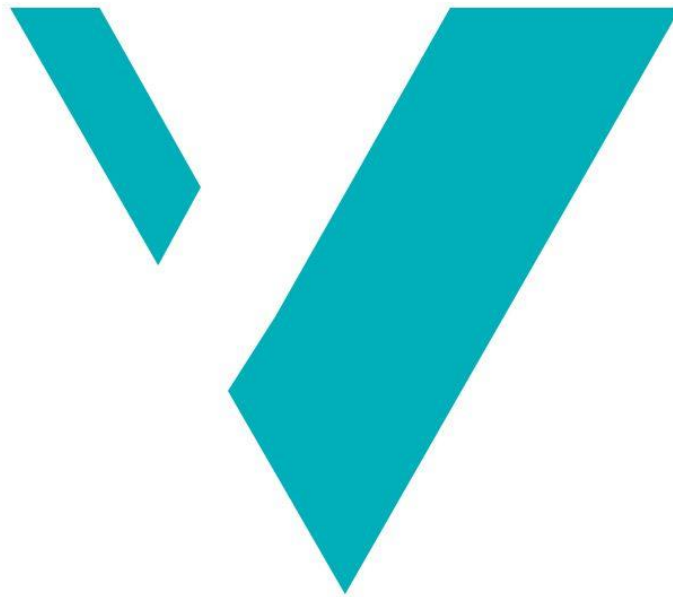


**“Arealbruksendringers påvirkning på avrenning og blågrønne strukturer som et klimatilpasningstiltak mot fremtidige mengder overvann. En case study fra Harakollen i Øvre Eiker, Viken fylke.”**



Stine Jellum Skau

Masteroppgave i Climate Change Management (Planlegging for klimaendringer)

Institutt for miljø- og naturvitenskap, Fakultet for ingeniør- og naturvitenskap

HØGSKULEN PÅ VESTLANDET

Sogndal  
Juni 2021

Jeg stadfester at arbeidet er selvstendig utarbeida, og at referanser/kildehenvisninger til alle kilder som er brukt i arbeidet er oppgitt, *jf. Forskrift om studium og eksamen ved Høgskulen på Vestlandet, § 10*



**Høgskulen  
på Vestlandet**

“Arealbruksendringers påvirkning på avrenning og blågrønne strukturer som et klimatilpasningstiltak mot fremtidige mengder overvann. En case study fra Harakollen i Øvre Eiker, Viken fylke.”

**Masteroppgave i Climate Change Management/Planlegging for klimaendringer**

Forfatter:  Stine Jellum Skau	Forfatter sign.  <i>Stine J. Skau</i>
Oppgaven innlevert:  Vår 2021	Open oppgave
Veileder: Thorben Dunse  Bi-veiledere: Kamilla Hauknes Sjursen og Marte Lange Vik	
Stikkord:  Arealbruksendringer, overvann, klimatilpassningstiltak, blågrønne strukturer	Tal sider: 74 + Vedlegg: 2  Sogndal, 10.06, 2021 Stad/Dato/År
Dette arbeidet er gjennomført som ledd i masterprogrammet i Climate change Management (norsk navn: Planlegging for klimaendringer) ved Institutt for miljø- og naturvitenskap, fakultet for ingeniør- og naturvitenskap, Høgskulen på Vestlandet. Studenten står selv ansvarlig for metodene som er brukt, resultatene som er kommet frem, og konklusjoner og vurderinger i arbeidet.	

## Forord

Denne tesen er et resultat av et to-årig master løp ved studiet Climate Change Management, Institutt for miljø- og naturvitenskap, Fakultet for ingeniør- og naturvitenskap ved Høgskulen på Vestlandet. Oppgaven har et omfang på 30 studiepoeng og ble skrevet i løpet av våren 2021.

Det er et økende behov for kartlegging og informasjon om overvann og klimatilpasning innenfor kommunal sektor. Oppgaven er derfor skrevet på oppfordring fra Øvre Eiker kommune. Takk rettes til Ida Elisabeth Veldman ved Øvre Eiker kommune for i det hele tatt å gi meg muligheten til å skrive denne oppgaven.

Jeg vil takke alle mine veiledere; Thorben Dunse, Kamilla Hauknes Sjursen og Marte Lange Vik. Det har vært gode samtaler og uvurderlig faglig kompetanse både på zoom og i person. Dette har vært gull verdt for ei enkel jente fra Drammen.

Takk til alle som har bidratt med praktiske elementer; Robert Barneveld (NIBIO) for Ar5 kart og GIS tips, Øyvind Brechan Johnsen (Øvre Eiker kommune) som har sendt datalag over overvannssystemene per epost og bidratt med enestående lokalkunnskap, Denise Christina Ruther (HVL) for hjelp med FKB-data og ortofoto, Liv Norunn Hamre (HVL) for GIS – support og datafangst.

Til slutt vil jeg sette søkelyset på pappa som i alle år har lurt inn naturfaglig sengelektyre helt fra jeg bare kunne peke på bildene, og til mamma som en gang viste meg kjærlighet til og omsorg for naturen. Takk!

*“We moved from being a part of nature to being apart from nature.”*

- Sir David Attenborough, A Life on Our Planet: My Witness Statement and a Vision for the Future

Sogndal, 10 juni 2021

Stine Jellum Skau

## Sammendrag

Økt nedbør og økt nedbørintensitet som en konsekvens av klimaendringer, kombinert med en økende grad av impermeable overflater som skyldes fortetning, gir store utfordringer knyttet til overvannshåndtering. I tillegg til dette er en aldrende og inadekvat status på overvannsystemene beliggende i norske kommuner i dag et tiltakende problem.

Det overordnede målet med denne oppgaven er å kartlegge bruksendringer i landskapet på Harakollen, et nabolag rett utenfor Hokksund sentrum, Viken fylke. Det vil i den sammenheng bli sett på hvordan disse endringene påvirker avrenningen i det samme området. Samtidig vil det bli rettet fokus mot andre tiltak enn de tradisjonelle rørløsningene for behandling av overvann. Disse tiltakene vil også tilby andre fordeler enn de rent hydrologiske. Oppgaven vil derfor se nærmere på tre saker:

1. Om det eksisterende overvannsystemet fører til endringer i de naturlige dreneringslinjene.
2. Hvor mye vann som vil kunne forventes ved identifiserte kritiske punkter ved ekstreme nedbørshendelser.
3. Hva slags type naturbaserte klimatilpassningstiltak som blågrønne strukturer vil kunne være aktuelle for Harakollen i kampen mot fremtidige mengder overvann.

I denne master-oppgaven har det blitt foretatt arealendringsanalyser og hydrologiske analyser ved hjelp av ulike GIS-verktøy og hydrologiske utregninger ved å benytte den rasjonelle metoden. Det ble identifisert tre kritiske punkter med tilhørende nedbørsfelt i området som det detaljansjert. Disse analysene har blitt sammenlignet med bruksendringer i landskapet og det eksisterende overvannsystemet i området. Det har også blitt diskutert naturbaserte løsninger som blågrønne strukturer, som klimatilpassningstiltak for Harakollen. Dette for å utnytte hele tre-trinnstrategien og bidra til å gjøre området mer motstandsdyktig mot fremtidige mengder overvann.

Hovedfunnene i denne oppgaven er at de grå arealene har økt med 6.71 ha, noe som utgjør 29 % av det totale arealet av nedbørsfeltene per i dag, mot 1.58 % av det totale arealet slik det fremsto før utbygging i 1965. Alle de tre nedbørsfeltene taper grønne arealer til fordel for grå. Dette påvirker følgelig infiltrasjonskapasiteten, og avrenningsfaktoren er påvist økt i alle de tre nedbørsfeltene.

Konsentrasjonstiden blir kortere i ett av tre tilfeller og avrenningen øker ved alle de tre kritiske punktene. Dreneringslinjene endrer seg med bruksendringer i landskapet og blir tvunget til å samle seg når bygninger og overvannsystem hensyntas.

## Abstract in English

Increased precipitation and increased precipitation intensity as a consequence of climate change combined with a growing level of impermeable surfaces caused by densification, present major challenges related to stormwater management. In addition to this, aging and inadequate stormwater systems within Norwegian municipalities is becoming an increasing problem.

The aim of this thesis is to map changes in land use at Harakollen, a neighborhood located in Hokksund, Viken county. In this context, it will be examined how these land use changes affects the runoff in the same area. Focus will at the same time be directed towards other approaches than the traditional stormwater systems for stormwater treatment. These measures will offer co-benefits in addition to treating the stormwater. The thesis will therefore take a closer look at three matters:

1. Whether the existing stormwater system leads to changes in the natural flow paths.
2. How much water that can be expected at identified critical points in extreme rainfall events.
3. What kind of nature-based climate adaptation measures such as blue-green structures may be relevant for Harakollen in the struggle against future volumes of stormwater.

In this master's thesis, land use change analysis and hydrological analyzes have been performed using various GIS tools, and hydrological calculations using the rational method. Three critical points with associated catchments in the area were identified, which underwent detail analysis. These analyses have been compared with changes in land use and the existing stormwater system in the area. Nature-based solutions such as blue-green structures as climate adaptation measures for Harakollen have also been discussed. This is to utilize the entire three-step strategy and help make the area more resistant to future amounts of stormwater.

The main findings in this thesis are that the gray areas have increased by 6.71 ha, which constitutes 29% of the total area of the catchment as of today against 1.58% of the total area as it appeared before development in 1965. All three catchments lose green areas in favor of gray. This consequently affects the infiltration capacity, and the runoff coefficient has been shown to be increased in all three catchments. The time of concentration is shorter in one of three cases and the runoff increases at all three critical points. The flow paths change with land use changes and are forced to accumulate when buildings and surface water systems are considered.

## Innhold

Forord .....	I
Sammendrag .....	II
Abstract in English .....	III
Figurliste .....	VII
Tabelliste .....	VIII
1 Innledning.....	1
1.1 Overvann og en økende sårbarhet.....	1
1.1.1 Naturlig og urban vannbalanse .....	3
1.1.2 Klimaendringer i Norge.....	4
1.1.3 Blågrønne løsninger som en mulighet – overvann som ressurs .....	4
1.2 Harakollen nabolag.....	5
1.2.1 Klimafremskrivninger Harakollen .....	6
1.3 Mål og problemstilling.....	6
1.3.1 Avgrensning av oppgaven.....	7
1.3.2 Oppbygging av oppgaven .....	7
2 Teori.....	8
2.1 Det hydrologiske kretsløpet .....	9
2.1.1 Den naturlige vannbalansen.....	10
2.2 Infiltrasjonskapasitet .....	11
2.3 Overvannsbehandling i tre trinn .....	12
2.4 Naturbaserte løsninger – blågrønne tiltak .....	13
2.4.1 Regnbed.....	14
2.4.2 Grønne tak.....	15
2.4.3 Grønne fasader og levende vegger .....	16
2.4.4 Trær og annen vegetasjon.....	17
2.4.5 Åpning av bekkelukninger .....	17
2.4.6 Tilleggseffekter .....	18
2.5 Blågrønne tiltak i planlegging .....	19

3	Metode .....	20
3.1	Analyseområdet Harakollen .....	21
3.1.1	Nedbørsfeltet til Harakollen .....	21
3.1.2	Arealklassifisering .....	22
3.1.3	Kvartærgeologi .....	23
3.1.4	Infiltrasjonskapasitet .....	24
3.1.5	Utbyggingstakt og plansituasjon .....	25
3.2	Detaljanalyser .....	26
3.2.1	Overvannsystemet .....	27
3.2.2	Veigrøfter på Harakollen .....	29
3.3	GIS - Geografiske informasjonssystemer .....	30
3.3.1	Grass GIS og QGIS .....	30
3.4	Hydrologiske analyser .....	30
3.4.1	Innhenting av data .....	30
3.4.2	Utføringen av hydrologiske analyser med bruk av GIS .....	31
3.5	Arealbruksendringer .....	34
3.6	Hydrologiske beregninger .....	36
3.6.1	Den rasjonelle metoden .....	36
3.6.2	Den rasjonelle formel .....	36
3.6.3	Konsentrasjonstid .....	37
3.6.4	Returperiode, $n$ .....	38
3.6.5	Nedbørintensitet, $i$ .....	39
3.6.6	Avrenningsfaktor, $C$ .....	41
3.6.7	Klimafaktor, $K_f$ .....	42
3.6.8	Utføring av hydrologiske beregninger med bruk av den rasjonelle metode .....	42
3.7	Metodisk refleksjon .....	42
3.7.1	GIS - analyser .....	42
3.7.2	Verifisering .....	43
3.7.3	Hydrologiske beregninger .....	43
4	Resultat .....	45
4.1	Hydrologiske analyser med bruk av GIS .....	46
4.2	Kritiske punkter .....	48
4.3	Arealbruksendringer .....	51

4.3.1	Nedbørsfelt_1.....	53
4.3.2	Nedbørsfelt_2.....	54
4.3.3	Nedbørsfelt_3.....	55
4.3.4	Avrenningsfaktor .....	55
4.4	Hydrologiske beregninger .....	57
4.4.1	Nedbørsfelt_1.....	57
4.4.2	Nedbørsfelt_2.....	58
4.4.3	Nedbørsfelt_3.....	60
4.5	Oppsummering resultater .....	62
5	Diskusjon .....	63
5.1	Tre viktige trinn .....	63
5.1.1	Økende impermeabilitet, synkende infiltrasjon.....	63
5.1.2	Den kritiske situasjonen .....	64
5.1.3	Økende vannmengder gir økt flomfare .....	65
5.1.4	Redusert grunnvannstand .....	65
5.1.5	Verdifulle tilleggseffekter .....	66
5.2	Planlegging av blågrønne strukturer som klimatilpasningstiltak .....	66
5.3	Fra sårbarhet til resistens.....	68
6	Konklusjon .....	69
6.1	En vennlig påminnelse.....	69
7	Referanser .....	71
8	Vedlegg.....	75
	Vedlegg 1 – Nedbørsfeltparametere.....	75
	Vedlegg 2 - Beregninger .....	77



## Figurliste

<i>Figur 1 – Stormen «Frida» (Rune Folkedal for Drammens Tidende, 2015).</i>	2
<i>Figur 2 – Venstre halvdel av bildet viser vannsyklusen i uberørte naturområder (Dankmeyer, 2020).</i>	3
<i>Figur 3 - Det overordnede analyseområdet.</i>	5
<i>Figur 4 – Det hydrologiske kretsløpet (Michigan State University, 2012).</i>	9
<i>Figur 5 – Figuren viser hvordan den hydrologiske responsen opptrer i små nedbørsfelt (COWI, 2013).</i>	11
<i>Figur 6 - Treleddstrategien for overvannshåndtering (Paus, 2020)</i>	12
<i>Figur 7 – Tverrsnitt av hvordan et regnbed kan bygges opp i stedege masser (Braskerud et al., 2013).</i>	14
<i>Figur 8 – Oppbygging av ekstensiv a), semi-intensivt b) og intensivt tak c) (Besir &amp; Cuce, 2018).</i>	15
<i>Figur 9 – Eksempler på grønne vegger (Besir &amp; Cuce, 2018).</i>	16
<i>Figur 10 - Kart over nedbørsfeltet til Harakollen.</i>	21
<i>Figur 11 – Arealfordelingen innenfor det overordnede nedbørsfeltet.</i>	22
<i>Figur 12 – Løsmassekart over Harakollen og omegn. (NGU, 2021).</i>	23
<i>Figur 13 - Infiltrasjonskapasiteten til Harakollen og områder rundt (NGU, 2021).</i>	24
<i>Figur 14 – Reguleringsplankart over Harakollen (Øvre Eiker kommune, 2021).</i>	25
<i>Figur 15 - De tre forskjellige identifiserte kritiske punktene med tilhørende nedbørsfelt.</i>	26
<i>Figur 16 – Overvannssystemet på Harakollen</i>	28
<i>Figur 17 – Tverrsnitt av en kommunal samleveg (Øvre Eiker kommune, 2016, p. 24).</i>	29
<i>Figur 18 – Forskjellen på de ulike analysetypene.</i>	32
<i>Figur 19 – Orden 1 (blå) har ingen bidragende vannveier ledende mot seg (Wohl et al., 2016).</i>	33
<i>Figur 20 - Nedbørsfeltet til de kritiske punktene delt inn i arealtyper.</i>	34
<i>Figur 21 - IVF-kurve fra Drammen</i>	39
<i>Figur 22 – IVF-statistikk fra IVF-kurven fra Drammen.</i>	40
<i>Figur 23 – Kartet viser generert dreneringslinje i forhold til Lerbergbekken.</i>	43
<i>Figur 24 – Oversiktsbilde over det overordnede analyseområdet.</i>	46
<i>Figur 25 – De naturlige dreneringslinjene på Harakollen.</i>	47
<i>Figur 26 –Kartet er basert på Single flow og viser de kritiske punktene</i>	48
<i>Figur 27 – De naturlige dreneringslinjene i området som de kritiske punktene er basert på.</i>	49
<i>Figur 28 – De kritiske punktene i forhold til de modifiserte dreneringslinjene.</i>	49
<i>Figur 29 – overvannssystemet i forhold til de modifiserte dreneringslinjene.</i>	50
<i>Figur 30 – Arealfordelingen innenfor nedbørsfeltet til de kritiske punktene digitalisert i QGIS.</i>	51
<i>Figur 31 – Endring i arealer fordelt på arealtyper i perioden 1965 - 2020.</i>	52
<i>Figur 32 – a) slik Ar5 kartet foreligger i dag og b) resultatet fra digitaliseringen av ortofotoet fra 1965.</i>	53
<i>Figur 33 – Figur a) viser arealfordelingen slik den er i Ar5 kartet</i>	54
<i>Figur 34 – figur a) viser arealfordelingen slik den er i Ar5 kartet per 2020.</i>	55
<i>Figur 35 – Avrenningsfaktor kategorisert på arealtypene fra 1965.</i>	56
<i>Figur 36 – Avrenningsfaktor kategorisert på bakgrunn av arealtypene i Ar-5 kartet.</i>	56
<i>Figur 37 - Farger og spørring brukt i genereringen av arealtypene(NIBIO, 2018).</i>	76

## Tabelliste

<i>Tabell 1 - Oversikt over overvannstiltak (NOU 2015:16, 2015).</i> ....	17
<i>Tabell 2 –Tilleggseffekter ved bruk av blågrønne strukturer (Magnussen et al., 2015).</i> ....	18
<i>Tabell 3 - De forskjellige databasene med tilhørende kart-lag, projeksjon og URL.</i> ....	31
<i>Tabell 4 – De ulike arealtypene som er benyttet i analysene (NIBIO, 2019).</i> ....	35
<i>Tabell 5 – Sikkerhetsklasser for byggverk i områder som er flomutsatte. (Byggteknisk forskrift, 2017) ....</i>	38
<i>Tabell 6 – Overflatetyper og avrenningsfaktor (Aksnes et al., 2016).</i> ....	41
<i>Tabell 7 - Øverste del viser Arealfordelingen innenfor nedbørsfelt_1 per i dag.</i> .....	57
<i>Tabell 8 – Arealtyper for nedbørsfelt_2.....</i>	59
<i>Tabell 9 – Arealtyper for nedbørsfelt_3.....</i>	60
<i>Tabell 10 – Oversikt over den beregnede avrenningen</i> .....	61
<i>Tabell 11- Variabler funnet ved bruk av statistikk-verktøy i Grass GIS.</i> .....	75
<i>Tabell 12 – Området inneholder tre tjern som til sammen har et samlet areal på 18.023 ha.</i> .....	75
<i>Tabell 13 – Oversikt over variabler generert i Grass GIS</i> .....	75

# 1 Innledning

Arealbruken har endret seg over tid i Norge og urbane områder vokser blant annet som følge av en vedvarende fortetningspolitikk (Steen, Ibenholt, Aulie, Evjenth, & Nordmelan, 2018). 82 % av Norges befolkning bor i tettsteder og byer i dag (Statistisk Sentralbyrå, 2020). Denne sentraliseringsprosessen fører til et arealpress for norske kommuner, med den følge at naturområder blir tatt i bruk til boligutvikling (Steen et al., 2018).

Når naturlige områder blir bebyggt utvikles tette overflater tiltakende og den naturlige vannbalansen endres. I tillegg til dette har norske kommuner et økende problem med et aldrende og utdatert ledningsnett som gir mindre kapasitet over tid (Magnussen et al., 2017). Samtidig vil klimaendringene føre til at episoder med forhøyet nedbør og nedbørintensitet vil forekomme hyppigere i fremtiden, noe som vil føre til mer overvann (Norsk klimaservicesenter, 2021).

## 1.1 Overvann og en økende sårbarhet

Overvann kan defineres som overflødig vann fra regnbyger eller snøsmelting som ikke har fått muligheten til å trekke ned i grunnen eller hatt tid til å fordampe. Det flommer derfor på tak, parkeringsplasser, asfalterte veier og andre typer overflater med lav infiltrasjonsevne (NOU 2015:16, 2015).

Overvann skyldes gjerne store mengder nedbør over kort tid og kan gi økende fare for flom dersom vannet ledes for raskt ut i vassdragene (Norsk klimaservicesenter, 2021). Det er viktig å adressere problematikk knyttet til overvann fordi det kan ha et relativ høyt skadepotensiale, ikke bare med tanke på økonomiske tap som følge av skade på bygg og anlegg, men også innvirkninger på liv og helse, forurensning fra avløpssystemer, forpurring av vannkvalitet og negativ effekt på flora og fauna (Ballard et al., 2015). Norske kommuner og lokalsamfunn vil i økende grad kjenne på en sårbarhet knyttet til overvannsproblematikk. På 1900-tallet ble overvannet tradisjonelt sett geleidet ut fra byer og tettsteder via sluk og avløpsrør (Lindholm et al., 2008, p. 11). Slike ledningsnett er ikke rustet til å imøtekomme den nedbørintensiteten som er forventet med et fremtidig klima i endring, det være seg de biofysiske

forholdene så vel som de sosioøkonomiske som urbanisering og fortetning av bystruktur (Groven, 2015). Dette er fordi ledningsnettene ble dimensjonert ut ifra kunnskapen man hadde om nedbør og fortetning på det tidspunktet systemet ble etablert (Steen et al., 2018).

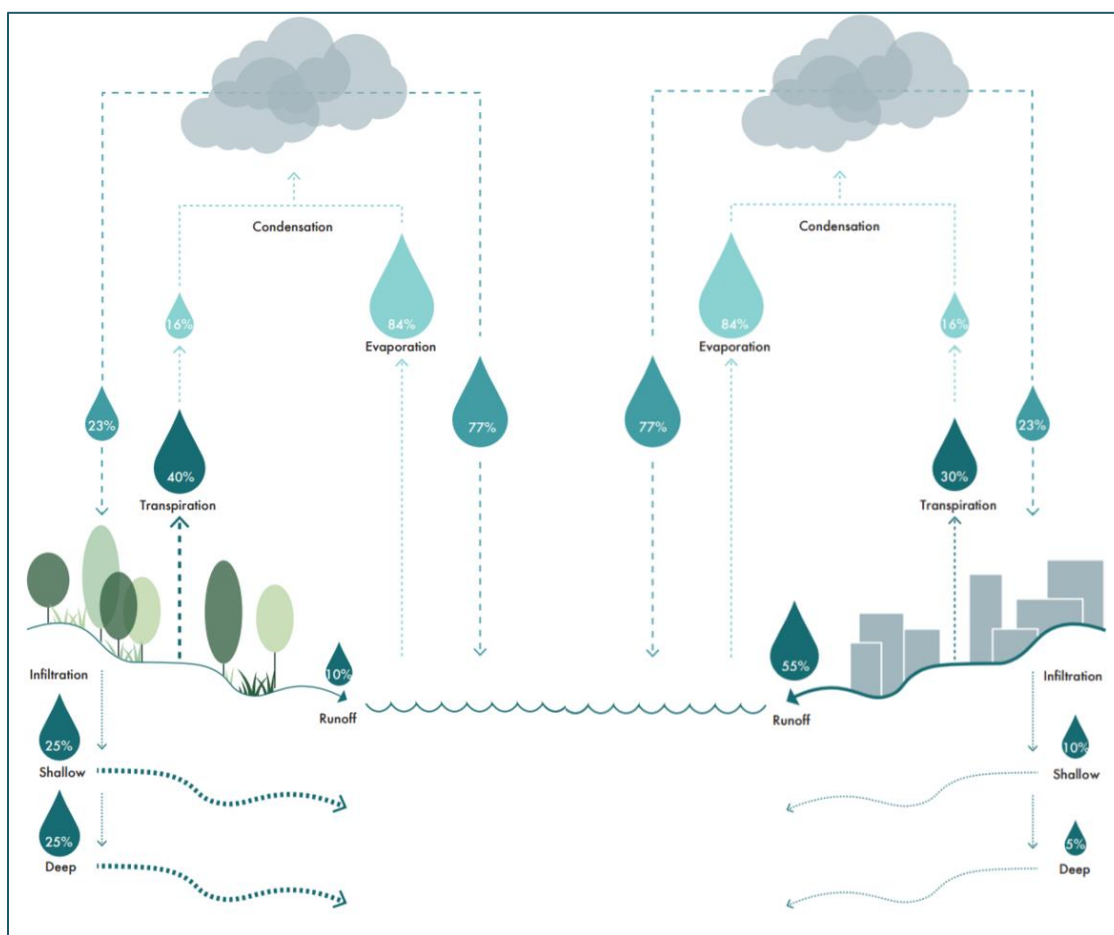
I mange tilfeller har heller ikke overvannsystemene kapasitet til å møte dagens vannvolumer (Øvre Eiker kommune, 2020). Når disse systemene viser seg å være utilstrekkelige vil vannet finne andre veier og kompromissløst føre skade på sin nye ferd. Vannet flommer på sårbare overflater og en urban flom er et faktum (Roald, 2021) (Figur 1). Skader på bygninger, helse og miljø forårsaket av vann har ifølge overvannsutvalget en samfunnskostnad på 1.6 til 3.6 milliarder kroner hvert år (Regjeringen, 2020). Det å ignorere overvann er kostbart.



*Figur 1 – Stormen «Frida» herjet store deler av Østlandet i 2012. Her er ettermålet fra et nabolag i Nedre Eiker kommune (Rune Folkedal for Drammens Tidende, 2015).*

### 1.1.1 Naturlig og urban vannbalanse

Etter hvert som impermeable overflater oppstår vil infiltrasjonsevnen samtidig avta (Roald, 2021, p. 26). I uberørte områder vil 50 % av den nedbøren som faller infiltreres ned i bakken og omtrentlig 10 % vil samle seg til avrenning (Figur 2). I et område som er preget av urbanisering er forholdstallet motsatt (Pauleit, Fryd, Backhaus, & Jensen, 2020). Forstyrrelser som dette medfører også redusert fordampning og senkning i grunnvannstand (NVE, 2016).



Figur 2 – Venstre halvdel av bildet viser vannsyklusen i uberørte naturområder og høyre del av bildet viser vannsyklusen under urbane forhold (Dankmeyer, 2020).

Når tettsteder og byer utvikles ligger ofte bebyggelse side om side med jordbruksarealer og naturområder (Lindholm et al., 2008, p. 32). Disse arealtypene er, på ulike måter og i ulik grad, sårbare



for forandringer i vannbalansen. Dette handlingsforløpet i tillegg til endringer i klimaet kan legge ytterligere press på alle typer arealer.

### 1.1.2 Klimaendringer i Norge

Moderate scenarier kan fortelle oss at det mot slutten av dette århundre forutsees den årlige middeltemperaturen å øke med 3 - 6 °C i Norge hvorav den største økningen forventes på vinterstid. Det er antatt en økning på 18 % i den årlige nedbøren og vi kan forvente en vesentlig stigning av antall dager med ekstremnedbør gjeldende for alle årstider. Flommer forårsaket av regn vil intensiveres og øke i hyppighet samtidig som havnivået, avhengig av plassering, øker med 15 – 55 cm (Hanssen-Bauer et al., 2015).

### 1.1.3 Blågrønne løsninger som en mulighet – overvann som ressurs

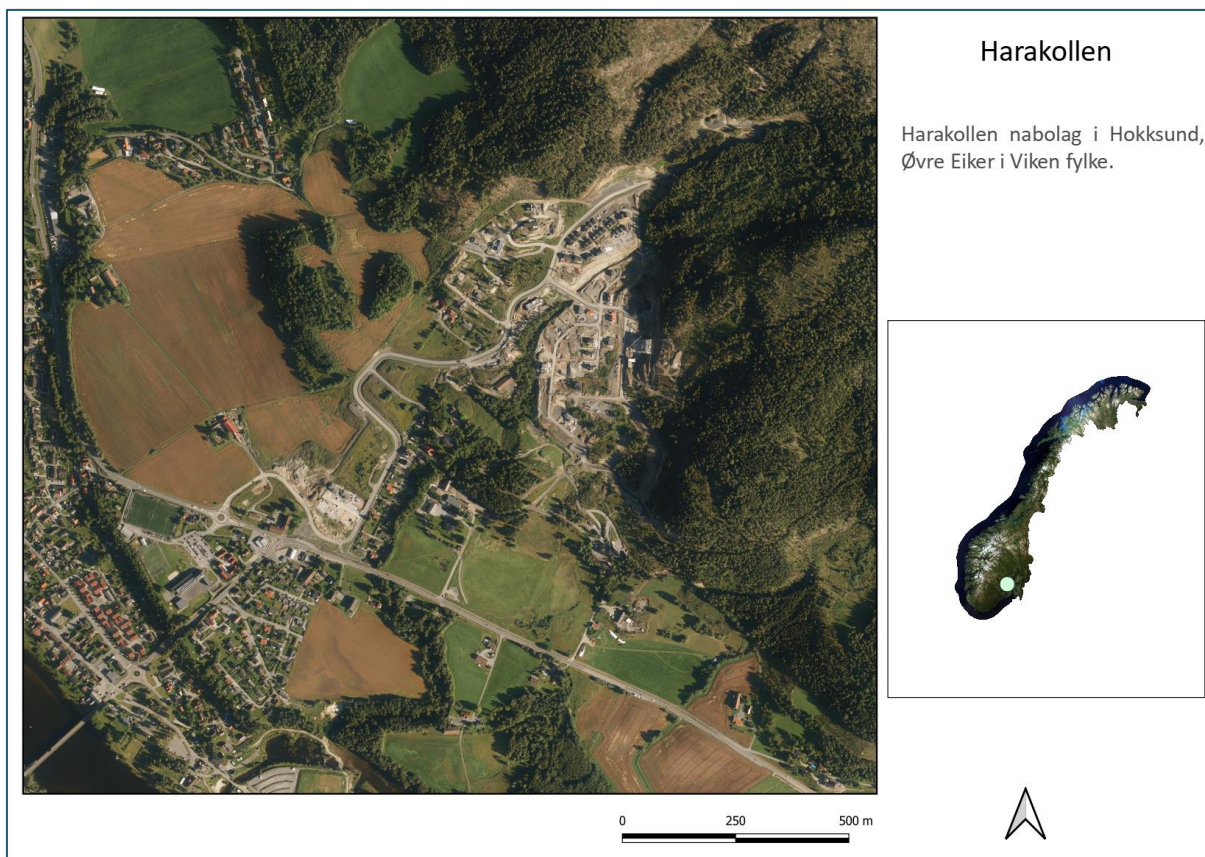
Å dimensjonere overvannssystemer slik at de til enhver tid skal kunne motstå store flommer vil være praktisk utfordrende og u hensiktsmessig dyrt for kommunene (NOU 2015:16, 2015). Derfor kan det være fordelaktig å øke denne motstandsdyktigheten med andre tiltak i tillegg til et ordinært overvannssystem. Endringene i klimaet krever sånn sett overvannstiltak som behandler vannet før det når ledningsnettene (Norsk klimaservicesenter, 2021). Naturbaserte løsninger som blågrønne strukturer kan være med på å regulere denne tilførselen. Blågrønne strukturer er overvannstiltak som baserer seg på en kombinasjon av naturbaserte alternativer som åpne bekker, dammer og grøntarealer (Magnussen et al., 2017). Blågrønne tiltak disponerer overvann på et lokalt plan og defineres dermed som LOD-tiltak (Lokal Overvanns Disponering). LOD-tiltak handler grunnleggende om å hindre overvannet å drenere direkte ned i avløpssystemer eller flomme fritt nedover vassdrag (Lindholm et al., 2008, p. 30). Ved å benytte seg av en strategi som behandler overvannet i tre trinn kan man både behandle overvannet lokalt og på denne måten også avlaste overvannssystemene (Magnussen, Wingstedt, Rasmussen, & Reinvang, 2015). En tre-trinnstrategi vil infiltrere, forsinke og fordrøye avrenningen i høyest mulig grad før vannet på tryggest måte blir avledet til resipient (Lindholm et al., 2008).

