

Martine Thune

# GIS-analyse av dreneringslinjer i Lillestrøm kommune

Bacheloroppgave i Geomatikk  
Veileder: Rune Strand Ødegård  
Mai 2021



Martine Thune

# **GIS-analyse av dreneringslinjer i Lillestrøm kommune**

Bacheloroppgave i Geomatikk  
Veileder: Rune Strand Ødegård  
Mai 2021

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Fakultet for ingeniørvitenskap  
Institutt for vareproduksjon og byggingsteknikk



Kunnskap for en bedre verden



# GIS-analyse av dreneringslinjer i Lillestrøm kommune

Martine Thune

Gradering: Åpen

Bachelor i Geomatikk  
Innlevert: Mai 2021  
Veileder: Rune Strand Ødegård

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Institutt for vareproduksjon og byggingsteknikk



Oppgavens tittel:  GIS-analyse av dreneringslinjer i Lillestrøm kommune.	Dato: 20.05.2021		
	Antall sider: 77		
	Masteroppgave:	Bacheloroppgave	x
Navn: Martine Thune			
Veileder: Rune Strand Ødegård			
Eksterne faglige kontakter/veiledere:  Alexander Mæland – Lillestrøm kommune Asgeir Hagen – Lillestrøm kommune Morten Eirik Eines – Lillestrøm kommune Øyvind Daaland Lesjø – Lillestrøm kommune			

Klimaendringer vil i fremtiden gi kommunene større utfordringer når det gjelder fysisk klimarisiko. Kraftigere og hyppigere nedbør er mest kritisk for urbane strøk hvor tette flater fører til høyere grad av avrenning. I forbindelse med rullering av Lillestrøm kommunes kommuneplan er overvannshåndtering blant det som har fått et større fokus. Når kapasiteten til overvannssystemene er oversteget er det et behov for å vite hvor vannet tar veien. Identifisering av dreneringslinjer og mulige risikoområder er derfor et naturlig første steg for å lettere kunne planlegge for trygge flomveier og forebygge vannskader.

Metoden for beregning av dreneringslinjer er i utgangspunktet en ren terrenganalyse som indikerer hvor overvann vil dreneres basert på terrengets form og helning, under de forutsetninger av at vannmengdene ikke infiltreres i grunnen og at avløpsnett og/eller fordrøyningsløsninger er utilgjengelige. Grunnlaget for analysen er en ferdig generert terrengmodell med 1 meters oppløsning som tillegges ekstra informasjon i form av FKB-data. Oppgaven vil belyse om grunnlagsdataene har tilstrekkelig nøyaktighet og kvalitet for denne type av analyse, og hvorvidt resultatet kan brukes i kommunal forvaltning.

Analysens resultat er dreneringslinjer og lavpunktsoner som kan brukes inn mot overordnet planlegging der hensikten er å få en oversikt over dreneringssituasjonen i området, samt indikasjoner på hvor det kan samles vann under kraftig nedbør. Det er også identifisert mulige risikoområder ved å se dreneringslinjene i sammenheng med kvikkleiredata, beliggenhet og nærhet til kritisk infrastruktur, samt terrenghelning. Resultatet kan brukes som grunnlag for aktsomhetskart for flomveier og danne beslutningsgrunnlag for eventuelle hensynssoner, videre analyser og beredskapstiltak.

Stikkord:

Dreneringslinjer
Terrengmodell
Nedbør
Aktsomhetskart

*Martine Thune*

Martine Thune



# Abstract

In the future climate change will give the municipalities greater challenges when it comes to physical climate risk. Heavier and more frequent rainfall is most critical for urban areas where dense surfaces lead to a higher degree of runoff. In Lillestrøm municipality's new municipal plan, surface water management has had increased focus. When the capacity of the surface water systems is exceeded there is a need to know where the water will drain. Identification of drainage lines and possible areas with increased risk of water damage is therefore a natural first step in order to be able to more easily plan for safe flood routes and prevent water damage.

The method for calculating drainage lines is a pure terrain analysis that indicates where surface water will drain based on the shape and slope of the terrain, provided that the water volumes are not drained into the ground and that drainage networks and/or diversion solutions are unavailable. The basis for the analysis is a terrain model with a resolution of 1 meter that is supplemented with additional information in the form of FKB-data. The thesis will shed light on whether the basic data has sufficient accuracy and quality for this type of analysis, and whether the result can be used in municipal administration.

The results of the analysis are drainage lines and low-point areas that can be used against overall planning where the purpose is to get an overview of the drainage situation in the area, as well as indications of where water can gather during heavy rainfall. Possible risk areas have also been identified by looking at the drainage lines in connection with quick clay data, location and proximity to critical infrastructure, as well as terrain slope. The result can be used as a basis for caution maps for flood roads and form the basis for decisions for any consideration zones, further analyzes and emergency preparedness measures.

# Forord

Denne bacheloroppgaven er skrevet i samarbeid med Lillestrøm kommune som en del av kommunens arbeid med klimatilpasning og overvannshåndtering. Jeg vil takke Alexander Mæland, Asgeir Hagen, Morten Eines og Øyvind Lesjø fra Lillestrøm kommune for et svært godt samarbeid. Jeg har satt stor pris på alle tilbakemeldinger, tips, råd og gode diskusjoner gjennom hele perioden.

Jeg ønsker også rette en stor takk til min veileder, Rune Strand Ødegård, som har vært støttende og bidratt med gode råd underveis i prosessen.

Sist men ikke minst vil jeg takke venner, samboer og familie som har bidratt med gode tilbakemeldinger, korrekturlesning og støtte gjennom studieperioden.

Lillestrøm, 20. mai 2021

Martine Thune

# Innholdsfortegnelse

<b>Abstract</b> .....	v
<b>Forord</b> .....	vi
<b>Innholdsfortegnelse</b> .....	vii
<b>Figurliste</b> .....	x
<b>Tabelliste</b> .....	xiii
<b>Forkortelser og ordforklaringer</b> .....	xiv
<b>1 Introduksjon</b> .....	1
1.1 Oppgavens bakgrunn .....	1
1.1.1 Områdebeskrivelse .....	1
1.1.2 Fysisk klimarisiko og klima mot 2100.....	2
1.2 Problemstilling.....	3
<b>2 Teori</b> .....	4
2.1 Felles kartdatabase (FKB) .....	4
2.2 Digital terrengmodell.....	5
2.3 Hydrologi.....	7
2.3.1 Nedbørfelt.....	7
2.3.2 Overvann og dreneringslinjer.....	7
2.3.3 Rasjonelle formel .....	8
2.3.4 Aktsomhetskart for flomveier .....	10
2.4 Geologi og topografi.....	10
2.4.1 Helning .....	10
2.4.2 Løsmasser og kvikkleire.....	10
2.4.3 Skred.....	11
<b>3 Metode</b> .....	13
3.1 Modifisering av DTM.....	13
3.2 Beregne dreneringslinjer.....	14
3.2.1 Fill og Sink .....	14
3.2.2 Flow Direction.....	14
3.2.3 Flow Accumulation .....	15
3.3 Identifisere terrengets helning .....	16

<b>4</b>	<b>Analyse</b> .....	17
4.1	Data.....	17
4.1.1	Analyseområdet.....	17
4.1.2	DTM 1 .....	19
4.1.3	FKB-data .....	19
4.2	Beregne flomveier .....	20
4.2.1	Fylle sinks .....	20
4.2.2	Identifisere dreneringsretning og antall akkumulerte celler.....	21
4.2.3	Identifisere lavpunkt.....	22
4.2.4	Helningsanalyse .....	22
4.3	Identifisere risikoområder.....	22
4.4	Beregne dimensjonerende vannføring .....	23
4.4.1	Snap utløpspunkter.....	23
4.4.2	Nedbørfelt.....	24
4.4.3	Midlere avrenningsfaktor .....	24
4.4.4	Konsentrasjonstid .....	25
<b>5</b>	<b>Resultat</b> .....	27
5.1	Dreneringslinjer .....	27
5.2	Mulige risikoområder og genererte nedbørfelt .....	29
5.3	Avrenningsfaktor .....	42
5.4	Konsentrasjonstid .....	43
5.5	Nedbørintensitet.....	44
5.6	Dimensjonerende vannføring .....	45
<b>6</b>	<b>Diskusjon</b> .....	46
6.1	DTM 1 og modifisering ved bruk av FKB-data. ....	46
6.2	Dreneringslinjer .....	50
6.2.1	Dreneringsalgoritmen D8.....	50
6.2.2	Vurdering av dreneringslinjer og risikoområder .....	51
6.2.3	Øke kvaliteten på FKB-vann.....	53
6.3	Aktsomhetskart for flomveier.....	54
6.4	Hydrologiske analyser .....	55
6.4.1	Avgrensning av nedbørfelt .....	55
6.4.2	Bruk av den rasjonelle formel .....	57

<b>7 Konklusjon og anbefalinger .....</b>	<b>58</b>
<b>Litteraturliste.....</b>	<b>60</b>

# Figurliste

Figur 1: Sammenhengen mellom arealutnyttelse og FKB-standard. (Kartverket, 2020).....	4
Figur 2: Treleddsstrategi for håndtering av overvann. (Lørenskog, Rælingen og Tidl. Skedsmo kommune, 2017).....	7
Figur 3: Avrenningsfaktorer (C) ved ulike overflatetyper og nedbørintensiteter (I). (COWI, 2015).....	8
Figur 4: IVF-kurve som angir nedbørintensitet i $l/(s*ha)$ for ulike varigheter og gjentakintervaller. (Norsk klimaservicesenter, u.d.).....	9
Figur 5: Skråning med eroderende bekk kan forårsake initialskred som igjen kan utvikles til retrogressivt skred. (NVE, 2019) .....	12
Figur 6: Angir hvordan en sink kan se ut i terrenget og hvordan verktøyet Fill fyller igjen forsenkningen. (Esri, 2020c) .....	14
Figur 7: Illustrasjon av D8-algoritmen der ulike celler får en av åtte mulige dreneringsverdier basert på hvilken av nabocellene som ligger lavest i terrenget. (Esri, 2020a) .....	15
Figur 8: Flow Accumulation summerer opp antall celler som drenerer til hver enkelt celle i rastermodellen. (Esri, 2020b) .....	16
Figur 9: Analyseområde basert på nedbørfelt fra NVE og RegineEnhet. Bakgrunnskart: Cachetjeneste fra Kartverket hentet fra Geonorge.no. ....	18
Figur 10: Modelbuilder som illustrerer arbeidsflyten i ArcGIS Pro ved modifisering av terrenngmodellen.....	19
Figur 11: Illustrasjon av prosesserende celle med udefinert dreneringsretning i sort.....	20
Figur 12: Arbeidsflyten for å fylle forsengkninger, identifisere dreneringsretning og summere antall akkumulerte celler. ....	21
Figur 13: Inndeling av klasser for bedre visualisering av dreneringslinjene. ....	21
Figur 14: Fokusområder for identifisering av risikoområder: Sørumsand, Fetsund, Lillestrøm sentrum, Strømmen, Kjeller og Skedsmokorset. Bakgrunnskart: Cachetjeneste fra Kartverket hentet fra Geonorge.no. ....	23
Figur 15: Modell for snapping av utløpspunkter og generering av nedbørfelt. ....	24
Figur 16: Modell for å finne høyeste punkt innenfor hvert nedbørfelt. ....	25
Figur 17: Dreneringslinjer for akkumulert areal større enn $500\ 000\ m^2$ . Bakgrunnskart: Cachetjeneste fra Kartverket hentet fra Geonorge.no. ....	27
Figur 18: Oversiktskart av Sørumsand med dreneringslinjer av ulik størrelse. Bakgrunnskart: Cachetjeneste fra Kartverket hentet fra Geonorge.no. FKB-data fra Geonorge.no. ....	28
Figur 19: Oversiktskart av Lillestrøm by med dreneringslinjer av ulik størrelse. Bakgrunnskart: Cachetjeneste fra Kartverket hentet fra Geonorge.no. FKB-data fra Geonorge.no. ....	29
Figur 20: Kartutsnitt fra et boligfelt på Sørumsand. Suluveien ligger i et lavpunkt og under veien er det en mulig kritisk bekkelukking. Bakgrunnskart: Cachetjeneste fra Kartverket hentet fra Geonorge.no. FKB-data fra Geonorge.no. ....	30

