye overvann lokalt på området.

5.1 0-alternativet

Den billigste og enkleste metoden for å håndtere overvannet på «Prærien» er å beholde systemet slik det er i dag. Frem til nå har overvannsproblematikken vært liten – det har vært lite oversvømmelser i kjellere, lite forurensing i resipientene og lignende. Dette kan skyldes at rørene er dårlige og store deler av avløpsvannet lekkes ut og infiltreres i grunnen. Det er ikke gjort undersøkelser på kostnader ved pumping og rensing av overvann i spillvannsanlegg i forbindelse med arbeidet med denne oppgaven, men disse kostnadene er trolig ikke ubetydelige.

Klimaendringer og økt nedbør kan by på ytterligere utfordringer for det eksisterende fellessystemet på «Prærien». Den økte nedbøren vil blant annet føre til at det blir mer regnvann i avløpsnett og i renseanleggene. Dersom det ikke gjøres forebyggende tiltak kan dette igjen føre til skader på infrastrukturen og private eiendommer, samt være skadelig for helse og miljø (27).

Økningen i regnvannsmengde i avløpsnett vil i enkelte områder kunne være problematisk med tanke på overbelastning. Dersom et fellessystem blir overbelastet kan man risikere at urensset spillvann lekker ut og forurenser resipientene. Dette vil ha uheldige konsekvenser for menneskers helse, men også det øvrige økosystemet. Overbelastning kan også føre til tilbakeslag i avløpsnett, og man kan få oppstuvning i kjellere. Dette vil være spesielt kritisk ved fellessystem, ettersom oppstuvningen da vil bestå av både overvann og spillvann.

I fellessystem føres overvannet også inn til renseanleggene. Derfor vil økt overvannsmengde kunne føre til utfordringer der. Med økt mengde vann som føres inn vil belastningen på anleggene øke, som kan føre til at det vil være vanskeligere å rense like effektivt. Blant annet vil renseanlegg med biologisk rensing kunne få økt utslipp ved at overvannet føres hit. De biologiske prosessene vil nemlig gå langsommere fordi overvannet er kaldere enn spillvannet. En annen ulempe økt vannmengde fører med seg er utslipp av fosfor. Restkonsentrasjonen av fosfor i utslippet er uavhengig av tilført vannmengde. Det vil si at dersom vannmengden øker vil mengden fosfor øke lineært. Derfor vil det være hensiktsmessig at utslippet er minst mulig, som igjen sier at det bør komme minst mulig vann inn i renseanleggene.

Fellesledningene på «Prærien» er gamle og bør derfor skiftes ut. Dersom ledningene likevel skal skiftes ut kan det være lurt å oppgradere avløpssystemet til separatsystem. Dette vil føre til mindre avløpsvann i renseanleggene, mindre fare for oppstuvning av spillvann i kjellere og mindre fare for at resipientene og grunnvannet forurenses av spillvann.

Dette alternativet vil ikke kunne håndtere fremtidig avrenning fra området.

5.2 Alternativ 2 – Separere

Ledningsnett på «Prærien» er gammelt og utdatert. Både avløpsledningene og vannledningene er gamle og modne for utskifting. I de fleste gatene må derfor hele ledningssystemet skiftes ut, og det vil derfor være aktuelt å grave. Når ledningene likevel skal graves opp bør avløpssystemet oppgraderes til separatsystem. Alternativ 2 går derfor ut på å separere avløpsnett og bruke de eksisterende overvannsledningene til å transportere overvannet ut av området. I dette kapitlet er det derfor interessant å finne ut hvor stor den fremtidige avrenningen kommer til å bli, men også hvor stor kapasitet de eksisterende ledningen har.

5.2.1 Fremtidig avrenning

For å finne hvor stor overflateavrenningen i området vil være, skal den rasjonelle metoden benyttes. Dette vil gi en oversikt over hvor mye overvann fra området som må håndteres. Den rasjonelle formelen er beskrevet i kapittel 4.2. I dette kapitlet beskrives framgangsmåten for å finne verdiene til de ulike faktorene, samt beregningen av avrenningen.

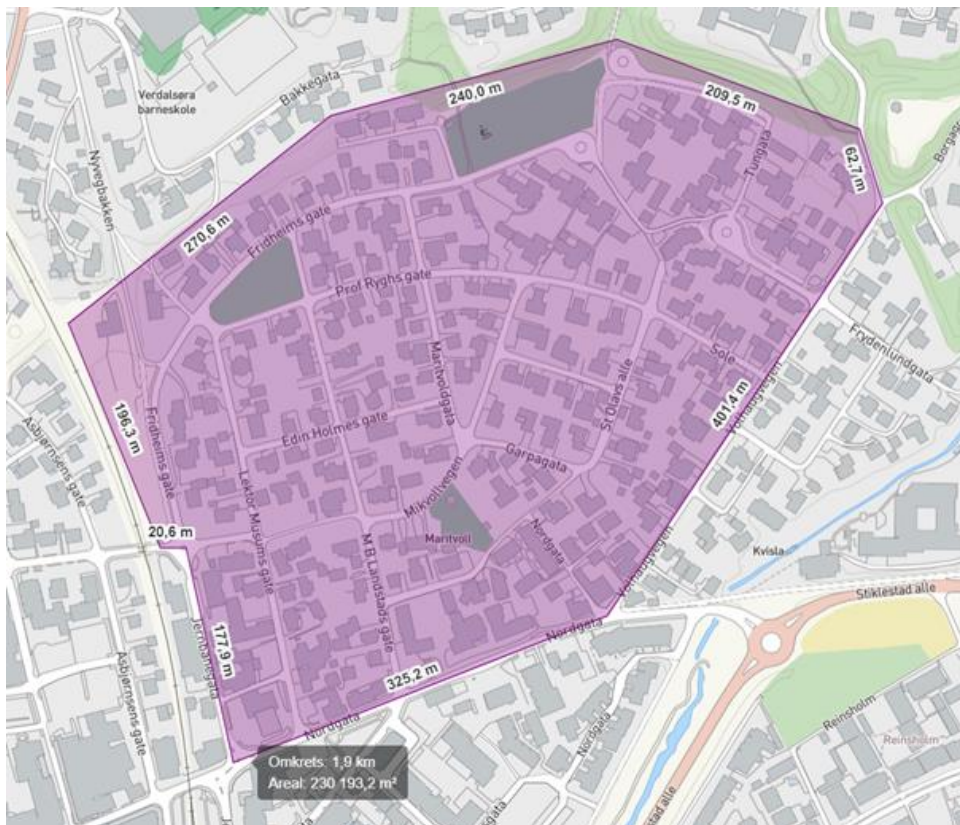
$$Q = \varphi * A * I * K_f$$

For å bruke den rasjonelle formelen er følgende framgangsmåte brukt:

1. Finne arealet A
2. Bestemme avrenningskoeffisient ϕ
3. Bestemme gjentaksintervallet for nedbøren Z
4. Bestemme konsentrasjonstiden t_k
5. Lese av regnintensiteten I fra IVF-kurve
6. Anta en klimafaktor K_f
7. Beregne avrenningen Q

Areal

Arealet er bestemt ut fra det nettbaserte måleverktøyet i kommunekart.com (28). Ved å tegne inn feltets avgrensninger får man feltets areal i m^2 , se figur 15.



Figur 15: Oppmåling av området, kilde: kommunekart.com

Ved denne avgrensningen er feltets areal $A = 230\,193,2\text{ m}^2 = 23\text{ ha}$.

Avrenningskoeffisient

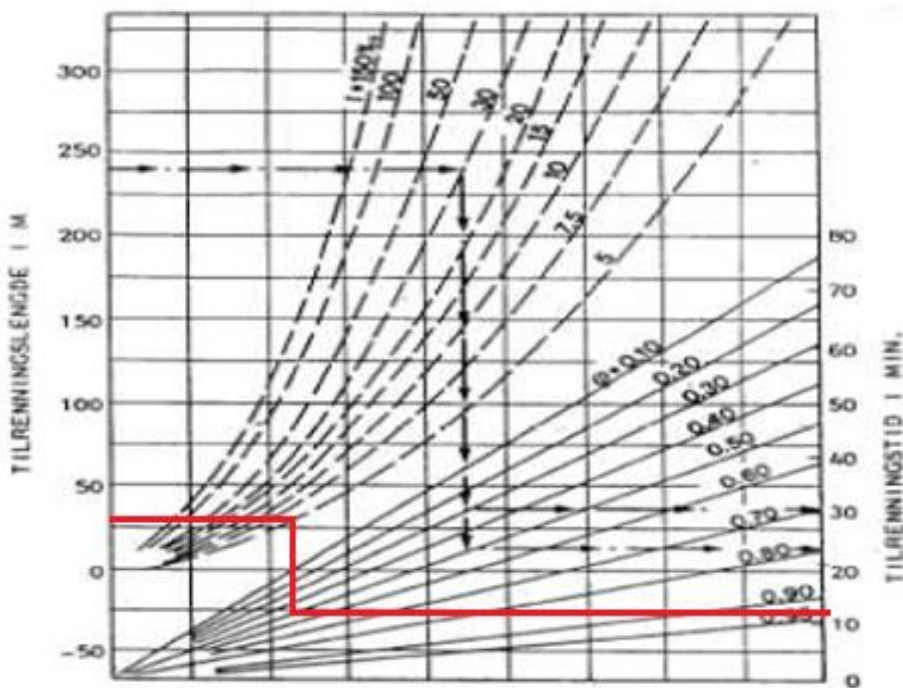
Prærien består hovedsakelig av eneboliger, noen leilighetsbygg i nord-øst og gresskledd område med god infiltrasjon. Avrenningskoeffisienten er hentet ut fra tabell 1 i kapittel 4.2. Det er tatt utgangspunkt i at området er et eneboligområde, som gir en avrenningskoeffisient mellom 0,50 og 0,70. Fordi området er flatt og har stor andel permeable flater, er det valgt å bruke den laveste verdien. Dermed er det valgt en avrenningskoeffisient $\phi = 0,50$ ut fra dagens situasjon. Ved fortetting og utbedring av veier og andre tette flater er det trolig at avrenningskoeffisienten vil kunne øke noe.