Når store påvirkninger som arealtap og klimaendringer foregår på samme sted til samme tid, gir dette større belastning på økosystemet og kan resultere i tap av naturmangfold (Miljøverndepartementet, 2013). Å benytte seg av blågrønne strukturer i planleggingen kan øke biodiversiteten, gi vakrere omgivelser, engasjere lokalbefolkningen og gi noe grønt tilbake til det grå (Ballard et al., 2015). Slike typer tilleggsfunksjoner er noe tradisjonelle løsninger oftest mangler (Magnussen et al., 2017). Overvannet blir i så måte en ressurs snarere enn et problem og kan føre byutvikling i en mer

motstandsdyktig retning. Med anvendelse av blågrønn infrastruktur som et overvannstiltak, kan man således øke resistensen og møte et varmere og våtere fremtidig klima med et mer robust og standhaftig samfunn. Det er derfor vesentlig å kartlegge effektene av utbygging samtidig som man tar høyde for effekten av økte vannmengder i fremtiden.

## 1.2 Harakollen nabolag

Harakollen er et nabolag i utvikling rett utenfor Hokksund sentrum i Øvre Eiker kommune, Viken fylke (Figur 3). Boligområdet ligger omtrent 20 minutter nordvest for Drammen og skråner ned med gangavstand mot Hokksund sentrum. Boligfeltet har utmarksområdene som tilhører Finnemarka i ryggen.



Figur 3 - Det overordnede analyseområdet ligger på Østlandet, merket med en sirkel på norgeskartet til høyre.

### 1.2.1 Klimafremskrivninger Harakollen

Klimafremskrivninger for Harakollen fremvises regionalt og omfatter derfor prognoser på fylkesnivå. Det kan innenfor dette være store variasjoner mellom kommunene. For kommuner som ligger nær Oslofjorden i lavereliggende strøk vil endringene være annerledes enn for kommuner som ligger i indre, høyereliggende områder. Det kan skille hele 10 C° i middeltemperaturen mellom disse områdene (Norsk klimaservicesenter, 2021).

Klimafremskrivninger viser at den gjennomsnittlige årstemperaturen for Buskerud (Viken) mest sannsynlig ventes å øke med 3 C° sommerstid og hele 4.5 C° vinterstid noe som vil gi en høyere evaporasjon, 1-2 måneder forlenget vekstsesong og betydelig nedgang for nedbør som faller som snø i lavereliggende områder (Hanssen-Bauer et al., 2015). Regnflommene vil økes i både størrelse og hyppighet og mindre bekker og elver vil kunne forvente økt vannføring (Norsk klimaservicesenter, 2021).

Det er antatt en mulig sannsynlig økning i tørkeperioder sommerstid grunnet små endringer i nedbør, økte temperaturer og fordampning. Kraftigere nedbør vil føre til økt erosjon og økt flom i bekker og elver som igjen kan lede til økt forekomst av kvikkleireskred (Norsk klimaservicesenter, 2021).

Det er antatt sannsynlig uendret eller mindre sannsynlig at flommer fra snøsmelting vil komme både tidligere på året og i lavere kvanta mot slutten av 2100 (Norsk klimaservicesenter, 2021).

## 1.3 Mål og problemstilling

Målet med oppgaven er å kartlegge bruksendringer i landskapet og se på hvordan disse endringene påvirker avrenningen både i adferd og volum. Samtidig vil det bli rettet fokus mot andre tiltak enn konvensjonelle rørløsninger i kampen mot overvann. Disse tiltakene vil også tilby andre fordeler enn de rent hydrologiske.

Gjennom å foreta en case studie har jeg en overordnet problemstilling som skal besvares:

***Hvordan har arealbruksendringer påvirket avrenningen på Harakollen fra tiden før utbygging og hvordan kan blågrønn infrastruktur bli benyttet som klimatilpasningstiltak for å redusere områdets sårbarhet mot fremtidig overvann?***



For å besvare denne overordnede problemstillingen har jeg tre underordnede problemstillinger som skal gjennomføres med ulike analyser:

1. *Hvordan er den naturlige hydrologiske tilstanden til Harakollen og gir overvannsystemet i området endringer i de naturlige dreneringslinjene?*
2. *Befinner det seg kritiske punkter i området og hvor mye vann kan forventes å samle seg i disse punktene ved en ekstrem nedbørsituasjon?*
3. *Hva slags blågrønne klimatilpasningsløsninger kan hjelpe Harakollen til å redusere sårbarheten mot overvann?*

### 1.3.1 Avgrensning av oppgaven

For å kunne besvare problemstillingene og samtidig få et overblikk er det nødvendig å foreta overordnede analyser av hele området. Å utføre detaljanalyser på hele området er derimot for omfattende. For å begrense omfanget av oppgaven er det er foretatt detaljanalyser innenfor tre mindre nedbørsfelt som dermed avgrenser denne oppgaven geografisk. De blågrønne tiltakene som diskuteres er et lite utvalg som kunne passe for Harakollen som allerede er et godt utbygd område. Det er derfor ikke tatt høyde for større tiltak som fordrøyningsbasseng og lignende, som er særlig arealkrevende.

### 1.3.2 Oppbygging av oppgaven

Denne oppgaven består videre av 5 kapitler. I kapittel 2 blir det presentert teori. Her blir det også gitt en innføring i grunnleggende overvannshåndtering og en gjennomgang av ulike blågrønne løsninger. Kapittel 3 viser det overordnede nedbørsfeltet og de konkrete analyseområdene som har undergått detaljanalyser, i tillegg til den metodiske gjennomførelsen som er utført. Dette inkluderer også beskrivelse av programvare og datafangst samt identifisering av kritiske punkter. I kapittel 4 blir resultatene som er oppnådd i analysene fremstilt. I kapittel 5 blir resultatene sammenlignet og diskutert opp mot relevant litteratur benyttet. Avslutningsvis vil jeg oppsummere og vise til hvordan problemstillingene har blitt besvart i en konklusjonsdel i kapittel 6.

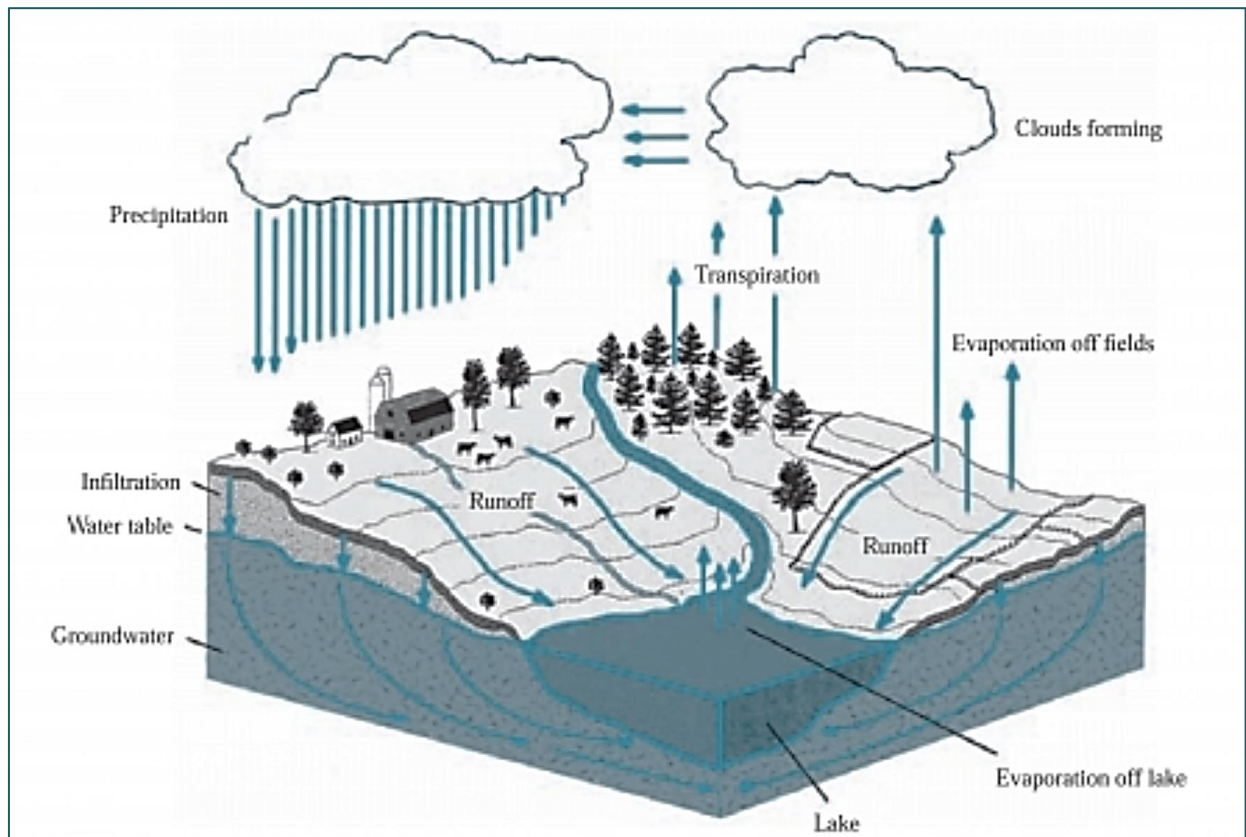
## 2 Teori

En av underproblemstillingene i denne oppgaven stiller spørsmålet om hva slags blågrønne klimatilpasningsløsninger som kan hjelpe Harakollen til å redusere sårbarheten mot overvann. Det blir i dette kapitlet presentert ulike tiltak. Tiltakene som blir beskrevet er et lite utvalg av blågrønne overvannstiltak som kunne passe for Harakollen. De baserer seg alle på den naturlige vannsyklusen og streber etter å nå de to første trinnene i tre-trinnstrategien. Meningen med disse tiltakene er å etterligne den naturlige tilstanden som befant seg på Harakollen før utbyggingen fant sted og samtidig bidra til god luftkvalitet, naturlig rensing av overvannet og økt biodiversitet.

Kapitlet består av fem deler. I den første delen vil jeg presentere det hydrologiske kretsløp og den naturlige vannbalansen. Den andre delen beskriver infiltrasjonskapasitet og hvordan denne påvirkes i naturlige og bebygde områder. I del tre vil jeg snakke om tre-trinnstrategien og del fire gir en gjennomgang av de blågrønne tiltakene før kapitlet avsluttes med hvordan tiltakene kan implementeres i planlegging.

## 2.1 Det hydrologiske kretsløpet

Det hydrologiske kretsløpet drives av tre hovedkrefter. Solenergi, som er den ultimate driveren, er ansvarlig for dannelsen og transporten av vanndamp i atmosfæren (Poulopoulos & Inglezakis, 2016, p. 146). Kapillærkreftene påvirker vannstrømningene under overflaten. Gravitasjonskraften gjør at nedbøren faller til bakken og at vannet renner nedover terrenget på jordens overflate (Figur 4) (Waring & Running, 2007). Disse kreftene utgjør et hydrologisk kretsløp som er evigvarende og alt liv på jorden er avhengig av dette (Michigan State University, 2012).



Figur 4 – Det hydrologiske kretsløpet (Michigan State University, 2012).

Nedbøren som faller som snø, regn eller vanndamp vil, der det kan, infiltreres i bakken. En del av denne nedbøren vil temporært bli lagret i forsenkninger i terrenget eller i jorden i markvannsonen (umetta sone) (Sposób, 2011). Her vil nedbøren bli sugd opp av vegetasjonen, fordampe eller sige videre nedover

til grunnvannssonen (metta sone) hvor det blir dannet nytt grunnvann (NVE, 2015). Er jorden allerede metta med vann eller overflaten er bestående av tette flater, vil denne nedbøren akkumulere overflateavrenning (Waring & Running, 2007). Dette kan gi forstyrrelser i både umetta og metta sone. De bærende egenskapene til grunnen er avhengig av riktig sammensetning og av at metta sone blir tilført vann. Når denne tilførselen blir strupt vil trykket i porene i jorden synke. Jordmassene blir komprimert og bakken kan synke. Dette fører til setningsskader på bygg og anlegg. I markvannssonen vil vannet bli erstattet med luft fordi grunnvannet synker. Dette vil gi ytterligere setninger (NGU, 2014)

Vegetasjon er en betydningsfull komponent i den hydrologiske syklusen og bidrar med evapotranspirasjon og intersepsjon. Evapotranspirasjon er sammensatt av evaporasjon som er fordamping og transpirasjon som er vanntap fra vaskulærsystemene til blader på trær og planter (UIO, 2011). Vegetasjon vil også bidra med intersepsjon som er nedbør som ikke når jordoverflaten, men blir værende på overflaten av vegetasjonen for så å returnere til atmosfæren via fordamping (Waring & Running, 2007).

### 2.1.1 Den naturlige vannbalansen

Det hydrologiske kretsløpet baserer seg på balansen mellom nedbør, evapotranspirasjon og avrenning og kan uttrykkes ved hjelp av vannbalanseligningen (Sposób, 2011):

$$P = Q + ET + \Delta S$$

P = Nedbør

Q = Avrenning

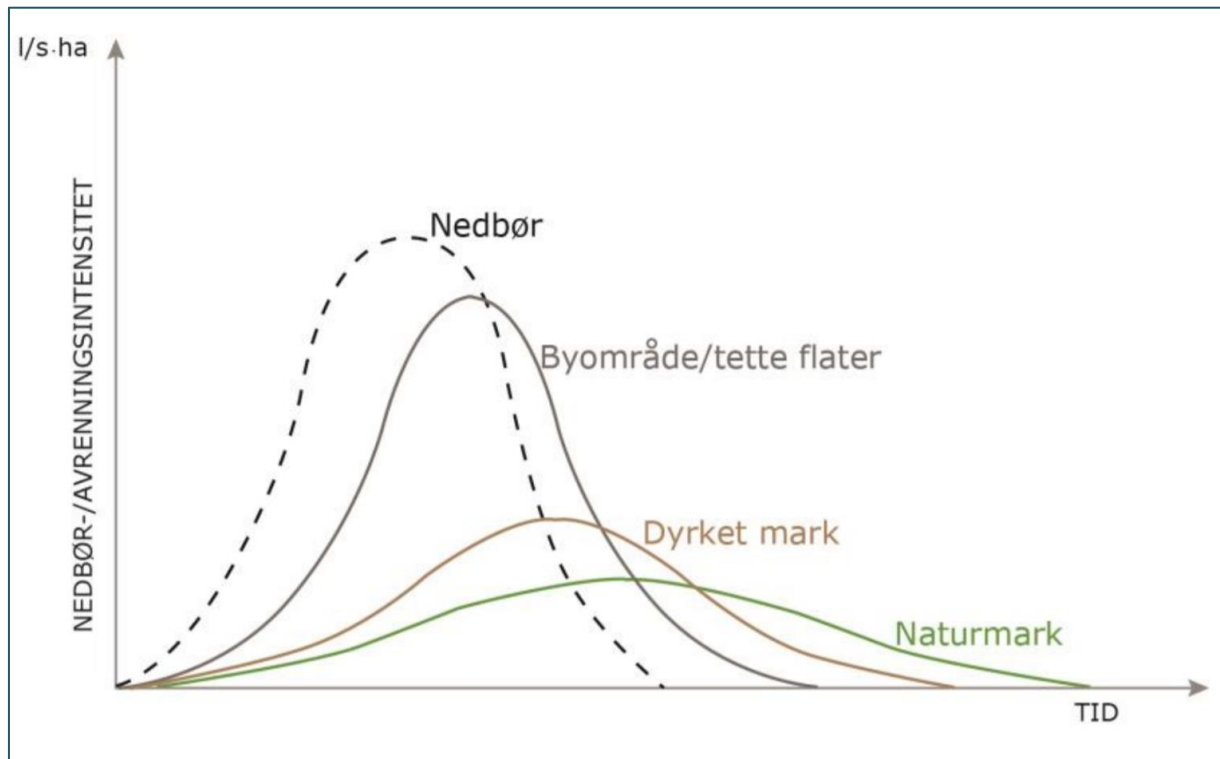
ET = Evapotranspirasjon

$\Delta S$  = Endring i reservoar

Endring i reservoar drives av hva som kommer inn versus hva som går ut av et nedbørsfelt. Komponenter som tilfører noe til området vil i dette tilfellet være nedbør (P). Evapotranspirasjon (ET) og avrenning (Q) vil være elementer som fører vannet ut. Et reservoar (S) i denne sammenheng vil være grunnvann, isbreer, elver og bekker (Sposób, 2011).

## 2.2 Infiltrasjonskapasitet

Infiltrasjonskapasiteten bestemmes av grunnforholdene og avgjør hvor mye vann som skal få trekke ned i bakken og hvor mye som skal flyte på overflaten. Infiltrasjonskapasiteten er stedsavhengig og er betinget av blant annet årstid, topografi, vegetasjon, jordfuktighet og jordtype (Bøyum et al., 1997, p. 13). Når et naturområde blir bebygd vil jord og vegetasjon bli byttet ut med tette overflater som betong og asfalt. Dette påvirker i stor grad infiltrasjonsevnen og overflateavrenning. Den største utfordringen i bebygde områder er å behandle flomtoppene da det gjerne er her de største skadene oppstår og belastningen på overvannsystemet er høyest (NGU, 2018). Naturområder har lang responstid, noe som gir en flat flomtopp. Dette er fordi mye av vannet blir infiltrert og vil derfor ikke samles til avrenning på overflaten. byområder med tette overflater derimot har en kort responstid på grunn av lav infiltrasjonskapasitet noe som resulterer i en høyere flomtopp fordi mer vann vil samle seg på overflaten og akkumulere avrenning (Figur 5) (COWI, 2013).

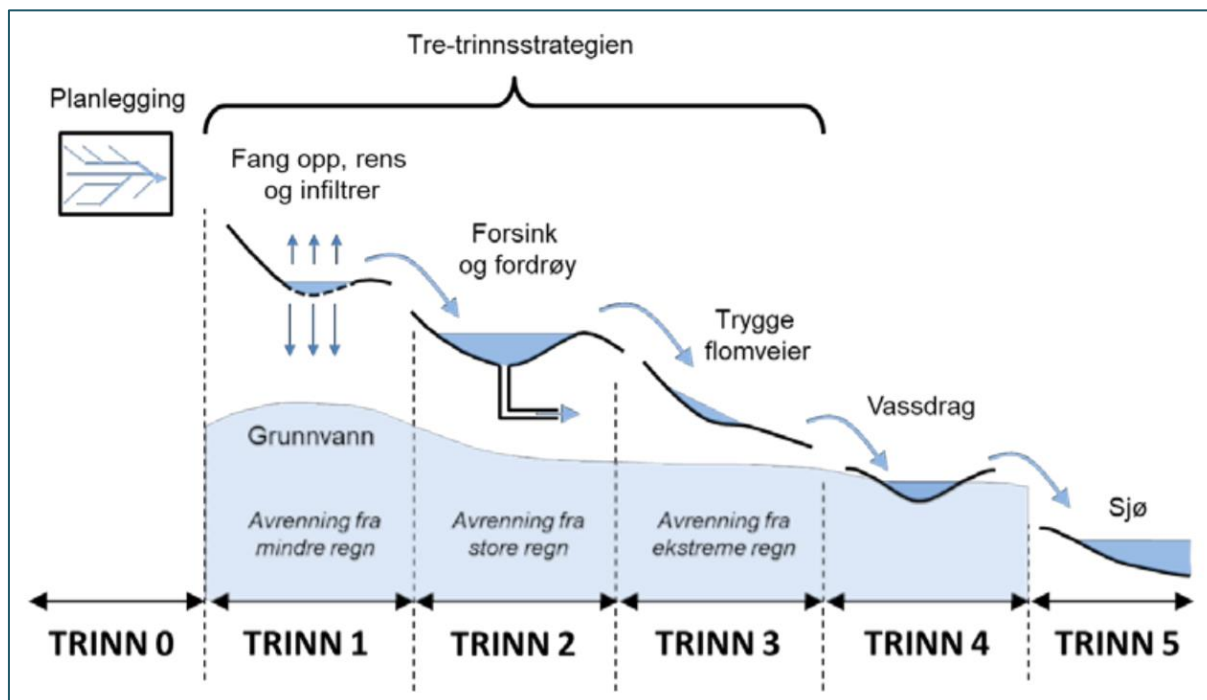


Figur 5 – Figuren viser hvordan den hydrologiske responsen opptrer i små nedbørsfelt (COWI, 2013).

Når infiltrasjonsevnen minker øker overflateavrenningen (Bøyum et al., 1997). Ved benyttelse av naturbaserte løsninger kan man samle opp volumet til den urbane flomtoppen slik at kurven blir flatere og på denne måten etterligne naturområdene. Ved å øke infiltrasjonskapasiteten kan vannbalansen i området påvirkes på en positiv måte (Endresen, 2009).

### 2.3 Overvannsbehandling i tre trinn

Ideen bak en tre-trinnstrategi er å bruke en kombinasjon av tiltak for å infiltrere, forsinke og fordrøye, og trygt lede vekk flomvannet (NOU 2015:16, 2015). Tre-trinnstrategien har som mål å behandle overvannet lokalt. I tillegg til å beskytte områder som allerede er utsatt for ekstremnebør vil riktig bruk av tre-trinnstrategien avlaste det eksisterende overvannsanlegget, redusere belastningen på renseanleggene og begrense forurensningen fra overvann ved overløp (Lindholm et al., 2008; Magnussen et al., 2015).



Figur 6 - Treleddstrategien for overvannshåndtering med tilleggstrinnene 0 planlegging, 4 vassdrag og 5 sjø (Paus, 2020).

Som navnet tilsier baserer tre-trinnstrategien seg i all hovedsak på tre trinn, men det har i nyere tid blitt lagt til et 0. trinn som omfatter planlegging av overvann. Trinn 4 og trinn 5 representerer resipienter for overvann (Figur 6) (Paus, 2020).

Det primære trinnet går ut på å fange opp nedbøren og infiltrere den ned i bakken. Dette er typisk avrenning fra små nedbørshendelser med lav intensitet, mindre enn 20 mm. På dette trinnet vil funksjonen være å sikre den naturlige vannbalansen. I tillegg til infiltrasjon vil vannet her fordampes og taes opp i vegetasjonen (Paus, 2018). Når bakken er mettet eller nedbøren overgår kapasiteten til å bli fanget opp vil dette overskuddet ledes til det sekundære leddet som har som oppgave å forsinke og fordrøye avrenningen. Dette er nedbør av større kaliber, 20 mm - 40 mm, og opptrer sjeldnere enn ved trinn 1. Hovedfunksjonen ved trinn 2 er skadebegrensning (Paus, 2018). Skulle nedbøren være av et slikt volum at de to første trinnene ikke har nok kapasitet, vil det tredje og siste trinnet være å sikre at avrenningen har trygge flomveier for å unngå mest mulig skade (Lindholm et al., 2008, p. 37). Dette dreier seg om ekstreme nedbørshendelser med høy intensitet, over 40 mm. (Paus, 2020).

Nedbørsverdiene gitt i dette eksempelet er uten tidsbegrensning og bør tilpasses lokalt. En nedbørsepisode med en varighet på 24 timer har en helt annen intensitet enn en nedbørshendelse med en varighet på 20 minutter med eksempelvis 20 mm nedbør (Paus, 2018).

## 2.4 Naturbaserte løsninger – blågrønne tiltak

Naturbaserte løsninger er et vidt begrep og i sin rapport «*Naturbaserte løsninger for Klimatilpasning*» beskriver Magnussen et al. (2017) det som:

*“Løsninger som bruker eller restaurerer eksisterende naturtyper og økosystemer.”*

*“Løsninger som baserer seg på bruk av natur (semi-naturlige løsninger)”*

*“Løsninger som oftest kategoriseres under blågrønn infrastruktur, og som i større grad kan involvere «naturhermende» løsninger, for eksempel konstruksjon av overvannsdammer, grøfter, osv.”*

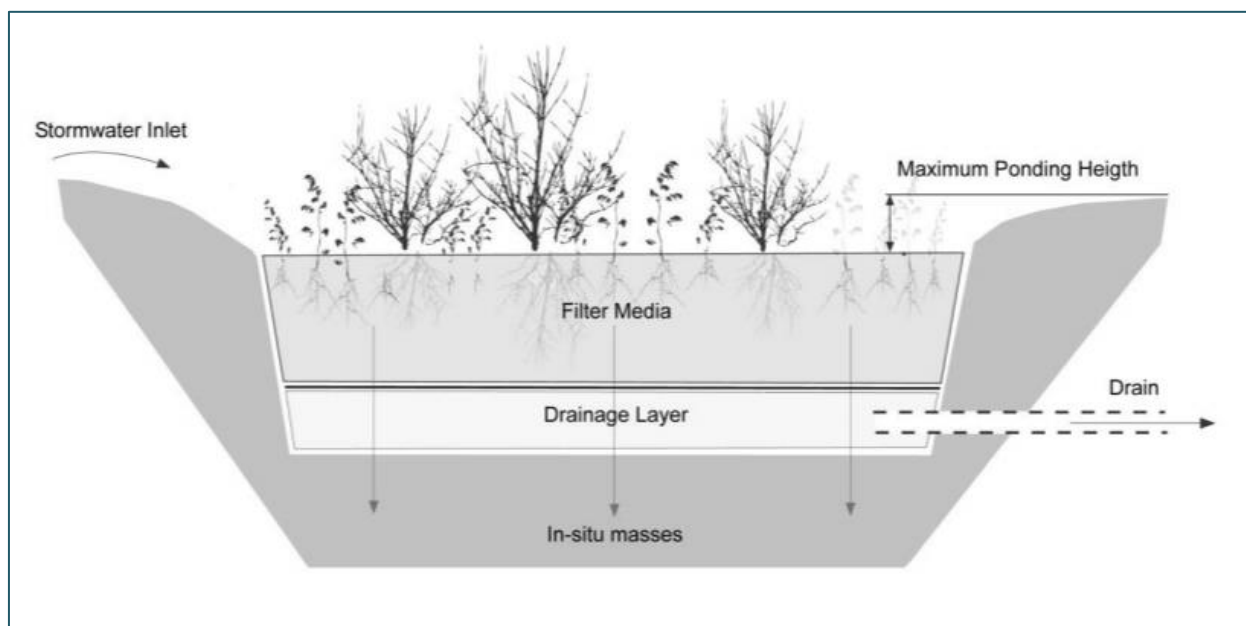
*(Magnussen et al., 2017)*

I denne oppgaven fokuseres det på blågrønn infrastruktur og definisjonen av dette.

### 2.4.1 Regnbed

Regnbed har etter hvert blitt et godt utprøvd overvannstiltak i Nord Amerika og Australia etter at såkalte “raingardens” og “bioretention” oppsto i Maryland i USA i løpet av siste halvdel av 1980-tallet (Paus & Braskerud, 2013). Regnbed er et LOD-tiltak fordi det er ment til å håndtere overvannet lokalt og dekker de to første kategoriene innenfor treleddstrategien; infiltrasjon og forsinke og fordrøye (NOU 2015:16, 2015).

Bedet blir laget som en forsenkning i terrenget i foretrukne stedege masser (in-situ) med vegetasjon omkring. Bruk av vegetasjon rundt åpne overvannsløsninger bidra til å etterlikne måten naturen behandler vannet på (Paus, Åstebøl, Robba, Clavier, & Stange, 2016). Nedbørsvannet blir lagret på overflaten i forsenkningen før det omsider blir infiltrert i bakken eller til overvannsystemene (Paus & Braskerud, 2013). På denne måten blir vannet også behandlet for forurensende komponenter ved at det blir filtrert og renses. I det naturlige kretsløpet suger plantene opp vannet for så å bli nedbrutt i jorda til slutt. Bedet består av et filtermedium som infiltrerer vannet samt renses dette for forurensende komponenter (Figur 7) (Braskerud, Paus, & Ekle, 2013).



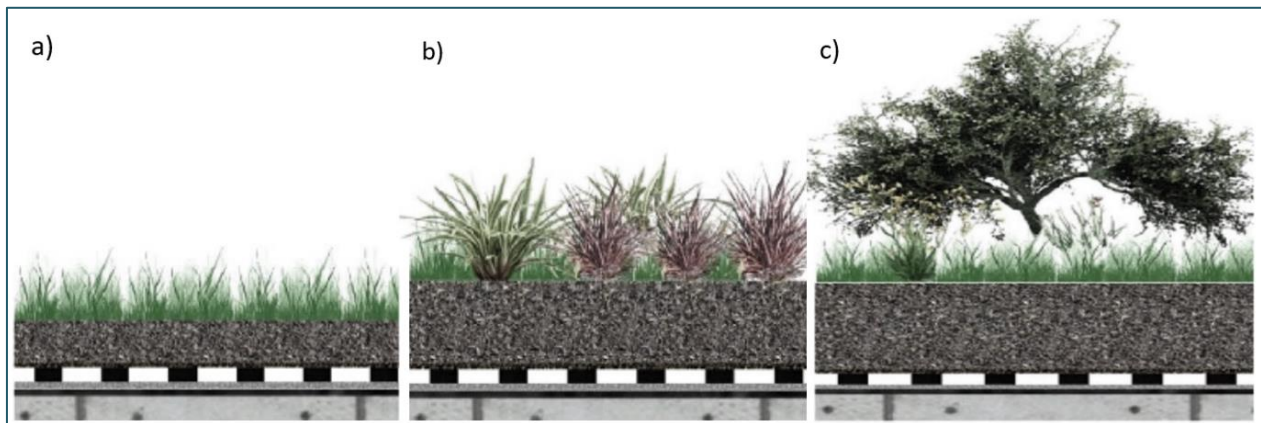
Figur 7 – Tverrsnitt av hvordan et regnbed kan bygges opp i stedege masser (Braskerud et al., 2013).



Dersom stedeegne masser ikke er mulig på grunn av utilstrekkelig infiltrasjonsevne må disse byttes helt eller delvis ut. Dette gjelder også om disse tettes under bruk. Regnbedet må da dreneres helt og massene skiftes (Paus & Braskerud, 2013). Bedet kan ofte også anlegges etter at selve utbyggingen er ferdigstilt i nedbørsfelt som har utfordringer med overvann (Braskerud et al., 2013).