Figur 21: Genererte nedbørfelt for risikoområde 1 og 2 på Sørumsand. Nedbørfelt i rødt – 0,72 km <sup>2</sup> og nedbørfelt i gult – 0,97 km <sup>2</sup> . Bakgrunnskart: Cachetjeneste fra Kartverket hentet fra Geonorge.no.....	31
Figur 22: Lavpunktsonråde ved Sørumsand stasjon nedstrøms flere store nedbørfelt. Bakgrunnskart: Cachetjeneste fra Kartverket hentet fra Geonorge.no. FKB-data fra Geonorge.no. ....	32
Figur 23: Mulig risikoområde langs toglinja i Fetsund. Bakgrunnskart: Cachetjeneste fra Kartverket hentet fra Geonorge.no. FKB-data fra Geonorge.no.....	33
Figur 24: Toglinjen ligger nedstrøms et stort nedbørfelt med areal 0,7 km <sup>2</sup> . Bakgrunnskart: Cachetjeneste fra Kartverket hentet fra Geonorge.no. ....	34
Figur 25: Dreneringslinjer i bydelen Volla i Lillestrøm sentrum. Bakgrunnskart: Cachetjeneste fra Kartverket hentet fra Geonorge.no. FKB-data fra Geonorge.no. ....	35
Figur 26: Nedbørfeltet på 0,07 km <sup>2</sup> som drenerer til blant annet Bjørnsons gate 57 i Lillestrøm sentrum. Bakgrunnskart: Cachetjeneste fra Kartverket hentet fra Geonorge.no.....	35
Figur 27: Mulig kritisk kulvert/bekkelukking på Strømmen. Kraftige vannmasser kan erodere i skråningen som grenser til kvikkleiresonen. Bakgrunnskart: Cachetjeneste fra Kartverket hentet fra Geonorge.no. FKB-data fra Geonorge.no. ....	36
Figur 28: Nedbørfelt på 1,20 km <sup>2</sup> drenerer til utløpspunkt ved Statsråd Ihlens vei/Rettenveien. Bakgrunnskart: Cachetjeneste fra Kartverket hentet fra Geonorge.no. ....	37
Figur 29: Lavpunktsonråde mellom Jogstadveien og Tuterudkroken på Kjeller. Kvikkleiresone med middels faregrad vest for lavpunkt med bekk. Bakgrunnskart: Cachetjeneste fra Kartverket hentet fra Geonorge.no. FKB-data fra Geonorge.no. ....	38
Figur 30: Nedbørfelt med areal 0,87 km <sup>2</sup> drenerer til utløpspunktet i lavpunktet. Bakgrunnskart: Cachetjeneste fra Kartverket hentet fra Geonorge.no. ....	39
Figur 31: Lavpunktsonråde i boligfelt på Skedsmokorset. Bakgrunnskart: Cachetjeneste fra Kartverket hentet fra Geonorge.no. FKB-data fra Geonorge.no.....	40
Figur 32: Nedbørfelt med areal på 0,28 km <sup>2</sup> drenerer til boligområdet ved Stubben/Skogfaret. Bakgrunnskart: Cachetjeneste fra Kartverket hentet fra Geonorge.no. ....	41
Figur 33: IVF-tabell hentet fra klimaservicesenter.no .....	44
Figur 34: Registrert punktetthet per kvadratmeter fra de ulike kartleggingsprosjektene. Fetsund og omegn har lavere punktetthet enn de andre tettstedene i kommunen. (Kartverket, u.d.).....	47
Figur 35: Utklipp fra modell i ArcGIS Pro. Beregnede dreneringslinjer følger veien i områder med oppbygd fortau. ....	48
Figur 36: Utklipp fra modell i ArcGIS Pro. I dette området hvor veien er oppbygd følger dreneringslinjen grøften mellom fortau og vei.....	48
Figur 37: Bru fra FKB-BygnAnlegg i gult. Under bruene er det en undergang for fotgjengere. ....	49
Figur 38: Terrengmodellen etter at bruene er senket. Det gjenstår en liten flik som ikke er blitt senket og som vil fungere som demning for vannet i modellen.....	49
Figur 39: Mulig feil i grunnlagsdataene har ført til at dreneringslinjen får en annen trasé enn bekken. ....	50

Figur 40: Fra ortofoto kan man se dreneringsspor på jorder. Bakgrunnskart: Cachetjeneste fra Kartverket hentet fra Geonorge.no.....	52
Figur 41: Samsvar mellom dreneringsspor på jordet og beregnede dreneringslinjer fra modell. Bakgrunnskart: Cachetjeneste fra Kartverket hentet fra Geonorge.no. ....	52
Figur 42: Ufullstendig FKB-vann. ....	54
Figur 43: Tett skog har resultert i ufullstendig datafangst. Dreneringslinjer kan bidra til bedre fullstendighet i FKB-vann. ....	54
Figur 44: Nedbørfelt generert fra ArcGIS.....	56
Figur 45: Nedbørfelt generert fra NEVINA. (NVE, u.d.) .....	56



# Tabelliste

Tabell 1: Krav til stedfestingsnøyaktighet for ulike klasser i FKB-standardene. (Kartverket, 2020).....	5
Tabell 2: Krav til punkttetthet og nøyaktighet til FKB-laser delspesifikasjoner. (Kartverket, 2019).....	6
Tabell 3: Datagrunnlaget for analysen. ....	17
Tabell 4: Høydeforskjellen mellom høyeste og laveste punkt innenfor hvert risikoområde. ..	26
Tabell 5: Summering av totale areal av hver arealtype basert på FKB-data innenfor hvert nedbørfelt. ....	42
Tabell 6: Utregning av midlere avrenningsfaktor for hvert nedbørfelt. ....	43
Tabell 7: Beregnet konsentrasjonstid ved bruk av formel 3.....	43
Tabell 8: Dimensjonerende vannføring beregnet ved bruk av Rasjonelle formel (formel 1). .	45

# Forkortelser og ordforklaringer

<b>DOK</b>	<b>Det offentlige kartgrunnlag</b>
<b>DTM</b>	Digital terrengmodell
<b>FKB</b>	Felles kartdatabase
<b>IVF</b>	Intensitet – Varighet – Frekvens
<b>MFD</b>	Multiple flow direction
<b>MG</b>	Marin grense
<b>NDH</b>	Nasjonal detaljert høydemodell
<b>NGU</b>	Norges geologiske undersøkelse
<b>NVE</b>	Norges vassdrags- og energidirektorat
<b>ROS</b>	Risiko- og sårbarhetsanalyse
<b>VA</b>	Vann og avløp

# 1 Introduksjon

## 1.1 Oppgavens bakgrunn

Klimaendringer vil gi større utfordringer for kommunene når det gjelder vannmengder og sikring av utsatte områder. Endringene vil blant annet føre til hyppigere og mer ekstrem nedbør, og det er denne korttidsnedbøren som er mest kritisk for urbane strøk og mindre vassdrag. (Norsk klimaservicesenter, 2017). Arbeidet med kommuneplanens arealdel er i gang og ved rullering av kommuneplan skal det utføres nye kartlegginger og utarbeides flere temakart. Lillestrøm kommune består av både flom- og skredutsatte områder og overvannshåndtering er blant det som har fått et større fokus. Det er dermed ytret et ønske om kartlegging av dreneringslinjer og kritiske punkt i den nye storkommunen. Som Geodatastrategien peker på er bruk av geografisk informasjon og analyser viktig for å sikre et helhetlig beslutningsgrunnlag for eventuelle hensynssoner og beredskap.

### 1.1.1 Områdebeskrivelse

Lillestrøm kommune ligger på Nedre Romerike og er Norges 9. største kommune med sitt areal på 457 km<sup>2</sup> og innbyggertall på ca. 87000 personer (Kommunalbanken, 2021).

Kommunen består av både urbane og landlige strøk, og er sentralt plassert mellom Oslo og Oslo lufthavn. Lillestrøm kommune ble etablert 01.01.2020 og består av de tre tidligere kommunene Skedsmo, Fet og Sørumsand. Administrasjonssenteret i kommunen er i Lillestrøm by. Andre tettsteder i kommunen er Sørumsand, Fetsund, Strømmen, Kjeller og Skedsmokorset.

Elvene Glomma, Nitelva og Leira renner gjennom kommunen og har utløp i innsjøen Øyeren. Våtmarksområdene ved utløpet til Øyeren er Nordens største innlandsdelta og er fredet som et naturreservat (Thorsnæs & Askheim, 2021). Øyeren og elvene er en del av Glommavassdraget som er Norges lengste og største vassdrag med et nedbørsareal på 41970 km<sup>2</sup> (Thorsnæs, 2021).

## 1.1.2 Fysisk klimarisiko og klima mot 2100

Fysisk klimarisiko er risiko som knyttes til konsekvensene og effektene som kommer av klimaendringer. Klimaendringene og effektene av disse varierer med lokale forhold og kommunene må ta stilling til hvorvidt de er utsatt og i hvilken grad. For kommunene vil risikofaktorer som flom, skred, ekstremnedbør og tørke medføre store kostnader – både direkte og indirekte. (Kommunalbanken, u.d.)