Gjentaksintervall

For valg av gjentaksintervall er det tatt utgangspunkt i tabell 2 i kapittel 4.2. «Prærien» består stort sett av eneboliger med relativt store hager, og det er mange steder overvannet kan renne uten å samle seg opp på overflaten. Derfor klassifiserer planområdet som et åpent boligområde. Ifølge tabellen ville gjentaksintervallet da ha blitt 10 år, men verdiene i tabellen er minimumsverdier og det må gjøres lokale tilpasninger. Planområdet er sentrumsnært og kan derfor være svært aktuelt for fortetting. Ved beregning av fremtidig avrenning vil det derfor være aktuelt å ta hensyn til mulig fortetting og utbygging av tette flater. Derfor er det valgt gjentaksintervall $Z = 20$ år for planområdet.

Konsentrasjonstid

I urbane felt er det vanlig å bruke konsentrasjonstid mellom 5 og 10 minutter (1). «Prærien» er et sentrumsnært område og kan derfor betraktes som urbant. Likevel består området av en stor andel hager og andre infiltrasjonsarealer, så for å ta hensyn til dette er konsentrasjonstiden justert opp. Ved hjelp av disse erfaringsbaserte verdiene er konsentrasjonstiden for feltet på «Prærien» antatt å være omtrent 15 minutter. Dette kan være et godt overslag for valg av feltets konsentrasjonstid. For å etterprøve denne antagelsen er diagrammet i figur 12 i kapittel 4.2 brukt til å beregne tilrenningstiden på overflaten. Alle slukene i området skal skiftes ut ved rehabilitering av vegene, og i den anledning antas det at slukene legges med ca. 60 til 70 meters avstand. Videre antas det at overskuddsvann fra eiendommene kobles direkte i rør og/eller kummer. Den lengste tilrenningsavstanden på overflaten settes derfor til ca. 30 meter. Figur 16 viser hvordan diagrammet er brukt for å finne den lengste tilrenningstiden på overflaten.



Figur 16: Bruk av diagram for å finne tilrenningstid på overflaten

Tilrenningstiden på overflaten blir da ca. 10 minutter. I tillegg skal det legges til den tiden det tar for vannet å renne ut av området i rørene, denne tiden er antatt å være ca. 5 minutter. Konsentrasjonstiden t_k for feltet blir da ca. 15 minutter, og det er dette som er brukt for videre beregninger.

Nedbørintensitet

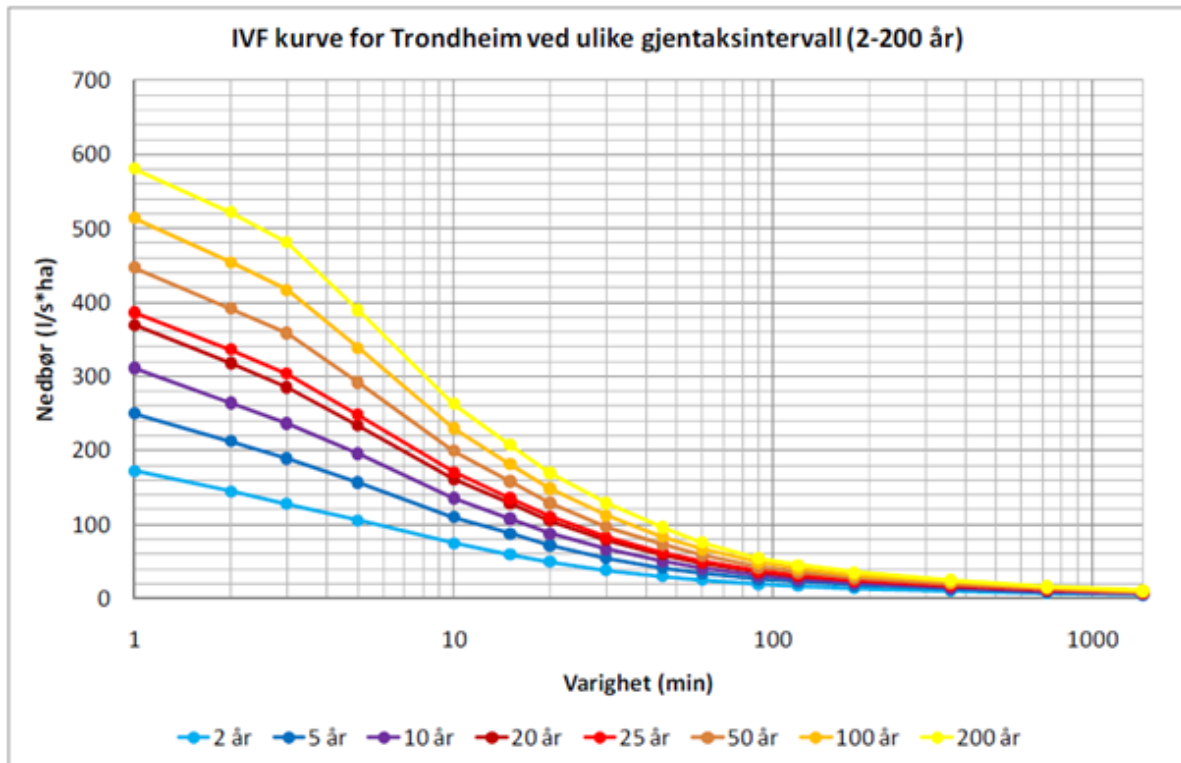
For å finne nedbørintensiteten i et område tas det utgangspunkt i dimensjonerende gjentakintervall og regnvarighet for området. Videre brukes disse verdiene til å lese av regnintensiteten i IVF-kurver fra området. Det finnes ikke egne IVF-kurver for Verdal, men Trondheim kommune har gode målinger.

I samtale med Bjørn Jarle Risholt og Bård Kotheim ble det fortalt at de største nedbørintensitetene i Verdal er større enn i Trondheim. Dette stemmer godt med data fra norsk klimaservicesenter. Norsk klimaservicesenter har ikke egen stasjon i eller i nærheten av Verdal, derfor er det pekt ut et punkt i kartet og estimert verdier. Disse verdiene bør ikke brukes til beregninger, men kan gi en pekepinn på verdiene i området (29). I tabellen under er de estimerte verdiene fra «Prærien» sammenlignet med verdiene fra målestasjon på Risvollan i Trondheim. Bakgrunnen for tallene i tabellen er gjentakintervall 20år.

Målestasjon	Varighet		
	10 minutter	1 time	3 timer
Prærien	178,4	58,7	27,2
Risvollan	170	49,2	23,6

Tabell 15: Sammenligning av nedbørintensitet på "Prærien" og Risvollan i Trondheim

I denne sammenligningen kommer det fram at de mest intensive regnhendesene er mer intensive i Verdal enn i Trondheim. Likevel er verdiene såpass like at det er tatt utgangspunkt i verdiene fra Trondheim for videre beregninger. Nedbørintensiteten I hentes derfor ut fra IVF-kurver fra Trondheim kommunes VA-norm. IVF-kurvene er basert på et snitt fra målestasjonene Voll, Risvollan, Lande, Ranheim, Saupstad og Sverresborg.



Figur 17: IVF-kurve hentet fra Trondheim kommunes VA-norm

Med konsentrasjonstid på 15 minutter og gjentaksintervall på 20 år kan det leses ut av IVF-kurven at nedbørintensiteten I er 128 l/s*ha.

Klimafaktor

Ved valg av klimafaktor er det tatt utgangspunkt i tabell 3 i kapittel 4.2, hentet fra Trondheim kommunes VA-norm. Det skal dimensjoneres for korte regnhendelser med gjentaksintervall på 20 år, derfor er det valgt klimafaktor $K_f = 1,4$.

Dimensjonerende avrenning

Ut ifra vurderingene som er gjort over er følgende faktorer lagt til grunn for beregningen:

- $A = 23\text{ha}$
- $\phi = 0,5$
- $Z = 20 \text{ år}$
- $t_k = 15 \text{ min}$
- $I = 128 \text{ l/s*ha}$
- $K_f = 1,4$

Dermed blir den dimensjonerende avrenningen $Q = 2060 \text{ l/s}$.

5.2.2 Eksisterende kapasitet

Det er noen eksisterende overvannsledninger i området, disse er beskrevet i kapittel 3.1. Her skal det beregnes hvor mye overvann de eksisterende ledningene kan ta unna. Til dette brukes Colebrooksdiagram for betongledningene og Wavins beregningsprogram for plastledningene. I begge tilfeller kreves det at både fallet, dimensjonene og ruheten til ledningene er kjent.

Ledningenes dimensjoner er funnet ved hjelp av VA-kart og kartdata som er fremstilt i AutoCAD. Her er det også beskrevet hvilke materialer ledningene er laget av. Det er antatt at ruheten til betongledningene er 1,0mm, ettersom de er forholdsvis gamle. For plastledningene er det antatt en ruhet på 0,25mm.