### 2.4.2 Grønne tak

Grønne tak er tak hvor planter og vegetasjon gror og er ingen ny byggteknologi i Norge. Alt fra kirker til ensomme stabbur fra svunnen tid kan sees den dag i dag med gresstuster på taket. Ved å bruke disse overflatene til å fange opp nedbør kan avrenning fra overvann reduseres. Grønne tak vil kunne holde på noe av nedbørsvannet men vil primært dekke andre trinn i tre-trinnstrategien og dermed forsinke og fordrøye avrenningen (NOU 2015:16, 2015). Dette gir både en redusert og en forsinket flomtopp (Hanslin & Johannessen, 2019). Grønne tak anlegges på tak som er egnet for dette og vil derfor ikke oppta noen arealer på bakkenivå. Reduksjonen i avrenningen er avhengig av det samlede arealet til de grønne takene og hva slags type grønt tak det er snakk om (Magnussen et al., 2015). Det finnes tre hovedtyper av grønne tak; ekstensive, semi-intensive og intensive (Figur 8).



Figur 8 – Oppbygging av ekstensiv a), semi-intensivt b) og intensivt tak c) (Besir & Cuce, 2018).

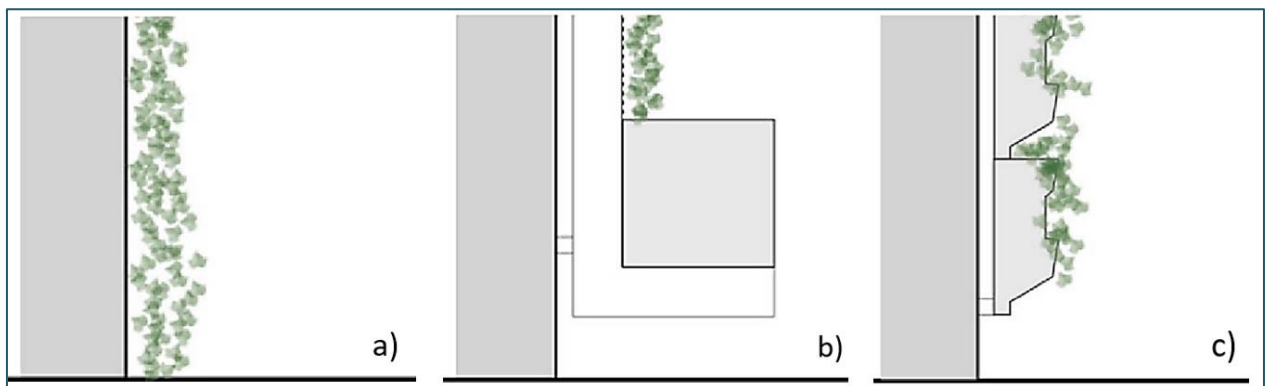
De ekstensive takene har det tynneste laget med vekstsubstrat og har en konstruksjonshøyde på 60–200 mm. De har en vekt på 60–150 kg/m<sup>2</sup>, krever lite vedlikehold, har plantearter som tåler tørkeperioder og trenger ikke å vannes (Figur 8 a). Bergknapp er ofte brukt på disse takene. På semi-intensive tak tillates vekstmediet å være tykkere og variasjonen av planter er større noe som gir fordeler til artsmangfoldet. De har en konstruksjonshøyde på 120–250 mm og veier mellom 120–200 kg/m<sup>2</sup>. Disse takene krever

periodevis vanning og noe mer vedlikehold enn de ekstensive takene kostnadene vil også derfor være noe høyere. Gress og torvtak faller under kategorien semi-intensiv (Figur 8 b). Intensive tak er takhager som tåler aktivitet som ved en vanlig hage. Her kan det vokse både busker og trær og bygningen bør være konstruert for denne type ballast (Braskerud, 2014). Slike typer takhager kan være et adderende uterom hvor folk kan samles til rekreasjon. De intensive takene har den høyeste konstruksjonshøyden med 150-400 mm og har en vekt på 180-500 kg/m<sup>2</sup>. Siden dette ofte kan betegnes som parker eller takhager trenger de jevnlig vanning og vedlikehold, og er derfor også den dyreste å drifte av de tre eksemplene som her er nevnt Lokal matproduksjon kan også foregå på slike typer grønne tak og teoretisk sett kan alt dyrkes her så lenge tilgangen på næringsstoffer og vann er til stede (Figur 8 c) (Besir & Cuce, 2018; Hanslin & Johannessen, 2019; Magnussen et al., 2015).

Den viktigste rollen et grønt tak har er som nevnt å redusere og fordrøye avrenningen fra overvann, men de bidrar også til økt biodiversitet, evapotranspirasjon og vil rense nedbørsvannet i noe grad (Hanslin & Johannessen, 2019).

### 2.4.3 Grønne fasader og levende vegger

Grønne vegger er en samlebetegnelse på konstruksjoner bestående av mose, sedum, busker eller trær som monteres til eller ved en vegg (Magnussen et al., 2015). Grønne vegger forsinket og fordrøyer nedbøren og kan grovt deles i to kategorier; grønne fasader og levende vegger (Figur 9).



Figur 9 – Eksempler på grønne vegger. Direkte grønn fasade a), indirekte grønn fasade b) og en levende vegg c) med blomsterkasser (Besir & Cuce, 2018).

De grønne fasadene kan være både direkte og indirekte knyttet til veggen og grunnen (Besir & Cuce, 2018). En direkte grønn fasade kan være klatreplanter som er plantet i bakken og knyttet til veggen bak

(Figur 9 a) (Ødegård, Clewing, & Thoren, 2013), men en indirekte grønn fasade er gjerne klatreplanter festet til en struktur som igjen er festet til veggen (Figur 9 b). De levende veggene er plantet på forhånd før de festes til veggen med for eksempel en blomsterkasse (Figur 9 c) (Besir & Cuce, 2018).

#### 2.4.4 Trær og annen vegetasjon

Det å plante trær og vegetasjon er et generelt naturbasert tiltak som kan bidra til fordrøyning, redusere flomtoppene og derfor redusere overvannet (Magnussen et al., 2017). Trær fanger opp nedbør, bidrar med evapotranspirasjon, intersepsjon, biodiversitet og gir skygge (Ballard et al., 2015). Dette fører til at temperaturen i lufta reduseres og det lokale klimaet reguleres (Miljødirektoratet, 2020b).

Det blir ofte mye fokus på å «legge til» elementer når man snakker om tiltak. Ofte kan det enkleste være å la det som allerede er få bestå. Ved å beholde trær og busker stående i skråninger kan man redusere fare for oversvømmelse. Slik kan man også bidra til å stabilisere grunnen og bevare eksisterende naturtyper (Miljødirektoratet, 2020a).

#### 2.4.5 Åpning av bekkelukninger

Bekkelukninger er bekker som tidligere har blitt lagt i rør eller kulverter. Åpning av disse bidrar til overflatefordrøyning (Ødegård et al., 2013). Bekker og elver fungerer som naturlige flomveier og har høy økologisk verdi da de er habitater for en rekke plante og dyrearter (Magnussen et al., 2017). Det å gjenåpne bekker gir estetiske tilleggstjenester og bidrar til å skape stedsidentitet og bevaring av kulturarv (Miljødirektoratet, 2020b).

Tabell 1 gir samlet oversikt over de nevnte tiltakene.

*Tabell 1 - Oversikt over overvannstiltak (NOU 2015:16, 2015).*

Tiltak	Plass i tre-trinnstrategien	Forklaring
Regnbed	1,2	Infiltrerer nedbøren og forsinker og fordrøyer avrenningen.
Grønne tak	(1),2	Vil holde på noe av vannet, men primært forsinke og fordrøye avrenningen.
Grønne vegger	2	Forsinker og fordrøyer nedbøren.
Trær og annen vegetasjon	1,2	Holder på vann med intersepsjon og er en forbruker via evapotranspirasjon.
Bekkelukninger	(1,2), 3	Vil bidra til noe fordrøyning og infiltrasjon, men dekker primært siste ledd i tre-trinnstrategien.

### 2.4.6 Tilleggseffekter

Flomfare og utilfredsstillende vannkvalitet er ofte drivere bak overvannshåndtering, men naturbaserte løsninger dreier seg om mye mer enn det. Naturlig drenering og grønne områder går ofte tapt eller har blitt fragmentert under en fortetningsprosess. Dette gjør den økologiske tilstanden fattigere.

Naturbaserte løsninger som blågrønne tiltak gir tilleggseffekter utover det å behandle overvannet, noe som er gunstig for en skrantende økologisk tilstand og som kan ha positiv effekt på folkehelsen (Tabell 2).

Tabell 2 –Tilleggseffekter ved bruk av blågrønne strukturer som overvannstiltak (Magnussen et al., 2015).

Tilleggseffekter	Forklaring
Vannrensing	Vannet blir filtrert og renses for forurensende komponenter ved bruk av blågrønne infiltrasjonstiltak.
Rekreasjon, mentale og fysiske helsegevinster	Åpne vannløsninger med grønne omgivelser bidrar til rekreasjon, fysisk aktivitet og stressreduksjon.
CO <sub>2</sub> - opptak og lagring	De grønne komponentene i de blågrønne tiltakene tar opp og binder CO <sub>2</sub> ved hjelp av fotosyntese.
Forbedring av luftkvaliteten	Planter og vegetasjon renses luften og binder blant annet svevestøv. Dette bidrar også til bedre helse for de som er utsatt for luftveissykdommer.
Klimaregulering på lokalt plan	Trær og vegetasjon bidrar til temperaturregulering. Dette både kjøler ned og isolerer.
Reduserer støy	Både de blå og de grønne elementene bidrar til å redusere støy ved å absorbere lydbølger.
Økt biologisk mangfold	Blågrønne tiltak som helhet bidrar til økt biologisk mangfold.
Pollinering	Bier, humler og andre pollinerende insekter benytter seg av de blågrønne strukturene som habitater.

Kulturelle tilleggseffekter som eksempelvis; rekreasjon, estetisk verdiopplevelse og læring om naturmiljø vil oppfattes som positivt selv i mindre byer og tettsteder (Magnussen et al., 2015).

## 2.5 Blågrønne tiltak i planlegging

Naturbaserte løsninger opptar en viktig plass i tre-trinnstrategien og tar utgangspunkt i naturens egen modus operandi. Etablering av disse bør vurderes i både kommunal og regional planlegging (Miljødirektoratet, 2020a).

Ansvar for all planlegging innenfor kommunegrensene hviler på kommunen og alle byggeplaner må godkjennes av den respektive kommunen jf. kapittel 20 (Plan- og bygningsloven, 2008).

Blågrønne løsninger som klimatilpassningstiltak mot overvann skal vurderes og integreres i kommuneplanen, kommunedelplanen og i reguleringsplanen. Kommuneplanen som er kommunenes overordnede styringsdokument, skal gi rammebetingelser for kommunenes generelle planlegging og prioriterte planlegging (Øvre Eiker kommune, 2020). I kommuneplanens arealdel kan det avsettes hensynssoner til flomhåndtering. Slike typer hensynssoner kan sette vilkår for overvannstiltak og hvilke typer hensyn som må befestes ved utbygging (Røstum et al., 2014).

I Øvre Eiker sitt forslag til temaplan for overvann settes det krav til håndtering av overvann ved utbyggingsområder. Ved områderegulering og detaljregulering skal håndteringen av overvann være slik at avrenningen av overvann fra planområdet skal være lik den avrenningen av overvann som er fra det uberørte naturområdet (Øvre Eiker kommune, 2020).

De største områdene har allerede blitt bygget på Harakollen og i reguleringsplanens §4 felles bestemmelser, kommer det frem at plassering av blågrønne tiltak i friområdene ikke strider imot det som allerede er bestemt i plan. Det er faktisk slik at friområdene skal tilrettelegges for åpen overvannshåndtering som infiltrasjonsområder og biologiske rensedammer (Øvre Eiker kommune, 2006). Det kan her søkes om byggetillatelse for områdene som er aktuelle for implementering av tiltak.

### 3 Metode

Denne masteroppgaven er en case studie med både kvalitative og kvantitative metodetilnærmelser. Det er benyttet enkle hydrologiske kalkuleringer i kombinasjon med GIS-analyser for å se på arealendringer og for å få oversikt over den hydrologiske situasjonen til analyseområdene.

Metodekapittelet består av syv deler. Den første delen beskriver det overordnede analyseområdet. Dette innebefatter en beskrivelse av nedbørsfeltet, grunnforholdene, arealklassifiseringen og plansituasjonen på Harakollen. Den andre delen beskriver delområdene det er foretatt detaljanalyser på i denne oppgaven. Overvannsystemet og veigrøftene på Harakollen blir i tillegg beskrevet her. Del tre og fire tar for seg hvordan de hydrologiske GIS-analysene ble gjennomført. Del fem forklarer hvordan analysene av arealbruksendringene ble gjennomført og herunder en forklaring på de ulike arealtypene som er benyttet. Den sjettede delen viser gangen i de hydrologiske beregningene ved bruk av den rasjonelle metoden. Her gjennomgås alle de ulike parameterne i den rasjonelle formel.

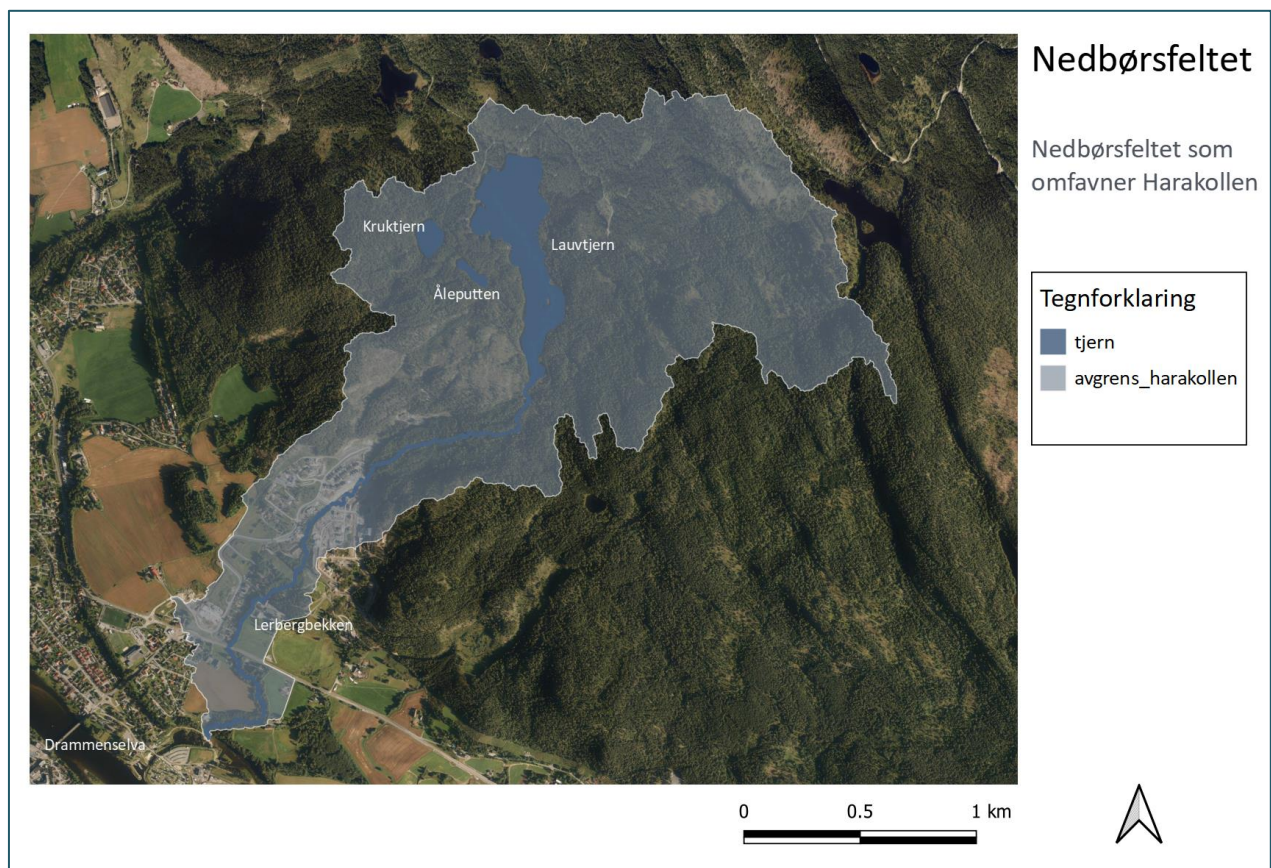
Kapittelet avsluttes med en metodisk refleksjon hvor både verifiseringer og svakheter ved de ulike metodene blir fremstilt.



### 3.1 Analyseområdet Harakollen

#### 3.1.1 Nedbørsfeltet til Harakollen

Nedbørsfeltet som Harakollen ligger i omfavner tre tjern; Lauvtjern, Kruktjern og Åleputten med et samlet areal på 18 ha hvilket utgjør 5.49 % av det totale arealet. Lerbergbekken renner igjennom hele nabolaget og er direkte knyttet til Lauvtjern som er det største av tjernene. Lerbergbekken har utløp i Drammenselva (Figur 10). Hele nedbørsfeltet tilhører Drammensvassdraget (NEVINA, n.d).

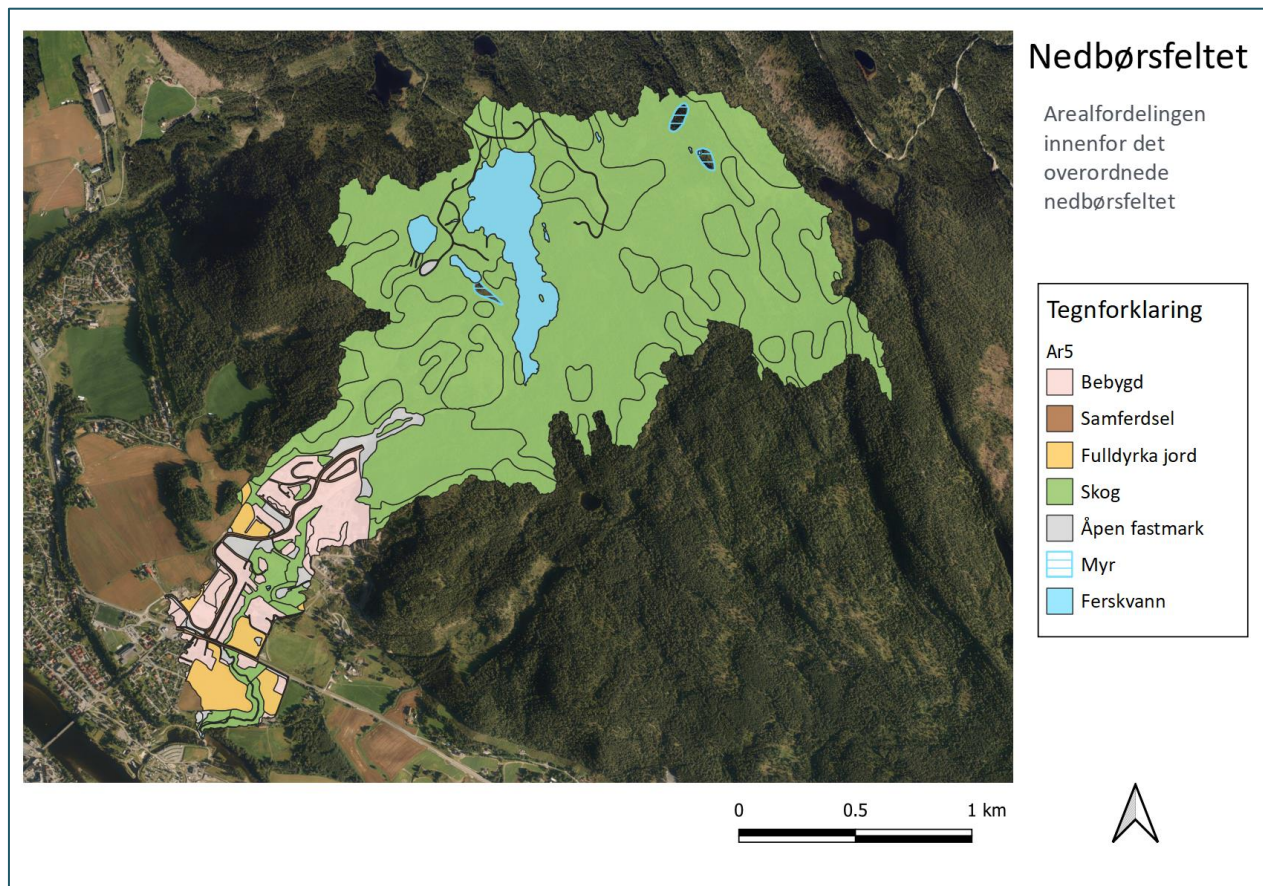


Figur 10 - Kart over nedbørsfeltet til Harakollen generert i Q-GIS. Kartet viser også tjernene i området samt Lerbergbekken.

Den gjennomsnittlige sommernedbøren i dette området er 420 mm og gjennomsnittlig temperatur er 11.8 C°. På vinterstid er gjennomsnittlig nedbør 467 mm og temperaturen er – 2.1 C°. Sommert er den totale årlige middeltemperaturen 3.7 C°. Den gjennomsnittlige avrenningen (1961 – 1990) er estimert til 13.5 l/s km<sup>2</sup> (NEVINA, n.d).

Nedbørsfeltet er definert som et lite nedbørsfelt da det er under 50 km<sup>2</sup> med sine 3.28 km<sup>2</sup> (Vedlegg 1 – Nedbørsfeltparametere) (Stenius, Glad, Wang, & Væringstad, 2015). Mindre nedbørsfelt reagerer raskere på nedbør enn større nedbørsfelt og tilstanden til nedbørsfeltet har utslagsgivende kraft på flomstyrken (Lindholt et al., 2008, p. 32). Den nedre delen av nedbørsfeltet nær Drammenselven er i dag et område som er utsatt for flomhendelser ifølge flomsonekartlegging utført av NVE (NVE, 2021).

### 3.1.2 Arealklassifisering



Figur 11 – Arealfordelingen innenfor det overordnede nedbørsfeltet.

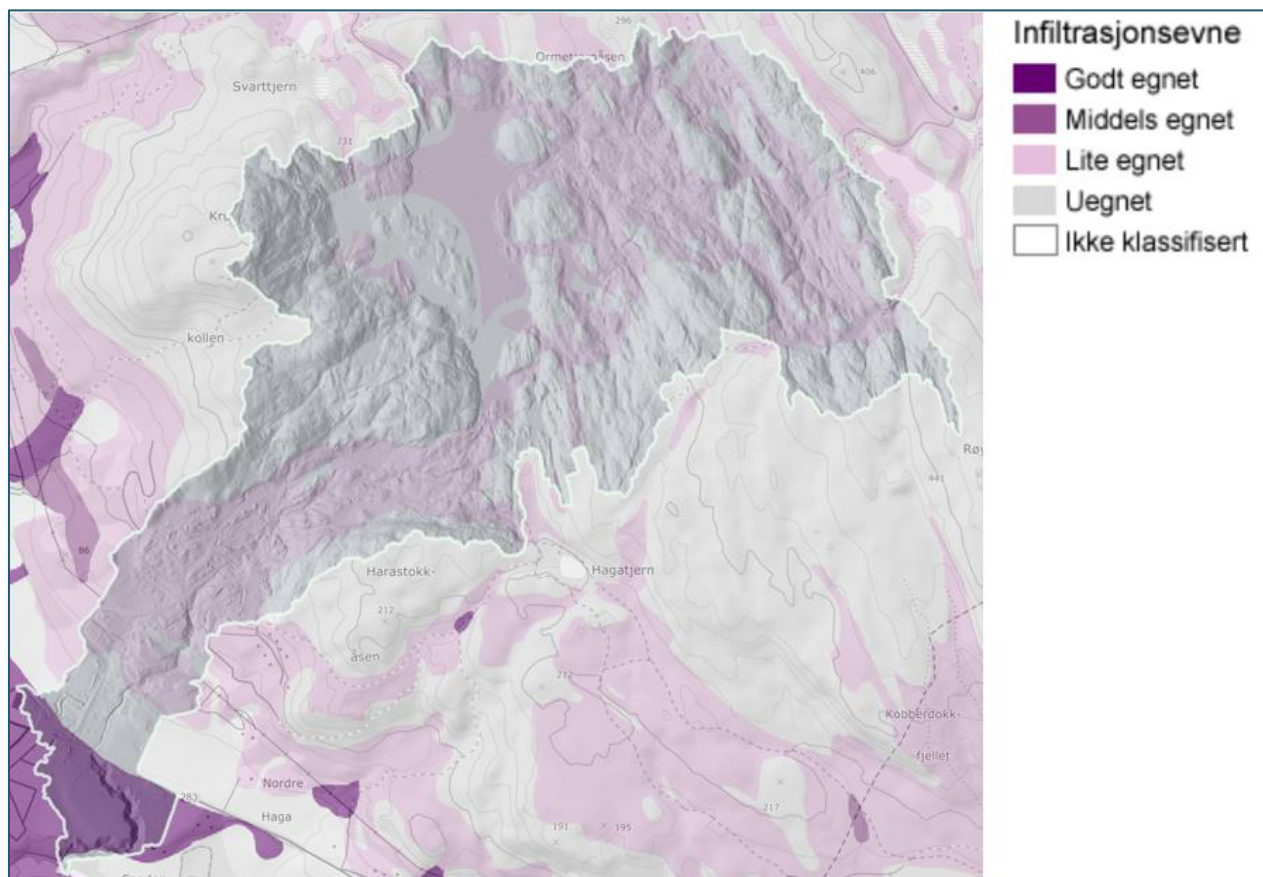
Nedbørsfeltet består av 80 % skog, 7 % bebygde områder, 6 % ferskvann, 3 % fulldyrka jord, 2 % åpen fastmark, 1 % myr og 1 % samferdsel (Figur 11).





### 3.1.4 Infiltrasjonskapasitet

Infiltrasjonskapasiteten karakteriseres som lite egnet eller uegnet stort sett i hele området (NGU, 2021). Det er kun de nedre områdene rundt utløpet til Lerbergbekken som kan betegnes som middels godt egnet (Figur 13).

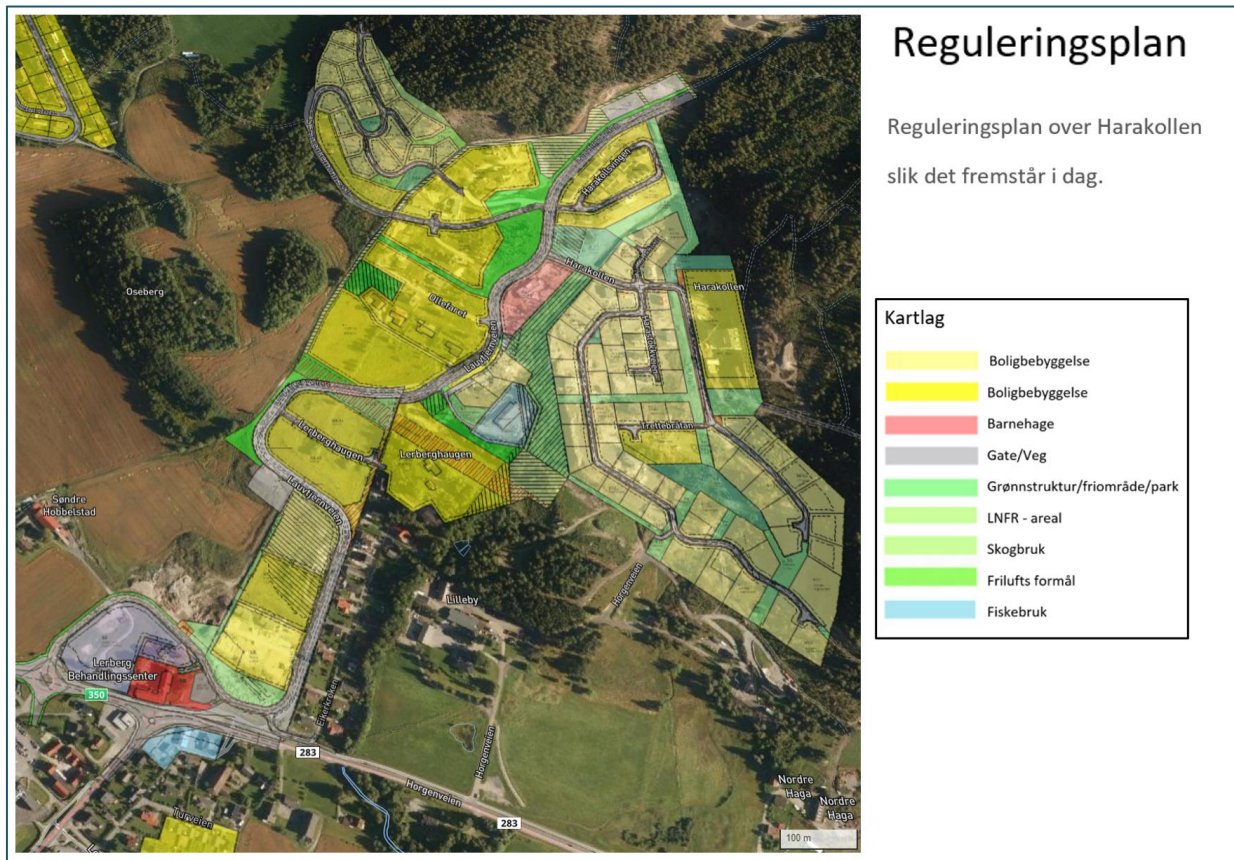


Figur 13 - Infiltrasjonskapasiteten til Harakollen og områder rundt. Kartlaget som viser infiltrasjonskapasiteten er lastet ned fra Norges geologiske undersøkelse (NGU, 2021).

Dette er kun basert på løsmassekartet fra NGU noe som bare gir en grov antagelse, men allikevel en indikasjon. Et tynt lag med jord vil ikke holde på like mye vann som et tykt lag med jord vil kunne ha kapasitet til. Dette vil påvirke avrenningen. Planbeskrivelser over utbyggingsområder på Harakollen støtter oppunder dette og flere steder karakteriseres som «fjell i dagen» (Jokstad, 2017).

### 3.1.5 Utbyggingstakt og plansituasjon

I kommuneplanen til Øvre Eiker er det fokus på høyere arealutnyttelse ved knutepunkter og fortetning i og rundt tettstedene er særskilt vektlagt. Dette er blant annet begrunnet med at det er godt for næringen i Hokksund sentrum med høy boligtetthet (Øvre Eiker kommune, 2015). Harakollen har vært et fokusområde hva gjelder boligutvikling siden det første vedtaket om utbygging ble behandlet av kommunestyret i 2006 (Øvre Eiker kommune, 2006). Det har vært flere trinn i utbyggingen og det foreligger 8 ulike detaljreguleringer hvorav 7 er endelig vedtatt (Øvre Eiker kommune, n.d) (Figur 14).