Klimagassene som allerede befinner seg i atmosfæren bestemmer hvilke effekter vi må kunne forvente de neste 10-20 årene. I Norge ser vi allerede at global oppvarming gjør normalværet varmere og vi vil oppleve mer ekstremnedbør. Ekstremnedbør beskriver nedbør som øker både i mengde, intensitet og hyppighet. Dette vil igjen føre til økt fare for flom og skred (Kommunalbanken, u.d.).

Dersom de globale klimagassutslippene fortsetter slik de har gjort de siste tiårene risikerer vi en økning på 18 % for årsnedbør, og kraftigere og hyppigere styrtregneepisoder og regnflommer mot år 2100 (Norsk klimaservicesenter, 2015). For Lillestrøm kommune vil dette også medføre økt sannsynlighet for jord-, flom- og sørpeskred. Det er også mulig økt sannsynlighet for tørkeperioder og kvikkleireskred. (Kommunalbanken, 2021)

Skader etter flom, skred, storm, nedbør, stormflo, jordskjelv, lynnedslag og vulkanutbrudd betegnes som naturskader og koster forsikringsselskapene dyrt. Samlet sett har kostnadene som følge av naturskader kostet forsikringsselskapene 30 milliarder de siste ti årene, og skadeomfanget er økende. Vannskader som følge av vanninntrenging etter nedbør og tilbakeslag i avløp står for 45 % av denne summen. Noen av årsakene til det økte skadeomfanget er mer ekstremvær og fortetting i byene, samt økt press på boligmarkedet som fører til etablering av boliger på mer uegnede steder. Ved å kjenne til de naturlige vannveiene i terrenget vil det lettere kunne planlegges for trygge flomveier og forebygge vannskader fremfor å reparere for mye større summer. (NemiTek, 2021)

## 1.2 Problemstilling

Klimaendringer vil i fremtiden gi kommunene større utfordringer når det gjelder fysisk klimarisiko. Hyppigere og mer intens nedbør kan føre til store skader, både direkte og indirekte, og kommunene kan stå erstatningspliktige. I forbindelse med rullering av Lillestrøm kommunes kommuneplan har overvannshåndtering fått et større fokus. Når kapasiteten til overvannssystemene er oversteget er det et behov for å vite hvor vannet tar veien. Dreneringslinjer indikerer hvor overvann vil renne basert på terrengets form og helning, under de forutsetninger av at vannmengdene ikke infiltreres i grunnen og at avløpsnett/fordrøyningsløsninger er utilgjengelige. For å lettere kunne planlegge for trygge flomveier og forebygge vannskader er dermed identifisering av dreneringslinjer og mulige risikoområder et naturlig første steg.

Oppgaven skal svare på følgende hovedproblemstilling og underproblemstillinger:

*Vurdering av kvalitet og feilkilder i GIS-analyse av dreneringslinjer i Lillestrøm kommune.*

- *Er grunnlagsdataene gode nok for denne type analyse?*
- *Hvilke bruksområder har resultatet i kommunal forvaltning?*

På bakgrunn av denne problemstillingen er det ønskelig å undersøke hvorvidt ferdig generert terrengmodell med oppløsning 1x1 meter og relevante FKB-data har tilstrekkelig nøyaktighet og kvalitet for denne type av analyse.

Det er også utført mindre beregninger av vannføring for å illustrere bruken av GIS i denne type av hydrologianalyse og viktigheten av gode grunnlagsdata.

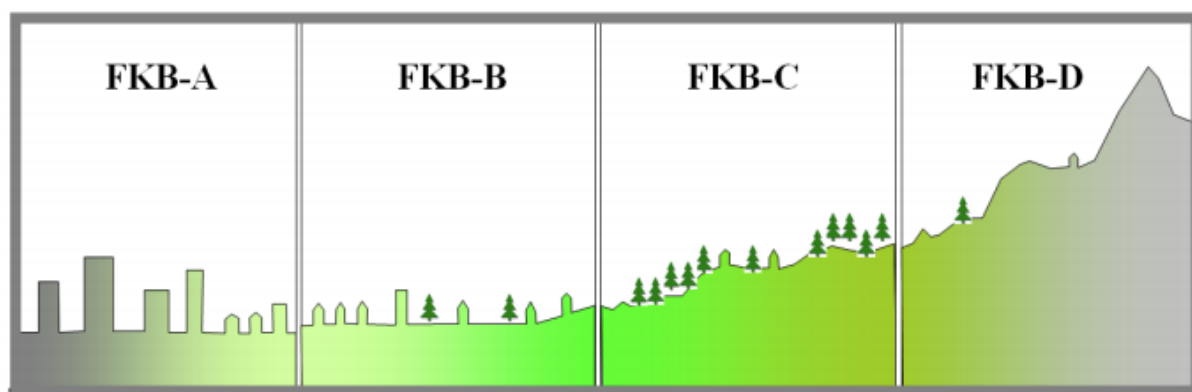
## 2 Teori

Følgelig beskrives oppbygning av datagrunnlag for tilgjengelige kartdata og en del grunnleggende begrep og formler for hydrografi og geologi som må legges til grunn før dreneringsanalyser.

### 2.1 Felles kartdatabase (FKB)

FKB inngår i det offentlige kartgrunnlaget (DOK) og er en samling geografiske datasett som følger FKB produktspesifikasjonen. Produktspesifikasjonen består av en generell del som beskriver felles krav til FKB i tillegg til egne produktspesifikasjoner for de ulike FKB-datasettene. Produksjon, forvaltning og distribusjon av FKB skjer gjennom Geovekst-samarbeidet.

FKB-datasettene kan blant annet brukes til saksbehandling, geografiske analyser og generell kartproduksjon. Hvilke FKB-data en kommune trenger er avhengig av bruksformålet. Det er spesifisert ulike FKB-standarder (FKB-A, FKB-B, FKB-C og FKB-D) som baseres på områdetypene i kommunene. FKB-A har høyest stedfestingsnøyaktighet og detaljeringsnivå, og omfatter data innenfor byområder eller tettsteder med høy utnyttelsesgrad som illustrert i figur 1. FKB-D har det laveste nivået av stedfestingsnøyaktighet og brukes i fjellområder eller områder med lav arealutnyttelse.



Figur 1: Sammenhengen mellom arealutnyttelse og FKB-standard. (Kartverket, 2020)

Geografiske data innenfor de ulike standardene etableres hovedsakelig fotogrammetrisk. Dette vil si at kartdataene konstrueres fra flybilder som har varierende oppløsning basert på hvilken standard dataene skal etableres i. Dette medfører som nevnt varierende krav til stedfestingsnøyaktighet som illustrert i tabell 1. I tillegg kan ulike objekttyper ha varierende stedfestingsnøyaktighet, enten grunnet dårlig synbarhet i terrenget eller at avgrensninger i terrenget ikke er lett definerbare. Dette fanges opp ved å dele inn i nøyaktighetsklasser innenfor hver FKB-standard. (Kartverket, 2020)

Tabell 1: Krav til stedfestingsnøyaktighet for ulike klasser i FKB-standardene. (Kartverket, 2020)

FKB-Standard		Nøyaktighetsklasse			
		Klasse 1 Svært veldefinerte detaljer (cm)	Klasse 2 Veldefinerte detaljer (cm)	Klasse 3 Uskarpe detaljer (cm)	Klasse 4 Diffuse naturlige detaljer (cm)
FKB-A	Grunnriss	10	15	35	55
	Høyde	10	15	25	40
FKB-B	Grunnriss	15	20	35	55
	Høyde	15	20	35	50
FKB-C (1)	Grunnriss	48	55	70	100
	Høyde	48	70	90	150
FKB-D (1)	Grunnriss	48	55	70	100
	Høyde	48	70	90	150

## 2.2 Digital terrengmodell

En digital terrengmodell (DTM) er en digital representasjon av terrengoverflaten med høydeverdier. Terrengmodeller genereres fra punktskyer etablert fra laserdata. Prosjektet Nasjonal detaljert høydemodell (NDH-prosjektet), som ledes av Kartverket, samler inn detaljerte høydedata for hele landet ved bruk av laserskanning. Prosjektet er det største landkartleggingsprosjektet som gjennomføres i Norge og skal være ferdig i 2022. De innsamlede dataene blir gjort tilgjengelig kostnadsfritt i forvaltningsløsningen [hoydedata.no](https://www.hoydedata.no). (Kartverket, 2021). Prosjektet er av stor samfunnsnytte og et kraftig forbedret analysegrunnlag bidrar blant annet til bedre og mer effektiv planlegging, økt kunnskap og en styrket beredskap mot naturfarer.

Alle kartleggingsprosjekt til [hoydedata.no](https://www.hoydedata.no) skal leveres i henhold til produktspesifikasjonen FKB-laser. For prosjekter etter 2016 er det produktspesifikasjonen FKB-laser 3.0 som er gjeldende. Produktspesifikasjonen detaljerer metadata, leveranseformat, klassifiseringssystem

og krav til nøyaktighet og detaljering på punktskyen. Alle kartleggingsprosjektene i NDH-prosjektet utføres i tråd med kravene i standarden «Produksjon av basis geodata v.1.0». (Christian Malmquist v/Kartverket, 03.03.2021, Epost)

Som for FKB varierer behovet for laserdata ut fra hvilket formål dataene skal benyttes til. Laserdata deles på bakgrunn av dette også inn i standarder med egne delspesifikasjoner, henholdsvis FKB-laser-A, B, C og D. De ulike klassene har ulike krav til punkttetthet og nøyaktighet som illustrert i tabell 2. For kartlegging til NDH-prosjektet kreves minst to punkter per kvadratmeter som tilsvarer FKB-C eller bedre.

Tabell 2: Krav til punkttetthet og nøyaktighet til FKB-laser delspesifikasjoner. (Kartverket, 2019)

Delspesifikasjon	Punkttetthet	Nøyaktighet, ref tabell 7.2
FKB-Laser-A	minimum 10pkt/m <sup>2</sup>	Standard = DTM10, Opsjon = DTM5
FKB-Laser-B	minimum 5pkt/m <sup>2</sup>	Standard = DTM10, Opsjon = DTM5
FKB-Laser-C	minimum 2pkt/m <sup>2</sup>	DTM10
FKB-Laser-D	mindre enn 2 pkt/m <sup>2</sup>	DTM20

DTM 1 er en ferdig generert høydemodell som kan hentes fra hoydedata.no og er det datasettet med høyest oppløsning som er mulig å hente ut fra forvaltningsløsningen. DTM 1 er basert på punktskyer samlet inn til NDH-prosjektet og har den samme nøyaktigheten. For flate områder er det 10 cm absolutt nøyaktighet og 4 cm relativ nøyaktighet. I brattere terreng er det følgelig lavere nøyaktighet (Christian Malmquist v/Kartverket, 03.03.2021, Epost). Relativ nøyaktighet kalles også for nabonøyaktighet og beskriver nøyaktigheten til et objekts posisjon i forhold til nærliggende stedfestede objekter. Relativ nøyaktighet sier derfor ingenting om nøyaktigheten i forhold til en overordnet geodetisk referanseramme som Euref89, noe absolutt nøyaktighet gjør. (Berg, 2020)

DTM genereres fra bakkepunkt (klasse 2) og punkt på snøflater (klasse 13/26) direkte fra punktskyene. Genereringen benytter metoden «Triangulate with Natural Neighbor Interpolation» og dersom det er hull fylles disse med metoden «Bin with Average Value» (Christian Malmquist v/Kartverket, 03.03.2021, Epost).