Når det gjelder fall er det derimot ikke så lett å lese dette direkte ut av kartene som har vært tilgjengelige. Det er vanlig at ledningene ligger ca. 2meter under bakken og følger overflatens fall. Dette vil være vanskelig i store flate områder, slik som "Prærien". Verdalen sentrum har mange flate områder og rør legges derfor ofte ganske flatt her. Til eksempel legges nye spillvannsledninger med ca. 5‰ fall, og det er helt vanlig at overvannsledninger legges med fall på bare 1‰. I samråd med Bjørn Jarle Risholt er det kommet frem til at de aktuelle overvannsledningene mest sannsynlig er lagt med fall mellom 3 og 5‰. I tabellen under er fallet til de ulike ledningene funnet ved hjelp av kartverktøyet i kartet fra kommunekart.com. Det er tatt utgangspunkt i at bunnen av ledningen ligger i høyde med resipienten ved utslippspunktet, og at toppen av ledningene ellers ligger ca. 2m under bakken. Det vil si at høydeforskjell på innløp og utløp er:

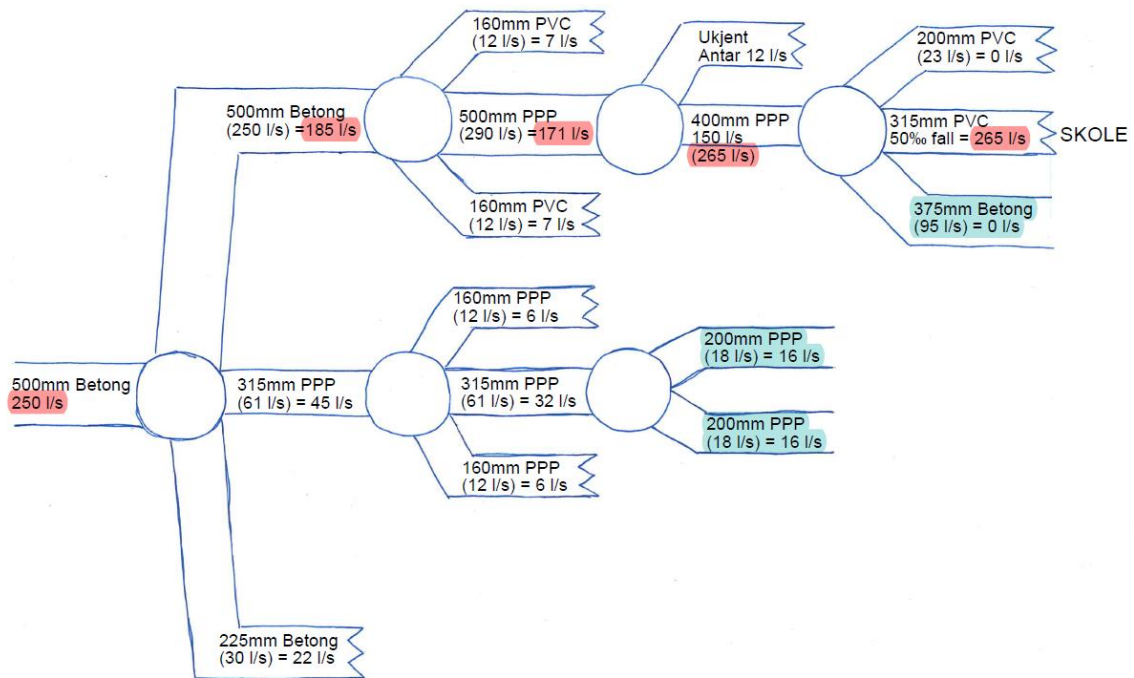
Terrenghøyde ved innløp - overdekning på 2m - rørdiameter - høyde ved resipient

	Fall	Vannføring [l/s]	Metode
500mm betong	4‰	250	Colebrooks diagram, ruhet k = 1.0mm
600mm betong	5‰	450	
315mm PVC	5‰	82,2	Wavins beregningsprogram, ruhet k = 0.25mm
315mm PPP	4‰	60,9	

Tabell 16: Kapasitet på eksisterende overvannsledninger

Verdiene i tabellen gjelder for rørene som går ut til resipientene, men noen av disse rørene håndterer også overvann fra områder utenfor plangrensene. Derfor er det gjort ytterligere beregninger, for å finne ut hvor mye overvann ledningene kan ta unna innenfor plangrensene. Figur 18, 21 og 22 viser forgreiningene i ledningsnettets med hver lednings kapasitet og hvor mye som teoretisk sett kan gå gjennom dem samlet. Her er det tatt utgangspunkt i utslippsledningene og verdiene i tabell 16. Videre er det regnet tilbake ledd for ledd for å finne ut hvor mye overvann som teoretisk sett kan komme fra hver ledning. Se vedlegg 2 for detaljert utregning av hvert ledd.

500mm betongledning

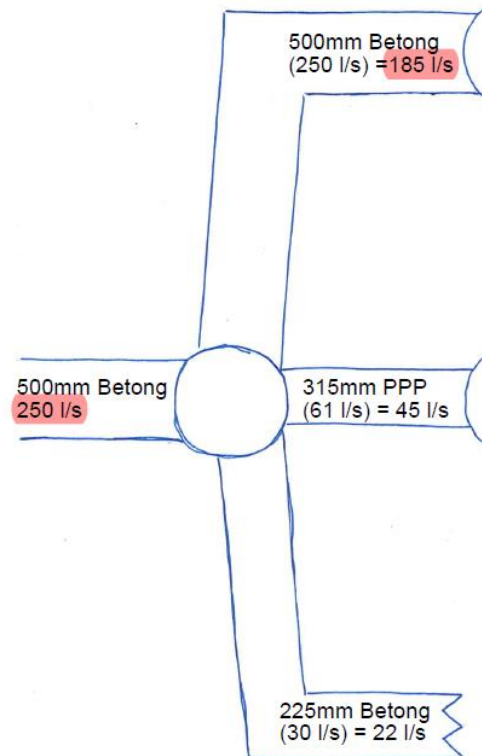


Figur 18: Ledningsnett for 500mm betongledning

Vi ser nærmere på ett av leddene i ledningsnettet som fører ut i 500mm betongledningen ved Verdalselva. Her skal tre ledninger med samlet kapasitet på 340 l/s føres inn på én ledning med kapasitet på 250 l/s. Som en forenkling antas det at trykktapet i de ulike ledningene er likt når de kommer fra ca. samme høyde. Derfor kan formelen under brukes for å finne ut hvor stor andel av kapasiteten til hver ledning som føres videre til ledningen med kapasitet på 250 l/s.

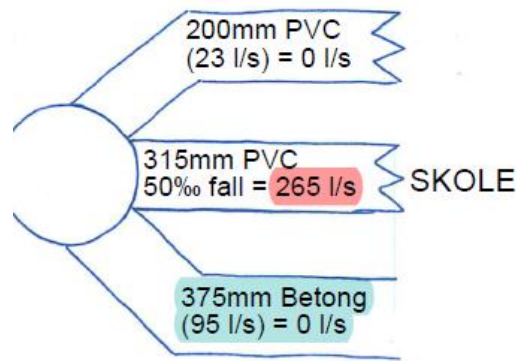
$$\frac{250 \text{ l/s}}{340 \text{ l/s}} * 100\% = 74\%$$

Det vil si at 74% av kapasiteten fra hver ledning videreføres. For eksempel: for 315mm PPP-ledningen med kapasitet på 61 l/s, vil det si at kapasiteten reduseres til 45 l/s.



Figur 19: Første forgreiningspunkt

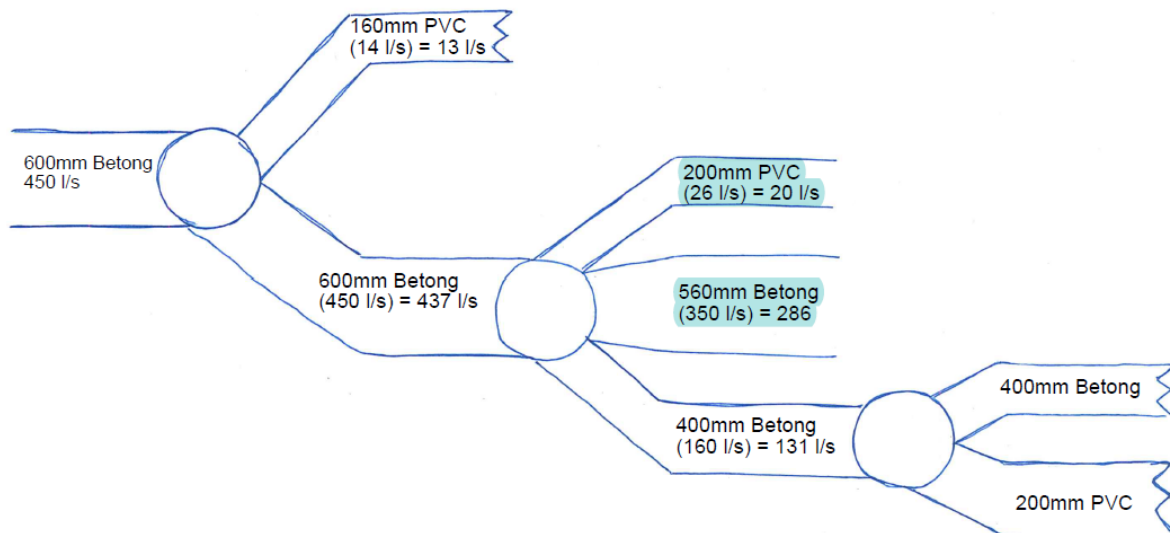
Ser man derimot på forgreiningspunktet som blant annet går opp mot skoleområdet er det en utfordring. Skoleområdet ligger mye høyere enn det resterende området, og det er derfor naturlig å anta at vannet i ledningene vil få betydelig mer trykk herfra. Det vil kunne skape problemer med oppstuvning og tilbakeslag i de andre ledningene i forgreiningspunktet, men det kan også øke kapasiteten til ledningene nedstrøms. Denne kapasitetsøkningen kan ikke medregnes fordi man ikke kan regne med trykk i selvfallsledninger.



Figur 20: Forgreiningspunkt mot skolen

Trykket fra ledningen fra skolen vil kunne være så stort at det opptar all kapasiteten til ledningsnettets hele veien ut til elva. Tallene som er merket med rødt i figur 18 skal illustrere dette. I denne oppgaven er det valgt å anta at 500mm betong-ledningen ikke har noe ledig kapasitet til de lavere liggende områdene ved høy nedbørintensitet.

600mm betongledning



Figur 21: Ledningsnett for 600mm betongledning

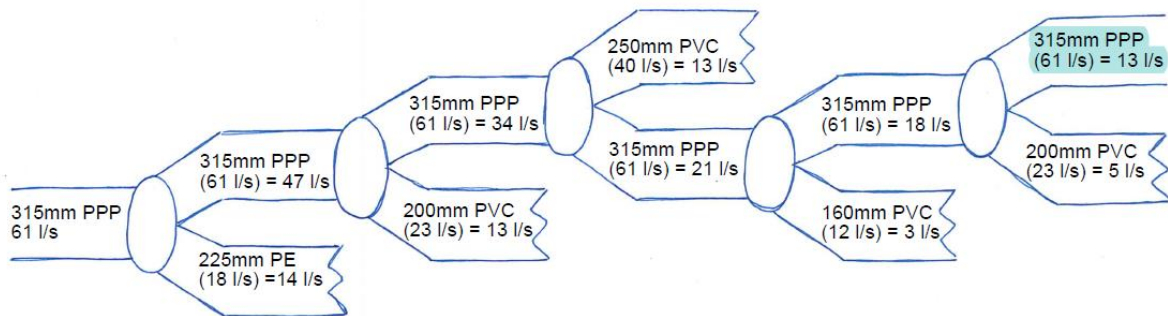
Dersom man ser på ledningsnettets som fører ut i 600mm betongledningen og ut i Kvisla, ser man at også den tar unna vann fra områder utenfor plangrensene.