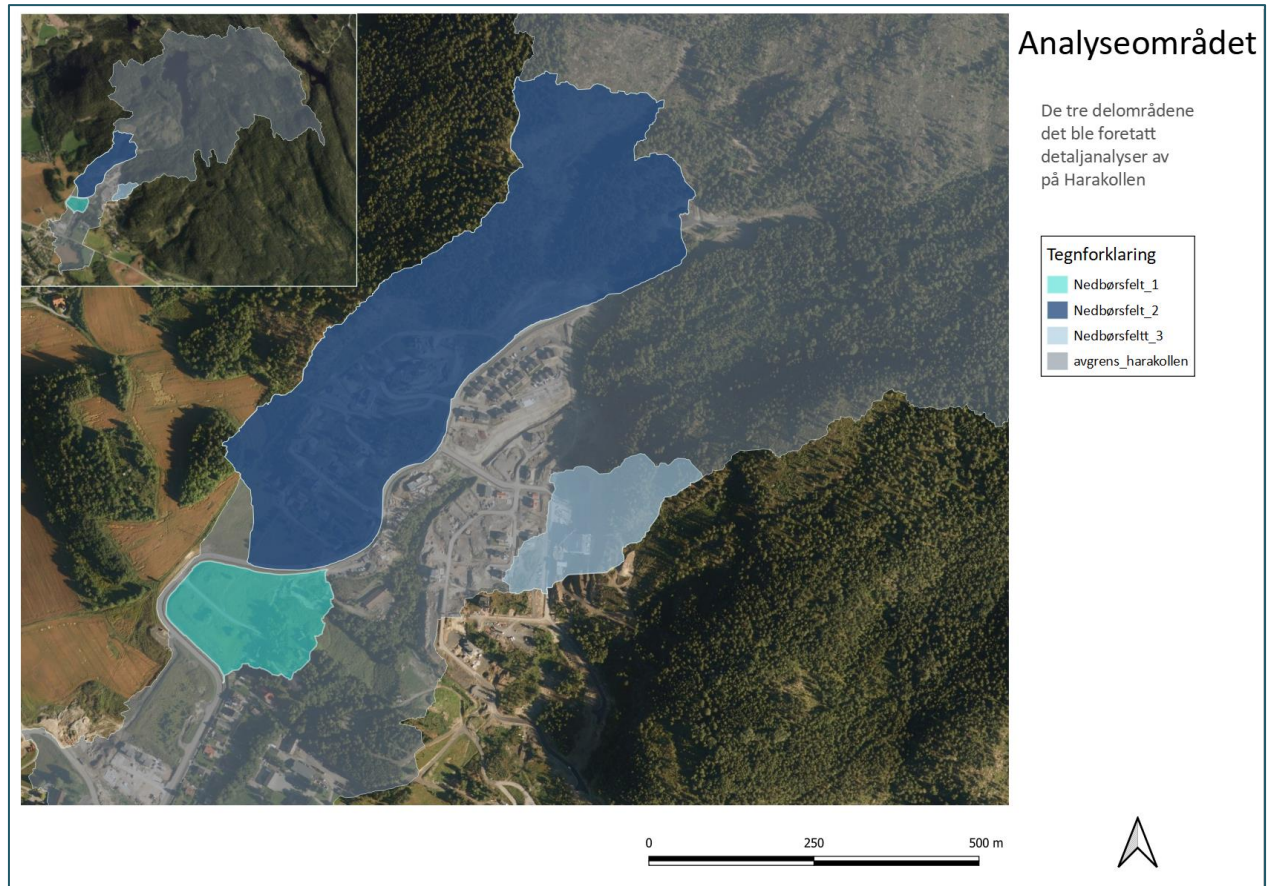
Figur 14 – Reguleringsplankart over Harakollen (Øvre Eiker kommune, 2021).

Nabolaget er preget av variert boligbebyggelse som frittstående eneboliger, rekkehus bebyggelse og terrasseleiligheter. Dette for å kunne imøtekomme Hokksund sin visjonære planstrategi om å gi alle som ønsker en attraktiv plass å bo (Øvre Eiker kommune, 2015). Før første spadetak var området preget av naturområder som skog og jordbruksarealer. Det var lite bebyggelse og infrastruktur.



## 3.2 Detaljanalyser

Hovedfokuset for detaljanalyser i denne oppgaven ligger på tre ulike delområder innenfor det overordnede nedbørsfeltet som omfatter Harakollen (Figur 15).



Figur 15 - De tre forskjellige identifiserte kritiske punktene med tilhørende nedbørsfelt som har undergått detaljanalyser. Det overordnede nedbørsfeltet kan skimtes i bakgrunnen i lys grå farge.

De tre delområdene ble definert på bakgrunn av identifiseringen av kritiske punkter i det overordnede nedbørsfeltet. Disse ble valgt ved å fokusere på områder som har blitt utbygd eller er under utbygging samt områder som har mange dreneringslinjer ledende mot seg. Dreneringslinjer basert på den naturlige terrengmodellen og terrengmodell med bygninger ble benyttet. Det ble identifisert tre ulike kritiske punkt; *kritiskpunkt\_1*, *kritiskpunkt\_2* og *kritiskpunkt\_3*. *Kritiskpunkt\_1* og *kritiskpunkt\_2* ble valgt fordi mye vann samler seg ved disse stedene. Ved *Kritiskpunkt\_3* samler det seg en god del vann, men dette

får også oppmerksomhet fordi det ligger midt i et boligområde. Eventuelle kritiske punkter høyere opp i nedbørsfeltet er i denne omgang ikke tatt hensyn til da jeg valgte å se på områder preget av bebyggelse og arealendringer.

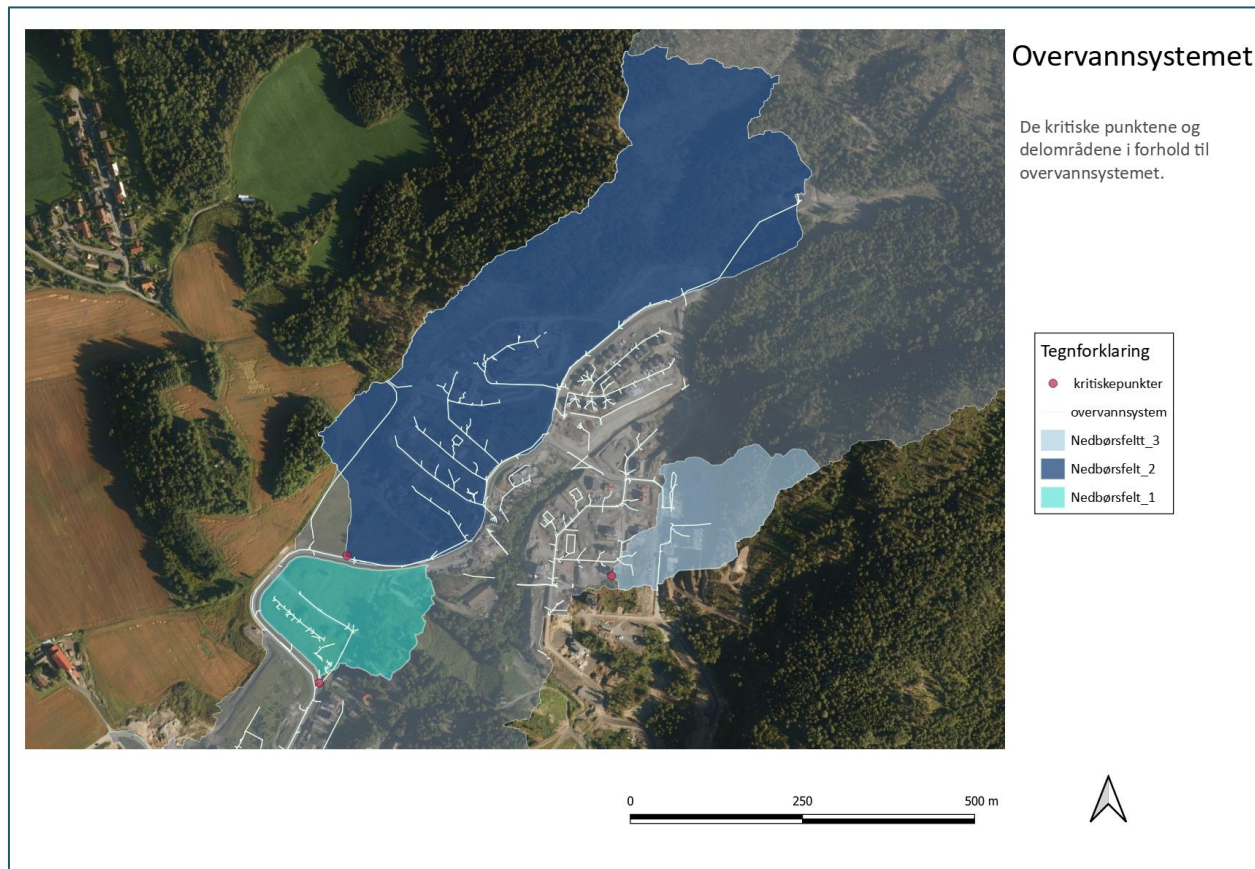
Nedbørsfeltene til de kritiske punktene ble kalt; *Nedbørsfelt\_1*, *Nedbørsfelt\_2* og *Nedbørsfelt\_3*. Det totale arealet på de tre nedbørsfeltene utgjør til sammen 25.8 ha. Av dette består *Nedbørsfelt\_1* av et areal på 3.18 ha, er 233 m langt og har en høydeforskjell på 39 m. *Nedbørsfelt\_2* har et areal på 19.6 ha er 940 m langt og har en høydeforskjell på 174 m. *Nedbørsfelt\_3* har et areal på 3.1 ha er 341 m langt og har en høydeforskjell på 94 m.

### 3.2.1 Overvannsystemet

Før 1965 var det vanlig å føre overvannet ut av byer via fellessystem, men bruken av disse førte til hyppige oversvømmelser (NOU 2015:16, 2015). Det er derfor i nyere tid blitt vanlig praksis å benytte separatsystem noe som også finnes på Harakollen. Jobben til en overvannsledning er å transportere vannet mellom kummer og stikkledninger (Aksnes et al., 2016, p. 324).

Rørene i overvannsystemet består av betong og plastrør av type PVC og PPP. Det finnes også dobbeltveggede rør som består av to rør utenpå hverandre hvor det indre røret har en glatt overflate og det ytre er korrugert. (Øyvind Brechan Johnsen, Øvre Eiker kommune, personlig kommunikasjon 24.03.2021).

Det er interessant å se på hvor overvannsystemet befinner seg i forhold til de tre delområdene (Figur 16). Området som det fremstår i dag, har en overvannsstrategi for å lede flomvannet trygt vekk i form av et ordinært anlegg med rør under bakken. Dette omfatter det tredje og siste trinnet i tre-trinnstrategien. Det finnes noen stikkledninger som ligger på tvers av veiene i området, men i all hovedsak har overvannsystemet blitt lagt langs med veien.



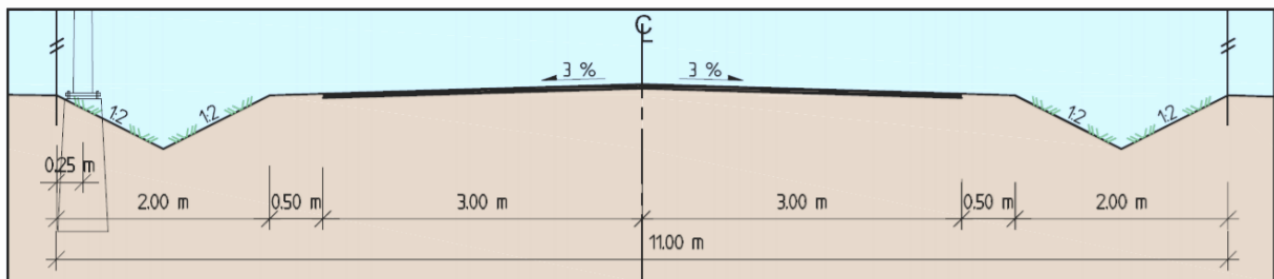
Figur 16 – Overvannssystemet på Harakollen og hvor de kritiske punktene befinner seg i forhold til dette.

Overvannssystemet rundt *kritiskpunkt\_1* har, slik det ser ut i datalaget *overvannssystem*, tre mulige avløpsinntak i umiddelbar nærhet. De har alle en dimensjon på 200 mm og rørene består av PVC. Det finnes veigrøfter i dette området som tar hånd om avrenningen som er av en slik dimensjon at overvannssystemet ikke er i stand til å ta unna vannet (Øyvind Brechan Johnsen, Øvre Eiker kommune, personlig kommunikasjon 24.03.2021). Rørene ved *kritiskpunkt\_2* er med unntak av ett rør laget av PVC og har en dimensjon på 200 mm. Et av rørene er laget av ukjent materiale og har lavere dimensjon med sine 110 mm. Ved *kritiskpunkt\_2* er det som ved *kritiskpunkt\_1* også veigrøfter som leder avrenningen videre nedover feltet. Det er her kjent for kommunen at rørene i området ikke er dimensjonert for den nedbørsituasjonen som finnes i dagens klima (Øyvind Brechan Johnsen, Øvre Eiker kommune, personlig kommunikasjon 24.03.2021). Rundt *kritiskpunkt\_3* er det 7 forskjellige mulige avløpsinntak i umiddelbar nærhet. Den mest brukte dimensjonen her er på 110 mm og de fleste av rørene er laget av PVC. Bakenfor *kritiskpunkt\_3* er det etablert avskjærende grøfter som leder vannet ut av det overordnede

nedbørsfeltet før det til slutt ender ved et jordbruksområde via et mindre boligfelt. Det er også bekkeinntak som leder vannet ned i et sprengtsteinsmagasin før det avslutningsvis geleides videre ut i Lauvtjernbekken via rør og/eller grunnvannstrømmer under bakkenivå (Øyvind Brechan Johnsen, Øvre Eiker kommune, personlig kommunikasjon 24.03.2021).

### 3.2.2 Veigrøfter på Harakollen

Grøftene på Harakollen er dimensjonert etter Øvre Eiker kommunes veinorm (Øyvind Brechan Johnsen, Øvre Eiker kommune, personlig kommunikasjon 07.05.2021). Grøftene har en bredde på 2 m, en dybde på 0.5 m og en helning på 50% (Figur 17) (Øvre Eiker kommune, 2016, p. 24).



Figur 17 – Tverrsnitt av en kommunal samleveg (Øvre Eiker kommune, 2016, p. 24)

Disse grøftene er som nevnt ment for å lede det vannet som overgår overvannssystemet kapasitet vekk. Dette dekker altså trinn tre i tre-trinnstrategien. Noe av vannet vil følgelig infiltreres og fordrøyes forutsatt frostfri i slike typer veigrøfter, men hovedformålet til grøftene er ikke dette (Sælthun & Barton, 2021).

### 3.3 GIS - Geografiske informasjonssystemer

GIS er verktøy som man kan bruke til å visualisere både kvalitative og kvantitative data i en digital kartleggingsprosess (Rød, 2017, p. 12).

#### 3.3.1 Grass GIS og QGIS

I dette prosjektet ble det benyttet Grass GIS 7.8.5 (Geographic Resources Analysis Support System) og QGIS 3.16.14 'Hannover' til å utføre både de hydrologiske analysene og analysene for arealendringer. Dette er "open source software" som er tilgjengelig for alle. De ble lastet ned fra "The open source geospatial" sin offisielle nettside (The open source geospatial foundation, 2021).

### 3.4 Hydrologiske analyser

Dreneringslinjer vil indikere hvor i analyseområdet vann fra nedbør mest sannsynlig vil kunne akkumulere. Dreneringslinjer er basert på hvordan terrenget er utformet og vil derfor kunne variere i stor grad i forhold til terrengegenskapene og størrelsen til det bestemte nedbørsfeltet. Hvordan dreneringslinjene oppfører seg er avhengig av helning og strømningsretning (Hasala, Supak, & Rivers, 2020). Resultatet fra de hydrologiske GIS-analysene vil ikke inneholde noen form for hydrologiske parametere, men kun visualisere veier som fritt rennende vann vil ta i forhold til terrengmodellen (Bratlie, 2015).

#### 3.4.1 Innhenting av data

Terrengmodellen ble lastet ned fra høydedata.no. Det ble valgt en oppløsning på 1x1m slik at dreneringslinjene skulle være mulig å identifisere på eiendomsnivå, dette fordi majoriteten av arealbeslutningene som foretas i kommunene vil være på eiendomsnivå (Bratlie, 2015).

Andre type data som ble benyttet i analysene ble enten lastet ned fra åpne kilder eller mottatt per e-post fra ulike aktører. Tabell 3 viser hvilke filer som har blitt lastet ned fra hvor og hva slags type fil som er benyttet i prosjektet med tilhørende projeksjon og URL-adresse.



Tabell 3 - De forskjellige databasene med tilhørende kart-lag, projeksjon og URL.

Database	Kart-lag	Type fil	Projeksjon	URL
Geonorge	FKB_Bygning	FGDB 10.0	ESRI89 UTM32	<a href="https://kartkatalog.geonorge.no/?text=fkb%20bygg">https://kartkatalog.geonorge.no/?text=fkb%20bygg</a>
Høydedata	Terrengdata, DTM1	TIF-fil	ESRI89 UTM33	<a href="https://hoydedata.no/LaserInnsyn/">https://hoydedata.no/LaserInnsyn/</a>
NIBIO	Ar-5	SHP-fil	ESRI89 UTM33	e-post
Norge i bilder	Modum – Eiker 1965	Ortofoto	ETRS89 UTM33	e-post
Norge i bilder	Hokksund	Ortofoto WMS- tjeneste	Euref89 UTM33	<a href="https://www.norgeibilder.no/">https://www.norgeibilder.no/</a>
Norge i bilder	Topografisk norgeskart 4 gråtone	WMS- tjeneste	Euref89 UTM33	<a href="https://www.norgeibilder.no/">https://www.norgeibilder.no/</a>
NVE	Elvenett	SHP-fil	ESRI89 UTM33	<a href="http://nedlasting.nve.no/gis/">http://nedlasting.nve.no/gis/</a>
NVE	Innsjø	SHP-fil	ESRI89 UTM33	<a href="http://nedlasting.nve.no/gis/">http://nedlasting.nve.no/gis/</a>
Øvre Eiker kommune	overvannsystemer	SHP-fil	Ukjent	e-post

### 3.4.2 Utføringen av hydrologiske analyser med bruk av GIS

Det ble gjennomført helanalyser på det overordnede nedbørsfeltet for å få en bred oversikt over området og for siden å kunne identifisere kritiske punkter. Mesteparten av de hydrologiske analysene som ble gjennomført med Grass GIS ble utført etter en veileder gitt av Norges Vassdrags- og energidirektorat, NVE (NVE, n.d). Gjennomføringen er som beskrevet nedenfor.

Nytt prosjektet ble opprettet i Grass GIS og gitt navnet «Harakollen». Prosjektet ble satt med projeksjonen ETRS89 UTM33. Dette ble søkt opp med EPSG kode: 25833.

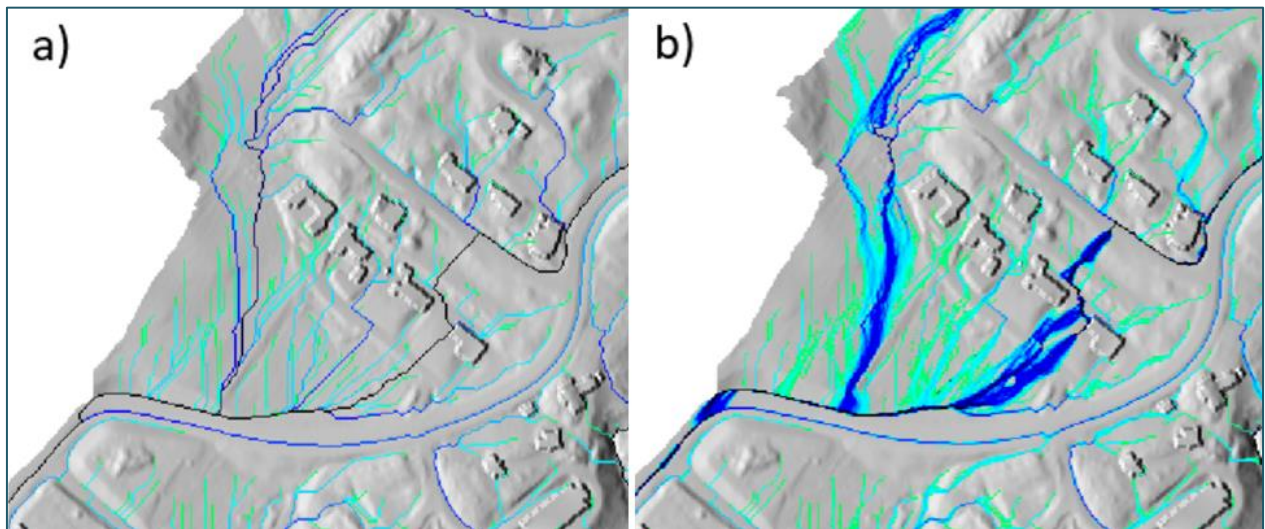
Høydedataene, *Terrengdata DTM1*, ble lastet inn og med disse ble det laget en jevn terrengmodell og en skyggemodell hvor det ble lagt inn en overdrivelse på 1.8 slik at skyggene kom godt frem i visualiseringen.

Data som inneholder bygningsflater, *FKB-Bygning*, ble importert inn i prosjektet. Disse hadde en annen projeksjon enn terrengmodellen (32UTM), men siden selve prosjektet var satt med projeksjon; 33UTM

ble bygningsflatene «tvunget» til å konverteres til dette.

Bygningsflatene kommer i et vektor-format og må derfor konverteres til raster for å gi hver enkelt polygon en celle-verdi. Bygningsflatene ble så lagt sammen med terrengmodellen og det nye kartet viste området hvor bygningsflatene ble gitt en forhøyning på 6.0 m i terrengmodellen. Et nytt skyggekart ble så komponert.

Ulike hydrologiske analyse-verktøy ble benyttet for å finne dreneringslinjene i området. Metoden for å få frem *single flow* ble brukt for å få en overordnet oversikt over området (Figur 18 a). *Single flow* akkumulerer dreneringslinjer fra hver enkelt celle til den lavest liggende nabocellen i terrenget (Bratlie, 2013). Denne måten å beregne dreneringslinjer på viser kun til hva som skjer på overflaten. Eventuelle overvannssystemer som allerede er lagt under bakken blir ikke tatt hensyn til ved bruk av denne metoden, så for senere å kunne legge inn overvannssystemer i området og få en mer detaljert oversikt, ble det også foretatt analyse for *multiple flow* (Figur 18 b). *Multiple flow* akkumulerer dreneringslinjer fra hver enkelt celle til alle naboceller som ligger lavere i terrenget (Bratlie, 2013). Denne fremgangsmåten er lik som for *single flow*.



Figur 18 – Forskjellen på de ulike analysetypene *single flow* og *multiple flow*. Bilde a) viser analyse foretatt med *single flow* og bilde b) viser analyse foretatt med *multiple flow*.

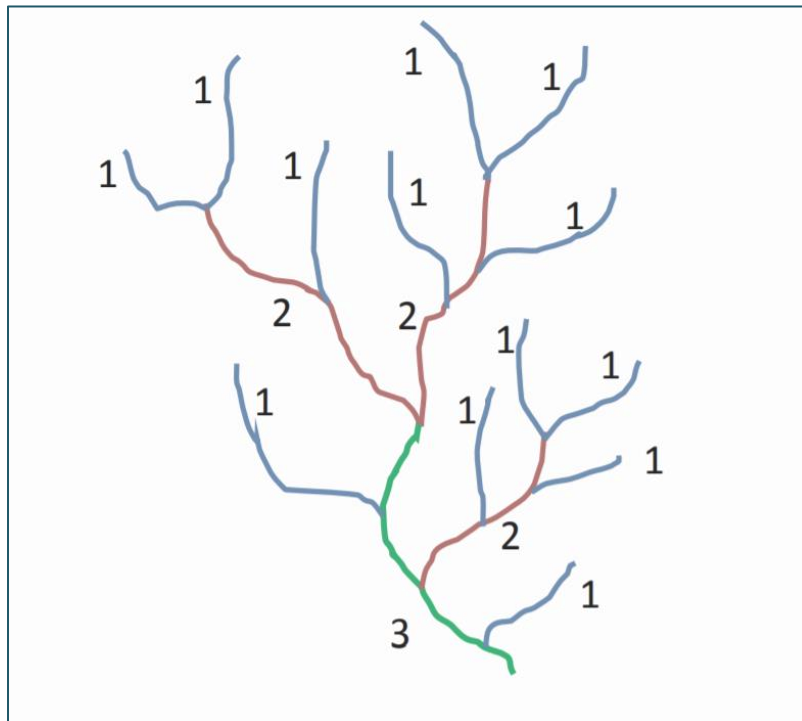
Ulike statistikkverktøy ble brukt for å finne høydeforskjell, lengde og areal (Vedlegg 1 – Nedbørsfeltparametere).

For å finne nedbørsfeltet i prosjektet ble det definert et utløpspunkt nederst i Lerbergbekken. Dette punktet er basert på dreneringslinjene fremstilt i Grass GIS. Lerbergbekken renner igjennom hele

nabolaget og ble derfor valgt. Områder som drenerer mot dette punktet vil omfattes av nedbørsfeltet. Nedbørsfeltet ble definert som overordnet analyseområde og alle aktuelle datalag ble klippet til dette.

Filene som inneholdt overvannsystemet på Harakollen hadde ukjent projeksjon, noe som gjorde at de ikke samsvarte med resten av de allerede importerte filene. Det viste seg at projeksjonen på denne filen var i overenstemmelse med WGS 84 UTM32. Når datalaget, *overvannssystemer*, var lagt inn i prosjektet kunne nye dreneringslinjer med disse dataene integrert, beregnes og visualiseres.

Datalagene *Single flow "sfd"*, *multiple flow "mfd"* og *multiple flow\_overvannssystemer* ble viderebehandlet for å visualisere hierarkiet på dreneringslinjene bedre. Aktuelle dreneringslinjer ble trukket ut. Minimum flow accumulation ble satt til 100 for *"sfd"* og 200 ble gjeldende for *"mfd"* og *multiple flow\_overvannssystemer*. Dette for å utelate de aller minste dreneringslinjene, men allikevel beholde mange nok for å få en detaljert oversikt. Deretter ble det generert kart over dreneringslinjene ved bruk av Strahler's orden for å visualisere vannhierarkiet både med ulik størrelse og farge (Figur 19).



Figur 19 – Orden 1 (blå) har ingen bidragende vannveier ledende mot seg. Orden 2 (rød) formes av to vannveier av orden 1 og orden 3 (grønn) blir formet av sammenføyninger av to eller flere vannveier (Wohl et al., 2016).

### 3.5 Arealbruksendringer

Et Ar5-kart er et nasjonalt kartlag som viser arealressursene over hele Norge (NIBIO, 2019). Det er NIBIO (Norsk Institutt for Bioøkonomi) som er ansvarlig for disse. Selve hovedinndelingen i et Ar5-kart er egenskapen arealtype og det finnes 12 forskjellige undergrupper av denne. Det som er interessant i denne sammenheng er permeabiliteten til underlaget og detaljnivået på arealfordelingen forholder seg derfor til å skille mellom hva som kan karakteriseres som grått og grønt. I dette prosjektet er det derfor bare benyttet kategoriene; bebyggd, samferdsel (grått) og fulldyrka jord/jordbruksareal, åpen fastmark og skog (grønt) (NIBIO, 2019).



Figur 20 - Nedbørsfeltet til de kritiske punktene delt inn i arealtyper basert på Ar5-kart slik det foreligger i dag.



Analysene utført på arealfordelingen slik den foreligger i dag ble visualisert i Q-GIS (Figur 20).

Arealtypene innenfor nedbørsfeltet til de kritiske punktene er basert på arealressurskart med målestokk 1:5000, Ar5 (NIBIO, 2019).

Ar5 kartet kommer i en Shape-fil hvor man må utøve spørring for å få frem de ulike lagene. Spørringen og fargene er hentet fra NIBIO sine presentasjonsregler og kan sees i Figure 38, [Vedlegg 2](#) - . Det ble så kjørt arealstatistikk på de ulike arealtypene.

For å se på arealendringene innenfor nedbørsfeltene til de kritiske punktene ble det lastet ned et ortofoto over samme område fra 1965. Året 1965 ble valgt fordi det var det eldste ortofotoet tilgjengelig. Dette fremsto som relativt lite påvirket av antropogene aktiviteter og ble derfor valgt som optimal kandidat for sammenligning. De ulike arealtypene ble bestemt på bakgrunn av NIBIO's veileder: *Ar5 Klassifikasjonssystem (NIBIO, 2019)* og er som beskrevet i *Tabell 4*.

*Tabell 4 – De ulike arealtypene som er benyttet i analysene i denne oppgaven er hentet fra (NIBIO, 2019).*

Arealtype	Beskrivelse
Bebygd felt	Et bebygd felt er en type areal som er i betydelig grad opparbeidet og av varig karakter. Arealer som kan karakteriseres som spredt bebyggelse og/eller i liten grad opparbeidet skal ikke klassifiseres som bebygd. Byer, boligfelt og tun som er betydelig opparbeidet faller under kategorien bebygde felt.
Jordbruksareal	For å kunne definere et område som fulldyrka jord må man vite noe om dyrkningsgraden og jordprofilen på det aktuelle stedet. Dette er utfordrende å si noe om ved hjelp av et flyfoto fra 1965. Denne kategorien ble derfor definert som jordbruksareal som er et samlebegrep på de forskjellige arealtypene; fulldyrka jord, overflatedyrka jord og innmarksbeite.
Skog	For å kunne bruke kategorien skog må arealet dekke minst 2 da og ha minimum 6 trær per da, som allerede er eller har mulighet til å bli 5 m høye.
Åpen fastmark	Areal som ikke kan klassifiseres som skog, bebygde felt, jordbruksarealer, skog, samferdsel eller myr kalles åpen fastmark. Tun-arealer som innebefatter spredte bygningsmasser eller som er opparbeidet i liten grad skal klassifiseres som åpen fastmark.
Samferdsel	Samferdselsarealer omfatter alle veier og jernbaner, samt driftsveger i jordbruksområder.

Siden dette var et ortofoto som allerede var georeferert kunne jeg begynne å digitalisere uten noe slags forbehandling. Nye polygoner ble laget og disse ble klassifisert etter hva de ble definert som.

Områdeavgrensningen for nedbørsfeltene til de kritiske punktene ble brukt som mal slik at jeg kun digitaliserte innenfor avgrensningene. På denne måten ble det kun statistikk på de områdene som er aktuelle fremstilt.

Det ble også komponert kart over permeabilitet til de ulike arealene for begge tidsaldre. Dette ble fremstilt på egenskapen avrenningsfaktor.

### 3.6 Hydrologiske beregninger

Dreneringslinjene fremstilt i GIS vil ikke kunne vise nedbørsmengdene og derfor ikke hvor mye vann som vil akkumuleres innenfor et gitt område (Hasala et al., 2020). Det må derfor brukes hydrologiske beregninger for å finne ut hvor mye vann som samler seg ved et gitt punkt under en ekstrem nedbørshendelse. Dette kan gjøres ved bruk av den rasjonelle metoden.

#### 3.6.1 Den rasjonelle metoden

For å beregne vannføring for nedbørsfelt som har en størrelse mindre enn 2-5 km<sup>2</sup>, kan man bruke den rasjonelle metoden (Aksnes et al., 2016, p. 336), gitt ved den rasjonelle formel.

#### 3.6.2 Den rasjonelle formel

$$Q = C \cdot i \cdot A \cdot K_f$$

De enkelte variablene er forklart nedenfor (Aksnes et al., 2016, p. 336):

$Q$  = Avrenning [l/s]

$C$  = Avrenningsfaktor [uten benevning]

$i$  = Dimensjonerende nedbørintensitet, beregnet fra IVF-kurver [l/(s·ha)]

$A$  = Arealet til nedbørsfeltet [ha]

$K_f$  = Klimafaktor [uten benevning]



### 3.6.3 Konsentrasjonstid

Den tiden det tar for et område å oppnå maksimal avrenning under en nedbørshendelse kalles for konsentrasjonstid (Aksnes et al., 2016, p. 337). Konsentrasjonstiden kan fortelle oss noe om hvor hurtig et nedbørfelt reagerer i forhold til avrenning (Stenius et al., 2015). For å kunne bruke den rasjonelle formel må man kjenne til konsentrasjonstiden til nedbørfeltet. Dette for å beregne den dimensjonerende nedbørintensiteten.