## 2.3 Hydrologi

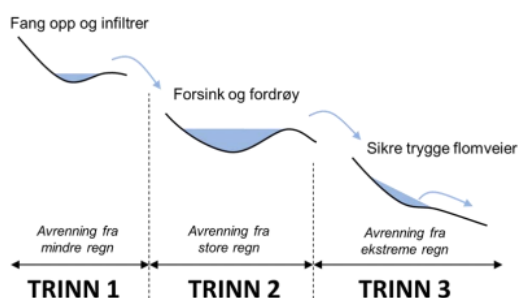
### 2.3.1 Nedbørfelt

Nedbørfelter beskriver den hydrografiske inndelingen av Norges vassdrag basert på høydekurver i N50 kartdata. Datasettet REGINE fra NVE angir alle nedbørfelt i Norge og har en nøyaktighet tilsvarende N50 kartdata (2-50 meter avhengig av objekttype og etableringsmetode) (Kartverket, 2016). Et nedbørfelt defineres som et område som drenerer til det samme utløpspunktet, som utgjør det laveste punktet innenfor det avgrensede nedbørfeltet. Inndelingen av feltene er basert på vannskiller og knutepunkter i vassdragene, og illustrerer den hydrologiske strukturen i landet (NVE, 2020b).

### 2.3.2 Overvann og dreneringslinjer

Overvann er regn og smeltevann som renner av tette flater som veier, tak og andre overflater med dårlig infiltrasjonsevne. Overvannet vil drenere til nærmeste vassdrag, og dreneringslinjer indikerer avrenningen basert på terrengets form og helning. På vei til nærmeste vassdrag/utløpspunkt vil deler av vannet infiltrere i bakken eller gå i avløpsnett. Dersom de naturlige dreneringslinjene bygges ut vil vannet finne nye veier og gjerne uønskede veier som fører til skader på infrastruktur. Ved kraftig nedbør hender det også at avløpsnettet ikke er dimensjonert for de store vannmengdene, og igjen vil vannet kunne finne nye og uønskede veier.

For overvannshåndtering benyttes treleddsstrategien som skal lede vannet til nærmeste vassdrag på en trygg måte:



Figur 2: Treleddsstrategi for håndtering av overvann. (Lørenskog, Rælingen og Tidl. Skedsmo kommune, 2017)

Avrenningen av overvannet er avhengig av overflatetype, nedbørintensitet og vannmetningen i grunnen. De ulike overflatetyperne får en avrenningsfaktor basert på grad av infiltrasjonsevne og nedbørintensitet. Figur 3 angir omtrentlige verdier for avrenningsfaktoren.

Permeabilitet	Type overflate	C	C
		I = 50 l/s * ha	I = 200 l/s * ha
Impermeabel	Tak, asfalterte veier og plasser, betongdekker, fjell i dagen ol	0,7 – 0,9	0,8 – 0,9
Semipermeabel	Hardtråkket grusdekke, leire/silt ol	0,3 – 0,4	0,4 – 0,6
Helt permeabel	Plen, park, grus/singel-dekke ol	0,01 – 0,05	0,1 – 0,2

Figur 3: Avrenningsfaktorer (C) ved ulike overflatetyper og nedbørintensiteter (I). (COWI, 2015)

### 2.3.3 Rasjonelle formel

Mengden overvann som renner på overflaten er avhengig av faktorer som nedbørintensitet, størrelsen på nedbørfeltet og overflatetyper innenfor nedbørfeltet. For beregning av overvannsmengder finnes det mange formler og metoder. Den rasjonelle formel er en mye brukt manuell metode for å beregne dimensjonerende vannføring i et område:

$$Q = C * I * A * K_f$$

Formel 1: Den rasjonelle formel

Q – Regnvannsavrenning [l/s]

C – Avrenningsfaktor (midlere)

A – Areal (horisontalt) [ha]

I – Dimensjonerende nedbørintensitet [l/s\*ha]

K<sub>f</sub> - Klimafaktor

Midlere avrenningsfaktor C kan beregnes ved:

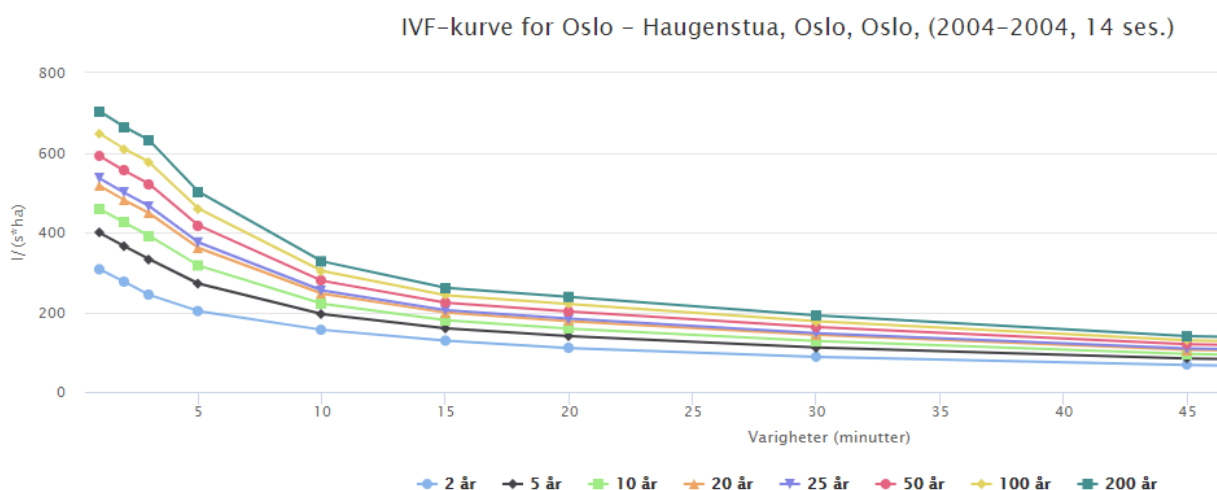
$$C_{\text{midlere}} = \frac{C1 \cdot A1 + C2 \cdot A2 + \dots + Cn \cdot An}{A1 + A2 + \dots + An}$$

Formel 2: Formel for beregning av midlere avrenningsfaktor.

(COWI, 2015)

Nedbørintensitet defineres i form av nedbørmålinger av Intensitet, Varighet og Frekvens (IVF-verdier) fra målestasjoner rundt om i landet (Norsk klimaservicesenter, u.d.). I henhold til Imhoffs sats opptrer maksimal vannføring idet regnvarigheten er like lang som konsentrasjonstiden for nedbørfeltet. Konsentrasjonstiden er tiden det tar for nedbøren å bevege seg fra vannskillet til utløpspunktet i nedbørfeltet. For beregning av dimensjonerende vannføring leses nedbørintensiteten av IVF-kurver som illustrert i figur 4.

Konsentrasjonstiden angir regnvarigheten og dermed hvilken verdi nedbørintensiteten får.



Figur 4: IVF-kurve som angir nedbørintensitet i  $l/(s \cdot ha)$  for ulike varigheter og gjentakintervaller. (Norsk klimaservicesenter, u.d.)

For å beregne konsentrasjonstiden er det mange ulike metoder, og flere av disse er beskrevet i Håndbok V240 fra Statens Vegvesen som omhandler vannhåndtering. Felles for alle metodene er at de tar hensyn til feltets lengde og høydeforskjellen/helning i feltet, samt andre parametere i ulik grad. Nomogram kan også brukes for å beregne konsentrasjonstid, men er hovedsakelig best egnet for kortere feltlengder. (Statens Vegvesen, 2020)

### **2.3.4 Aktsomhetskart for flomveier**

Et aktsomhetskart for flom og flomveier viser hvor det potensielt kan være fare for flom og dermed hvor en bør være aktsom. Aktsomhetskartet sier ingenting om sannsynligheten for disse oversvømmelse eller hvilket gjentakintervall man kan forvente, men angir hvor vann kan komme på avveie. Aktsomhetskart brukes ofte som grunnlag for hensynssoner. (Norsk Vann, 2014)

## **2.4 Geologi og topografi**

### **2.4.1 Helning**

Helning er en topografisk parameter som representerer maksimal endring i høydeverdien for hver celle i terrengmodellen. Helningen påvirker de hydrologiske prosessene i terrenget ved at den har direkte påvirkning på vannets hastighet og dermed indirekte påvirkning på erosjonspotensialet. Et økt erosjonspotensial gir også økt risiko for skader ved ekstrem nedbør. I tillegg er helningen en viktig faktor for vurderingen av skredfaren i løsmasser. Jord- og flomskred kan utløses i bratt terreng ved intens nedbør på kort tid. Denne type skred utløses som regel i skråninger brattere enn ~25 graders helning, men skråningen kan samtidig ikke være så bratt at løsmasser ikke kan samles. Likevel er det mange faktorer som spiller inn for utløsning av skred og det skjer ikke nødvendigvis i bratt terreng. Skred kan også utløses i slakere terreng. (NGU, 2019)

### **2.4.2 Løsmasser og kvikkleire**

NGUs kvartærgeologiske produkter produseres ved bruk av flyfoto, Lidar, feltarbeid og lab-analyser. Kartene er en del av det offentlige kartgrunnlaget i Norge og er av stor betydning for god arealforvaltning, byggesaksbehandling og vurdering av geofarar som flom og skred. Datasettet «Løsmasser» fra NGU gir en oversikt over hvilke løsmassetyper vi har i Norge og fordelingen av disse. I tillegg gir det informasjon om dannelsesmåten, mektighet og hvilke forventede egenskaper løsmassene har (NGU, 2020).

Innenfor løsmassetypen «Hav- og fjordavsetninger» finnes blant annet marin leire. Marin leire kan også finnes under andre løsmassetyper som elve- og breelvavsetninger, morene eller myrområder. Under utbygging kan marin leire bli liggende under fyllmasser, og nærmere kysten vil man kunne finne marin leire under marine strandavsetninger.