Her ligger områdene i omtrentlig lik høyde, dette vil medføre at oppstuvningen i de ulike kummene vil være omtrentlig lik. Med lik oppstuvning i kummene vil trykklinjen ikke endres, og kapasiteten vil sannsynligvis fordeles etter størrelsen på ledningene. Dermed er det beregnet at ledningen vil kunne ta unna ca. 200 l/s fra planområdet.

Plastledningene

PVC-ledningen som går ut i Kvisla mellom Vollhaugvegen og Nordgata har ingen forgreiningspunkter. Derfor kan hele kapasiteten brukes til å håndtere overvann fra planområdet.

PPP-ledningen som går ut av planområdet ved rådhuset tar unna vann i områdene nedstrøms for rådhuset. Ved å regne tilbake ledd for ledd kommer det frem at mesteparten av kapasiteten brukes opp. Det er bare kapasitet til å håndtere 13 l/s fra planområdet, se figur 22.



Figur 22: Ledningsnett for 315mm PPP-ledning ved rådhuset

Ledig kapasitet

Ut ifra beregningene som er gjort over er det kommet fram til at ledig kapasitet til avrenningen fra «Prærien» er som vist i tabell 17.

Ledning	Vannføring fra «Prærien» [l/s]	Hvorfor?
500mm betong	0	Ledningen fra skolen vil, ved intensive nedbør, oppta all kapasiteten i denne ledningen
600mm betong	306	Ledningen tar unna vann fra områder utenfor plangrensene
315mm PVC	82	Den har ingen forgreininger utenfor området og all kapasiteten vil bli brukt på planområdet
315mm PPP	13	Ledningen tar unna vann fra områder nedstrøms fra planområdet

Tabell 17: Ledig kapasitet i eksisterende ledninger

I oppstartsmøtet med Verdal kommune ble det sagt at de eksisterende ledningene hadde lite eller ingen ledig kapasitet. Det har blitt bekreftet med utregningene som er gjort i dette kapitlet. Den 500mm store betongledningen som går ut i Verdalselva har allerede sprengt kapasitet, og det vil derfor ikke være hensiktsmessig å koble flere eller større områder til denne ledningen. 315mm PPP-ledningen som går ut ved rådhuset har også svært lite ledig kapasitet. Mens den 600mm store betongledningen som går ut av planområdet i nordøst og munner ut i Kvisla ser, etter beregningene, ut til å fortsatt kunne ta unna en del vann.

Metoden som er brukt for å regne ut kapasiteten har imidlertid noen feilkilder. Når ledningene legges er det vanlig at nødvendig kapasitet beregnes, så rundes det opp til nærmeste ledning som kan passe. Likevel brukes det gjerne større ledninger enn nødvendig for å slippe å bytte dimensjoner på ledningene i hvert knutepunkt. Dette gjør at det er vanskelig å vite den faktiske vannføringen i de forskjellige rørene. Det er derfor tatt utgangspunkt i de teoretiske verdiene fra dette kapitlet for videre beregninger.

5.2.3 Vurdering

Etter beregningene som gjort i dette kapitlet er det kommet frem til følgende tall:

- Fremtidig avrenning = 2060 l/s
- Eksisterende kapasitet = 400 l/s
- Overskytende avrenning = 1660 l/s

Det er lite kapasitet i de eksisterende overvannsledningene i forhold til den fremtidige avrenningen. Dette kan føre til oversvømmelser i området dersom overvannet ikke håndteres på andre måter. Dette alternativet vil derfor ikke være gjennomførbart uten ytterligere tiltak.

Alternativ 2 vil ikke kunne håndtere fremtidig avrenning fra området.

5.3 Alternativ 3 – separere og fordrøye

Alternativ 3 er en variant av alternativ 2 – hvor avløpssystemet separeres, overvannet håndteres ved bruk av de eksisterende ledningene, men også ved å fordrøye og infiltrere til grunnen. Da er det relevant å vite hvor mye vann grunnen kan ta opp uten at det skaper problemer i kjellere i området.

5.3.1 Mulig fordrøyning i området

For å finne ut hvor mye vann som kan fordrøyes er det relevant å vite høydeforskjellen mellom grunnvannstanden og terreng høyden, eller den høyden det tillates at vannet stiger til ved regnhendelser. Det er mange hus i området som har kjellere og derfor kan det ikke tillates at vannet stiger helt til terrengoverflaten. For beregningene som gjøres i dette kapitlet tas det utgangspunkt i at grunnvannstanden ligger på kote +3 i hele prosjektområdet. Terrengoverflatens høyde varierer mellom kote +6 og +8, men for å ta hensyn til kjellerne i området kan det tillates at vannet stiger til kote +4,5. Dette gir vannet 1,5 meter å stige på over et område på 23ha.

$$23\,000\text{m}^2 * 1,5\text{m} = 34\,500\text{m}^3$$

Det totale volumet i grunnen hvor det kan fordrøyes vann er $34\,500\text{m}^3$. For å finne ut hvor mye vann som totalt kan fordrøyes er neste steg å finne porevolumet i massene.

For å finne porevolumet i sanden, det volumet som potensielt kan fylles med vann, ble det utført et lite forsøk. Forsøket gikk ut på å finne forholdet mellom egenvekten til en stein og egenvekten til grov sand. Ved å veie steinen og deretter finne volumet kan man enkelt finne egenvekten.

$$m_{\text{stein}} = 1290\text{g}$$

$$V_{\text{stein}} = 0,46\text{l}$$

$$\gamma_{\text{stein}} = \frac{m_{\text{stein}}}{V_{\text{stein}}} = \frac{1,29\text{kg}}{0,46\text{l}} = 2,8\text{kg/l}$$

Videre finner man egenvekten til sanden ved å dele vekten dens på volumet den opptar. Sanden som er brukt i dette forsøket er ikke sand fra «Prærien», men ligner nok i stor grad på den som finnes der.

$$m_{\text{grus}} = 860\text{g}$$

$$V_{\text{grus}} = 0,5\text{l}$$

$$\gamma_{\text{grus}} = \frac{m_{\text{grus}}}{V_{\text{grus}}} = \frac{0,86\text{kg}}{0,5\text{l}} = 1,8\text{kg/l}$$

Egenvekten til hvert sandkorn er lik egenvekten til steinen, men fordi det er luft mellom sandkornene er egenvekten til sanden mindre. For å finne mengden luft i sanden deles differansen mellom de to egenvektene på egenvekten til steinen.

$$\text{Porevolum} = \frac{\gamma_{\text{stein}} - \gamma_{\text{grus}}}{\gamma_{\text{stein}}} = \frac{2,8 - 1,8}{2,8} = 0,36$$

Det vil si at ca. $1/3$ av volumet er luft når sanden er tørr. Dette er volum som kan fylles med vann ved regnhendelser. For å teste om utregningen stemte ble en beholder fylt med 6dl sand. Deretter ble 2dl ($1/3$ av 6dl) vann tømte sakte over sanden. Vannet stod opp mot toppen av sanden da 2dl var helt over. Dette viser at de 6dl med sand kunne fordrøye 2dl vann, $1/3$ av sitt eget volum.

Med utgangspunkt i den geotekniske rapporten fra Verdal bo og behandlingshjem er det funnet at egenvekten til silten i området er på ca. 2kg/l . Det har ikke blitt gjort målinger for sanden i området, men det kan antas at sandens egenvekt er i nærheten av siltens. Med en egenvekt på 2kg/l vil porevolumet være noe mindre enn $1/3$, men for enkelhets skyld er det likevel dette det er regnet med. Det fører til at det kan fordrøyes ca. $1/3$ av $34\,500\text{m}^3$.

$$\text{Fordrøyningsvolum} = \frac{34\,500\text{m}^3}{3} = 11\,500\text{m}^3$$

Innenfor planområdet kan det totalt fordrøyes ca. $11\,500\text{m}^3$ vann.

Dimensjonerende avrenning er 2060 l/s, og de eksisterende ledningene kan ta unna ca. 400 l/s, verdiene er hentet fra beregning gjort i kapittel 5.2. Det vil si at ved dimensjonerende regnvarighet må grunnen kunne fordrøye ca. 1660 l/s i 15 minutter. For videre utregninger er dette gjort om til kubikk per sekund, altså $1,66\text{m}^3/\text{s}$. Med utgangspunkt i denne avrenningen og en regnvarighet på 15 minutter er det kommet fram til at følgende fordrøyningsvolum er nødvendig:

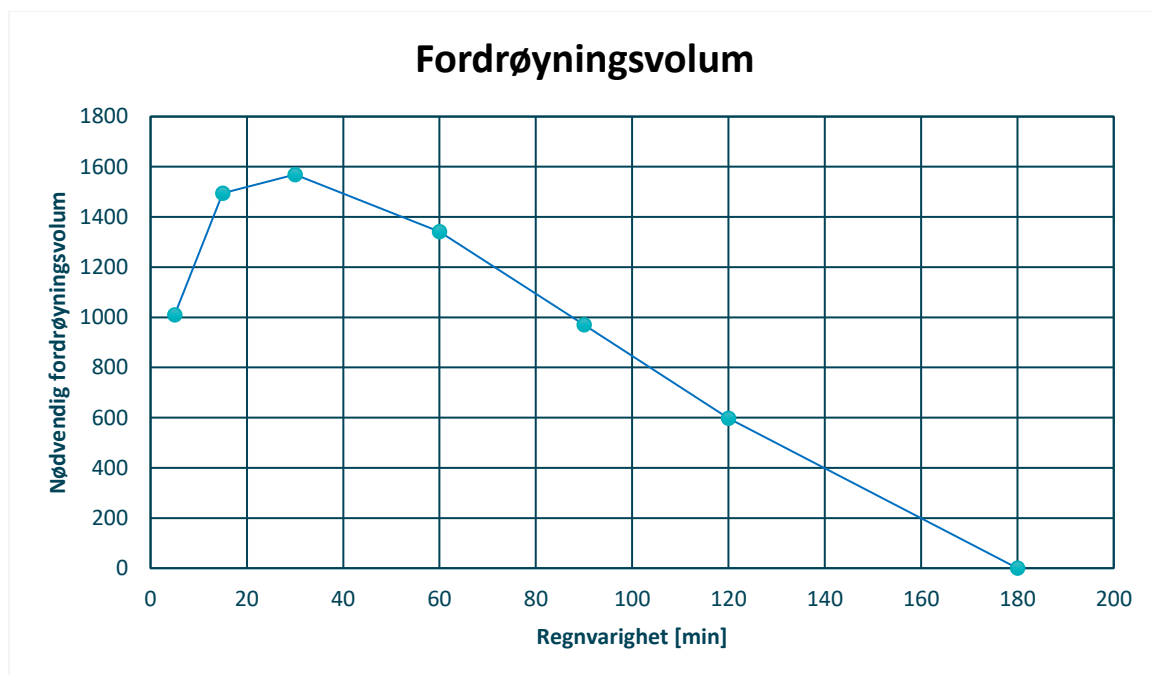
$$\text{Nødvendig fordrøyningsvolum} = 1,66\text{m}^3/\text{s} * 60\text{sek} * 15\text{min} = 1494\text{m}^3$$

Dette utgjør ca. 13% av den totale fordrøynings-kapasiteten.

Videre er det undersøkt hvilket tidsintervall som gir avrenning større enn rørenes kapasitet. Dette er gjort ved å bruke den rasjonelle formelen baklengs. Med utgangspunkt i avrenning på 400 l/s er det regnet tilbake og funnet ut hvilken regnintensitet dette gir.

$$I = \frac{Q}{A * \varphi * k_f} = \frac{400}{23 * 0,5 * 1,4} = 24$$

Så er denne regnintensiteten satt inn i IVF-kurven. Med gjentaksintervall på 20 år utgjør dette regnvarighet på 3 timer. Det vil si at regnintensitet med varighet under 3 timer vil gi større avrenning enn rørene kan ta unna, og det vil være behov for å fordrøye deler av nedbøren. Diagrammet under viser mengden vann, i kubikkmeter, som rørene ikke har kapasitet til å ta unna ved ulike regnvarigheter. Verdiene i diagrammet er beregnet ved hjelp av Excel og er vist i vedlegg 3.



Figur 23: Nødvendig fordrøyningsvolum

Ut ifra diagrammet kan man se at mengden vann som må fordrøyes ikke overstiger $1\ 600\text{m}^3$ ved noen regnintensiteter med tilsvarende regnvarighet. Det vil si at fordrøyningskapasiteten, $11\ 500\text{m}^3$, er vesentlig større enn fordrøyningsbehovet, $1\ 600\text{m}^3$.

De permeable massene i området gjør at grunnen kan ta opp vannet forholdsvis raskt. Det vil si at så lenge vannet kommer seg til sand-massene vil det infiltreres i grunnen, og det vil ikke skapes oversvømmelser i området.

5.3.2 Aktuelle tiltak

Kapasiteten til å fordrøye i grunnen er større enn mengden overvann som må håndteres. Likevel må det lages et overvannssystem som er tilpasset infiltrasjon og fordrøyning. Noen av de aktuelle tiltakene er beskrevet i kapittel 4.3, her skal det drøftes hvilke tiltak som kan være aktuelle på «Prærien».

For å ikke overbelaste overvannsledningene ut av området kan det være aktuelt å sette som krav at overvann fra eiendommene ikke skal kobles på det kommunale overvannsnettet. Dette fører til at all nedbør som faller innenfor eiendomsgrensene må håndteres lokalt på tomten. Et av tiltakene som kan gjøres lokalt på tomten kan være å føre avrenning fra takene via takrenner ned i grunnen. Eventuelt kan det anlegges regntønner for å håndtere takavrenningen. Ved bruk av regntønner vil regnvannet kunne brukes til hagevanning ved en senere anledning eller grovvask. Det kan også anlegges en kombinasjon hvor vannet føres inn i regntønner og fordrøyes her før det renner ut i grunnen gjennom et mindre rør. Dette vil gi grunnen bedre tid til å ta opp vannet. Videre vil det være en fordel å opprettholde gressflater og blomsterbed for å beholde infiltrasjonen til grunnen. Det kan også være en fordel å ha permeable dekker av belegningsstein eller grus, heller enn tette flater som asfalt.

Grønne tak kan være et godt tiltak for å redusere avrenningsmengden og -intensiteten fra tak. I dag er stort sett byggene på «Prærien» eneboliger, og det er få flate tak som er egnet for anleggelse av grønne tak. Dette kan imidlertid legges inn som krav ved eventuell fremtidig fortetting.

Den beste metoden for å fordrøye overvannet på «Prærien» vil nok være å infiltrere det til grunnen. Til dette kan blant annet infiltrasjonsarealer brukes. I dag er det mange gode infiltrasjonsarealer på «Prærien», og det vil derfor være viktig å ivareta disse og vedlikeholde dem godt. Videre kan det anlegges regnbed eller infiltrasjonsgrøfter langs veiene for å fange opp og rense overvannet der. En annen mulighet for å få vannet fra overflaten til å infiltrere i grunnen kan være å anlegge synkekummer. Disse kan også kombineres med infiltrasjonsrør. Ved å bruke en kombinasjon av synkekummer og infiltrasjonsrør vil man kunne infiltrere overvannet under frostdybden. Da føres vannet ned i synkekummene og videre inn i infiltrasjonsrørene som ligger under frostdybden. Skal det derimot infiltreres direkte fra overflaten kan det bli problemer ved tining når et er tele i bakken. Da er det stor sannsynlighet for at vannet fryser på vei ned.

Åpne dammer kan også være et godt tiltak for å fordrøye overflateavrenningen. De kan bidra til å rense overvannet og kan være gode rekreasjonsområder, samt øke det biologiske mangfoldet i området. På «Prærien» vil det imidlertid være et unødvendig tiltak. Infiltrasjonen til grunnen er så god at det eventuelt må anlegges en tett dam for å få

vannspeil. Dammer er også svært plasskrevende og lite funksjonelle til annet en estetisk-inntrykk.

Et annet tiltak som kan være aktuelt på «Prærien» er fordrøyningsmagasin. Det finnes flere ulike typer, både pukk-, kassett- og rørmagasiner. Disse kan plasseres under bakken, for eksempel under veier, parker eller lignende. De fylles opp mens det regner med større intensitet enn rørene kan ta unna, og tømmes når det er ledig plass til det.

5.3.3 Vurdering

Ut ifra utregningene og verdiene funnet i dette kapitlet kommer det frem at fordrøyningskapasiteten i grunnen er større enn volumet vann som må fordrøyes. Dette alternativet er derfor mulig å gjennomføre.

Alternativ 3 vil kunne håndtere fremtidig avrenning fra området.

For å benytte de gode infiltrasjonsegenskapene i området, bør det anlegges systemer for å kunne infiltrere overvannet til grunnen. Dette må gjøres på en sikker måte ved å føre vannet via overflaten til grunnen slik at det kan infiltreres der. Som nevnt tidligere bør gressarealene beholdes slik de er i dag og vedlikeholdes godt. Disse bidrar ikke bare til god infiltrasjon, men også rekreasjon, folkehelse og biologisk mangfold. Utover dette bør det anlegges synkekummer og infiltrasjonsrør. Synkekummene kan anlegges direkte som sandfangskum under slukene eller tilsvarende overvannskum i grøftene. Dersom dette anlegges er det viktig at det ikke skaper en punktvis økning av grunnvannet. En punktvis økning av grunnvannet kan blant annet skape problemer i kjellere i nærheten eller andre instillasjoner i grunnen. For å unngå dette kan infiltrasjonsrør anlegges i kombinasjon med synkekummene. Da vil deler av vannet føres videre i rørene og infiltreres underveis. På den måten vil infiltrasjonen til grunnen spres utover et større område.

En annen aktuell metode for å fordrøye vannet på «Prærien» er lukkede fordrøyningsmagasin. Disse krever ganske store arealer, men legges gjerne under bakken. På «Prærien» kan de for eksempel anlegges under lekeplasser eller veiene i området. Det anbefales å bruke rør- eller kassettmagasiner heller enn pukk og steinmagasiner. Dette er fordi pukk- og steinmagasiner ofte kan fylles med finstoff og kapasiteten derfor reduseres. Ved å anlegge rør- eller kassettmagasiner kan magasinene skylles, og de vil derfor i mindre grad fylles med finstoff som reduserer kapasiteten.

5.4 Alternativ 4 – nytt overvannsystem

I alternativ 4 skal det vurderes hvordan overvannet kan håndteres ved tradisjonell overvannshåndtering. Ledningssystemet må separeres og det er behov for en ny overvannsledning som kan transportere overvannet til resipient.

Fra beregninger i alternativ 2 vises det til at man trenger en ekstra kapasitet for 1660 l/s. Dette er en betydelig mengde som krever stor rørdimensjon og en resipient som kan ta imot mengden overvann. I denne delen vil det sees nærmere på et nytt rørsystem som kan håndtere mengden overvann alene.

5.4.1 Dimensjonering av overvannsledning

I kapittel 3.1 og alternativ 2 er det eksisterende rørsystemet i områdene rundt «Prærien» beskrevet. Det har skjedd store oppgraderinger de siste årene, og det går flere store overvannsledninger forbi prosjektområdet. Men som beregningene viser er det ikke tilstrekkelig kapasitet på disse til også å ta unna den ekstra mengden overvann som kreves.

For å si noe om størrelsen på ledningen som skal gå ut av området er det viktig å gjøre et overslag. Som tidligere diskutert og avklart med Bjørn Jarle Risholt er det tatt utgangspunkt i et fall på 4‰ for å få vannet fra laveste punkt i prosjektområdet og ut til resipient. Det legges til grunn at det vil være et rett ledningsstrekk uten tilknytninger og bend. Det gir anbefalte k- verdier på hhv. 1,00mm for betongrør og 0,25mm for plastledninger (1). Nødvendig rørdimensjon for betongrør blir hentet fra Colbrooks diagram, mens for plastledning blir Wavins beregningsprogram brukt. Inndata og resultat er beskrevet i tabell 18 under.