Konsentrasjonstiden kan beregnes på flere forskjellige måter. I dette prosjektet blir det benyttet både utregning for naturlige felt/ubebyggede felt og urbane felt/bebygde felt.

Konsentrasjonstiden for naturlige felt kan regnes ut med bruk av nevnte formel:

$$t_c = 0.6 \cdot L \cdot H^{-0.5} + 3000 \cdot A_{se}$$

De enkelte variablene er forklart nedenfor (Aksnes et al., 2016, p. 337):

$T_c$  = Konsentrasjonstid [minutter]

$L$  = Lengden på nedbørfeltet [m]

$H$  = Høydeforskjellen i nedbørfeltet [m]

$A_{se}$  = Andel innsjø i nedbørfeltet [forholdstall]

Konsentrasjonstiden for urbane felt kan regnes ut med bruk av nevnte formel:

$$t_c = 0.02 \cdot L^{1.15} \cdot H^{-0.39}$$

De enkelte variablene er forklart nedenfor (Aksnes et al., 2016, p. 337):

$T_c$  = Konsentrasjonstid [minutter]

$L$  = Lengden på nedbørsfeltet [m]

$H$  = Høydeforskjellen i nedbørsfeltet [m]

#### 3.6.4 Returperiode, $n$

En returperiode beskriver hvor mange år det i gjennomsnitt er mellom hver gang en bestemt nedbørshendelse/flomvannføringshendelse overskrides. Dette vil si at man antar at en 100-års flom gjennomsnittlig vil forekomme en gang hvert århundre noe som gir en sannsynlighet på 1% for at en slik type hendelse skal inntreffe hvert år (Stenius et al., 2015).

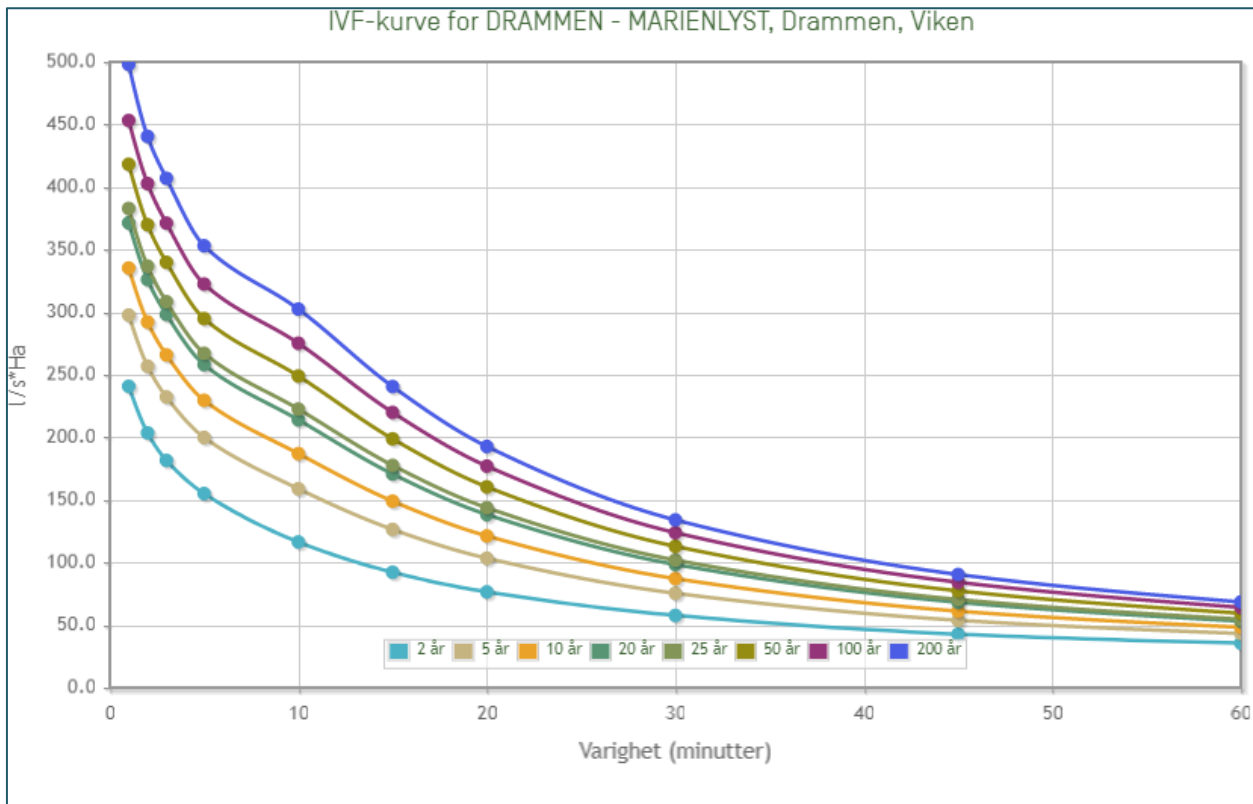
Alle bygg og infrastruktur i Norge må oppføres etter en byggt teknisk forskrift. Denne forskriften legger føringer for valg av returperiode (Stenius et al., 2015). Returperiode skal ifølge byggt teknisk forskrift, TEK 17 kapittel 7 § 7-2 sikkerhet mot flom og stormflo, settes til 200 år for boligfelt og det er derfor blitt brukt  $n = 200$  år i denne oppgaven (Byggt teknisk forskrift, 2017). Tabell 5 viser at boligfelt, som går under sikkerhetsklasse F2, alltid skal ha en returperiode på 200 år.

Tabell 5 – Sikkerhetsklasser for byggverk i områder som er flomutsatte. (Byggt teknisk forskrift, 2017)

Sikkerhetsklasse for flom	Konsekvens	Største nominelle årlige sannsynlighet
F1	Liten	1/20
F2	Middels	1/200
F3	Stor	1/1000

### 3.6.5 Nedbørintensitet, $i$

En dimensjonerende nedbørintensitet kan bestemmes ved hjelp av en IVF-kurve (Intensitet Varighet Frekvens). En IVF - kurve estimerer en dimensjonerende verdi med ulike returperioder og varighet (Stenius et al., 2015). Det ligger ingen målestasjoner i Harakollen eller Hokksund området. Drammen ligger omtrent 20 minutter unna Hokksund og er den stasjonen som er nærmest Harakollen geografisk. Det ble derfor brukt Drammen, Marienlyst (SN26890) som målestasjon når IVF-kurve skulle beregnes (Figur 21). Denne stasjonen befinner seg 3 m.o.h og måleperioden for denne stasjonen er: 31.05.1968 - 19.11.1995 (Norsk Klimaservicesenter, n.d).



Figur 21 - IVF-kurve fra Drammen, Marienlyst (SN26890) for 1 - 60 min. Måleperiode: 31.05.1968 - 19.11.1995. Figuren er lastet ned fra (Norsk Klimaservicesenter, n.d)

For å finne nedbørintensiteten må man vite konsentrasjonstiden til det aktuelle nedbørsfeltet. Når denne er kjent kan man sammen med returperioden bruke IVF-kurven for å finne

nedbørintensitetsverdien. Det er i denne sammenheng antatt at konsentrasjonstiden er den samme som regnvarigheten,  $t_c = t_r$ .

Den helt eksakte verdien ble funnet med en lineær tilnærming mellom de to kjente punktene som lå nærmest konsentrasjonstiden. Dette kan gi noen unøyaktigheter, men feilmarginene vurderes allikevel så små at det kan aksepteres. De kjente punktene ble funnet i IVF-statistikktabellen, brukt i IVF-kurven (Figur 22).

Returverdi for nedbør [l/(s*ha)]										
RETURPERIODE (ÅR)	VARIGHET (MINUTTER)									
	1	2	3	5	10	15	20	30	45	60
2	240.8	203.6	181.6	155.1	116.4	92.2	76.5	57.7	42.7	35.5
5	297.7	256.9	232.3	199.9	158.9	126.4	103.4	75.4	53.8	43.2
10	335.3	292.2	265.9	229.6	187.0	149.0	121.2	87.1	61.1	48.2
20	371.4	326.1	298.2	258.1	214.0	170.7	138.3	98.4	68.2	53.1
25	382.9	336.8	308.4	267.1	222.6	177.6	143.7	101.9	70.4	54.6
50	418.2	369.9	339.9	294.9	249.0	198.8	160.4	112.9	77.3	59.4
100	453.2	402.8	371.2	322.5	275.2	219.9	177.0	123.8	84.2	64.1
200	498.0	440.5	407.0	353.1	302.5	240.6	192.7	134.0	90.4	68.4

Figur 22 – IVF-statistikk fra IVF-kurven fra Drammen, Marienlyst (SN26890). Måleperiode: 31.05.1968 - 19.11.1995. Figuren er lastet ned fra (Norsk Klimaservicesenter, n.d)

IVF-kurven som er brukt i dette prosjektet er fra en målestasjon som ikke ligger på det aktuelle stedet. Selv om den heller ikke ligger svært langt unna, kan lokale variasjoner i nedbør forekomme. Dette vil ikke komme til syne uten målinger tatt direkte fra Harakollen og slike målinger har ikke blitt foretatt i dette prosjektet.

### 3.6.6 Avrenningsfaktor, $C$

Avrenningsfaktoren gir oss forholdet mellom avrenningen og nedbøren som faller over samme område. Det som påvirker avrenningsfaktoren er permeabiliteten og helningen til overflaten i terrenget (R. Magnussen, 2015, p. 3). Permeabiliteten til en overflate er dets evne til å transportere væske. Høy permeabilitet gir mindre avrenning og lavere avrenningsfaktor (Tabell 6).

*Tabell 6 – Overflatetyper og avrenningsfaktor, som er benyttet i denne oppgaven. Verdiene er for ufrosset overflate med en returperiode på 10 år (Aksnes et al., 2016).*

Overflatetype	Avrenningsfaktor, $C$
Betong, asfalt, bart fjell o.l.	0.6 – 0.9
Grusveger	0.3 – 0.7
Dyrket mark og parkområder	0.2 – 0.4
Skogsområder	0.2 – 0.5

De laveste verdiene i Tabell 6 er gjeldende for nedbør med en varighet på  $< 1$  time og brukes i områder hvor det er flatt terreng og overflaten har høy permeabilitet. De høyeste verdiene vurderes for nedbør med en varighet  $> 3$  timer, når overflaten har lav permeabilitet og området er preget av bratt terreng.

Avrenningsfaktoren ble i denne oppgaven funnet ved å vekte gjennomsnittet på arealtypene innenfor nedbørsfeltet for de ulike kritiske punktene. Dette for å estimere en middelvei av de ulike arealtypene. Alle områdene er relativt bratte og har en infiltrasjonskapasitet som karakteriseres som lite egnet (Figur 13). Dette ble vektlagt innenfor hver enkelt kategori. Det ble også brukt samme metode for å beregne den største og den minste mulige koeffisienten for å anslå en usikkerhetsverdi innenfor feltene. Formel som er brukt er vist nedenfor (R. Magnussen, 2015):

$$C_{midlere} = \frac{(C_1 \cdot A_1) + (C_2 \cdot A_2) + \dots + (C_n \cdot A_n)}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$$

For returperioder med varighet lengre enn  $n = 10$  år skal avrenningskoeffisienten justeres med et bestemt påslag. Dette for å oppveie for initialtilstanden til nedbørsfeltet som sier noe om hvor metta

grunnen er (Stenius et al., 2015). Initialtilstanden er en avgjørende faktor for hvor mye vannføring som kommer fra et nedbørsfelt innenfor en gitt nedbørsperiode (Stenius et al., 2015).

Avrenningskoeffisienten justeres derfor med økende returperiode. For dette prosjektet, som bruker en returperiode  $n = 200$  år, skal det justeres med 30%. Maksimal avrenningsfaktor vil i alle tilfeller være  $C = 0.95$  (Aksnes et al., 2016).

### 3.6.7 Klimafaktor, $K_f$

For å kunne anta utviklingen av fremtidig nedbør benyttes det en klimafaktor. Dette er en faktor basert på valg av blant annet lokasjon, nedbørens varighet og returperiode (Førland, Mamen, Dyrddal, Grinde, & Myrabø, 2015, p. 72). Klimafaktoren er basert på valg av returperiode i dette prosjektet og ifølge (Aksnes et al., 2016) skal en klimafaktor 1.5 brukes med en returperiode på 200 år.

### 3.6.8 Utføring av hydrologiske beregninger med bruk av den rasjonelle metode

Arealet og høydeforskjellen brukt i de ulike utregningene ble generert i Grass GIS ved hjelp av arealstatistikk-verktøy. Lengden på nedbørsfeltene ble funnet ved å bruke måleverktøyet i Grass GIS. Dette ble gjort ved å måle avstanden fra utløpspunktet og til det fjerneste punktet fra dette. Siden dette ble gjort manuelt kan feilmåling ikke utelukkes.

## 3.7 Metodisk refleksjon

### 3.7.1 GIS - analyser

Kart som viser dreneringslinjenes ferd gjennom vassdrag, kan fremstilles med relativt få datalag. Dette gir derfor en ganske simpel forenkling av virkeligheten og de faktiske avrenningsforhold. Det vil uten unntak være slik at den informasjonen man benytter som inndata alltid vil overgå resultatet analyseverktøyene fremstiller, helt uavhengig av om informasjonen man bruker er nøyaktig eller ikke (eNotes editorial, 2015). Resultatet man får vil dermed være av lavere kvalitet enn informasjonen som er benyttet. Det ligger allikevel stor verdi i slike type analyser og det viser seg å stemme godt overens med observerte verdier som følge av større nedbørsepisoder (NOU 2015:16, 2015).

De kritiske punktene ble identifisert på bakgrunn av de naturlige dreneringslinjene og dreneringslinjer hvor bygninger ble tatt med i analysene. Det hadde vært fordelaktig om disse også ble valgt på bakgrunn



av de modifiserte dreneringslinjene som også viser overvannsystemene, slik at man kunne valgt kritiske punkter og generert nye nedbørsfelt også etter at dette var tatt hensyn til.

Både identifiseringen av de kritiske punktene og digitaliseringen av arealendringene ble utført manuelt. Det kan ikke utelukkes at feilvurderinger har blitt foretatt i disse prosessene.

### 3.7.2 Verifisering

For å verifisere de komponerte kartene kan man selv visuelt sjekke om generert bekkeløp i GIS stemmer med eksisterende kartlag som viser historisk elv/bekkeløp (Røstum et al., 2014, p. 30). Dette ble gjort ved å legge til dreneringslinjene over det nyeste ortofotoet tilgjengelig (Figur 23).



Figur 23 – Kartet viser generert dreneringslinje i forhold til Lerbergbekken.

### 3.7.3 Hydrologiske beregninger

Det er et viktig poeng at alle parametervalg og beregninger kun er basert på estimer. Fordelen med å bruke den rasjonelle metoden er at den er relativt brukervennlig og krever få variabler og lite forhåndsregning. Paradoksalt nok er dette også ulempen ved den. Få input-verdier og konstante koeffisienter gir liten fleksibilitet, noe som ofte kreves i kompliserte sammensatte nedbørsfelt (R. Magnussen, 2015).

Det er usikkerhet knyttet til valg av formel for beregning av konsentrasjonstid. Det å definere et område som naturlig eller urbant viser seg å være en utfordrende oppgave. Et område med spredt bebyggelse beliggende i og omringet av skog blir klassifisert som skog i et Ar5 kart. Dette fordi det er naturressursene som står i fokus. Et bebygd område beliggende i skogsområder skal altså klassifiseres som skog helt til det er utbygd i så høy grad at arealtilstanden tilsier at skogressurser ikke lenger er til stede. Arealtypen blir først da endret til bebygd. (Bjørkelo, Bjørken, & Frydenlund, 2013, p. 33). Avgjørelsen på om nedbørsfeltene til analyseområdene i denne oppgaven er tilhørende naturlig eller urbane forhold ble vurdert på bakgrunn av hva det er overvekt av. Skog, åpen fastmark og fulldyrka jord, blir alle sett på som naturlige områder. Bebygde felt og samferdsel vil derfor tilhøre den urbane kategorien. Områdene blir sånn sett estimert til å være nærere en kategori enn en annen og vil ikke si at hele det aktuelle feltet er av samme kategori.

Hvert enkelt nedbørsfelt er unikt sammensatt og valget av avrenningsfaktor er stort sett basert på skjønn. I dette tilfellet har hver enkelt kategori blitt vurdert i forhold til egenskapstype, bratthet og infiltrasjonskapasitet. Det er så foretatt et vektet gjennomsnitt og en justering bygget på valg av klimafaktor, men det er ikke tatt hensyn til årstider. Med en frossen bakke på vinterstid eller et allerede mett jordsmonn når nedbørshendelsen inntreffer, vil avrenningsfaktoren som er satt være kunstig lav i forhold til realitetene. Det er heller ikke tatt hensyn til at avrenningsfaktoren i virkeligheten er dynamisk i den forstand at grunnen vil mettes med vann tiltakende i løpet av en nedbørshendelse (Stenius et al., 2015). Infiltrasjonskapasiteten er altså her antatt å være konstant.

IVF-kurven som er valgt i denne oppgaven er gammel og en IVF-kurve fra en annen valgt plass kunne gitt en annen konsentrasjonstid. Det ble allikevel valgt den kurven som det er geografisk nærhet til i denne oppgaven.

Også andre parametere knyttet til ligningen varierer i noe grad ettersom hvilken håndbok eller veileder man velger å følge (R. Magnussen, 2015). Dette har innvirkning på prosessen og det endelige resultatet vil variere noe ved bruk av en annen veileder.

## 4 Resultat

I dette kapittelet vil jeg presentere resultatene oppnådd i denne oppgaven. Den består av fem deler. Den første delen vil gi et overblikk over dreneringslinjene på Harakollen og omfatter nedre delen av det overordnede nedbørsfeltet og primært Harakollen nabolag. Dette for å få et overfladisk helhetsinntrykk over den hydrologiske situasjonen og følgelig identifisere kritiske punkter i feltet.

Del to inkluderer de kritiske punktene og defineringen av de tilhørende nedbørsfeltene. Her ser jeg på hvordan de kritiske punktene ligger i forhold til både de naturlige og de modifiserte dreneringslinjene. Disse vil også bli sammenlignet med plasseringen av overvannsystemet.

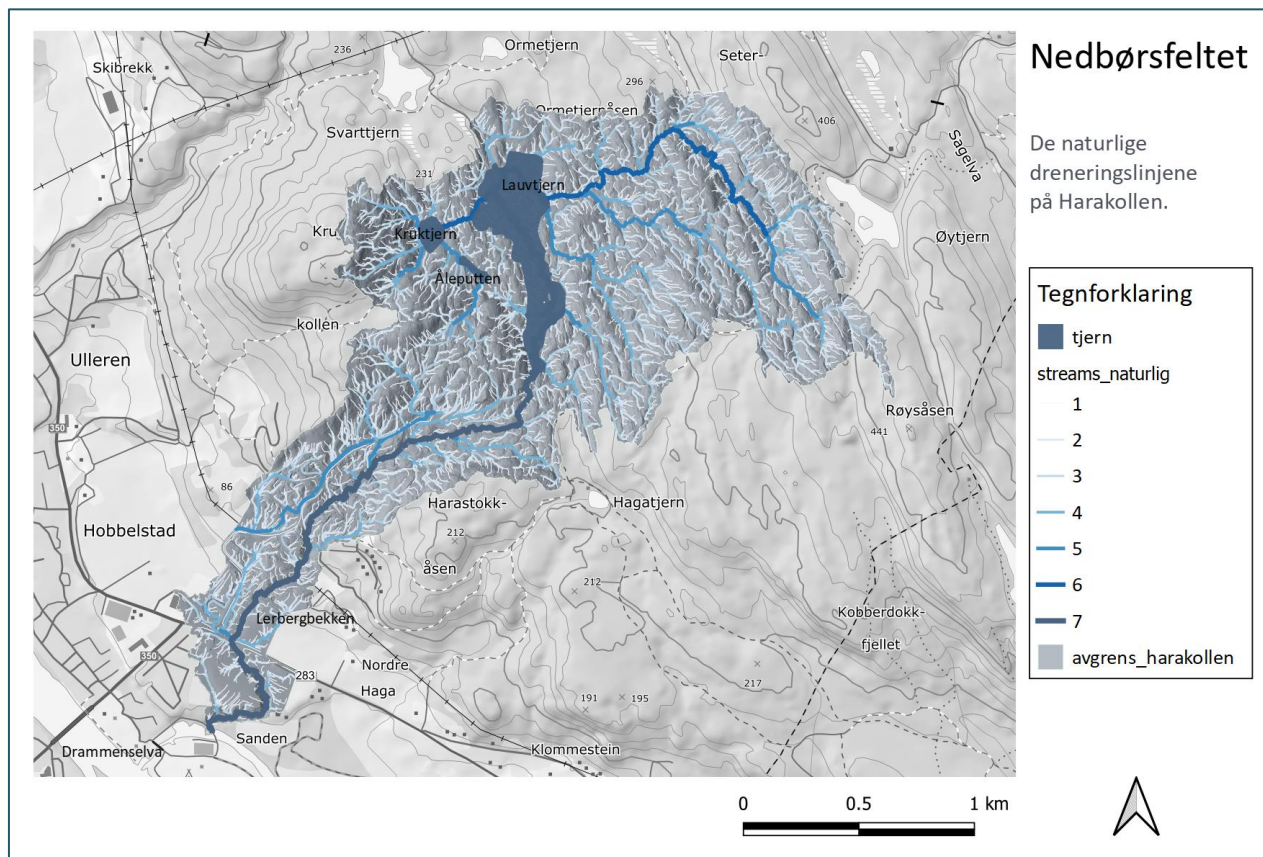
Del tre vil gi innsikt i hvordan arealene på Harakollen har endret seg over tid med fokus på tap av grønne arealer. I denne delen blir det også fremvist kart over hvordan avrenningsfaktoren har endret seg innenfor feltene.

Del fire viser de hydrologiske beregningene som er foretatt i denne oppgaven. Dette kapittelet vil gi svar på hvor mye avrenning som vil samle seg ved de kritiske punktene under en ekstremhendelse. Kapittelet avsluttes med en oppsummering av resultatene.

Det empiriske grunnlaget for å besvare den overordnede problemstillingen og underproblemstilling 1 og 2 vil bli fremlagt i disse fem delene.

## 4.1 Hydrologiske analyser med bruk av GIS

For å anskaffe en total oversikt over dreneringslinjene på Harakollen nabolag måtte jeg kjøre analyser på hele nedbørsfeltet først (Figur 24).

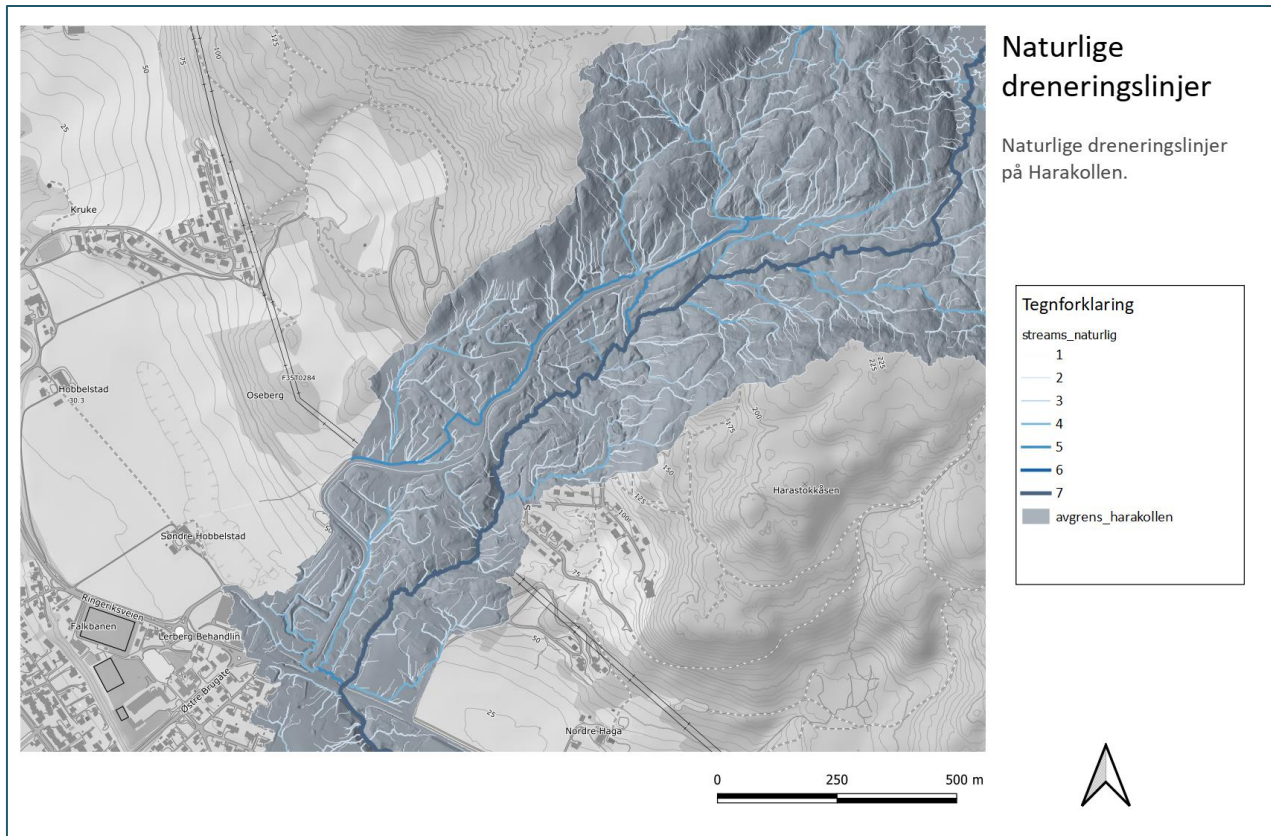


Figur 24 – Oversiktsbilde over det overordnede analyseområdet.

Ved å utføre en analyse som viser vannhierarkiet kan man lettere forstå retningen på dreneringslinjene og hvor vannet vil akkumulere. Dreneringslinjene er visualisert etter Strahler orden fra 1 – 7. Verdi 1 fremstiller dreneringslinjer med lav akkumulering, har lavest orden og er representert med lyseste farge og tynneste strek. Verdi 7 er dreneringslinjer av høyest orden, har flest vannveier ledende mot seg og vises med mørkeste farge og tykkeste strek (Figur 24).



Det ble deretter valgt ut et lite utsnitt over nabolaget Harakollen for å kunne identifisere kritiske punkter i nedbørsfeltet (Figur 25). Det er dette området som allerede er bygget og som det foreligger bebyggelsesplaner i.



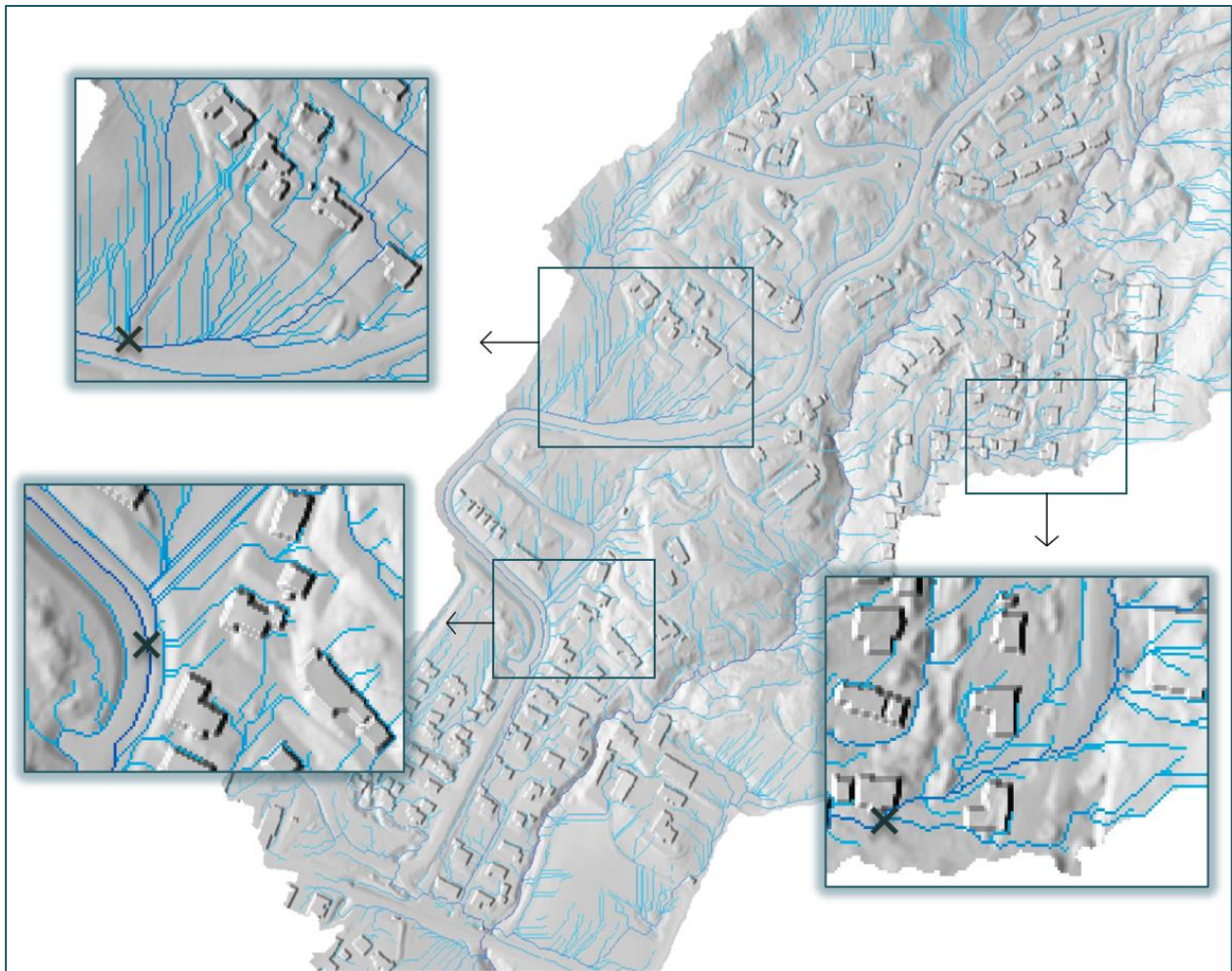
Figur 25 – De naturlige dreneringslinjene på Harakollen.

Dreneringslinjene indikerer at flere steder og særlig i den øverste delen av feltet, at overvannet vil flomme ned i Lerbergbekken hvor det føres videre nedover og til slutt ender i Drammenselven.

Dreneringslinjene er basert på overflaten til den naturlige terrengmodellen som er noe modifisert i utgangspunktet. Dette kan man se av veiene i området og hvordan dreneringslinjene følger disse nedover landskapet.