Marin leire kommer fra tiden da Norge var dekket av en innlandsis som presset landet ned av den tunge vekten. Etter hvert som isen smeltet steg havnivået og trakk seg innover landet. Høyeste nivået havet nådde i Norge er angitt som marin grense (MG), og varierer mellom null og 220 meter over dagens havnivå (NGU, 2021). Generelt er marin grense på det høyeste i Osloområdet og Indre Trøndelag, og synker fra innlandet og ut mot kysten (NGU, 2015a). MG angir hvor det kan finnes marine avsetninger og dermed mulighet for marin leire og andre jordarter med sprøbruddegenskaper. Sprøbruddegenskaper betyr at det er få eller ingen tegn til svakhet før et brudd plutselig oppstår og det skjer en kollaps av løsmassene. Ved kollaps går sprøbruddmateriale som i utgangspunktet kan være svært fast over til å bli en tyktflytende «suppe». Kvikkleire er et eksempel på en jordart med sprøbruddegenskaper. Overbelastning i jordmasser med sammenhengende lag av sprøbruddmateriale kan føre til rask bruddutvikling og et skred kan forplante seg langt og føre til større områdeskred (NVE, 2019).

### **Dannelse av kvikkleire**

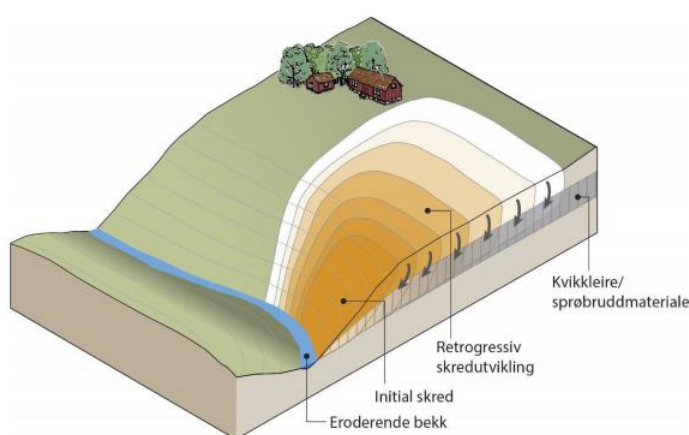
Marin leire inneholder salt porevann som binder leirpartiklene sammen med elektriske ladninger og strukturen kan minne om et korthus. Grunnvannsgjennomstrømming vil gi en gradvis utvasking av det salte porevannet og den løse kornstrukturen vil gradvis bli mer ustabil. Når det salte porevannet er erstattet med ferskvann vil bindingene mellom leirpartiklene være svekket og det dannes kvikkleire. I utgangspunktet er kvikkleiren fast, men dersom den overbelastes vil korthusstrukturen falle sammen og leirpartiklene vil flyte i det frigjorte vannet. Resultatet blir et kvikkleireskred. (NVE, 2019)

### **2.4.3 Skred**

Det skilles mellom naturlig utløste skred og skred som skyldes menneskelige inngrep. Naturlige årsaker kan være erosjon i elver og bekker ved stor vannføring. Overvann som drenerer ned skråninger og generelt økte og mer konsentrerte vannmengder kan være medvirkende årsak til overflateskred. Overflateskred vil som oftest ikke medføre store

stabilitetsendringer i kvikkleireområder, men det er mulig at stabiliteten kan reduseres noe. Menneskeskapte årsaker er endringer i terrenget ved for eksempel anleggsarbeid som endrer stabilitetsforholdene i massene. (NVE, 2019).

Uansett utløsningsårsak er det initialscred man ønsker å unngå for å redusere skredhendelser i sprøbruddmateriale. Figur 5 illustrerer hvordan et initialscred kan lede til retrogressivt skred som følge av eroderende bekk. For forebygging er det viktig med trygg overvannshåndtering og sikring av eroderende bekker i skråninger med sprøbruddmateriale. (NVE, 2019)



Figur 5: Skråning med eroderende bekk kan forårsake initialscred som igjen kan utvikles til retrogressivt skred. (NVE, 2019)

NGU har utviklet kart som viser faresoner og risiko for kvikkleireskred i Norge. For klassifisering av faresoner tas det hensyn til grunnforhold, topografiske forhold (helning, kurvatur mm.) og erosjonsforhold i vassdrag. I tillegg kartlegges skredhistorikk og inngrep i terrenget som kan ha påvirket stabiliteten. Resultatet er et faresonekart som angir lav, middels eller høy sannsynlighet for skred (NGU, 2015a). NVE har fra 2014 overtatt forvaltningen av datasett knyttet til skred og kvikkleire (NGU, 2015b).

## 3 Metode

Analysen tar utgangspunkt i og bygger videre på en beregningsmetode for identifisering av dreneringslinjer brukt av Statsforvalteren i Oslo og Viken, Geodata AS, Plan og bygningsetaten Oslo m.fl. Metoden er den samme som benyttes av NVE og deres landsdekkende aktsomhetskart for flom, men som grunnlagsdata benytter de en terrengmodell med lavere oppløsning (10x10) (NVE, 2020a).

I utgangspunktet er metoden en ren terrenganalyse som ikke tar hensyn til VA-infrastruktur, overflatens infiltrasjonsevne, vannmengde, hastighet og andre hydrologiske parametre. Dreneringslinjer kalles også for sekundære flomveier og er den veien vannet vil drenere ut fra terrengets form og helning dersom fordrøyningsløsninger ikke er tilgjengelige eller tette/oversvømte. Utilgjengelige fordrøyningsløsninger er en situasjon som fort kan oppstå under ekstreme nedbørshendelser/flom, spesielt siden dagens bekkelukkinger, kulverter og stikkrenner ofte er gamle og ikke dimensjonert for slike hendelser.

Analysen kan utføres i mange ulike GIS-verktøy, men videre vil metoden og verktøyene beskrives basert på bruk i ArcGIS Pro.

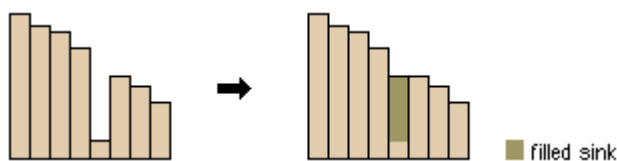
### 3.1 Modifisering av DTM

En terrengmodell angir i utgangspunktet kun terrengoverflaten og det er ikke alltid terrengmodeller basert på laserdata fanger opp for eksempel hulrom under bruer. For at vannets bevegelse skal bli så realistisk som mulig tillegges terrengmodellen derfor ekstra informasjon. Dette gjøres ved å kombinere terrengmodellen med relevante FKB-datasett. Aktuelle FKB-data konverteres til raster og får en fiktiv høyde basert på type datasett og hvordan de fremstår i virkeligheten.

## 3.2 Beregne dreneringslinjer

### 3.2.1 Fill og Sink

En «sink» defineres som en celle med udefinert strømningsretning ved at ingen av de omkringliggende cellene ligger lavere i terrenget. Hvilke celler det gjelder kan identifiseres ved bruk av verktøyet «Sink». Slike celler er ofte et resultat av feil i grunnlagsdataene og bør bearbejdes for å oppnå en mer nøyaktig representasjon av strømningsretning og akkumulert areal. Verktøyet «Fill» kan brukes til å fylle slike «sinks» slik at vannet kan renne videre til neste celle og dermed sikre sammenhengende flomveier. (Esri, 2020c). Resultatet kan også brukes videre som utgangspunkt for modellering av lavpunkt.

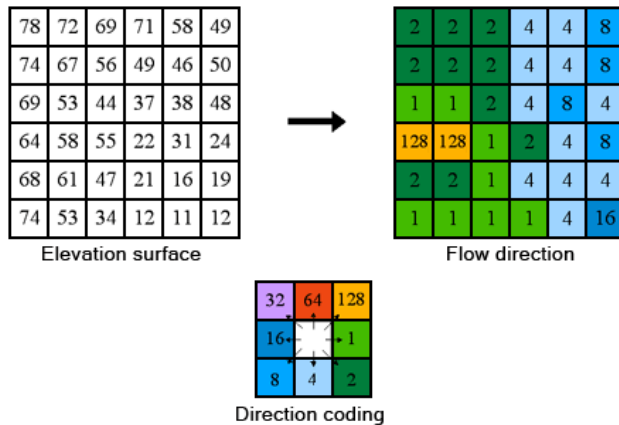


Figur 6: Angir hvordan en sink kan se ut i terrenget og hvordan verktøyet Fill fyller igjen forsøknings. (Esri, 2020c)

### 3.2.2 Flow Direction

Det er to grunnleggende metoder for dreneringslinjeberegning: Single flow og Multiple flow. Dette er to ulike algoritmer som baseres på et ulikt spredningsmønster. Multiple flow-algoritmen (MFD) gir ingen begrensning på antall retninger og vil føre vannet til alle naboceller som er lavere i terrenget. Single flow er basert på D8-metoden som gir vannet mulighet til å renne i 8 forskjellige retninger basert på hvilken av de 8 nabocellene som ligger «lavest» i terrenget. Videre beskrives kun single flow-algoritmen da det er den metoden som brukes i analysen. (Esri, 2020a).





Figur 7: Illustrasjon av D8-algoritmen der ulike celler får en av åtte mulige dreneringsverdier basert på hvilken av nabocellene som ligger lavest i terrenget. (Esri, 2020a)

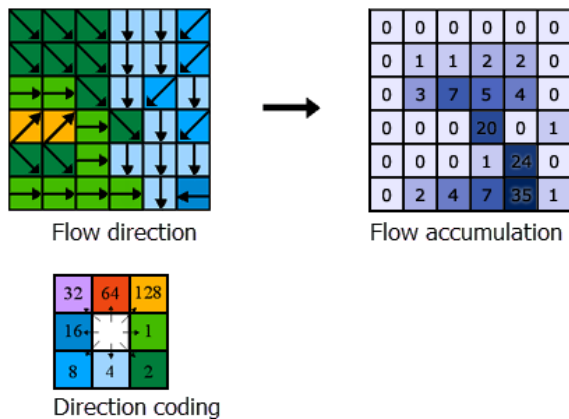
Resultatet er et raster der verdiene i cellene varierer mellom 1 til 255 som indikerer hvilken retning vannet tar fra den aktuelle cellen. For eksempel, dersom nabocellen som ligger lavest i terrenget er til høyre for den aktuelle prosesserende celle vil strømningsretningen kodes som 1. Dersom en celle er lavere enn alle sine 8 naboer, vil cellen få verdien til laveste nabo, og strømmingen defineres til denne cellen. Hvis det er flere naboceller som har samme laveste verdi vil strømningsretningen defineres ved en av følgende metoder:

- Dersom cellen regnes å være en «sink» vil strømningsretningen være udefinert. I slike tilfeller vil outputverdien bli summen av strømningsretningene til nabocellene med laveste verdi. Eksempel: Cellene til venstre og høyre for prosesserende celle har samme laveste verdi. Outputverdien på prosesserende celle vil da bli  $16(V)+1(H)=17$ . Figur 11 illustrerer eksempelet.
- Dersom cellen ikke regnes å være en «sink» vil strømningsretningen baseres på hva som er den mest sannsynlige retningen beskrevet av David D. Greenlee i «Raster and Vector Processing for Scanned Linework» (Greenlee, 1987). (Esri, 2020a).