Rørmateriale	Ruhet (k-verdi)	Fall (‰)	Vannføring (l/s)	Innvendig rørdimensjon (mm)
Betong	1,00	4,00	1660	1200
Plast (PVC, PE, PP)	0,25	4,00	1660	1200

Tabell 18: Oversikt over nødvendig innvendig rørdimensjon for overvannsledning

5.4.2 Valg av rørtrasé

Som overslaget viser, er det behov for en stor rørdimensjon for å oppnå krevd kapasitet. Valg av rørtrasé har flere avgjørende faktorer som må tas hensyn til, derav gravemetode, eksisterende bygningsmasse og infrastruktur, grunnforhold, valg av rørmateriale og kapasiteten til resipient.

Utfra laveste punkt i prosjektområdet er det valgt å se nærmere på to ulike traséer. Figur 24 viser to mulige traséer.



Figur 24: Oversikt og lengde av mulige traséer, kilde: kommunekart.no

Trasé 1

Trasé 1 starter nord for undergangen hvor Fridheims gate og Jernbanegata møtes. Videre går den i en rett linje langs Nordåkeren før den krysser Håkon den VII allé og fortsetter ut i Verdalselva. Totalt er dette en strekning på 350 meter. Ledningen kan legges i et rett strekk uten å komme i konflikt med eksisterende bygningsmasse, men Nordåkeren er en gate som har blitt oppgradert i senere tid. Det vil derfor være viktig å se på metoder slik at man kan unngå å måtte grave opp gaten på nytt.

I kapittel 4.4.2 er det sett på ulike gravefrie metoder (NoDig). Her kan det være aktuelt å benytte en boremetode slik at ledningen kan legges under jernbanen, gatene og bygningsmasse før den ender i Verdalselva. Olimb som driver med rørfornyning og boring viser til at styrt boring kan utføres på standard rørdimensjoner fra 32mm-1200mm over en borelengde på inntil 1000 meter (30). Styrt boring krever et minimum fall på 15 %. Dette for å sikre seg mot svanker og motfall. En annen metode som har større nøyaktighet, men som ikke er så mye brukt i Norge er pilotrørsboring. I Trondheim ble det i 2018 utført et større VA- prosjekt med separering av spill- og overvann samt ny vannledning. Her ble pilotrørsboring valgt da det ble stilt strenge krav til nøyaktighet, herav toleranse på avvik på +/- 20mm på et 130m strekk. Metoden ligner på styrt boring, men i stedet for pilotstenger benyttes det små pilotrør med utvendig diameter på 10 cm. Borehodet styres ved hjelp av optisk lys, og brukes utelukkende på rette strekk for å oppnå god nøyaktighet (31).

Trasé 2:

Trasé 2 starter i krysset mellom M. B. Landstads gate og Nordgata fortsetter i rett strekk over rådhusplassen og ut i Kvisla. Dette strekket er 211 meter som er mye kortere en trasé 1. Nordgata har blitt oppgradert i senere tid og en ny ledning vil dermed kunne komme i konflikt med eksisterende infrastruktur. Det vil derfor også her være naturlig å se på alternative måter å legge ledningen på utover konvensjonell graving. Her kan det brukes en kombinasjon av metoder, for eksempel kan man bruke styrt boring eller rørpressing til å føre røret under eksisterende infrastruktur i Nordgata. Etter passering av Nordgata kan man grave grøft over rådhusplassen ned til Kvisla.

5.4.3 Vurdering

Dette alternativet fører til at alt overvannet føres ut i en resipient. På den måten vil det ikke bli problemer med oppsamling av overvann inne i området.

Alternativ 4 vil kunne håndtere fremtidig avrenning fra området.

Valg av trasé vurderes etter flere kriterier der pris og gjennomførbarhet veies høyt. Trasé 1 har en total lengde 350m hvor mesteparten må skje med boring. Dette er kostbart og omfattende arbeid. Det er lite fall på strekningen, noe som gjør at styrt boring kan bli en utfordring. Pilotrørsboring er et godt alternativ og sikrer god nøyaktighet, men det er også en kostbar metode. Det har også blitt bygget mye langs Verdalselva de siste årene. Dette gjør at mulighetene for å etablere uttak og mottaks grop for overvannsrøret kan bli krevende. Fordelen med Verdalselva er at den er en stor resipient som vil kunne ta imot en økt vannmengde. Trasé 2 er en kortere trasé med 210m. Her kan en kombinere gravemetoder av NoDig og konvensjonell graving. Dette trasévalget vil ha lavere kostnad og være mer gjennomførbart. Det anbefales derfor å velge denne traséen.

Det anbefales å bruke plast som rørmateriale. Her gjerne en kombinasjon av PE-rør til inntrekning av varerør for boring eller rørpressing, og PVC- rør til legging i åpen grøft. Plast er lette rør som gjør at de er enkle og raske å legge, samtidig som de kan justeres nøyaktig i grøften.

Ved valg av trasé 2 vil overvannet få utløp i Kvisla. Dette er en mindre resipient enn Verdalselva. Fra utløpet til den nye ledningen til Kvisla munner ut i Verdalselva er det ca. 1km. På bakgrunn av dette antas det at den økte vannmengden ikke vil føre til overbelastning av bekkens kapasitet. Det kan likevel være lurt å gjøre en nærmere vurdering ved en eventuell detaljprosjektering.

Å føre alt overvannet ut av området i rør kan bidra til at grunnvannstanden senkes. Dette fører til at kjellerne holdes tørrere, men det kan også føre til setningskader på bygninger i området (32). Det anbefales derfor å se på tiltak som gjør at man unngår grunnvannssenkning.

5.5 Alternativ 5 – nytt overvannssystem og lokal fordrøyning

I kapittel 5.3.1 ble det beregnet at fordrøyningskapasiteten til området er på 11 500 m³, mens fordrøyningsbehovet er 1 600m³. Det vil si at det er gode muligheter for å fordrøye overvannet lokalt. Som tidligere nevnt er området modent for oppgradering både når det gjelder rørinfrastruktur og kommunale veier. I dag består stort sett toppdekket på de kommunale veiene av grus. Ved en oppgradering vil det være fornuftig å vurdere asfalt, dette med fordel i fremtidig vedlikehold. Dette vil også bidra til flere tette flater og dermed mindre areal til å fordrøye overvannet på. Det vil derfor i dette kapittelet ses nærmere på en løsning hvor man kombinerer tradisjonell overvannshåndtering med lokale fordrøyningstiltak.

Det siste alternativet blir derfor en kombinasjon av flere av de tidligere nevnte alternativene. Det vil være flere fordeler ved å anlegge et nytt overvannssystem, men også fordrøye og infiltrere lokalt.

5.5.1 LOD tiltak og mulighet for lokal fordrøyning av overvann

I kapittel 5.3.2 blir det foreslått aktuelle tiltak som passer for området. I denne delen skal det ses nærmere på disse tiltakene og evnen de har til å fordrøye overvannet.

Grønne tak

Som nevnt i alternativ 3 består bebyggelsen på «Prærien» hovedsakelig av eneboliger, og da også hovedparten med skrå tak slik som husene vist i figur 25. Dermed er i utgangspunktet ikke grønne tak godt egnet for området. Det er mange store eiendommer i området, og det er grunn til å tro at flere av disse kan komme til å bli kjøpt opp av eiendomsutviklere og



Figur 25: Eneboliger med skrå tak. Kilde: Google street view

omgjort til flermannsboliger eller leilighetsbygg. Dermed vil det være mulighet for å stille krav til utbygger om at overvannet skal fordrøyes på eiendommen, og ved tette flater er grønne tak et godt alternativ.

Som figur 26 viser er det noen tak i området som egner seg for anleggelse av grønne tak. Det er viktig at hvert enkelt tak og konstruksjon vurderes nøye med tanke på vekt av et grønt tak (33). Som forsøket fra Oslo viser, beskrevet i kapittel 4.3.1, ble 25% av årsnedbøren holdt tilbake. Dette viser at grønne tak vil gi et godt bidrag til å fordrøye overvannet lokalt der det fortettes og flatter tettes igjen.



Figur 26 Bygninger egnet for grønne tak. Kilde: Google street view

Regnbed og infiltrasjonsgrøfter

Ved større nedbørsmengder vil en del av overskuddsvannet ikke kunne fordrøyes på grønne tak. Denne vannmengden kan da håndteres av regnbed, infiltrasjonsgrøfter eller gressareal. Disse anleggene har den fordelen at de kan forsinke regnvannet i jorden. De anlegges ved at et utgravid område/ fordypning forsinke vannet før det infiltreres videre i grunnen (18). Grunnforholdene på «Prærien» er gode og kan det kan dermed dimensjoneres regnbed eller infiltrasjonsgrøfter som kan håndtere alt regnvann fra eneboligene, og overskuddet fra grønne tak.

For å sikre at regnvannet renner bort fra bygninger bør de ha et startfall på 20 ‰ (18). Det kan være praktisk vanskelig å løse på et flatt område slik som «Prærien», men kan vurderes i hvert enkelt tilfelle.



Figur 27 Mulighet for LOD- tiltak i Fridheimsgate. Kilde Google street view

Areal langs kommunale veier kan brukes til å etablere LOD- tiltak som regnbed eller infiltrasjonsgrøfter.

Synkekummer og infiltrasjonsrør

Som tidligere nevnt, i alternativ 3, vil kombinasjonen av synkekummer og infiltrasjonsrør sikre at infiltrasjonen ikke skjer punktvis. Dette bidrar til at risikoen for punktvis økning av grunnvannstanden minker. Synkekummene kan kobles direkte som sandfangkummer. Ved påkobling av sandfang til infiltrasjonsrør og eventuelt videre til overvannsledning sikrer man at mesteparten av overvannet infiltreres i grunnen.