## 4.2 Kritiske punkter

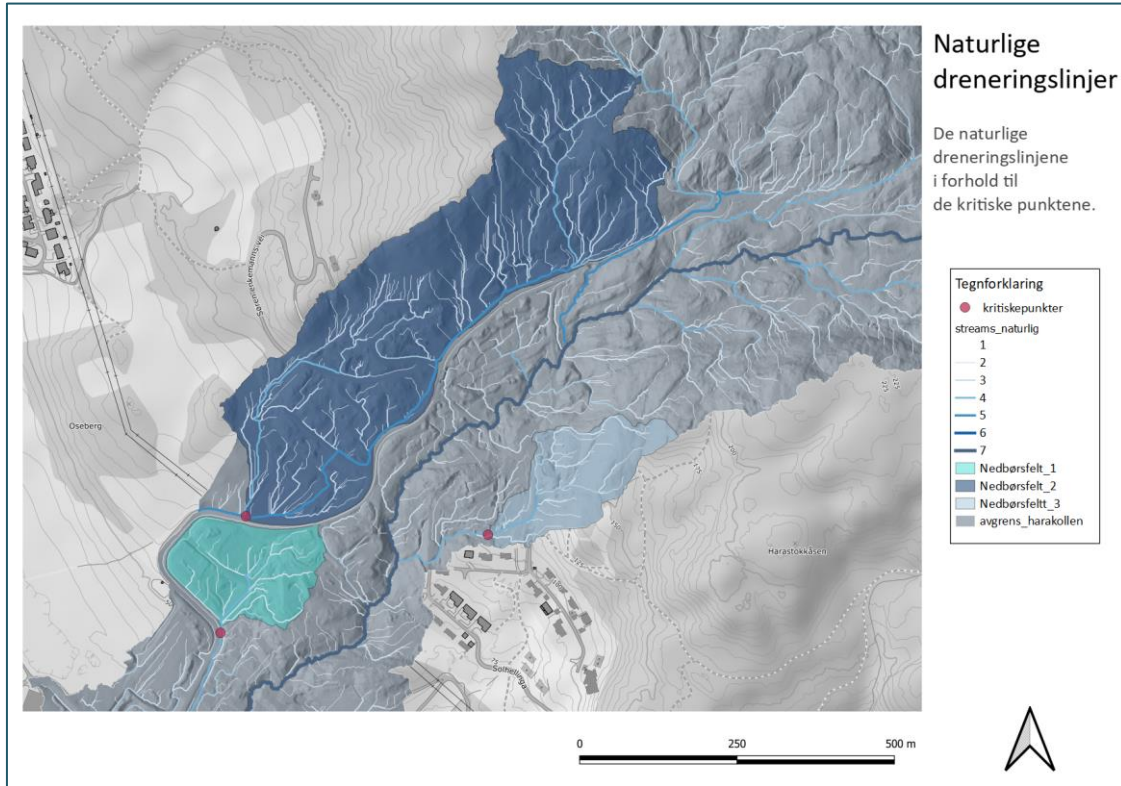
Både single flow og multiple flow ble sett på da de kritiske punktene ble valgt. Det ble også lagt til bygninger i terrenngmodellen uten at dette hadde stor effekt på dreneringslinjene (Figur 26). Dette kan skyldes at terrenngmodellen som nevnt ovenfor allerede er noe modifisert.



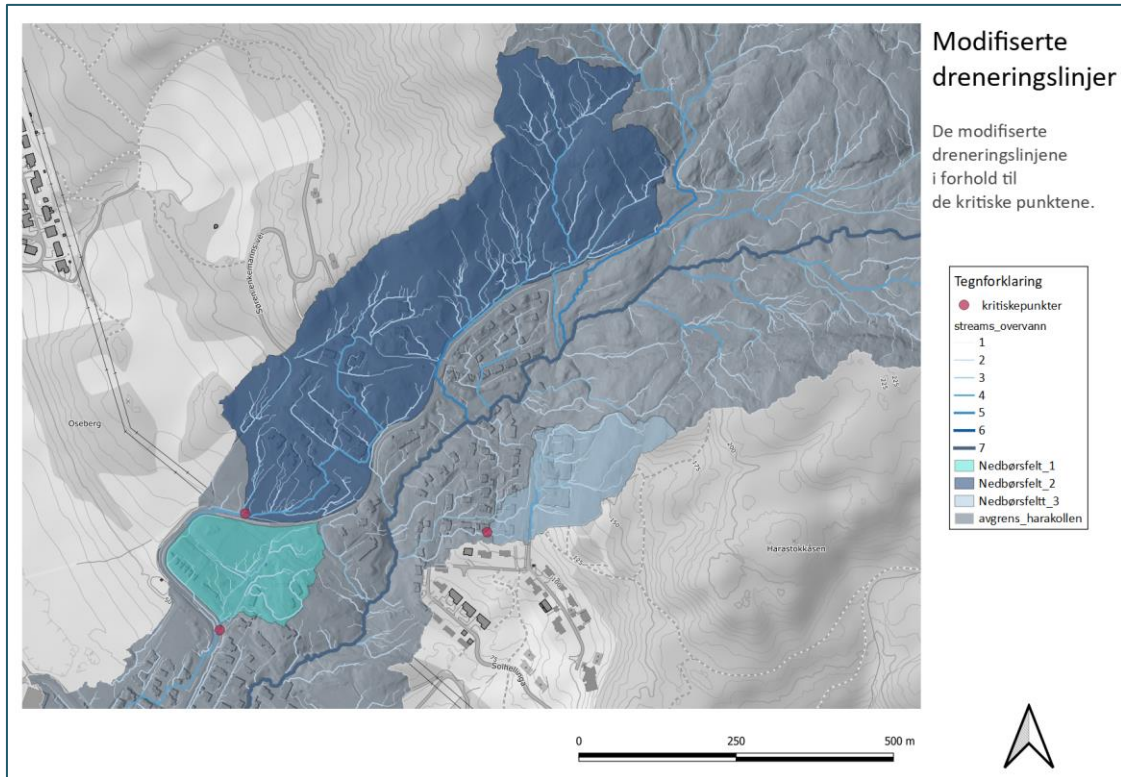
Figur 26 –Kartet er basert på Single flow og viser de kritiske punktene i forhold til dreneringslinjer hvor bygningene har blitt tatt med i analysene.

Samlingene av dreneringslinjene ved de utvalgte kritiske punktene antyder at overvann vil akkumulere her. Derfor ble disse stedene valgt ut for detaljanalyser. Det ble videre generert nedbørsfelt for disse punktene (Figur 27).





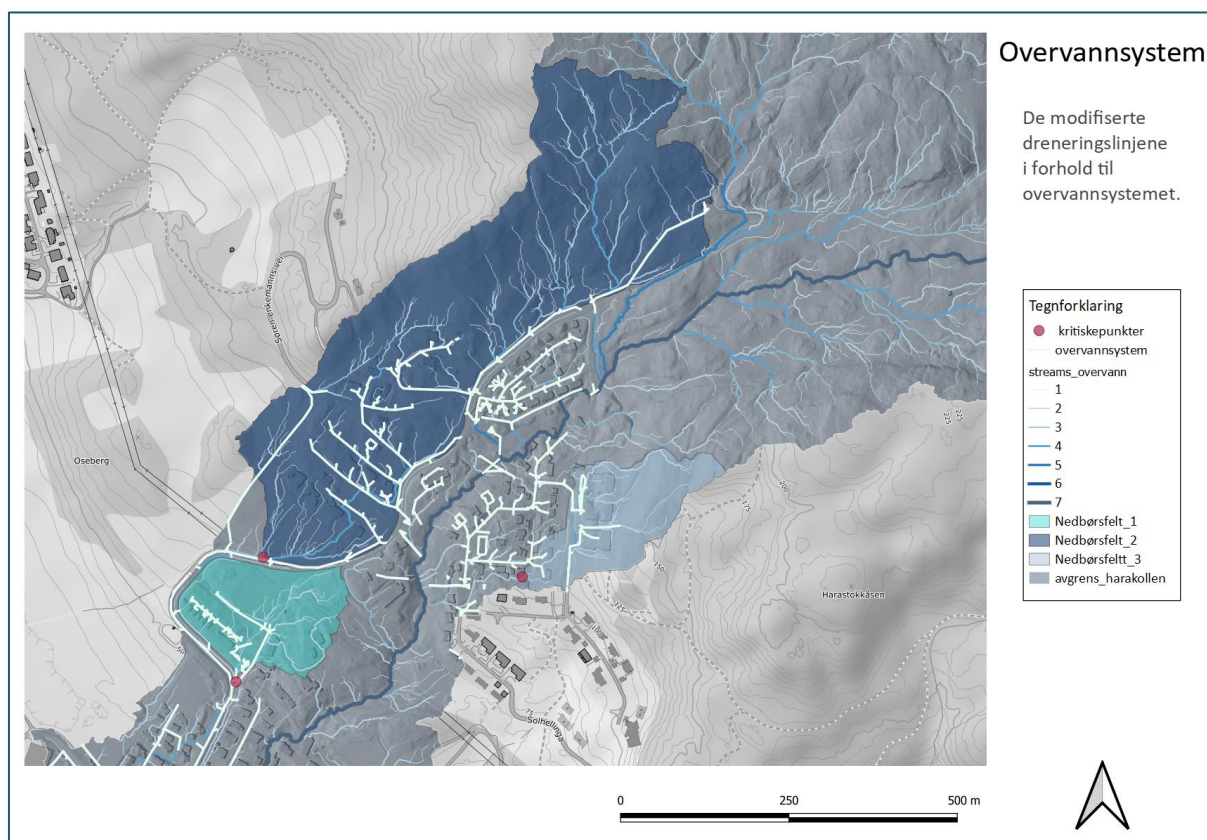
Figur 27 – De naturlige dreneringslinjene i området som de kritiske punktene er basert på.



Figur 28 – De kritiske punktene i forhold til de modifiserte dreneringslinjene.

For å se på innvirkningen bygninger sammen med overvannsystemet har på dreneringslinjene ble det laget et kart hvor dette ble tatt med i beregningene (Figur 28). Dreneringslinjene ser ut til å endre seg med endringer i landskapet. Overvannet får færre overflater å infiltrere og de minste dreneringslinjene får en høyere akkumuleringsklasse. Det er også flere steder i feltet hvor dreneringslinjene får en høyere orden for så å ledes ut i Lerbergbekken. Noen av dreneringslinjene ser ut til å flomme gjennom de største bygningene til høyre i (Figur 28). Det er ingen av de andre bygningene dette skjer med. Dette kan forklares med at alle bygningene er satt med en forhøyning på 6.0 m i terrengmodellen. Denne forhøyningen kan være for lav for dette spesifikke partiet da terrenget er relativt bratt og bygningene består av terrasseleiligheter som felles inn i terrenget.

Analysene av de modifiserte dreneringslinjene viser at det kritiske aspektet ved *kritiskpunkt\_3* forsvinner helt. Overvannsystemet her leder vannet ut av nedbørsfeltet før det når punktet og reduserer dermed vanntilførselen (Figur 29). Punktet slik det fremstår med disse forholdene kan ikke lenger defineres som et kritisk punkt.



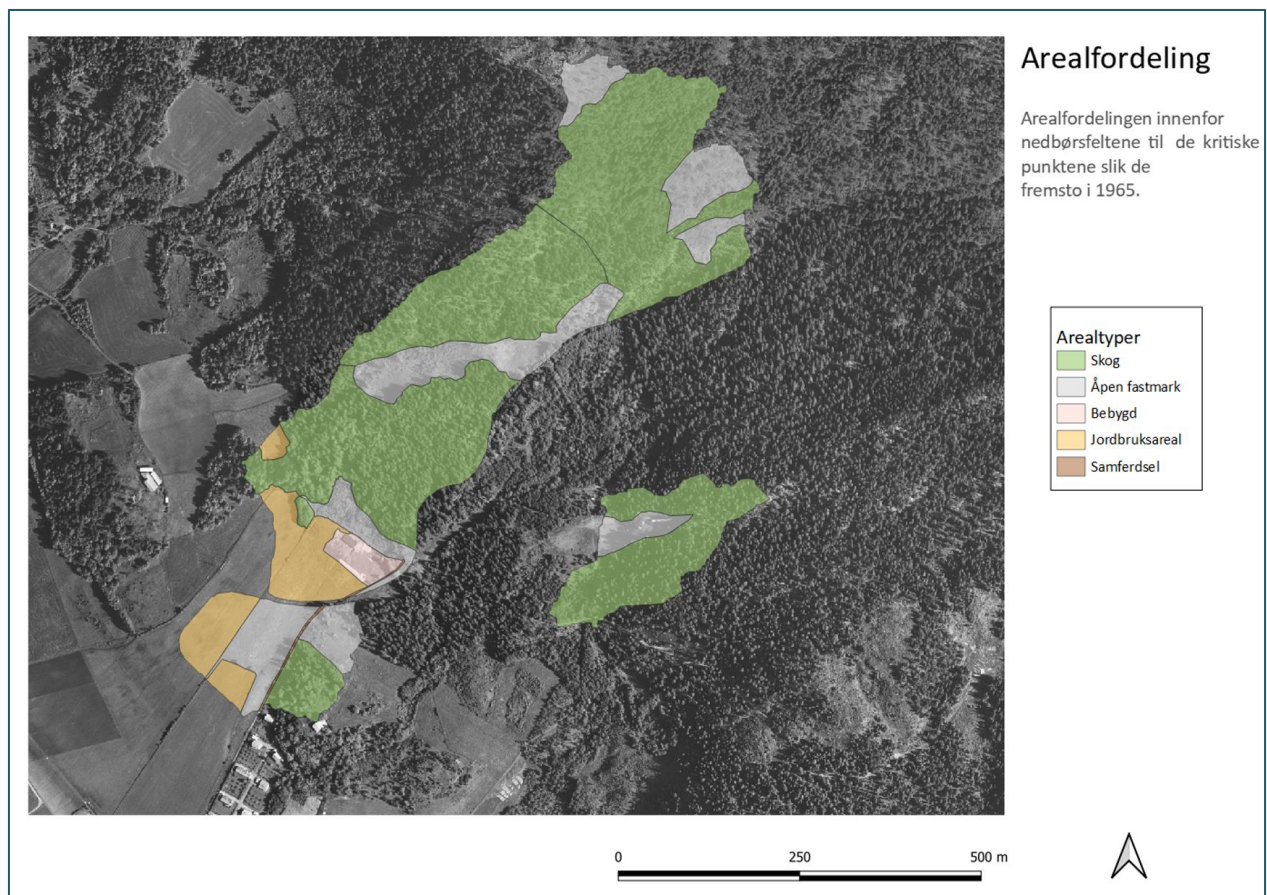
Figur 29 – overvannssystemet i forhold til de modifiserte dreneringslinjene.



Dreneringslinjene viser at overvannet som samler seg ved *kritiskpunkt\_1* og *kritiskpunkt\_2* vil reduseres når de modifiserte dreneringslinjene blir visualisert. Dette sammenfaller i stor grad med hvordan overvannssystemet er plassert i forhold til disse punktene (Figur 29). Linjene blir færre og får en høyere orden, men de kan allikevel fortsatt defineres som kritiske punkter.

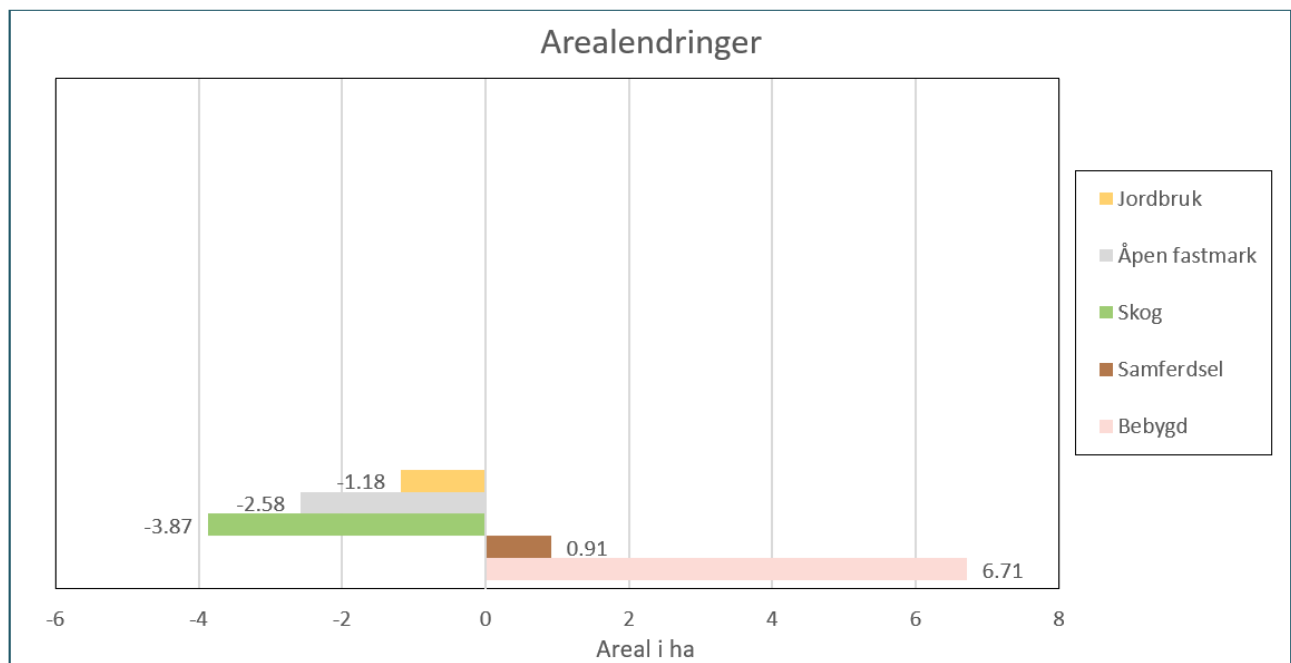
### 4.3 Arealbruksendringer

Arealfordelingen i ortofotoet fra 1965 viser totalt sett en klar overvekt av naturområder. Skog (17.43 ha) dominerer suverent sammen med åpen fastmark (5.71 ha) og jordbruksarealer følger tett (2.31 ha). Urbane strukturer som bebygde områder (0.41 ha) og samferdsel (0.06 ha) er en minoritet og kun en liten andel av områdene er preget av dette (Figur 30).



Figur 30 – Arealfordelingen innenfor nedbørsfeltet til de kritiske punktene digitalisert i QGIS.

I arealressurskartet fra 2020 kan man se en økning i arealer som kan karakteriseres som grå overflater. Bebygde områder har økt med 6.71 ha (fra 0.41 ha til 7.12 ha) og overflater som kan knyttes til samferdsel har økt med 0.91 ha (fra 0.06 ha til 0.97 ha). Parallelt med dette har alle de grønne arealene blitt bygget ned. Skogsarealene har hatt en nedgang på 3.87 ha (fra 17.43 ha til 13.56 ha) og åpen fastmark er redusert med 2.58 ha (fra 5.71 ha til 3.12 ha) noe som utgjør en nedgang med 45%. Jordbruksarealene har blitt redusert med 1.18 ha (fra 2.31 ha til 1.13 ha). Dette gir en nedgang på 51%.

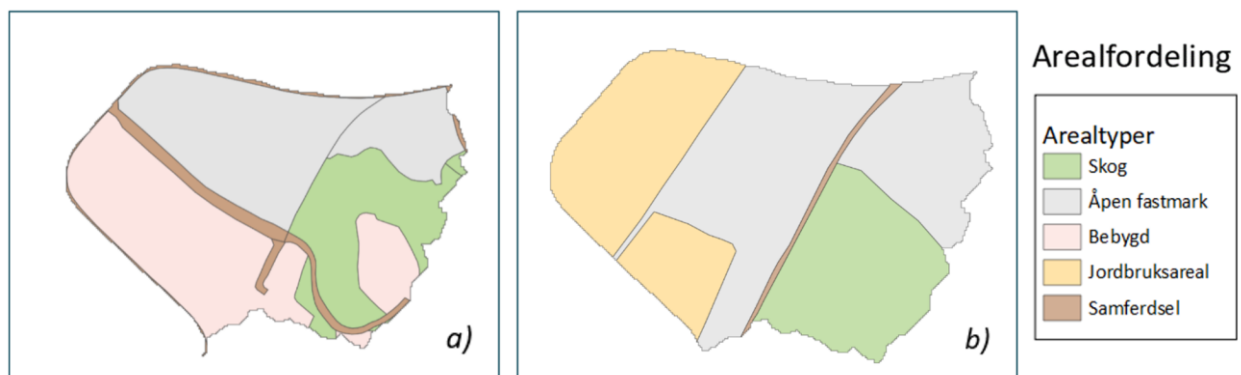


Figur 31 – Endring i arealer fordelt på arealtyper i perioden 1965 - 2020.

I Figur 31 kan man se endringene i de ulike arealtype for alle tre nedbørsfeltene; *nedbørsfelt\_1*, *nedbørsfelt\_2* og *nedbørsfelt\_3* samlet.

### 4.3.1 Nedbørsfelt\_1

I dette nedbørsfeltet er det benyttet kategoriene; åpen fastmark, jordbruksareal, skog og samferdsel til å kategorisere arealene slik de fremsto i 1965 (Figur 32 b). I 1965 var området helt fritt for bebyggelse og kun en liten del av arealet kunne klassifiseres som samferdsel (0.04 ha). Åpen fastmark (1.46 ha) var den arealtypen det var mest av i dette nedbørsfeltet etterfulgt av jordbruksarealer (0.95 ha) og skog (0.73 ha).



Figur 32 – a) slik Ar5 kartet foreligger i dag og b) resultatet fra digitaliseringen av ortofotoet fra 1965.

I kartet som viser arealtype fra 2020 (Figur 32 a) ser man en økning på 1.16 ha (fra 0 ha til 1.16 ha) i kategorien bebygde områder. Samferdsel øker med 0.18 ha (fra 0.04 til 0.22 ha). Skogsområdene i feltet har en nedgang på 0.11 ha (fra 0.73 ha til 0.62 ha), åpen fastmark er redusert med 0.28 ha (fra 1.46 ha til 1.18 ha) og jordbruksarealene forsvinner fullstendig med sine 0.95 ha (fra 0.95 ha til 0 ha).

Samlet sett for *nedbørsfelt\_1* øker de grå overflatene med 1.34 ha dette gir en nedgang på 43% av grønne arealer.

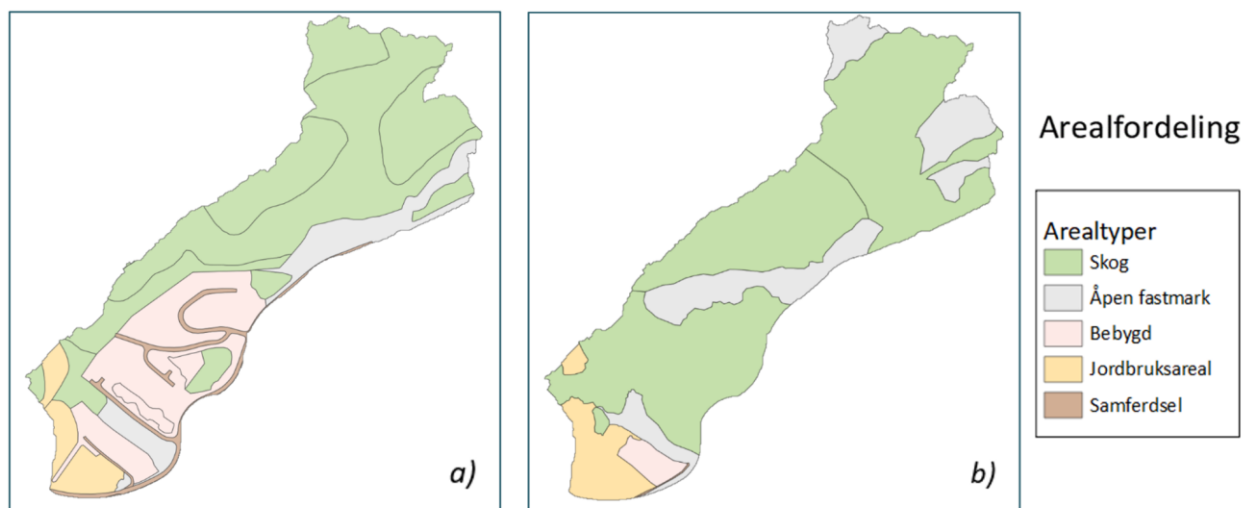
Totalarealet til nedbørsfelt\_1 etter digitalisering ble 3.18 ha. Dette gir en feilmargin på 0.01 ha fra hva som har blitt generert fra arealstatistikk i Grass GIS hvor arealet ble beregnet til 3.19 ha. Hvis man ser på Figur 32 er den lille «halen» nederst i figur a) uteblitt i bilde b) og det er her feilmarginen muligens kan ligge.

Samlet arealstatistikk for *nedbørsfelt\_1* kan sees i Tabell 7.

#### 4.3.2 Nedbørsfelt\_2

Alle de nevnte kategoriene ble identifisert i *nedbørsfelt\_2* og naturområdene er igjen de dominerende arealtypene med skog (14.0 ha) etterfulgt av åpen fastmark (3.83 ha) og jordbruksarealer (1.36 ha).

Dette er det eneste feltet av de tre som inneholder kategorien bebyggd (0.41 ha) og sammen med samferdsel (0.02 ha) utgjør de 14 % av dette nedbørsfeltet (Figur 33, b).



Figur 33 – Figur a) viser arealfordelingen slik den er i Ar5 kartet i dag og figur b) viser arealfordelingen etter digitaliseringen av arealtypene i 1965.

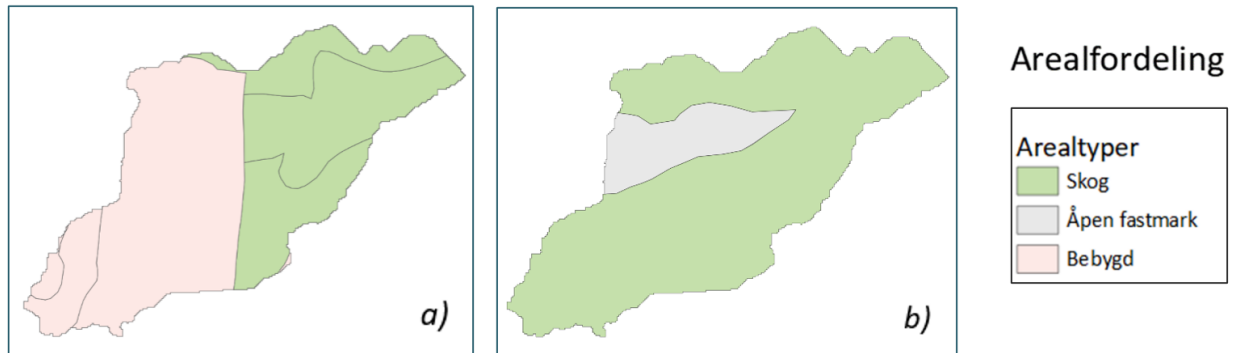
Til sammenligning, slik arealfordelingen fremstår i Ar5 kartet (Figur 33 a), har både bebygde arealer (4.25 ha) og samferdsel (0.75 ha) økt med 4.57 ha samtidig som skogsområdene (11.54 ha), jordbruksarealene (1.13 ha) og åpen fastmark (1.94 ha) har en samlet nedgang på 4.57 ha.

Dette gir de grønne områdene i nedbørsfelt\_2 en nedgang på 24% og de grå overflatene øker samlet sett med 4.57 ha. Samlet arealstatistikk for *nedbørsfelt\_2* kan sees i Tabell 8.



### 4.3.3 Nedbørsfelt\_3

*Nedbørsfelt\_3* består av to ulike kategorier; skog (2.70 ha) og åpen fastmark (0.42 ha) og kan sees i Figur 34 b.



Figur 34 – figur a) viser arealfordelingen slik den er i Ar5 kartet per 2020. Figur b) viser arealfordelingen fra digitaliseringen av ortofotoet fra 1965 utført i QGIS.

Arealfordelingen fra Ar5 kartet (Figur 34 a) viser en økning i bebygde områder med 1.71 ha (fra 0 ha til 1.71 ha). Åpen fastmark har forsvunnet helt og skogsområdene (1.40 ha) er nesten halvert med 1.3 ha (fra 2.70 ha til 1.40 ha).

De grønne områdene innenfor *nedbørsfelt\_3* har hatt en nedgang på 55%. De grå områdene her har økt fra 0 ha til 1.71 ha.

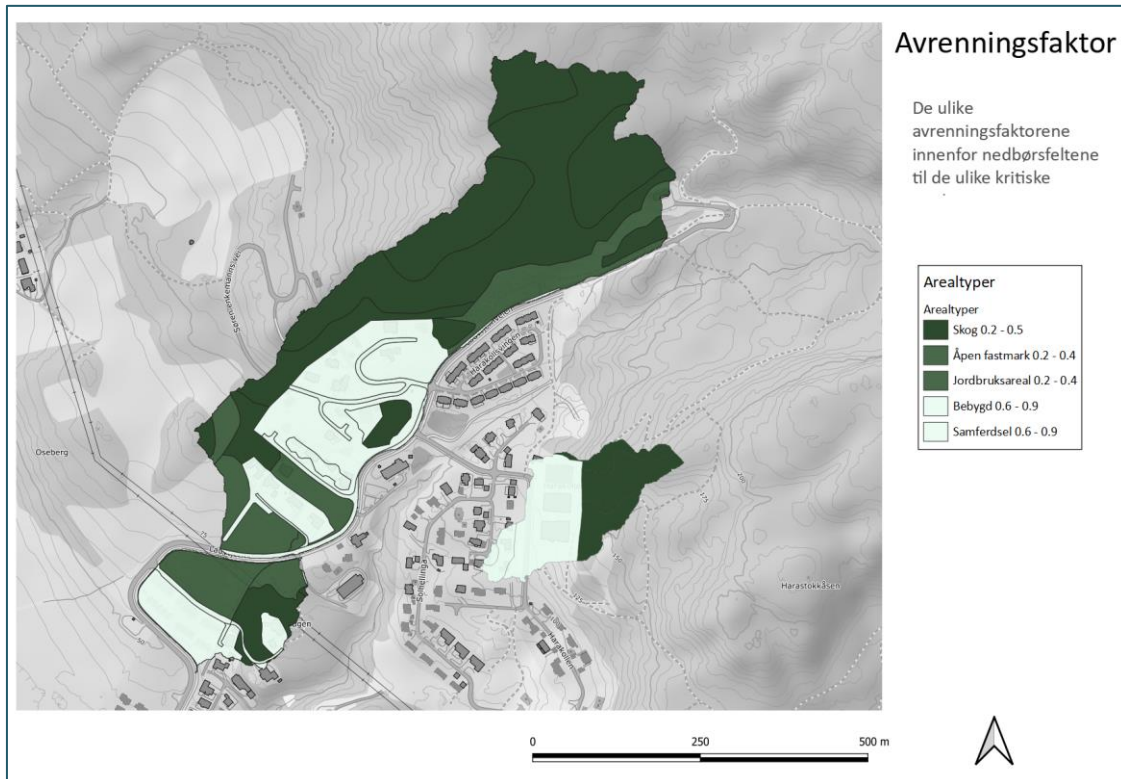
I nedbørsfeltet til kritiskpunkt\_3 befinner det seg bebyggelse i ortofotoet fra 1965. Denne bebyggelsen ble vurdert til kategorien “åpen fastmark” siden det ser lite opparbeidet ut og ikke er knyttet til annen bebyggelse eller synlig infrastruktur. Arealstatistikken for *nedbørsfelt\_3* kan sees i sin helhet i Tabell 9.

### 4.3.4 Avrenningsfaktor

For å se på hvordan avrenningsfaktoren har endret seg ble de ulike arealtypene kategorisert etter avrenningsfaktor (Figur 35 & Figur 36). Fargene representerer permeabiliteten til underlaget. Mørkeste farge har høyest evne til å infiltrere nedbør. Arealtypene skog, åpen fastmark og jordbruksarealer representerer de mørkeste fargene. Den lyseste fargen viser arealer bestående av tette overflater herunder bebygde areal og samferdsel.