### 3.2.3 Flow Accumulation

Fritt rennende vann følger alltid lavbrekk på sin ferd gjennom terrenget, og ved nedbør vil vannet akkumuleres fortløpende nedover i terrenget. Ved å beregne akkumulert dreneringsareal finner man hvor mye vann som ledes mot en tilfeldig celle i terrengmodellen.

Uten bruk av vekting vil hver celle få vekten 1 og verdien på output-cellene angir antall celler som drenerer til den enkelte. (Esri, 2020b)



Figur 8: Flow Accumulation summerer opp antall celler som drenerer til hver enkelt celle i rastermodellen. (Esri, 2020b)

Fra Flow Accumulation kan elvenettverk defineres basert på antall akkumulerte celler og ved bruk av Raster Calculator i ArcGIS. Ved å sette ulike terskelverdier vil man kunne definere både små og større nettverk som videre kan vektoriseres for videre analyse og «renere» visualisering.

### 3.3 Identifisere terrengets helning

Ved bruk av verktøyet «Slope» i ArcGIS Pro kan helningen for hver celle i terrenngmodellen identifiseres. Helningen kan beskrives enten som stigningsprosent eller grader, men i dagligtalen brukes hovedsakelig grader til å beskrive terrenghelningen. Det er to kalkulasjonsmetoder for beregning av helning: Planar eller Geodetisk. Forskjellen på disse to er at planar-metoden beregner helningen på et projisert flatt plan i et 2D koordinatsystem, og den geodetiske metoden tar utgangspunkt i en ellipsoidisk form på jorden og utfører beregningen i 3D. Begge metodene bruker et bevegende vindu med 3x3 celler som tilpasses den prosesserende cellen ved bruk av minste kvadraters metode. I den planare metoden beregnes helningen som maksimal høydeendring fra prosesserende celle til nabocellene. For den geodetiske metoden beregnes helningen ved å måle vinkelen mellom den topografiske overflaten og referanseellipsoiden, og det er denne som regnes som den mest nøyaktige beregningsmetoden (Esri, u.d.).

## 4 Analyse

All analyse utføres i ArcGIS Pro. Verktøy og andre funksjoner som det refereres til i kapittelet henviser til funksjoner i ArcGIS Pro.

### 4.1 Data

Datagrunnlaget for analysen er hentet fra NVE, Geonorges kartkatalog og Kartverkets forvaltningsløsning hoydedata.no.

Tabell 3: Datagrunnlaget for analysen.

<i>Eier</i>	NVE	NGU	Geovekst	Kartverket
<i>Data</i>	RegineEnhet	Kvikkleire Løsmasser	FKB-Vann FKB-Bygning FKB-Vei FKB-BygnAnlegg FKB-Bane	Administrative enheter DTM 1

#### 4.1.1 Analyseområdet

Det er ønskelig å kartlegge dreneringslinjer for Lillestrøm kommune, men fritt rennende vann starter/stopper ikke ved kommunegrensen. For å få riktige tall i analysen må også hele nedbørfelt tas med – de kan ikke splittes opp. I denne analysen er derfor alle nedbørfelt som befinner seg helt eller delvis i kommunen tatt med. Analyseområdet, illustrert i figur 9, er basert på RegineEnhet nedbørområder fra NVE. Dette gir et totalt analyseareal på ~1389 km<sup>2</sup> som omfatter 33 nedbørfelt. Lillestrøm kommune har et areal på ~457 km<sup>2</sup> (Wikipedia, 2021). For resultater og diskusjon vil kun områder innenfor kommunegrensen gjennomgås.



Figur 9: Analyseområde basert på nedbørfelt fra NVE og RegineEnhet. Bakgrunnskart: Cachetjeneste fra Kartverket hentet fra Geonorge.no.

## 4.1.2 DTM 1

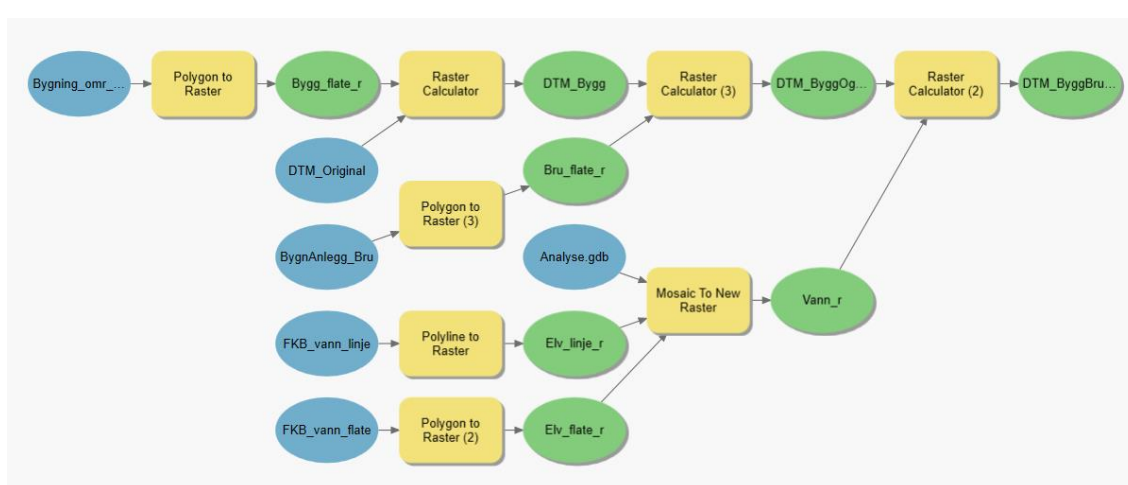
DTM 1-flisene lastet ned fra hoydedata.no samles til et rasterlag ved hjelp av «Mosaic To New Raster» og klippes til analyseområdet.

## 4.1.3 FKB-data

Aktuelle FKB-data for analysen klippes til analyseområdet og konverteres til raster ved bruk av verktøyene «Polygon to Raster» eller «Polyline to Raster» for videre bruk i modifiseringen av terrengmodellen.

I den virkelige verden vil vann renne langs og rundt en bygning, fremfor rett gjennom. For å få dette frem i terrengmodellen heves cellene innenfor bygningsgrunnriss med 5 meter fra original terrenghøyde. Cellene utenfor bygningsgrunnrisset får høydeverdi fra original DTM. På samme måte som for bygninger, vil vannet som regel ikke renne over jernbanelinjer da disse vanligvis er oppbygd. For å få frem dette i terrengmodellen etableres det en 3 meters buffersone rundt FKB-jernbanelinjene som deretter også konverteres til raster. Cellene innenfor buffersonen til jernbanen heves med 3 meter for å sikre at vannet renner langs og ikke over banen.

Hulrom under bruer og kulverter fanges ikke alltid opp like godt under datafangst. I analysen vil dette føre til at hulrommene i stedet fungerer som demninger for vannet. Ved å senke cellene som faller innenfor omrisset til FKB-vann med 10 meter sikres det at vannet følger elveløpene.



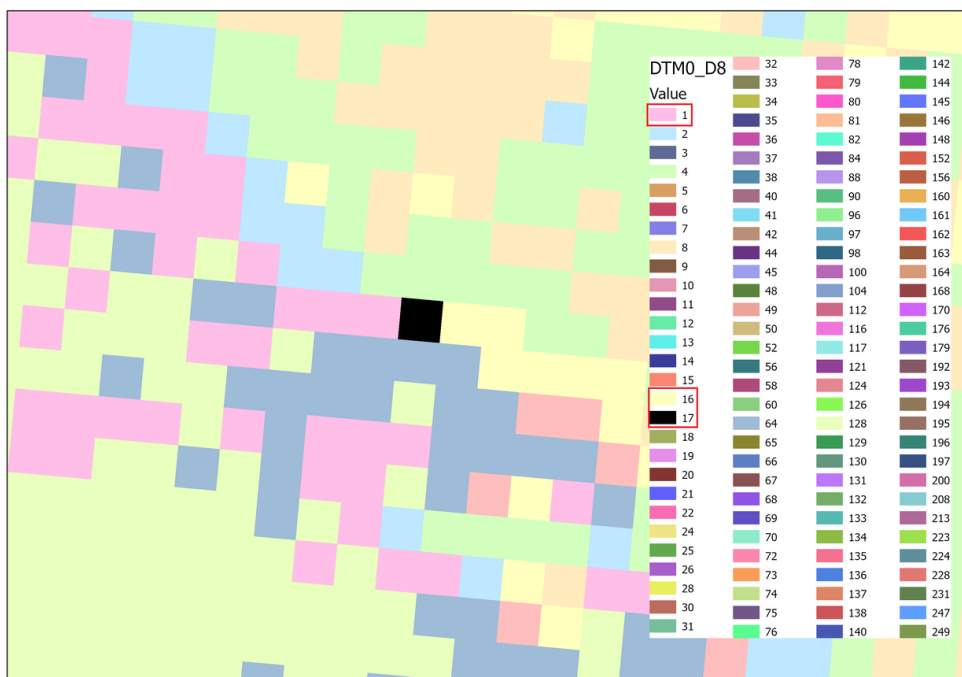
Figur 10: Modelbuilder som illustrerer arbeidsflyten i ArcGIS Pro ved modifisering av terrengmodellen.

Det er ikke nødvendigvis alltid vannforekomster under bruer. Det kan også være vei, gangvei, kulverter mm. Terrengmodellen studeres i relevante områder og det kommer frem at hulrom under de aktuelle bruene ikke er blitt fanget opp godt nok under datafangst. Fra datasettet FKB-BygnAnlegg selekteres bruer og det opprettes et eget lag for denne objekttypen. Videre brukes samme prinsipp som for vann og bygning, ved at bruene senkes med 3 meter. Output er et samlet raster der bygninger og bane er hevet, og bruer og elveløp er senket.