Fordrøyningsmagasin

Fordrøyningsmagasin kan mellomlagre overvann før påslipp til overvannsnett eller direkte til resipient. Typen magasin kan være utført i rør, steinfylling eller plastkassetter (34). Som nevnt i alternativ 3 er det gode muligheter for å anlegge slike anlegg på «Prærien». På områder uten trafikk kan det anlegges fordrøyningsmagasin av plastkassetter. Fordelen med disse anleggene kontra steinfyllinger er at en har muligheten til å ha kontroll med finstoff. Det kan også plasseres anlegg på områder med trafikkbelastning, men da stilles det krav til at anlegget er kjøresterkt. Ved påkobling av sluker fra asfalterte flater bør det gå via sandfang før overvannet kommer til magasinet.

På «Prærien» er det flere plasser slike fordrøyningsmagasin kan anlegges. Det kan samtidig utføres en oppgradering av valgt plassering, for eksempel oppgradering av en lekeplass. En aktuell plassering av fordrøyningsmagasin kan være under lekeplassen som er vist i figur 28.

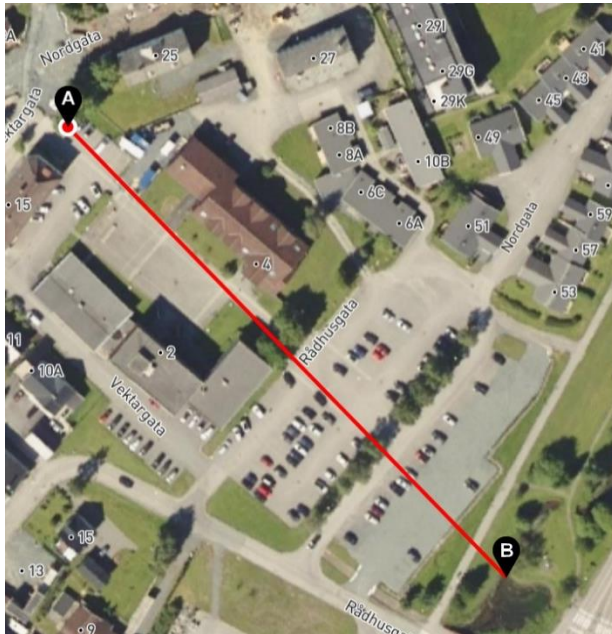


Figur 28 Lekeplassen mellom Fridheims gate og Prof Ryghs gate. Kilde: Google street view

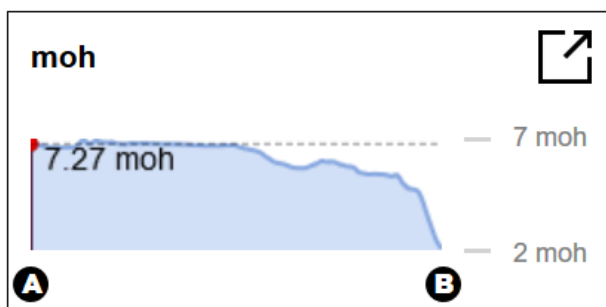
5.5.2 Overvannsledning

Som tidligere nevnt er det behov for oppgradering og utskifting av vann- og spillvannsrør på «Prærien». Det vil da også være naturlig å legge rør for å håndtere overvann. Løsningen som er beskrevet i alternativ 4 er ikke en bærekraftig måte å håndtere overvannet på. Ved kun å lede alt overvannet ut av området vil en risikere å endre vannbalansen og senke grunnvannstanden i området.

Ved å kombinere LOD- tiltakene med en overvannsledning vil en sikre vannbalansen, biologisk mangfold og samtidig minske risikoen for flomskader. Ved å bruke lokal håndtering av overvannet som et første ledd vil en kunne dimensjonere ned størrelsen på overvannsledningen ut av området. Hvor stor dimensjon som trengs, vil avhenge av omfanget av LOD tiltak som benyttes.



Figur 29: Strekk for åpen kanal. Kilde: kommunekart.com



Figur 30: Terrengprofil strekk for åpen kanal. Kilde: kommunekart.com

Det at «Prærien» er et flatt område vanskeliggjør mulighetene til å etablere åpne flomveier. Slike åpne flomveier har flere fordeler, noen er åpenbare som at de sikrer regnvannet en åpen vei ut av området, men de gir også området en attraksjon for rekreasjon. Ved å velge trasé 2 vil det være mulighet for å etablere en åpen flomvei/ kanal siste stykket mot resipient (Kvisla). Avhengig av dybden på overvannsledningen når den har krysset Nordgata kan den få utløp i en åpen kanal som går i rett strekk over rådhusplassen og ned til Kvisla. Terrengprofilen vist i figur 30 viser at det er jevnt fall den første delen før den går brattere mot slutten. Ved å etablere en slik åpen kanal vil en kunne sikre en god flomvei lokalt, samt gi området et løft og en oppgradering som inviterer til rekreasjon.

5.5.3 Vurdering

I dette alternativet har det blitt sett nærmere på hvordan man kan kombinere de tidligere alternativene til en løsning. Dette alternativet vil gi en bærekraftig overvannshåndtering samtidig som man sikrer en god løsning for intens nedbør og flom.

Alternativ 5 vil kunne håndtere fremtidig overflateavrenning i området.

Omfanget og valg av LOD- tiltak må ses i sammenheng med fremtidig utbygging i området og hvor godt egnet de er til å fordrøye overvannet lokalt. Kommunen kan sette krav til at nye tiltak skal ha grønne og bærekraftige løsninger for å håndtere overvannet lokalt på egen eiendom. Dette vil være med til å bidra til mindre overvann som må håndteres av det kommunale overvannssystemet.

Å håndtere overvann lokalt på eiendommer, men også med kommunale anlegg er med på å bidra til en helhet som sikrer vannbalanse, biologisk mangfold, gode rekreasjonsområder, god folkehelse og en bærekraftig utvikling for kommende generasjoner. Vann er en ressurs både for natur og menneske. Det er positive effekter med åpne overvannsløsninger som bidrar til god folkehelse – det skaper ro og kan bidra til å lage gode rekreasjonsområder.

De åpne arealene bør bevares, og ved å etablere regnbed, infiltrasjonsgrøfter og areal langs kommunale veier sikrer en samtidig at området får en oppgradering og et løft.

Ved å etablere en åpen kanal over rådhusplassen vil en sikre en lokal flomvei, og samtidig gi området et løft. Det vil være viktig å passe på at kanalen ikke gir økt drukningsfare og at det er trygt å ferdes langs den.

6 Vurdering av alternativer og anbefaling

Tabellen under er laget med utgangspunkt i vurderingene som er gjort i kapittel 5.

	Fordeler	Ulemper
0-alternativ	<ul style="list-style-type: none">• Det trengs ikke å gjøre noe• Kan derfor være billig	<ul style="list-style-type: none">• Mye vann i renseanlegg• Forurensning av resipienter• Oppstuvning i kjellere• Flomskader• Store kostnader ved pumping og rensing av overvann i spillvannsanlegg• Ikke fremtidsrettet
Alternativ 2	<ul style="list-style-type: none">• Lite inngripende	<ul style="list-style-type: none">• Kan ikke ta unna nok vann• Lite fremtidsrettet
Alternativ 3	<ul style="list-style-type: none">• Kan bruke vannet som en ressurs• Opprettholder vannbalansen• Forholdsvis billig og lite omfattende utbygning• Fremtidsrettet	<ul style="list-style-type: none">• Lokal økning av grunnvannstand• Oversvømmelser i kjellere• Flomskader
Alternativ 4	<ul style="list-style-type: none">• Får unna alt overvannet• Enkelt å beregne og dimensjonere	<ul style="list-style-type: none">• Senkning av grunnvannstanden• Trussel for biologisk mangfold• Kan få overbelastning i resipientene• Ikke bærekraftig med tanke på helse og samfunn
Alternativ 5	<ul style="list-style-type: none">• Bruke vannet som en ressurs i nærmiljøet• Opprettholder vannbalanse• Sikrer flomveier• Styrker biologisk mangfold• Gir gode rekreasjonsområder• Bærekraftig løsning	<ul style="list-style-type: none">• Kan føre til omfattende beregninger

Tabell 19: Fordeler og ulemper ved de ulike alternativene

Det anbefales å velge alternativ 5.

Alternativ 5 baserer seg på å bruke LOD- tiltak til å infiltrere og fordrøye hovedmengden av overvannet lokalt. VA- infrastrukturen er gammel på «Prærien» og det vil være behov for å oppgradere og legge nye vann- og spillvannsledninger. Det anbefales derfor også å legge ny overvannsledning. Omfanget av hvor mange LOD- tiltak som velges er med på å dimensjonere størrelsen på den nye overvannsledningen. Det anbefales videre at tiltak som fordrøyningsanlegg og sandfang tilkobles infiltrasjonsrør før de tilkobles til tradisjonell overvannsledning. På denne måten sikrer en mest mulig lokal infiltrasjon og dermed bevarer vannbalansen.

Etablering av regnbed, infiltrasjonsgrøfter og åpen kanal over rådhusplassen vil bidra til et løft av området og nye rekreasjons attraksjoner for befolkningen i kommunen. Psykososial påvirkning ved bruk av vann er viktig og kan ha stor effekt.

Denne løsningen gjenspeiler Verdal kommunes arealplandel som omhandler bærekraftig utvikling. Den viser til viktigheten av å tilfredsstille dagens behov uten å ødelegge fremtidige generasjoners mulighet for å tilfredsstille sine (35).

7 Konklusjon

Måten overvann håndteres er avgjørende for å ivareta sikkerhet mot skade på helse, miljø og infrastruktur, samt ivareta overvannet som en ressurs.

Tradisjonelt har overvannshåndtering vært basert på å lede overvannet bort i et lukket rørsystem. Som følge av problemstillingen «Hvordan håndtere overvannet på «Prærien» med bærekraftige løsninger?» vil det ikke være naturlig å ende opp med en anbefaling om et slikt system. I denne oppgaven er det sett på flere ulike alternativer for å håndtere overvannet på “Prærien”. Det er lagt vekt på om de ulike alternativene sikrer tilstrekkelig håndtering av overvannet ved fremtidig nedbør og fortetting, samt om de kan være bærekraftige.