Figur 35 – Avrenningsfaktor kategorisert på arealtype fra 1965.



Figur 36 – Avrenningsfaktor kategorisert på bakgrunn av arealtype i Ar-5 kartet.

## 4.4 Hydrologiske beregninger

### 4.4.1 Nedbørsfelt\_1

Det befinner seg noen hus i dette området og de deler arealet med en vei, men nedbørsfeltet har en overvekt av naturomgivelser. Konsentrasjonstiden ble derfor beregnet etter naturlige felt/ikke utbygde felt for dette området. Konsentrasjonstiden,  $t_c = 22.2$  minutter (Tabell 7). Avrenningskoeffisienten ble i dette tilfellet  $C = 0.53$ , med en usikkerhet på  $0.37 - 0.63$ .  $C$  justeres med 30% noe som gir:  $C = 0.69$  (Tabell 7). Klimafaktoren er basert på valg av returperiode;  $n = 200$  år:  $K_f = 1.5$ . Med en konsentrasjonstid på 22.2 minutter gir dette en dimensjonerende nedbørintensitet,  $i = 179.78$  l/s ha (Tabell 10).

Ved å bruke den rasjonelle metode får vi  $Q = \underline{0.59 \text{ m}^3 / \text{s}}$

Tabell 7 - Øverste del viser Arealfordelingen innenfor nedbørsfelt\_1 per i dag. Nederste del viser arealfordelingen slik den fremsto i 1965. Tallene er innhentet ved bruk av ulike GIS - statistikkverktøy. Prosentandelen har blitt avrundet.

Arealtype, nåtid	Areal	Andel	Avrenningskoeffisient, C	Konsentrasjonstid, T <sub>c</sub>
Bebyggd	1.16 ha	36%	$0.6 - 0.9 = 0.8$	-
Samferdsel	0.22 ha	7 %	$0.6 - 0.9 = 0.8$	-
Skog	0.62 ha	20 %	$0.2 - 0.5 = 0.4$	-
Åpen fastmark	1.18 ha	37%	$0.2 - 0.4 = 0.3$	-
<b>Total</b>	3.18 ha	100%	$0.53 + 0.16 = 0.69$	22.2 minutter
Arealtype, 1965	Areal	Andel	Avrenningskoeffisient, C	Konsentrasjonstid, T <sub>c</sub>
Samferdsel	0.04 ha	1%	$0.6 - 0.9 = 0.8$	-
Jordbruksareal	0.95 ha	30%	$0.2 - 0.4 = 0.3$	-
Skog	0.73 ha	23%	$0.2 - 0.5 = 0.4$	-
Åpen fastmark	1.46 ha	46%	$0.2 - 0.4 = 0.3$	-
<b>Total</b>	3.18 ha	100%	$0.32 + 0.09 = 0.41$	22.2 minutter

Ser man på det samme område fra 1965 er det tydelig preget av natur og jordbruksområder. Feltet ville ha fått samme konsentrasjonstid og ved å bruke lik returperiode og klimafaktor kan man se på hvor mye avrenningen har endret seg. Avrenningskoeffisienten,  $C$ , ville i dette tilfelle blitt  $C = 0.32$ . Med en justering på 30% ved bruk av en klimafaktor på 1.5 (Aksnes et al., 2016), blir  $C = 0.41$  (Tabell 7).

Ved bruk av den rasjonelle metode får vi  $Q = \underline{0.35 \text{ m}^3 / \text{s}}$

Ved at avrenningsfaktoren øker med 0.28 (fra 0.41 – 0.69) gir dette området en økning i avrenning med  $0.24 \text{ m}^3 / \text{s}$  for *nedbørsfelt\_1*.

#### 4.4.1.1 Arealbruksendringer

Ved å utelate klimafaktoren fra regnestykket kan man beregne arealendringer uten Klimafremskrivninger. Dette gir et estimat på avrenningen basert kun på arealendringer.

Avrenning fra *nedbørsfelt\_1* slik det fremstår i dag blir som følger  $Q = \underline{0.3 \text{ m}^3 / \text{s}}$

For samme område slik det var i 1965 blir avrenningen  $Q = \underline{0.18 \text{ m}^3 / \text{s}}$

Arealendringene resulterer i at avrenningen øker med  $0.12 \text{ m}^3 / \text{s}$  i dette området.

#### 4.4.2 Nedbørsfelt\_2

Den nederste delen av nedbørsfeltet har blitt godt utbygd, men det hele består fortsatt av en god del skog og andre naturlige omgivelser (Tabell 8). Det ble også her beregnet konsentrasjonstid for naturlige felt. Konsentrasjonstiden,  $t_c = 42.72$  minutter (Tabell 8). Avrenningskoeffisienten,  $C$  ble i dette tilfellet regnet frem til å bli  $C = 0.58$  med en usikkerhet på 0.3 – 0.58.  $C$  justeres med 30% (Aksnes et al., 2016) noe som gir:  $C = 0.75$  (Tabell 8). Med en returperiode på 200 år for boligfelt blir klimafaktoren 1.5 også i dette tilfellet,  $n = 200$  år:  $K_f = 1.5$  (Aksnes et al., 2016).

Avrenning ved bruk av rasjonelle metode,  $Q = \underline{2.14 \text{ m}^3 / \text{s}}$

Tabell 8 – Arealtyper for nedbørsfelt\_2. Øverst viser arealfordelingen slik den er fremstilt i Ar5 kartet. Nederst viser samme område fra 1965. Prosentandelen har blitt avrundet.

Arealtype, nåtid	Areal	Andel	Avrenningskoeffisient, C	Konsentrasjonstid, T <sub>c</sub>
Bebyggelse	4.25 ha	21 %	0.6 - 0.9 = 0.9	-
Samferdsel	0.75 ha	4 %	0.6 - 0.9 = 0.9	-
Fulldyrka jord	1.13 ha	6 %	0.2 - 0.4 = 0.4	-
Skog	11.54	59 %	0.2 - 0.5 = 0.5	-
Åpen fastmark	1.94 ha	10 %	0.2 - 0.4 = 0.4	-
<b>Total</b>	19.6 ha	100 %	0.58 + 0.17 = 0.75	42.72 minutter
Arealtype, 1965	Areal	Andel	Avrenningskoeffisient, C	Konsentrasjonstid, T <sub>c</sub>
Bebyggelse	0.41 ha	2 %	0.6 - 0.9 = 0.9	-
Samferdsel	0.02 ha	0.10 %	0.6 - 0.9 = 0.9	-
Jordbruksareal	1.36 ha	7 %	0.2 - 0.4 = 0.4	-
Skog	14 ha	71%	0.2 - 0.5 = 0.5	-
Åpen fastmark	3.83 ha	20 %	0.2 - 0.4 = 0.4	-
<b>Total</b>	19.6 ha	100 %	0.48 + 0.14 = 0.62	42.72 minutter

Nedbørsfelt\_2 var også i 1965 betydelig preget av naturområder og konsentrasjonstiden ville blitt vurdert til den samme som i dag. Avrenningskoeffisienten endres etter at det er foretatt et nytt vektet gjennomsnitt av slik arealene fremsto den gang. Ny avrenningsfaktor,  $C = 0.62$ . Dette inkluderer et 30% påslag for en klimafaktor på 1.5 (Tabell 8). Returperioden er uendret.

Avrenning ved bruk av den rasjonelle metode,  $Q = \underline{\underline{1.77 \text{ m}^3/\text{s}}}$

Ved en økning i avrenningsfaktoren med 0.13 (fra 0.62 - 0.75) øker avrenningen med 0.37 m<sup>3</sup>/s for nedbørsfelt\_2.

#### 4.4.2.1 Arealbruksendringer

Uten Klimafremskrivninger blir avrenningen for dette feltet per i dag  $Q = \underline{1.1 m^3 / s}$

Slik nedbørsfelt\_2 fremsto i 1965 blir avrenningen  $Q = \underline{0.91 m^3 / s}$

Avrenningen basert på arealendringene innenfor *nedbørsfelt\_2* øker med 0.19 m<sup>3</sup>/s.

#### 4.4.3 Nedbørsfelt\_3

Feltet har en god del skogsarealer, men en knapp overvekt av utbygd felt. Dette nedbørsfeltet er relativt bratt og infiltrasjonskapasiteten er lite egnet (Figur 13) Det er her brukt formel for bebygde områder i beregningen av konsentrasjonstid, noe som gir  $t_c = 2.78$  minutter. Dette gir en nedbørintensitet på  $i = 414.37$  l/s ha (Tabell 10).

Nedbørsfeltet til kritiskpunkt\_3 ligger mitt i et boligfelt. Returperioden blir 200 år også her.

Avrenningsfaktoren,  $C$  blir derfor justert med 30% og blir følgende  $C = 0.87$  (Tabell 9), med en usikkerhet på 0.4 – 0.67. Klimafaktoren ble vurdert til 1.5,  $n = 200$  år:  $K_r = 1.4$  (Aksnes et al., 2016).

Avrenning ved bruk av den rasjonelle metode,  $Q = \underline{1.67 m^3 / s}$

Tabell 9 – Arealtyper for nedbørsfelt\_3. Arealfordelingen per i dag er representert øverst i tabellen og arealfordeling anno 1965 vises i den nedre delen av tabellen. Prosentandelen har blitt avrundet.

Arealtype, nåtid	Areal	Andel	Avrenningskoeffisient, C	Konsentrasjonstid, T <sub>c</sub>
Bebygde	1.7 ha	55 %	0.6 – 0.9 = 0.9	-
Skog	1.4 ha	45%	0.2 – 0.4 = 0.4	-
<b>Total</b>	3.1 ha	100%	0.67+0.2 = 0.87	2.78 minutter
Arealtype, 1965	Areal	Andel	Avrenningskoeffisient, C	Konsentrasjonstid, T <sub>c</sub>
Skog	2.7 ha	87%	0.2 – 0.5 = 0.5	-
Åpen fastmark	0.4 ha	13%	0.2 – 0.4 = 0.4	-
<b>Total</b>	3.1 ha	100%	0.48 + 0.14 = 0.62	21.08 minutter



*Nedbørsfelt\_3* besto av naturområder i 1965 og konsentrasjonstiden må derfor endres og utregnes på bakgrunn av naturlig/ubebygde felt. Konsentrasjonstiden blir således;  $t_c = 21.08$  minutter og nedbørintensiteten,  $i = 186.36$  l/s ha med en returperiode på 200 år. Klimafaktoren er uendret og med et påslag på 30% blir avrenningskoeffisienten,  $C = 0.62$  (Tabell 9).

Avrenning ved bruk av den rasjonelle metode,  $Q = \underline{0.53 \text{ m}^3 / \text{s}}$

Ved at konsentrasjonstiden blir vurdert til naturlig/ubebygde felt (konsentrasjonstiden øker) og avrenningsfaktoren øker med 0.25 (fra 0.62 til 0.87) øker avrenningen med  $1.14 \text{ m}^3 / \text{s}$  i *nedbørsfelt\_3*.

#### 4.4.3.1 Arealbruksendringer

Avrenning fra *nedbørsfelt\_3* per i dag er  $Q = \underline{0.86 \text{ m}^3 / \text{s}}$

Avrenning fra det samme feltet i 1965  $Q = \underline{0.27 \text{ m}^3 / \text{s}}$

Avrenningen innenfor *nedbørsfelt\_3* øker med  $0.59 \text{ m}^3 / \text{s}$  på grunnlag av arealbruksendringene.

Tabell 10 gjengir en samlet oversikt over alle de tre identifiserte kritiske punktene. Den øvre delen av tabellen viser situasjonen slik den fremstår i dag og den nederste delen viser forholdene fra 1965.

Tabell 10 – Oversikt over den beregnede avrenningen,  $Q$  og variabler brukt for de identifiserte kritiske punktene.

Område, nåtid	Avrenningsfaktor, $C$ + 30 % justering	Dimensjonerende nedbørintensitet, $i$	Areal, $A$	Returperiode, $n$	Klimafaktor, $K_f$	Avrenning, $Q$
Nedbørsfelt_1	0.69	179.78 l/s ha	3.18 ha	200 år	1.5	591.7 l/s
Nedbørsfelt_2	0.75	97.11 l/s ha	19.6 ha	200 år	1.5	2141.27 l/s
Nedbørsfelt_3	0.87	414.37 l/s ha	3.1 ha	200 år	1.5	1676.33 l/s
Område, 1965	Avrenningsfaktor, $C$ + 30 % justering	Dimensjonerende nedbørintensitet, $i$	Areal, $A$	Returperiode, $n$	Klimafaktor, $K_f$	Avrenning, $Q$
Nedbørsfelt_1	0.41	179.78 l/s ha	3.18 ha	200 år	1.5	351.59 l/s
Nedbørsfelt_2	0.62	97.11 l/s ha	19.6 ha	200 år	1.5	1770.12 l/s
Nedbørsfelt_3	0.62	186.36 l/s ha	3.1 ha	200 år	1.5	537.27 l/s

## 4.5 Oppsummering resultater

Siden 1965 har de grå strukturene innenfor analyseområdene på Harakollen økt med 6.71 ha. Dette utgjør 29 % av det totale arealet av nedbørsfeltene per i dag, mot 1.58 % av det totale arealet slik det fremsto i 1965.

Alle de tre nedbørsfeltene taper grønne arealer til fordel for utbygde områder. I *nedbørsfelt\_1* øker de grå områdene bestående av bebygde områder og samferdsel med 1.34 ha. Disse arealene utgjorde 1 % av nedbørsfeltet i 1965 mot 43 % urbane områder per i dag. Nedbørsfeltet blir som i 1965 karakterisert som naturlig med sin overvekt av grønne områder på 57 % og konsentrasjonstiden blir derfor fastslått lik. Avrenningsfaktoren får i dette tilfellet en oppjustering på 0.21 på grunn av arealendringene innenfor feltet. Dette vil gi en økning i avrenningen på 0.12 m<sup>3</sup>/s ved *kritiskpunkt\_1*. Med Klimafremskrivninger blir økningen 0.24 m<sup>3</sup>/s (fra 0.35 m<sup>3</sup>/s - 0.59 m<sup>3</sup>/s).

*Nedbørsfelt\_2* er det største feltet og har også de den betydeligste andelen grå overflater arealmessig per i dag med 5 ha urbane områder. 2 % av arealoverflatene var bebygde i 1965 mot 25 % av feltet i dag. Konsentrasjonstiden blir allikevel vurdert uendret da feltet består av 75 % grøntarealer og det karakteriseres derfor fortsatt som naturlig. Med en økning på 0.1 for avrenningsfaktoren ble avrenning økt med 0.19 m<sup>3</sup>/s (fra 1.1 m<sup>3</sup>/s til 0.91 m<sup>3</sup>/s) ved *kritiskpunkt\_2*. Beregninger hvor også Klimafremskrivninger har blitt tatt hensyn til viser en økning i avrenning på 0.37 m<sup>3</sup>/s (fra 1.77 m<sup>3</sup>/s – 2.14 m<sup>3</sup>/s).

*Nedbørsfelt\_3* som er tilhørende *kritiskpunkt\_3* er analyseområdets minste nedbørsfelt og samtidig det område som har hatt størst økning i grå struktur. Nedbørsfeltet består i dag av 55 % bebygde områder og er dette prosjektets eneste nedbørsfelt som blir definert som urbant i nåtid, men som naturlig i 1965. Avrenningen ved *kritiskpunkt\_3* øker mest med 0.59 m<sup>3</sup>/s. Dette er både fordi avrenningsfaktoren justeres opp med 0.19, men også fordi konsentrasjonstiden blir kortere. Med en klimafaktor på 1.5 innenfor dette feltet blir økningen i avrenning 1.14 m<sup>3</sup>/s (fra 0.53 m<sup>3</sup>/s – 1.67 m<sup>3</sup>/s).

## 5 Diskusjon

I dette kapittelet vil jeg diskutere de foreliggende resultatene opp imot tidligere presentert litteratur. Diskusjonskapittelet består av tre deler. Den første delen vil ta for seg funnene opp imot tre-trinnstrategien. Her vil det også bli diskutert tilleggseffektene de blågrønne tiltakene har. Den andre delen av kapittelet argumenterer planleggingen av de blågrønne strukturene og hvordan disse kan implementeres i forhold til gjeldende planer på Harakollen. Den tredje delen drøfter mulige løsninger på hvordan kommunen kan gå fra å være sårbar overfor overvann, til å opparbeide seg en resistens mot fremtidige vannmengder.

### 5.1 Tre viktige trinn

Harakollen har allerede tiltak for å lede flomvannet trygt vekk ved styrtregnhendelser i form av et ordinært overvannsanlegg. Skulle nedbørshendelsene som inntreffer overgå overvannsanleggets kapasitet finnes det veigrøfter ved de kritiske punktene som leder vannet videre. Det området trenger er overvannstiltak som fanger opp og infiltrerer samtidig som vannet blir forsinket og fordrøyet der hvor nedbøren faktisk faller slik at overvannet ikke skaper problemer lenger ned i nedbørsfeltet.

#### 5.1.1 Økende impermeabilitet, synkende infiltrasjon

Det første hovedprinsippet i treleddstrategien er at overvannet skal infiltreres i grunnen. Mengden overvann vil i så måte reduseres og reell flomfare begrenses (Endresen, 2009). Dette fører til at vannets naturlige kretsløpet i nedbørsfeltet så godt som mulig bevares (COWI, 2013). Det er derimot slik at det blir færre overflatearealer på Harakollen hvor dette er mulig å opprettholde. Resultatene viser at de grønne områdene har hatt en nedgang totalt med 7.63 ha (fra 25.4 ha – 17.8 ha) innenfor alle de tre delområdene i tidsrommet 1965 - 2020. De grå arealene har hatt en parallell økning. Selv om *nedbørsfelt\_1* har en større andel bebygde områder i dag har *nedbørsfelt\_2* større grå arealer totalt sett. Begge feltene har uansett en overvekt av naturområder slik det er fremstilt i Ar5 kartet. *Nedbørsfelt\_3* har til gjengjeld undergått så store arealbruksendringer at konsentrasjonstiden måtte beregnes ved bruk av formel for urbane felt, noe som medførte en mye lavere konsentrasjonstid enn ved de andre feltene.

En lav konsentrasjonstid gir høy intensitet i avrenningen (Endresen, 1997), noe som betyr at nedbørsfeltet reagerer raskt på den nedbøren som faller (Stenius et al., 2015). Når Klimafremskrivninger er en faktor i beregningene øker avrenningen ytterligere. Igjen så gjelder dette for alle de tre delområdene. Det er *nedbørsfelt\_2* som genererer de største vannmengdene, men *nedbørsfelt\_3* øker mest.

Siden andelen impermeable overflater har økt, har infiltrasjonskapasiteten i områdene blitt lavere. Avrenningsfaktoren har endret seg i takt med dette, noe som ikke bare har betydning for den totale avrenningen fra feltet, men også for den maksimale avrenningen og intensiteten i avrenningen (Endresen, 1997). Alle de tre delområdene har hatt en økning i avrenningen grunnet arealbruksendringer. Dette betyr imidlertid ikke at området hadde god infiltrasjonskapasitet i utgangspunktet, men at infiltrasjonskapasiteten kan sies å ha vært høyere i de tre delområdene i 1965 enn det den er i dag.

### 5.1.2 Den kritiske situasjonen

Dreneringslinjene viser at situasjonen ved de kritiske punktene blir mindre alvorlige når overvannsystemet blir lagt til i analysen. *Kritiskpunkt\_1* og *kritiskpunkt\_2* vil fortsatt bli betegnet som kritiske punkter, men akkumuleringen av overvann blir tydelig redusert. Dette sammenfaller med hvordan overvannsystemet på Harakollen ligger og indikerer at systemet har hensikt ved de utvalgte stedene. Det kritiske punktet ved *Nedbørsfelt\_3* kan ikke lenger betegnes som et kritisk punkt. Her vil overvannet bli ledet ut av det ordinære nedbørsfeltet via ledningsnett. Fremgangsmåten med å frakte flomvannet via ledningsnett til resipient fungerer for å lede vannet bort fra området man vil lede vannet bort ifra. Det kan derimot fort bli en «ute av syn ute av sinn» tankegang der man forflytter problemet fra det ene stedet til det andre. Flomfaren i resipient vil nemlig øke ved bortledning av vannet på denne måten. En senkning i grunnvannstanden vil også kunne forekomme når vannet blir ledet ut av feltet i rørledninger. Dette kan resultere i skader på, eller tapt, vegetasjon i området (Endresen, 2009).

Overvannsystemet i seg selv består av rør med relativt små dimensjoner og vil erfaringsmessig ikke kunne motstå vannvolumene fra nedbørshendelser av høyere kaliber (Øyvind Brechan Johnsen, Øvre Eiker kommune, personlig kommunikasjon 24.03.2021). Derfor er det gravd veigrøfter ved disse punktene som skal avlaste overvannsystemet. Veigrøfter faller inn under det tredje leddet i tre-trinnstrategien og vil primært transportere vannet til resipient. Det vil ikke være særlig infiltrasjon å

snakke om i slike type grøfter siden både volumet og hastigheten på vannet vil være større enn selve vannflaten (Sælthun & Barton, 2021).

### 5.1.3 Økende vannmengder gir økt flomfare

Endringer i avrenningsmønsteret endrer flomresponsen i et nedbørsfelt og elver og bekker som styres av nedbør vil kunne forvente økt vannføring med 20% i små vassdrag i løpet av de neste 50- 100 årene grunnet klimaendringene (NVE, 2014). De fremtidige endringene i temperatur og nedbørsmengder vil føre til hyppigere forekomst og omfang av flommer i Norge (Roald, 2021, p. 53). Dette kan være av stor betydning selv om området ikke skulle være særlig flomutsatt. Områder beliggende høyt oppe i nedbørsfeltet drenerer til lavereliggende områder. Disse områdene kan ligge nær andre vannflater og i så måte bli stengt inne av vann på alle kanter. Harakollen er ikke særlig utsatt for flom fra elver eller bekker, men det har som tidligere beskrevet et høyt avrenningspotensial grunnet lav infiltrasjonskapasitet. Dette kan påvirke sårbare områder lenger ned i nedbørsfeltet som allerede er flomutsatte. Tanken er å forsinke avrenningen fra feltet ved å iverksette tiltak der nedbøren faktisk faller og ikke der hvor vannet samler seg til slutt.

Konsekvensene av en nedbørshendelse er betinget av nedbørens intensitet og varighet. Korte nedbørshendelser kan skape lokale oversvømmelser, mens nedbør som varer over lengre perioder kan ha påvirkning på større areal. Hvis hele treleddstrategien brukes vil det resultere i et overvannsystem som er godt rustet til enhver type nedbør (NOU 2015:16, 2015). Dette forutsetter at det fokuseres på de to første trinnene i et område som allerede har en strategi for å føre flomvannet bort. Dette gjelder Harakollen.

### 5.1.4 Redusert grunnvannstand

Hovedoppgaven til det andre trinnet i tre-trinn strategien handler om å forsinke og fordrøye nedbøren (Paus, 2020). En måte vannet kan fordrøyes på er gjennom temporal lagring i jord og vegetasjon (Waring & Running, 2007). Hvis det ikke lenger er mulig for vannet å lagres i disse komponentene vil det bli en disharmoni i den lokale vannbalansen. Det vannet som ved en naturlig tilstand ville blitt holdt tilbake for så å sige ned til umetta sone for grunnvannsdannelse, vil isteden flomme på overflaten av impermeable flater. Dette kan føre til at grunnvannstanden senkes noe som igjen kan føre til setningsskader på bygg og anlegg (NGU, 2018). Et godt eksempel på slike setningsskader er Bryggen i Bergen. Her har grunnvannet blitt senket i løpet av flere tiår og resultatet av dette er skjeve bygg og skader på fortau og vei (NGU, 2014).

### 5.1.5 Verdifulle tilleggseffekter

Tradisjonelle, tekniske løsninger er hovedsakelig designet med tanke på én hensikt, som regel i form av å lede flomvannet trygt vekk, og dette er de gode på. De må derimot være dimensjonert for oppgaven, noe de sjeldent ser ut til å være. I alle fall for fremtidige vannmengder (Magnussen et al., 2017). De har hertil også en stor svakhet ved at de mangler tilleggseffekter som kan løse mer enn bare én klimautfordring av gangen. Naturbaserte løsninger som blågrønne strukturer kan tilby disse verdifulle tilleggseffektene (Magnussen et al., 2017).

En fellesnevner for alle de blågrønne tiltakene er at de renser luften for CO<sub>2</sub> gasser gjennom fotosyntese (Safikhani, Abdullah, Ossen, & Baharvand, 2014). Dette skyldes primært de grønne elementene som de grønne takene, veggene og vegetasjonen i og rundt de blå innslagene (Miljødirektoratet, 2020b). De frigjør oksygen og gjør luften renere og friskere (Safikhani et al., 2014). Forurensningsrisikoen som overvannet fører med seg, er betinget av sensitiviteten til stedet overvannet befinner seg i. Dette avhenger av dreneringsveiene mellom kilden og resipient og grad av fortynning. Innvirkningen dette har på vannkvaliteten vil være avhengig av type forurensende komponenter og konsentrasjonen av disse samt den totale mengden av ulike forurensende komponenter som er tilstede (Ballard et al., 2015).

Mer synlig vann der folk oppholder seg oppleves som et positivt innslag i nærmiljøet (NOU 2015:16, 2015). Det kan gi mentale og fysiske helsegevinster og bidrar til økt biologisk mangfold (Magnussen et al., 2015). Blågrønne tiltak vil i tillegg kunne tilpasses i takt med utviklingen av klimaendringene (NOU 2015:16, 2015) noe som vanskelig lar seg gjøre med tradisjonelle ledningsnett.

## 5.2 Planlegging av blågrønne strukturer som klimatilpasningstiltak

Blågrønne strukturer har helsefremmende og positive effekter på oss mennesker og bør hensyntas i all arealplanlegging (Fossan, Killingstad, & Strøm, 2020). Det er avgjørende at arealbruken tilpasses dette på et tidlig stadium i planleggingsprosessen uavhengig av om det gjelder et helt nytt byggefelt eller en utvikling av et allerede etablert område. Slik kan man disponere den plassen man har tilgjengelig og gjøre tiltakene så effektive som mulig (Ballard et al., 2015). Dette gjelder særskilt der prosjektene ikke



enda er i gang da man har mulighet til å implementere tiltak før selve konstruksjonen starter. Ved videre utviklingsplaner på Harakollen bør dette taes i betraktning.

Ved benyttelse av en planleggingsfilosofi som ivaretar den naturlige vannsyklusen i bebygde områder bidrar man til å se på overvannet som en ressurs. Overvannstiltak som fanger opp og infiltrerer overvannet, reduserer overflateavrenning og følgelig vannvolumer som kommer fra det aktuelle nedbørsfeltet. Geografiske faktorer som areal, grunnforhold og topografi er med på å avgjøre hva slags overvannstiltak som er aktuelle for Harakollen. Topografien beskriver terrengforholdene og hvordan vassdragene er sammensatt. Hvordan arealbruken i området er definert vil legge føringer på hva slags tiltak det er plass til. Utenom dette vil tykkelsen på jordlaget og type jord ha noe å si i forhold til vannlagringskapasiteten og evne til å filtrere forurensende komponenter (Barbosa, Fernandes, & David, 2012). Det må samtidig taes høyde for at Harakollen allerede har utbygde områder med begrenset plass tilgjengelig for tiltak på overflaten. Større blågrønne anlegg som infiltrasjonsbasseng og overvannsdammer er strukturer som er ansett som for arealkrevende i et allerede utbygd område som Harakollen.

Det å bruke en kombinasjon av tradisjonelle og blågrønne løsninger kan være fordelaktig. Dette fordi det kan oppveie for tenkelige svakheter ved å kun benytte blågrønne løsninger. Dersom andre løsninger blir prioritert skal det begrunnes hvorfor naturbaserte løsninger som blågrønne strukturer ikke har blitt foretrukket. (Miljødirektoratet, 2020a). Overvannsystemene på Harakollen er dessuten flere steder av relativt små dimensjoner. Det å redusere mengden overvann vil hjelpe et allerede belastet system.

Bestemmelser som blir tatt i kommune- og reguleringsplaner er juridisk bindende. Krav og føringer som blir fastsatt på dette nivået vil kunne sikre naturbaserte løsninger som blågrønne strukturer (Fossan et al., 2020). Reguleringsplanen fra 2006 viser at implementering av åpne overvannstiltak i friområdene på Harakollen ikke er i konflikt med hva som er bestemt i plan. Faktisk så presiseres det at det skal tilrettelegges for dette (Øvre Eiker kommune, 2006).

For dette området kan man søke om byggetillatelse for implementering av passende blågrønne tiltak. I tillegg til dette kan små endringer ifølge plan- og bygningsloven §12-14 andre ledd, gjennomføres dersom disse ikke påvirker reguleringsplanen ellers (Plan- og bygningsloven, 2008).

### 5.3 Fra sårbarhet til resistens

En hypotese stilt av Groven (2015) i artikkelen “Handtering av overvatn i norske kommunar - Ei undersøking om innføring av lokal overvasshandtering” sier at: *“kommunar med større andel tette flater i sentrale strøk enn andre kommunar, faktisk har større overvassutfordringar, og derfor tenker og handlar annleis når det gjeld overvasshandtering enn kommunar med større innslag av permeable flater.”* (Groven, 2015). Øvre eiker kommune har store ambisjoner hva gjelder byutvikling (Øvre Eiker kommune, 2015). Det er allikevel en kommune som er bestående av enorme skogs- og landbruksområder (SSB, 2021). Andelen tette overflater er forsvinnende liten i forhold til det totale arealet. Man må imidlertid se på de lokale forholdene når fokuset er på fortetning.

Harakollen nabolag i sin helhet har undergått utbygging i flere trinn. Dette vil isolert sett ikke nødvendigvis ha stor betydning for overvann, men samlet effekt av fortetning og utbygging over tid i kombinasjon med klimaendringer kan derimot føre til betydelige skader (NOU 2015:16, 2015). Klok overvannshåndtering er god klimastrategi. Det å tilpasse seg et klima i endring dreier seg om å anerkjenne at endringen finner sted, akseptere konsekvensene det medfører og iverksette korrekte tiltak. Dette er viktig for å hindre skade, forebygge skade eller se ressursmuligheter forandringene kan gi (Miljøverndepartementet, 2013). I temaplanen for overvann stadfestes det at Øvre Eiker kommune følger tre-trinnstrategien i kampen mot overvann. Det er derimot skrevet mest om å lede vannet trygt til resipient, noe som er det tredje trinnet (Øvre Eiker kommune, 2020). Blågrønne tiltak som ville medført oppdekning av de to første er ikke nevnt før i vedlegget. Det spesifiseres allikevel at kommunen følger tre-trinnstrategien og at overvannet på denne måten skal behandles i høyest mulig grad lokalt.

Det å bruke alternative tilnærminger til overvannshåndtering kan avhenge av hvor sårbare kommunene oppfatter at de selv er (Groven, 2017). Øvre Eiker kommune fremstår genuint interessert i å få bukt med overvannsproblematikken som kommunen står ovenfor. Det brukes håpefulle ord i planbeskrivelser og vedtak, men allikevel blir gjennomslagskraften for svak. Ordene blir hengende i luften.

De totale konsekvensene av klimaendringene er avhengig av hvor omfattende endringene blir, men det er også opp til samfunnets evne, anledning og handlingskraft å ta i betraktning at endringene faktisk skjer. Det å aktivt tilpasse seg de fremtidige endringene kan være en god klimastrategi i seg selv (Miljøverndepartementet, 2013).