## 4.2 Beregne flomveier

### 4.2.1 Fylle sinks

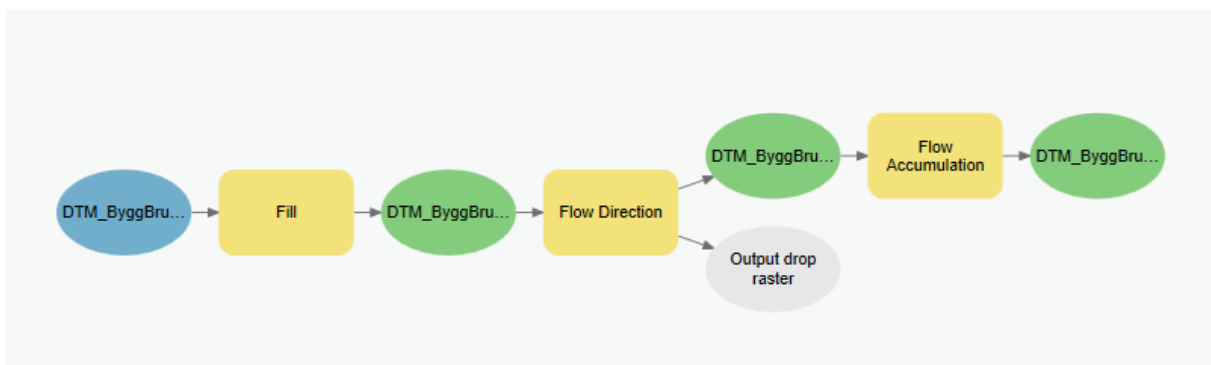
Som beskrevet i metode-kapittelet bør sinks i terrengmodellen fylles. For å se på hvilket utslag dette gjør på det endelige resultatet, ble det definert dreneringslinjer både med og uten bruk av «Fill»-verktøyet. I tillegg ble verktøyet «Sink» brukt for å se på hvilke celler og hvor mange det faktisk gjaldt. Som vist i figur 11 er det veldig mange enkeltceller som ikke har definert strømningsretning og dermed vil dreneringslinjene stoppe i disse cellene. Resultatet blir et veldig ufullstendig og oppstykket elvenettverk. På bakgrunn av dette kjøres analysen videre på terrengmodellen der slike «sinks» er fylt.



Figur 11: Illustrasjon av prosesserende celle med udefinert dreneringsretning i sort.

Figur 11 viser raster der det er kjørt «Flow Direction» uten å fylle sinks for å illustrere eksempelet med udefinert strømningsretning. Som nevnt i metode-kapittelet vil outputverdien bli summen av strømningsretningene til nabocellene med laveste verdi. I dette eksempelet har cellene til venstre og høyre for prosesserende celle samme laveste verdi. Outputverdien på prosesserende celle blir da  $16 (V) + 1 (H) = 17$ .





#### 4.2.2 Identifisere dreneringsretning og antall akkumulerte celler



Figur 12: Arbeidsflyten for å fylle forsenkninger, identifisere dreneringsretning og summere antall akkumulerte celler.

Når sinks er fylt kjøres verktøyet «Flow Direction» for å finne dreneringsretningen for hver celle. Algoritmen som brukes for å definere retningen er Single flow-metoden D8. Dette er en forenklet metode, men for videre analyse må denne brukes. De fleste hydrologi-verktøyene til ArcGIS støtter hovedsakelig kun D8-metoden.

Videre brukes verktøyet «Flow Accumulation» for å beregne antall akkumulerte celler for hver enkelt celle i terrengmodellen. For visualisering av dreneringslinjene deles de inn i klasser basert på antall akkumulerte celler. Det laveste intervallet 0-5000 settes til «No color».

Color	Upper value	Label
	≤ 5000,0	0,000001 - 5 000
	≤ 10000,0	5 000,000001 - 10 000
	≤ 50000,0	10 000,000001 - 50 000
	≤ 500000,0	50 000,000001 - 500 000
	≤ 207093312,0	500 000,000001 - 207 093 312

Figur 13: Inndeling av klasser for bedre visualisering av dreneringslinjene.

Da det er ønskelig å analysere dreneringslinjer som går utenfor elv, bekk og innsjøer, fjernes flomveiene som går gjennom disse ved bruk av rasterkalkulator.

### **4.2.3 Identifisere lavpunkt**

Lavpunkt i terrenget kan identifiseres ved å benytte resultatet fra «Fill sinks»-verktøyet og trekke fra terrengmodellen som er modifisert med bygg, bane og bru. Resultatet viser hvor det er forsenkninger i terrenget og hvor det kan samles vann. Dette kan være reelle problemområder, kanskje spesielt dersom en dreneringslinje passerer forsenkningen i tillegg, eller det kan være et område som for eksempel mangler en stikkrenne. Kartlaget gir ikke et helt nøyaktig bilde, men det gir en god indikasjon på områder hvor man bør være aktsom for ansamlinger av vann eller områder hvor det mangler kulvert/stikkrenne.

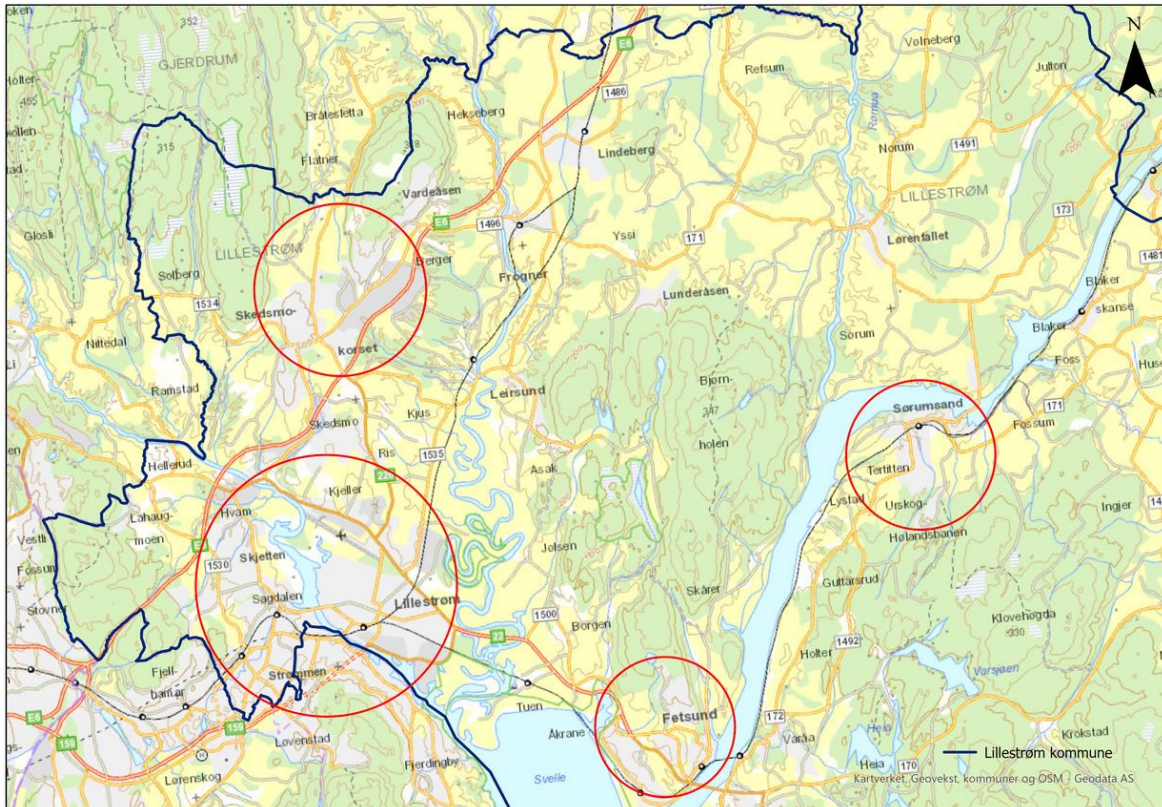
### **4.2.4 Helningsanalyse**

Det utføres en helningsanalyse ved bruk av verktøyet «Slope» i ArcGIS. Verktøyet identifiserer helningen for hver celle i terrengmodellen ved bruk av geodetisk beregningsmetode. Beregningsmetoden bruker X-, Y- og Z-koordinatene fra terrengmodellen og høyden (z-verdi) er ellipsoidehøyden som refereres til ellipsoideoverflaten. Helningen beregnes ut fra vinkelen mellom ellipsoidenormalen og den topografiske overflatenormalen og oppgis i grader.

## **4.3 Identifisere risikoområder**

For identifisering av risikoområder vil urbane og tettbebygde strøk i kommunen være fokusområder. Fokusområdene er markert i figur 14. Her vil geologiske og topografiske parametere vurderes i tillegg til hvorvidt det er viktig infrastruktur i området, samt størrelsen og antall dreneringslinjer gjennom området.





Figur 14: Fokusområder for identifisering av risikoområder: Sørumsand, Fetsund, Lillestrøm sentrum, Strømmen, Kjeller og Skedsmokorset. Bakgrunnskart: Cachetjeneste fra Kartverket hentet fra Geonorge.no.

## 4.4 Beregne dimensjonerende vannføring

For identifiserte risikoområder skal det beregnes dimensjonerende vannføring ved bruk av den rasjonelle formel.

### 4.4.1 Snap utløpspunkter

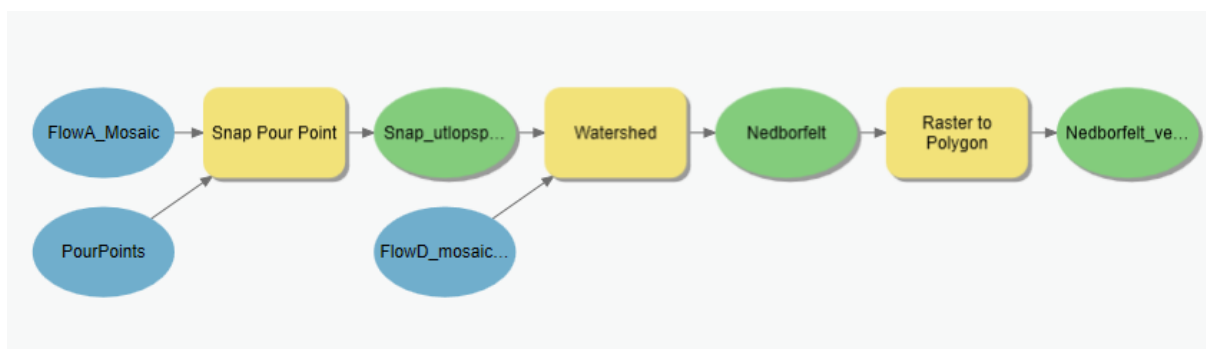
I de identifiserte risikoområdene opprettes det et punktdatasett med punkter som vist i kapittel 4.3. Punktene vil i videre beregninger beskrives som utløpspunkter selv om de ikke nødvendigvis stopper i et vann. Utløpspunktene er plassert i risikoområdene og ikke der dreneringslinjen treffer et «naturlig» utløp, fordi det er vannføringen til risikoområdet vi ønsker å beregne.