For å sikre en fremtidsrettet og bærekraftig overvannshåndtering har det blitt valgt en løsning som i hovedsak baserer seg på infiltrasjon og fordrøyning. LOD- tiltak som er aktuelle på “Prærien” er regnbed, infiltrasjonsgrøfter/ -arealer, synkehum med infiltrasjonsrør, og fordrøyningsmagasin. Det vil likevel være behov for å oppgradere og å legge nye vann- og spillvannsledninger i området. I den anledning anbefales det også å legge ny overvannsledning ut av området for å sikre tilstrekkelig kapasitet ved store nedbørs hendelser, samt minske risikoen for omfattende flomskader. Dimensjonen på denne ledningen avhenger av omfanget av LOD- tiltakene som velges.

Dette tiltaket vil være bærekraftig i alle de tre dimensjonene, miljømessig, økonomisk og sosialt. De ulike LOD- tiltakene bidrar til å sikre vannbalanse og biologisk mangfold i området. Områdets areal og infiltrasjonsegenskaper bidrar til enkel og kostnadseffektiv etablering og drift av de valgte tiltakene. Ved kombinasjon av NoDig- metoder, som styrt boring, og åpen kanal over Rådhusplassen sikrer man at ny overvannsledning ikke kommer i konflikt med eksisterende infrastruktur. I tillegg vil en åpen kanal og grøntområder skape gode rekreasjonsområder for innbyggere i og rundt området. På denne måten sikres det at alle tiltakene er rettferdige, varige og levedyktige.

Det er innenfor arealplanlegging mye av grunnlaget for bærekraftig utvikling legges. Dermed har kommunen en mulighet til å bidra til at «Prærien» får en løsning som tilfredsstillende dagens behov, men som også vil tilfredsstillende framtidige generasjoner.

Litteraturliste

1. Ødegaard Hallvard, red. Vann- og avløpsteknikk 2. utg. Hamar: Norsk vann; 2014. 664s.
2. Miljøkommune.no. Ordforklaringer. [Internett]. Oslo: Miljødirektoratet; u.å. [hentet 2020-05-20]. Tilgjengelig fra <http://www.miljokommune.no/Ordforklaringer/A/>
3. Hanssen- Bauer I, Førland EJ, Haddeland I, Hisdal H, Mayer S, Nesje A, et al. Klima i Norge 2100. Miljødirektoratet; 2015. Rapport nr: 2/2015.
4. Norsk klimaservicesenter. Klimaprofil Nord- Trøndelag. [Internett]. Oslo: Metrologisk institutt; u.å [hentet 2020-03-17]. Tilgjengelig fra <https://klimaservicesenter.no/faces/desktop/article.xhtml?uri=klimaservicesenteret/klimaprofiler/klimaprofil-nord-trondelag>
5. Statlige planretningslinjer for klima- og energiplanlegging og klimatilpasning. 2018. Statlige planretningslinjer for klima- og energiplanlegging og klimatilpasning av 2018-09-28-1469.
6. Enander Lars, Fjeldhus Katrine, Gyllenhammar Andreas. Bærekraftig forvaltning av VA- tjenestene. Norsk vann; 2014. Rapport nr: 205/2014.
7. Tranøy Knut Erik. Metode. [Internett]. Bergen: Store norske leksikon; 2019 [hentet 2020-03-19]. Tilgjengelig fra <https://snl.no/metode>
8. Husnyckeln. K. Ellingsen Mek. verksted. [Internett]. Östersund: Husnyckeln; 2011 [hentet 2020-03-11]. Tilgjengelig fra <http://husnyckeln.org/etterkrigstiden/nordtrondelag/verdal-kommune>
9. Aarhaug Olav R. Geoteknikk og fundamenteringslære 1. 1.utg/12 opplag. Trondheim: Vigmostad & Bjerke AS; 1984. 262s.
10. Lindholm Oddvar, Endresen Svein, Thorolfsson Svein, Sægrov Sveinung, Jakobsen Huttorm, Aaby Lars. Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering. Norsk vann; 2008. Rapport nr: 162/2008.
11. Lindholm Oddvar. Håndtering av overvann LOD. Stiftelsen VA/Miljø-blad; 2018. Rapport nr: 125/2018.
12. VA- Norm. Beregning av overvannsmengde, dimensjonering av ledning og fordrøyningsvolum. [Internett]. Trondheim: Trondheim kommune; 2020 [hentet 2020-03-17]. Tilgjengelig fra <http://www.va-norm.no/wp-content/uploads/2020/02/Vedlegg-5-Beregning-av-overvannsmengde.pdf>
13. Miljøstatus. Klima. [Internett]. Trondheim: Miljødirektoratet; 2019 [hentet 2020-03-17]. Tilgjengelig fra <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/klima/>
14. Dyrddal Anita Verpe, Førland Eirik J. Klimapåslag for korttidsnedbør- Anbefalte verdier for Norge. Norsk klimaservicesenter; 2019. Rapport nr: 5/2019.
15. Braskerud Bent C. Grønne tak for flomdemping. Oslo kommune vann- og avløpsetaten; 2016. Rapport nr: -.
16. Braskerud Bent C, Paus Kim H. Regnbed for lokal flomdemping. Oslo kommune vann- og avløpsetaten, Asplan Viak; 2016. Rapport nr: -.

17. Braskerud Bent C, Kihlgren Kjetil Strand, Saksæther Vegard, Bjerkholt Jarle T. Hydrologisk testing av regnbed for bruk som LOD- tiltak i småhusbebyggelse. Norsk vann; 2012. Rapport nr: -.
18. Holm Erling. Regnbed, renner og nedsivingsarealer. Stiftelsen VA/Miljø-blad; 2013. Rapport nr: 106/2013.
19. Myhr Kjell, Lippestad Stina Lintho. Belegningsstein som håndterer overvann. Oslo kommune vann- og avløpsetaten; 2016. Rapport nr: -.
20. Banch Agata, Fjeldhus Katrine. Overvannsdammer- et urbant vannmiljø. Oslo kommune vann- og avløpsetaten, Sveco; 2016. Rapport nr: -.
21. Statens vegvesen. Vegbygging Håndbok N200. Vegdirektoratet; 2014.
22. Jakobsen Guttorm, Hanserud Ola S, Hansen Arve, Sørzdahl Naomi, Hansen Geir H.NoDig versus åpen grøft miljømessige-, økonomiske- og juridiske betraktninger. [Internett]. Porsgrunn: Asplan Viak; 2010 [hentet 2020-04-01]. Tilgjengelig fra <http://d21dbafykfdck9.cloudfront.net/1448877382/nodig-klimaregnskaprapport-nodig-vs-apen-groft.pdf>
23. VA/ miljø- blad, NoDig- metoder for hovedledninger- metodeoversikt. Stiftelsen VA/Miljø-blad; 2009. Rapport nr: 90/2009.
24. Norsk Rørsenter, Cowi AS, Valg av rørmateriale. Stiftelsen VA/Miljø-blad; 2011. Rapport nr: 30/2011
25. Grøner AS, Norsk Rørsenter AS, Kravspesifikasjon for rør og rørdeler av PVC-U materiale. Stiftelsen VA/Miljø-blad; 2019. Rapport nr: 10/2019
26. Grøner AS, Norsk Rørsenter AS, Kravspesifikasjon for trykkløse grunnavløpsrør og rørdeler av PP materiale. Stiftelsen VA/Miljø-blad; 2019. Rapport nr: 12/2019
27. Klimatilpasning.no. Avløpshåndtering. [Internett]. Trondheim: Miljødirektoratet; 2016 [hentet 2020-04-20]. Tilgjengelig fra <https://www.klimatilpasning.no/sektorer/vann-og-avlop/opp-gaver/avlopshandtering/>
28. Norkart. Kommunekart Verdal kommune. [Internett]. Sandvika: Norkart AS; 2019 [hentet 2020-03-17]. Tilgjengelig fra <https://kommunekart.com/klient/innherred/publikum?funksjon=VisKommune&kom munenummer=5038>
29. Norsk klimaservicesenter. Nedbørsintensitet. [Internett]. Oslo: Metrologisk institutt; u.å [hentet 2020-02-19]. Tilgjengelig fra <https://klimaservicesenter.no/faces/desktop/idf.xhtml>
30. Olimb. Styrt boring i løsmasser. [Internett]. Råde: Olimb Rørfornyning Holding AS; u.å [hentet 2020-05-04]. Tilgjengelig fra <https://olimb.no/boring/styrt-boring/#toggle-id-3>
31. Borgestrand Odd. Pilotrørsboring under Norlandsbanen i Trondheim. [Internett]. Trondheim: Scandinavian Society for Trenchless Technology; 2018 [hentet 2020-05-11]. Tilgjengelig fra http://www.sstt.se/?cid=1114&fbclid=IwAR3vkGh5cyEyFmAC19DIG9mGGLrUMm8uMKvyeVgMKPKX_Ci5HSR0KeNZmS4
32. NGU. Setningsskader. [Internett]. Trondheim: Norges Geologiske Undersøkelse; 2019 [hentet 2020-05-05]. Tilgjengelig fra <https://www.ngu.no/emne/setningsskader>

33. Holm Erling, Grønne tak. Stiftelsen VA/Miljø-blad; 2013. Rapport nr: 107/2013
34. MFT, Fordrøyning av overvann. Stiftelsen VA/Miljø-blad; 2013. Rapport nr: 104/2013
35. Verdal kommune. Kommuneplanens arealdel 2010-2020. [Internett]. Verdal: Verdal kommune; 2011 [hentet 2020-05-11]. Tilgjengelig fra https://www.verdal.kommune.no/Documents/kommuneplaner/komplan_arealdel2010_2020.pdf
36. Lofthus Øystein, Store norske leksikon. Bergknapp. [Internett]. Oslo: Universitetet i Oslo; 2014 [hentet 2020-03-17]. Tilgjengelig fra https://www.verdal.kommune.no/Documents/kommuneplaner/komplan_arealdel2010_2020.pdf
37. Artsdatabanken. Arter med økt risiko. [Internett]. Trondheim: Artsdatabanken; 2019 [hentet 2020-05-22]. Tilgjengelig fra <https://www.artsdatabanken.no/Pages/241897>