## 6 Konklusjon

I denne oppgaven utførte jeg GIS-analyser for å studere arealendringer, hydrologiske analyser for å se på dreneringslinjer og hydrologiske beregninger for å kalkulere avrenning ved tre ulike identifiserte kritiske punkter innenfor et overordnet nedbørsfelt på Harakollen i Hokksund. Denne oppgaven har en overordnet problemstilling og tre underordnede problemstillinger. Dette kapittelet vil svare på disse.

### 6.1 En vennlig påminnelse

Det er mye som er nevnt, men ingenting skal være glemt. Det kommer derfor en påminnelse om oppgavens problemstillinger her.

***Hvordan har arealbruksendringer påvirket avrenningen på Harakollen fra tiden før utbygging og hvordan kan blågrønn infrastruktur bli benyttet som klimatilpassningstiltak for å redusere området sårbarhet mot fremtidig overvann?***

*Hvordan er den naturlige hydrologiske tilstanden til Harakollen og gir overvannsystemet i området endringer i de naturlige dreneringslinjene?*

*Befinner det seg kritiske punkter i området og hvor mye vann kan forventes å samle seg i disse punktene ved en ekstrem nedbørsituasjon?*

*Hva slags blågrønne klimatilpassningsløsninger kan hjelpe Harakollen til å redusere sårbarheten mot overvann?*

Siden 1965 har delområdene på Harakollen undergått store arealbruksendringer. Denne endringen har påvirket avrenningen fra feltene i negativ grad. Det kommer større mengder vann fra de tre delområdene ved dagens situasjon enn det gjorde i tiden før utbygging. Ved å dekke opp disse tapte grønne arealene med blågrønne klimatilpassningstiltak kan området illudere vannets naturlige kretsløp.

På den måten behandler man overvannet lokalt og benytter seg av hele tre-trinnstrategien, noe som fører til at området blir bedre rustet mot fremtidige mengder overvann.

Kommunen sier selv at avrenningen ikke skal øke ved utbyggelse av naturområder. Den eksisterende overvannstrategien har ikke forhindret at dette har skjedd. Overvannsystemet klarer å samle inn noe overvann fra de naturlige dreneringslinjene og har følgelig hensikt der det er plassert. Situasjonene til de tre kritiske punktene endrer seg til å bestå av lavere alvorlighetsgrad når overvannsystemet ble tatt med i analysene. Det ene punktet reduseres fullstendig. Allikevel har avrenningen fra de tre delfeltene økt. Ved en ekstrem nedbørsituasjon kan det forventes å samle seg 0.59 m<sup>3</sup>/s ved *kritiskpunkt\_1*, 2.14 m<sup>3</sup>/s ved *kritiskpunkt\_2* og 1.67 m<sup>3</sup>/s ved *kritiskpunkt\_3*. Dette er en økning fra før området ble bygget og ved de samme kritiske punktene slik området fremsto i 1965, ble det påvist avrenning ved *kritiskpunkt\_1*, 0.35 m<sup>3</sup>/s, *kritiskpunkt\_2*, 1.77 m<sup>3</sup>/s og ved *kritiskpunkt\_3*, 0.53 m<sup>3</sup>/s.

Harakollen er allerede et godt utbygd område og vil derfor måtte tilpasse blågrønne tiltak etter dette. Friområder stadfestet i reguleringsplanen vil kunne benyttes til implementering uten at dette kommer i konflikt med hva som allerede er bestemt i plan. Alle de nevnte blågrønne tiltakene vil kunne la seg implementere på Harakollen, men det forutsetter at kommunen faktisk gjennomfører det. Mulighetene ligger der. Handlingskraften lar vente på seg.

## 7 Referanser

- Aksnes, Aurstad, Berntsen, Gryteselv, Johansen, Lindland, . . . Yideti. (2016). *Lærebok Vegteknologi* ( Nr.626). Retrieved from Statens Vegvesen:  
[https://www.vegvesen.no/\\_attachment/1431251/binary/1120246?fast\\_title=SVV+rapport+626+L%C3%A6rebok+Vegteknologi.pdf](https://www.vegvesen.no/_attachment/1431251/binary/1120246?fast_title=SVV+rapport+626+L%C3%A6rebok+Vegteknologi.pdf)
- Ballard, W., Wilson, Udale-Clarke, Illman, Scott, Ashley, & Kellagher. (2015). *The SuDS manual*.
- Barbosa, Fernandes, & David. (2012). Key issues for sustainable urban stormwater management. *Water Research*, 46(20), 6787-6798. doi:10.1016/j.watres.2012.05.029
- Besir, & Cuce. (2018). Green roofs and facades: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 915 - 939. doi:10.1016/j.rser.2017.09.106
- Bjørkelo, Bjørken, & Frydenlund. (2013). *Ar5 klassifikasjonssystem. Endring av arealtypen åpen fastmark og bebyggd*. Retrieved from <http://hdl.handle.net/11250/2452019>
- Braskerud. (2014). *Grønne tak og styrtregn - Effekten av ekstensive tak med sedumvegetasjon for redusert avrenning etter nedbør og snøsmelting i Oslo* (NVE rapport nr. 65/2014). Retrieved from <http://publikasjoner.nve.no>
- Braskerud, Paus, & Ekle. (2013). *Anlegging av regnbed - En billedekavalkade over 4 anlagte regnbed* (NVE rapport nr. 3/2013). Retrieved from [http://publikasjoner.nve.no/rapport/2013/rapport2013\\_03.pdf](http://publikasjoner.nve.no/rapport/2013/rapport2013_03.pdf)
- Bratlie. (2013). GIS finner flomveiene. *Vann*, 02, 272 - 277. Retrieved from [https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/2013\\_875979.pdf](https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/2013_875979.pdf)
- Bratlie. (2015). Beregning av flomveier med eksempler på bruk i kommunal forvaltning. *KART OG PLAN*, 75(1), 24-34.
- Byggteknisk forskrift. (2017). *Forskrift om tekniske krav til byggverk*. (FOR-2017-06-19-840). Retrieved from [https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2017-06-19-840#KAPITTEL\\_7](https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2017-06-19-840#KAPITTEL_7)
- Bøyum, Eidsmo, Undholm, Noreide, Semb, Skretteberg, & Markhus. (1997). *Anvendt urbanhydrologi* (0802-2569). Retrieved from [https://publikasjoner.nve.no/publikasjon/1997/publikasjon1997\\_10.pdf](https://publikasjoner.nve.no/publikasjon/1997/publikasjon1997_10.pdf)
- COWI. (2013). *På lag med regnet - Veileder for lokal overvannshåndtering*. Retrieved from [https://prosjekt.fylkesmannen.no/Documents/PlanOppland/Dokumenter/lysark/COWI\\_Veileder\\_overvann\\_27-sept-2013.pdf](https://prosjekt.fylkesmannen.no/Documents/PlanOppland/Dokumenter/lysark/COWI_Veileder_overvann_27-sept-2013.pdf)
- Dankmeyer. (2020). *Playable adaptivity - How to educate the designers of tomorrow for a resilient urban future*. (Masteroppgave - Department of architecture and civil engineering). Chalmers university of technology, Göteborg. Retrieved from <https://projects.arch.chalmers.se/jan-niklas-dankmeyer/10/>
- Endresen. (1997). *Betydningen av lokal/total overvannsdiskonering (LOD/TOD) på flommer* (Hydra rapport). Retrieved from publikasjoner.nve.no
- Endresen. (2009). Overflateinfiltrasjon. *VA-MILJØBLAD*, Blad nr. 92, 2009.
- eNotes editorial. (2015). What are the limitations of models? Retrieved from <https://www.enotes.com/homework-help/what-limitations-models-501294>.
- Fossan, Killingstad, & Strøm. (2020). *Blågrønne løsninger i Kongsberg kommune* (COWI rapport nr. A131530). Retrieved from <https://www.kongsberg.kommune.no>
- Førland, Mamen, Dyrrdal, Grinde, & Myrabø. (2015). *Dimensjonerende korttidsnedbør* (NVE rapport nr. 134-2015). Retrieved from [https://publikasjoner.nve.no/rapport/2015/rapport2015\\_134.pdf](https://publikasjoner.nve.no/rapport/2015/rapport2015_134.pdf)
- Groven. (2015). Handtering av overvatn i norske kommunar. *KART OG PLAN*, 75, 8-23.

- Groven. (2017). *Ein studie av lokal klimagovernance*. (Doktorgradsavhandling). NTNU - Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Trondheim.
- Hanslin, H. M., & Johannessen, B. G. (2019). *Grønne tak som LOD- og miljøtiltak* (Miljødirektoratet rapport nr. 4/172/2018). Retrieved from <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/M1153/M1153.pdf>
- Hanssen-Bauer, Førland, Haddeland, Hisdal, Mayer, Nesje, . . . Ådlandsvik. (2015). *Klima i Norge 2100* (2/2015). Retrieved from <https://cms.met.no/site/2/klimaservicesenteret/klima-i-norge-2100/attachment/10990?ts=159d5ffcfd>
- Hasala, D., Supak, S., & Rivers, L. (2020). Green infrastructure site selection in the Walnut Creek wetland community: A case study from southeast Raleigh, North Carolina. *Landscape and Urban Planning*, 196, 103743. doi:10.1016/j.landurbplan.2020.103743
- Jokstad, I. J. (2017). *Planbeskrivelse Harakollen B19* (Asplan Viak rapport 610076-01). Retrieved from [https://ovre-eiker.kommune.no/Documents/Bygg\\_og\\_eiendom/Detaljregulering%20Harakollen%20B19%20-%20Planbeskrivelse.pdf](https://ovre-eiker.kommune.no/Documents/Bygg_og_eiendom/Detaljregulering%20Harakollen%20B19%20-%20Planbeskrivelse.pdf)
- Lindholm, O., Endresen, S., Thorolfsson, S., Sægrov, S., Jakobsen, G., & Aaby, L. (2008). *Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering* (Norsk Vann rapport nr.162-2008). Retrieved from <https://norskvann.no/index.php/component/hikashop/produkt/801-a162-veiledning-i-klimatilpasset-overvannshandtering?Itemid=780>
- Magnussen, Wifstad, Seeberg, Stålhammar, Bakken, Banach, . . . Sandsbråten. (2017). *Naturbaserte løsninger for klimatilpassing* (Miljødirektoratet rapport nr. M-830/2017). Retrieved from <https://www.menon.no>
- Magnussen, Wingstedt, Rasmussen, & Reinvang. (2015). *Kostnader og nytte ved overvannstiltak* (Vista Analyse AS rapport nr. 2015/02). Retrieved from <https://www.vista-analyse.no>
- Magnussen, R. (2015). *Gjennomgang av avrenningsfaktor*. Retrieved from <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/M293/M293.pdf>
- Michigan State University. (2012). Understanding the water cycle is key to protecting Michigan's vast water resources. Retrieved from [https://www.canr.msu.edu/news/understanding\\_the\\_water\\_cycle\\_is\\_key\\_to\\_protecting\\_michigans\\_vast\\_water\\_res](https://www.canr.msu.edu/news/understanding_the_water_cycle_is_key_to_protecting_michigans_vast_water_res)
- Miljødirektoratet. (2020a). Legg treleddstrategien til grunn. Retrieved from <https://www.miljodirektoratet.no/myndigheter/vannforvaltning/overvannshandtering/legg-treleddstrategien-til-grunn/>
- Miljødirektoratet. (2020b). Overvann. Retrieved from <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/vann-hav-og-kyst/overvann/>
- Miljøverndepartementet. (2013). *Klimatilpassing i Norge*. (Meld.St.33 (2012-2013)). Retrieved from <https://www.regjeringen.no/>
- NEVINA. (n.d). NEVINA Nedbørfelt - Vannføring - INdeks - Analyse. Retrieved from <https://nevina.nve.no/>
- NGU. (2014, 08.05.2019). Setningsskader. Retrieved from <https://www.ngu.no/emne/setningsskader>
- NGU. (2018, 14.06.2020). Overvannshåndtering. Retrieved from <https://www.ngu.no/grunnvanninorge/arealforvaltning/klimatilpassing/overvannshandtering>
- NGU. (2021). Løsmasser - Nasjonal løsmassedatabase. Retrieved from [http://geo.ngu.no/kart/losmasse\\_mobil/](http://geo.ngu.no/kart/losmasse_mobil/)
- NIBIO. (2018). Presentasjonsregler AR5. Retrieved from <https://register.geonorge.no/register/versjoner/tegneregler/norsk-institutt-for-bioekonomi/fkb-ar5>



- NIBIO. (2019). *Ar5 Klassifikasjonssystem* (978-82-17-02325-8). Retrieved from <https://nibio.brage.unit.no/nibio-xmlui/handle/11250/2596511>
- Norsk klimaservicesenter. (2021). Klimaprofil Buskerud. Retrieved from [https://klimaservicesenter.no/kss/klimaprofiler/buskerud#2\\_overvann](https://klimaservicesenter.no/kss/klimaprofiler/buskerud#2_overvann)
- Norsk Klimaservicesenter. (n.d). Nedbørsintensitet. Retrieved from <https://klimaservicesenter.no/faces/desktop/idf.xhtml>
- NOU 2015:16. (2015). *Overvann i byer og tettsteder - Som problem og ressurs*. (2015:16). Retrieved from <https://www.regjeringen.no/>
- NVE. (2014). *Flaum- og skredfare i arealplanar* (Retningslinjer rapport nr. 2/2011). Retrieved from [http://publikasjoner.nve.no/retningslinjer/2011/retningslinjer2011\\_02.pdf](http://publikasjoner.nve.no/retningslinjer/2011/retningslinjer2011_02.pdf)
- NVE. (2015, 23.10.2020). Grunn- og markvann. Retrieved from <https://www.nve.no/hydrologi/grunn-og-markvann/?ref=mainmenu>
- NVE. (2016, 26.05.2021). Urbanhydrologi. Retrieved from <https://www.nve.no/hydrologi/malinger-og-malenett/urbanhydrologi/?ref=mainmenu>
- NVE. (2021). Flomsonekart. Retrieved from <https://temakart.nve.no/>
- NVE. (n.d). Hvordan finne dreneringslinjer med GIS. Retrieved from <https://nve.maps.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=fc707330a0e044c8ac38b1727b4e4eef0>
- Pauleit, Fryd, Backhaus, & Jensen. (2020). Green infrastructures to face climate change in an urbanizing world. In R. A. Meyers (Ed.), *Encyclopedia of sustainability science and technology* (pp. 1-29). New York, NY: Springer New York.
- Paus. (2018). Forslag til dimensjonerende verdier for trinn 1 i Norsk Vann sin tre-trinns strategi for håndtering av overvann *Vann(01)*, 66-77. Retrieved from <https://vannforeningen.no>
- Paus. (2020). Forslag til formelverk og sjablongverdier for å anslå areal til naturbaserte overvannstiltak. *Vann(03)*, 223 - 234 Retrieved from <https://vannforeningen.no>
- Paus, & Braskerud. (2013). Forslag til dimensjonering og utforming av regnbed for norske forhold. *Vann(01)*, 54 - 67. Retrieved from <https://vannforeningen.no>
- Paus, Åstebøl, Robba, Clavier, & Stange. (2016). Vegetasjonsbruk ved åpen overvannshåndtering. Retrieved from <https://www.nve.no>
- Plan- og bygningsloven. (2008). *Lov om planlegging og byggesaksbehandling*. (LOV-2008-06-27-71). Retrieved from <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2008-06-27-71>
- Poulopoulos, S., & Inglezakis, V. (2016). *Environment and development - Basic principles, human activities and environmental implications*. Amsterdam: Elsevier.
- Regjeringen. (2020). *Regjeringen foreslår blågrønne løsninger for overvann*. Retrieved from <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/regjeringen-foreslar-blagronne-losninger-for-overvann/id2691966/>
- Roald, L. A. (2021). *Floods in Norway* (NVE Rapport nr. 1/2021). Retrieved from [https://publikasjoner.nve.no/rapport/2021/rapport2021\\_01.pdf](https://publikasjoner.nve.no/rapport/2021/rapport2021_01.pdf)
- Rune Folkedal for Drammens Tidende. (2015). Bildeserie: Frida herjet i 2012. *Drammens Tidende*. Retrieved from <https://www.dt.no/bildeserier/bildeserie-frida-herjet-i-2012/g/5-57-170884>
- Rød, J. K. (2017). *Innføring i GIS og statistikk* (2. ed.): Fagbokforlaget.
- Røstum, J., Bruaset, S., Sekse, T., Bjørnsen, B., Uribe, C., & Markhus, E. (2014). *Åpne flomveier i bebygde områder* (Norsk Vann rapport nr. 204 - 2014). Retrieved from <https://www.norskvann.no>
- Safikhani, T., Abdullah, A. M., Ossen, D. R., & Baharvand, M. (2014). A review of energy characteristic of vertical greenery systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 40, 450 - 462. doi:10.1016/j.rser.2014.07.166

- Sposób. (2011). Water balance in terrestrial ecosystems. *Encyclopedia of earth sciences series*, 955 - 959. doi:10.1007/978-90-481-3585-1\_267
- SSB. (2021). Arealbruk og arealressurser. Retrieved from <https://www.ssb.no/kommunefakta/ovre-eiker>
- Statistisk Sentralbyrå. (2020). Tettsteders befolkning og areal. Retrieved from <https://www.ssb.no/befteft>
- Steen, J., Ibenholt, K., Aulie, C., Evjenth, A., & Nordmelan, R. (2018). *Styrket overvannshåndtering i plan- og bygningsloven* (Samfunnsøkonomisk analyse AS rapport nr. 29-2018). Retrieved from <https://www.regjeringen.no/contentassets/1012f83d714443eca6187d07f41197dd/rapport-29-2018-styrking-av-overvannshandtering-i-pbl.pdf>
- Stenius, S., Glad, P. A., Wang, T. K., & Væringstad, T. (2015). *Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt* (NVE rapport 7/2015). Retrieved from [https://publikasjoner.nve.no/veileder/2015/veileder2015\\_07.pdf](https://publikasjoner.nve.no/veileder/2015/veileder2015_07.pdf)
- Sælthun, N. R., & Barton, D. N. (2021). *REO: estimering av overflateavrenning fra urbane felt* (NINA rapport nr. 1851b). Retrieved from <https://brage.nina.no/nina-xmlui/bitstream/handle/11250/2723217/ninarapport1851b.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- The open source geospatial foundation. (2021). GRASS GIS. Retrieved from <https://www.osgeo.org/projects/grass-gis/>
- UIO. (2011, 27.03.2021). Transpirasjon. Retrieved from <https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/t/transpirasjon.html>
- Waring, & Running. (2007). Water cycle. *Forest Ecosystems*, 19 - 57. doi:10.1016/b978-012370605-8.50007-4
- Wohl, E., Mersel, M., Allen, A., Fritz, K., Kicheski, S., Lichvar, R., . . . Vanderbilt, F. (2016). *Synthesizing the scientific foundation for ordinary high water mark delineation in fluvial systems* (ERDC/CRREL SR-16-5). Retrieved from [https://www.researchgate.net/figure/Illustration-of-linear-and-equant-basin-shapes-and-idealized-drawings-of-the-associated\\_fig13\\_312577782](https://www.researchgate.net/figure/Illustration-of-linear-and-equant-basin-shapes-and-idealized-drawings-of-the-associated_fig13_312577782)
- Ødegård, I. M., Clewing, C. S., & Thoren, K. H. (2013). Urban overflatevannhåndtering. Erfaringer fra Institutt for landskapsplanlegging. *KART OG PLAN*(5). Retrieved from <http://kartogplan.no/Artikler/KP5-2013/Urban%20overflatevannhandtering.pdf>
- Øvre Eiker kommune. (2006). *Reguleringsplan for Harakollen*. Retrieved from [http://webhotel3.gisline.no/GisLinePlanarkiv/3048/0601/Dokumenter/Reguleringsbestemmelse\\_r.pdf](http://webhotel3.gisline.no/GisLinePlanarkiv/3048/0601/Dokumenter/Reguleringsbestemmelse_r.pdf)
- Øvre Eiker kommune. (2015). *Kommuneplan 2015 - 2027*. Retrieved from [https://ovre-eiker.kommune.no/Documents/Bygg\\_og\\_eiendom/Kommuneplan\\_07.04.pdf](https://ovre-eiker.kommune.no/Documents/Bygg_og_eiendom/Kommuneplan_07.04.pdf)
- Øvre Eiker kommune. (2016). *Normal for vei- og gateutforming*. Retrieved from <https://ovre-eiker.kommune.no/vei-park/bygging-aktivitet-langs-vei/Documents/Normal%20for%20veg-%20og%20gateutforming.pdf>
- Øvre Eiker kommune. (2020). *Temaplan for overvann*. Retrieved from [https://ovre-eiker.kommune.no/bygg-eiendom/reguleringsplan/Documents/Overvann%20-%20innspill%20til%20kommuneplanen%202020\\_1217.pdf](https://ovre-eiker.kommune.no/bygg-eiendom/reguleringsplan/Documents/Overvann%20-%20innspill%20til%20kommuneplanen%202020_1217.pdf)
- Øvre Eiker kommune. (2021). Kommunekart. Retrieved from <https://kommunekart.com/klient/ovreeiker/>
- Øvre Eiker kommune. (n.d). Planregister. Retrieved from [http://webhotel3.gisline.no/webplan\\_3048/](http://webhotel3.gisline.no/webplan_3048/)

## 8 Vedlegg

### Vedlegg 1 – Nedbørsfeltparametere

De ulike nedbørsfeltparametere for det overordnede nedbørsfeltet er samlet i Tabell 11.

Tabell 11- Variabler funnet ved bruk av statistikk-verktøy i Grass GIS.

Variabel	Forklaring	Resultat
$L$	Lengden på nedbørsfeltet	3548 m
$H$	Høydeforskjellen til nedbørsfeltet	430.31 m
$A$	Arealet på nedbørsfeltet	328 ha

Tjernene i område har et samlet areal på 18.023 ha noe som er 5.49% av det totale arealet på 328.20 ha

Tabell 12.

Tabell 12 – Området inneholder tre tjern som til sammen har et samlet areal på 18.023 ha.

Innsjø	Areal
Tjern 1, Lauvtjern	16.134 ha
Tjern 2, Kruktjern	1.32 ha
Tjern 3, Åleputten	0.56 ha
Totalt	18.023 ha

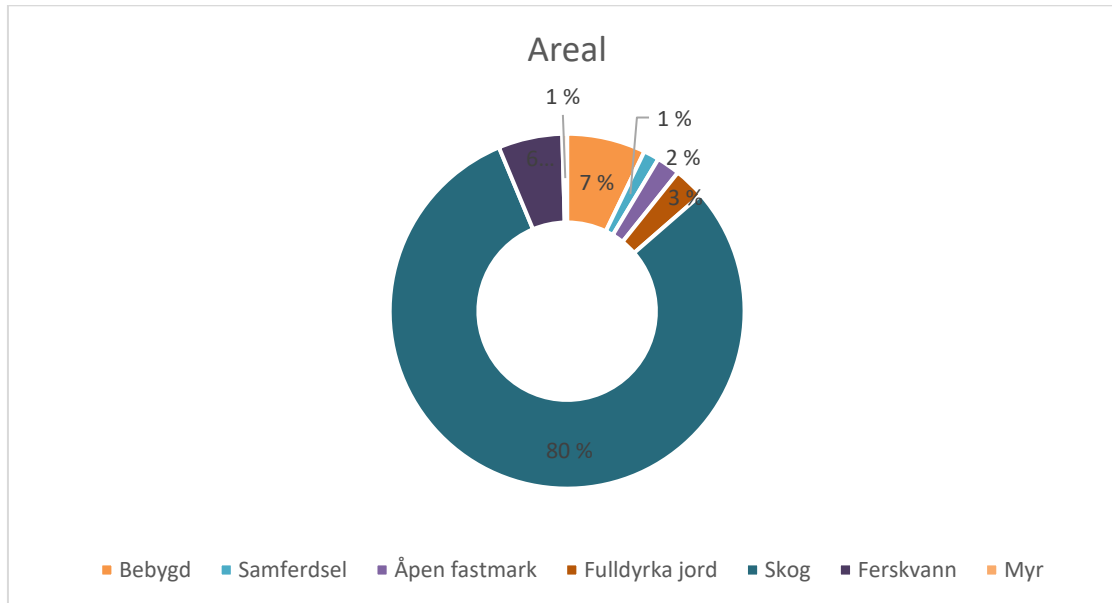
Oversikt over variabler generert i Grass GIS er vist i Tabell 13.

Tabell 13 – Oversikt over variabler generert i Grass GIS brukt for å beregne konsentrasjonstiden på de identifiserte kritiske punktenes nedbørsfelt.

Område	Areal, $A$	Lengde, $L$	Andel innsjø, $A_{se}$	Høydeforskjell, $H$	Konsentrasjonstid, $t_c$	Dimensjonerende nedbørintensitet, $i$
Nedbørsfelt_1	3.18 ha	233.8 m	0 %	39.9 m	22.2 minutter	179.78 l/s ha
Nedbørsfelt_2	19.64 ha	940.1 m	0 %	174.3 m	42.72 minutter	97.11 l/s ha
Nedbørsfelt_3	3.12 ha	341.8 m	-	94.6 m	2.78 minutter	414.37 l/s ha

## Arealklasser

Arealklasser innenfor nedbørsfeltet til Harakollen er vist i Figur 37. Disse ble generert i Q-GIS.



Figur 37 – De ulike arealklassene som det overordnede nedbørsfeltet består av.

## Areatype

For å frå frem de ulike arealtypeene er det benyttet farger og spørring som vist i Figure 38.

### AREALTYPE (Egenskap: ARTYPE)

Klassenavn	RGB-verdier	Symbol	Spørring
Fulldyrka jord	255 - 209 - 110		"ARTYPE" = 21
Overflatedyrka jord	255 - 255 - 76		"ARTYPE" = 22
Innmarksbeite	255 - 255 - 173		"ARTYPE" = 23
Skog	158 - 204 - 115		"ARTYPE" = 30
Myr	115 - 223 - 255	Horisontal-striper	"ARTYPE" = 60
Åpen fastmark	217 - 217 - 217		"ARTYPE" = 50
Ferskvann	145 - 231 - 255		"ARTYPE" = 81
Hav	204 - 254 - 254		"ARTYPE" = 82
Bre	230 - 255 - 255		"ARTYPE" = 70
Bebyggd	252 - 219 - 214		"ARTYPE" = 11
Samferdsel	179 - 120 - 76		"ARTYPE" = 12

Figure 38 - Farger og spørring brukt i genereringen av arealtypeene i prosjektet er hentet fra (NIBIO, 2018).

## Vedlegg 2 - Beregninger

### Konsentrasjonstid

*Nedbørsfelt\_1* og *nedbørsfelt\_2* er utregnet basert på formel for naturlig/ubebygd felt. *nedbørsfelt\_3* er utregnet basert på formel for urban/bebygd felt. Det blir som følger:

#### Kritiskpunkt\_1

$$t_c = 0.6 \cdot 233.8m \cdot 39.9m^{-0.5} + 3000 \cdot 0\% = \underline{\underline{22.2 \text{ minutter}}}$$

#### Kritiskpunkt\_2

$$t_c = 0.6 \cdot 940.1m \cdot 174.3m^{-0.5} + 3000 \cdot 0\% = \underline{\underline{42.72 \text{ minutter}}}$$

#### Kritiskpunkt\_3

$$t_c = 0.02 \cdot 341.8m^{1.15} \cdot 94.56m^{-0.39} = \underline{\underline{2.78 \text{ minutter}}}$$

### Dimensjonerende nedbørintensitet

Den dimensjonerende nedbørintensiteten er funnet ved bruk av en lineær tilnærming. Tallene fra Figur 22 er benyttet i utregningene. Med en returperiode på 200 år blir det som følger:

#### Kritiskpunkt\_1

$$\left. \begin{array}{l} 20 = 192.7 \\ 30 = 134.0 \\ 22.2 = x \end{array} \right\} \begin{array}{l} 192.7 - 134.0 = 58.7 \\ 58.7/10 = 5.87 \\ 192.7 - (5.87 \cdot 2.2) = \underline{\underline{179.78 \text{ l/s} \cdot \text{ha}}} \end{array}$$

#### Kritiskpunkt\_2

$$\left. \begin{array}{l} 30 = 134 \\ 45 = 90.4 \\ 42.72 = x \end{array} \right\} \begin{array}{l} 134 - 90.4 = 43.6 \\ 43.6/15 = 2.9 \\ 134 - (2.9 \cdot 12.72) = \underline{\underline{97.11 \text{ l/s} \cdot \text{ha}}} \end{array}$$

#### Kritiskpunkt\_3

$$\left. \begin{array}{l} 2 = 440.5 \\ 3 = 407.0 \\ 2.78 = x \end{array} \right\} \begin{array}{l} 440.5 - 407.0 = 33.5 \\ 0.78 \cdot 33.5 = 26.13 \\ 440.5 - 26.13 = \underline{\underline{414.37 \text{ l/s} \cdot \text{ha}}} \end{array}$$

Beregninger ved bruk av den rasjonelle formel

Nedbørsfelt\_1

Beregninger med klimapåslag:

$$Q = 0.69 \cdot 179.78 \text{ l/s ha} \cdot 3.18 \text{ ha} \cdot 1.5 = \underline{\underline{591.71 \text{ l/s}}}$$

$$Q = 0.41 \cdot 179.78 \text{ l/s ha} \cdot 3.18 \text{ ha} \cdot 1.5 = \underline{\underline{351.59 \text{ l/s}}}$$

Beregninger kun basert på arealendringer:

$$Q = 0.53 \cdot 179.78 \text{ l/s ha} \cdot 3.18 \text{ ha} = \underline{\underline{303 \text{ l/s}}}$$

$$Q = 0.32 \cdot 179.78 \text{ l/s ha} \cdot 3.18 \text{ ha} = \underline{\underline{182.94 \text{ l/s}}}$$

Nedbørsfelt\_2

Beregninger med klimapåslag:

$$Q = 0.75 \cdot 97.11 \text{ l/s ha} \cdot 19.64 \text{ ha} \cdot 1.5 = \underline{\underline{2141.27 \text{ l/s}}}$$

$$Q = 0.62 \cdot 97.11 \text{ l/s ha} \cdot 19.64 \text{ ha} \cdot 1.5 = \underline{\underline{1770.12 \text{ l/s}}}$$

Beregninger kun basert på arealendringer:

$$Q = 0.58 \cdot 97.11 \text{ l/s ha} \cdot 19.64 \text{ ha} = \underline{\underline{1106.19 \text{ l/s}}}$$

$$Q = 0.48 \cdot 97.11 \text{ l/s ha} \cdot 19.64 \text{ ha} = \underline{\underline{915.47 \text{ l/s}}}$$

Nedbørsfelt\_3

Beregninger med klimapåslag:

$$Q = 0.87 \cdot 414.37 \text{ l/s ha} \cdot 3.12 \text{ ha} \cdot 1.5 = \underline{\underline{1667.33 \text{ l/s}}}$$

$$Q = 0.62 \cdot 186.36 \text{ l/s ha} \cdot 3.12 \text{ ha} \cdot 1.5 = \underline{\underline{537.27 \text{ l/s}}}$$

Beregninger kun basert på arealendringer:

$$Q = 0.67 \cdot 414.37 \text{ l/s ha} \cdot 3.12 \text{ ha} = \underline{\underline{866.19 \text{ l/s}}}$$

$$Q = 0.48 \cdot 186.36 \text{ l/s ha} \cdot 3.12 \text{ ha} = \underline{\underline{279.09 \text{ l/s}}}$$