Videre brukes verktøyet «Snap pour point» som snapper de plasserte utløpspunktene til cellen med høyest akkumuleringsverdi innen en angitt avstand. Avstanden settes til kun 30 meter for

at vi fortsatt skal holde oss innenfor risikoområdet, men det er fremdeles nok til at verktøyet kan finne cellen med høyest akkumulert verdi. Ved mer nøyaktig utplassering av punkter kan søkeavstanden reduseres.

#### 4.4.2 Nedbørfelt

Nedbørfelt genereres basert på utløpspunktene og dreneringsretningen i verktøyet «Watershed» og deretter vektoriseres feltene.



Figur 15: Modell for snapping av utløpspunkter og generering av nedbørfelt.

#### 4.4.3 Midlere avrenningsfaktor

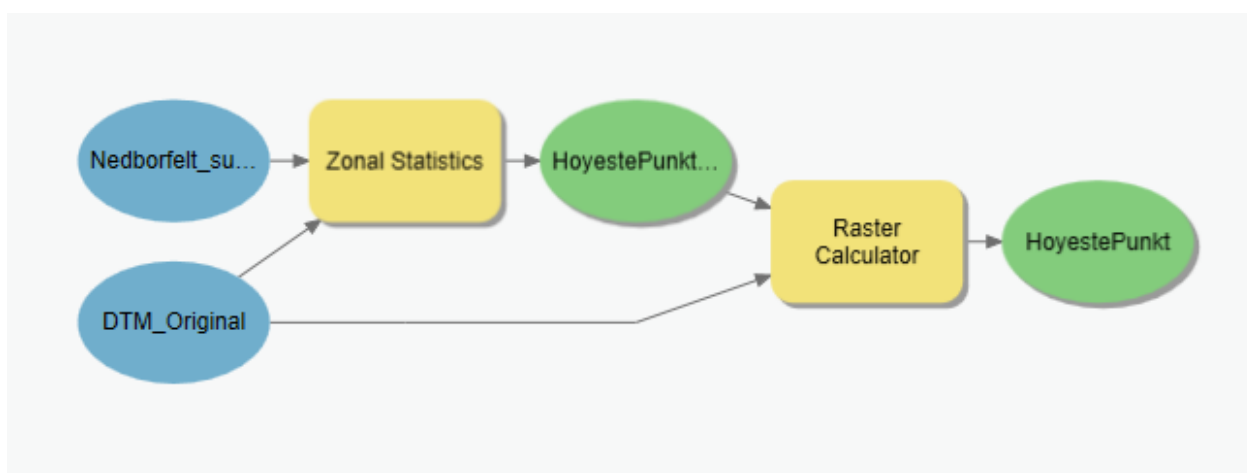
For risikoområdene skal det utføres overslagsberegninger av vannføringen i de ulike nedbørfeltene. Ulike FKB-data spesifiserer ulike objekttyper som kan assosieres med en avrenningsfaktor. For overslagsberegninger regnes det å være tilstrekkelig å kun benytte seg av to typer permeabiliteter: Impermeabel og Helt permeabelt. Bygnings- og veiareal regnes som impermeable og får avrenningsfaktor på henholdsvis 0,9 og 0,8 som illustrert i figur 3. Resten av nedbørfeltet regnes som helt permeabelt og får avrenningsfaktor 0,2 (COWI, 2015).

Midlere avrenningsfaktor (C) for nedbørfeltet beregnes ved å summere arealene til de ulike arealtype og deretter multiplisere med avrenningsfaktoren for de respektive arealtype. Til slutt beregnes midlere avrenningsfaktor for hvert nedbørfelt ved bruk av formel 2. I tillegg beregnes urbaniseringsgraden som angir hvor stor prosentandel av området som er bygd ut med bygninger og vei.

#### 4.4.4 Konsentrasjonstid

For bruk av den rasjonelle formel må konsentrasjonstiden beregnes for hvert nedbørfelt. Konsentrasjonstiden er avhengig av faktorer som avrenningsfaktor, tilrenningslengden (feltlengden) og høydeforskjellen mellom høyeste punkt og utløpspunkt. Feltlengden finnes ved å opprette en profilinje fra utløpspunktet og til fjerneste punktet i nedbørfeltet.

For å finne høydeforskjellen må høyeste punkt innenfor hvert nedbørfelt defineres. Først brukes «Zonal statistics» som identifiserer høyeste verdi i terrengmodellen innenfor hvert felt og tilegner denne verdien til hele feltet.



Figur 16: Modell for å finne høyeste punkt innenfor hvert nedbørfelt.

For å finne nøyaktig hvilken celle dette gjelder brukes følgende betingede uttrykk:

$$\text{Con}("%DTM\_Original%" == "%HoyestePunkt\_DTM%", "%DTM\_Original%")$$

Dette betyr at dersom verdien til en celle i terrengmodellen samsvarer med maks høydeverdi, beholder cellen den opprinnelige verdien som output. Celler med verdier som ikke samsvarer med maks høydeverdi får verdien NoData i output. Resultatet er en celle innenfor hvert nedbørfelt som illustrerer høyeste punkt. Høyden på utløpspunktene kan leses av fra terrengmodellen og høydeforskjellen mellom de to punktene beregnes.

Tabell 4: Høydeforskjellen mellom høyeste og laveste punkt innenfor hvert risikoområde.

Område	Utløpspunkt (moh)	Høyeste punkt (moh)	Høydeforskjell (m)
<i>Sørumsand</i>	138,33	242,87	104,54
<i>Sørumsand stasjon</i>	116,95	162,33	45,38
<i>Fetsund</i>	110,20	179,37	69,17
<i>Lillestrøm sentrum</i>	107,19	109,19	2,00
<i>Strømmen</i>	116,84	294,90	178,06
<i>Kjeller</i>	111,07	214,52	103,45
<i>Skedsmokorset</i>	171,47	203,73	32,26

For å anslå feltenes konsentrasjonstid brukes en metode som baseres på feltets lengde og høydeforskjellen i feltet. Metoden er beregnet for urbane felt og er beskrevet i Statens Vegvesen Håndbok V240.

$$T_k = 0,02 \times L_f^{1,15} \times \Delta h^{-0,39}$$

Formel 3: Formel for beregning av konsentrasjonstid i urbane felt. (Statens Vegvesen, 2020)

$T_k$  = Konsentrasjonstid (min)

$L_f$  = Feltlengden (m)

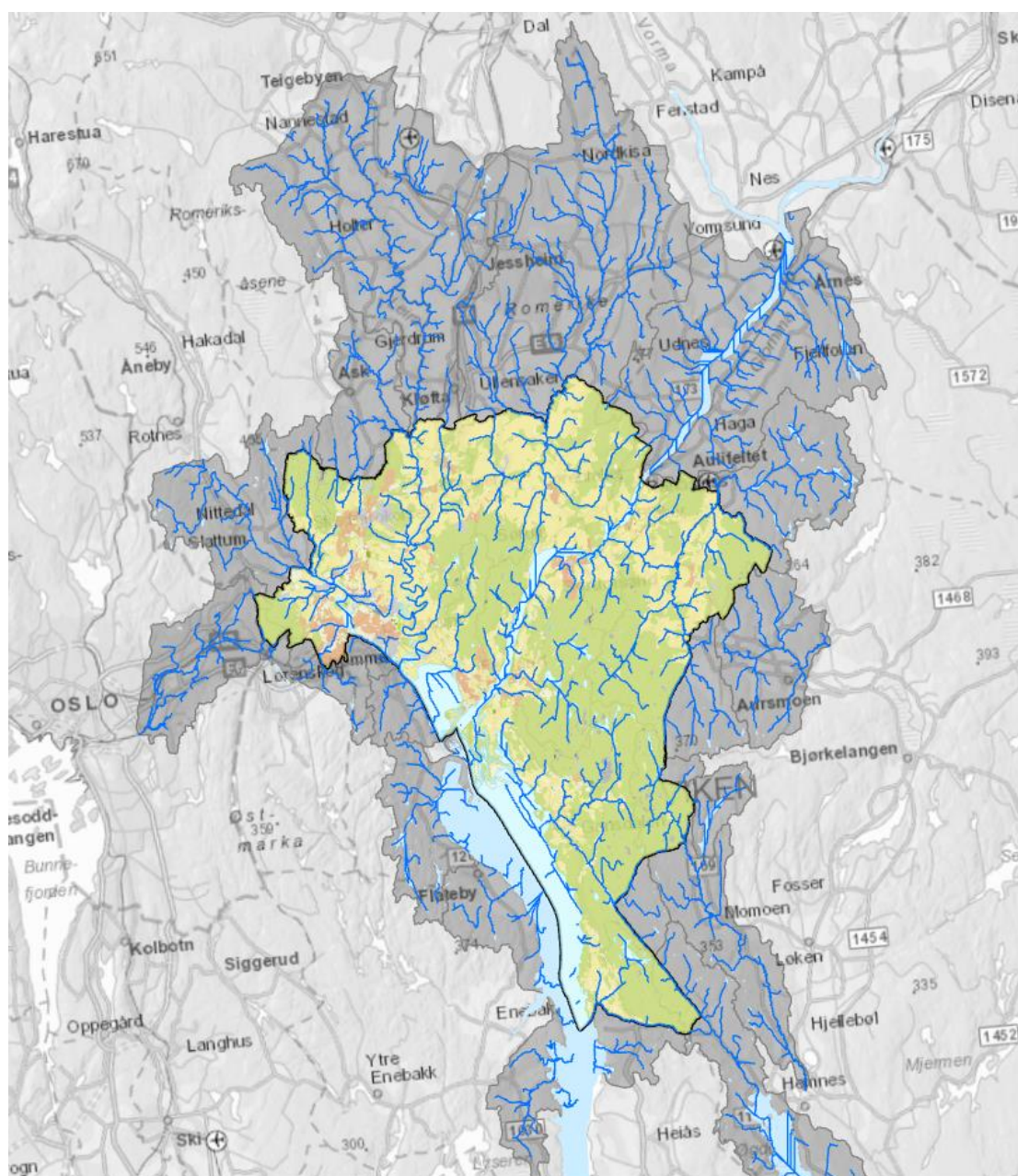
$\Delta h$  = Høydeforskjell i feltet (m)

Videre brukes konsentrasjonstidene til å lese av nedbørintensiteten for ulike gjentakintervall i IVF-kurver til videre bruk i Rasjonelle formel.

# 5 Resultat

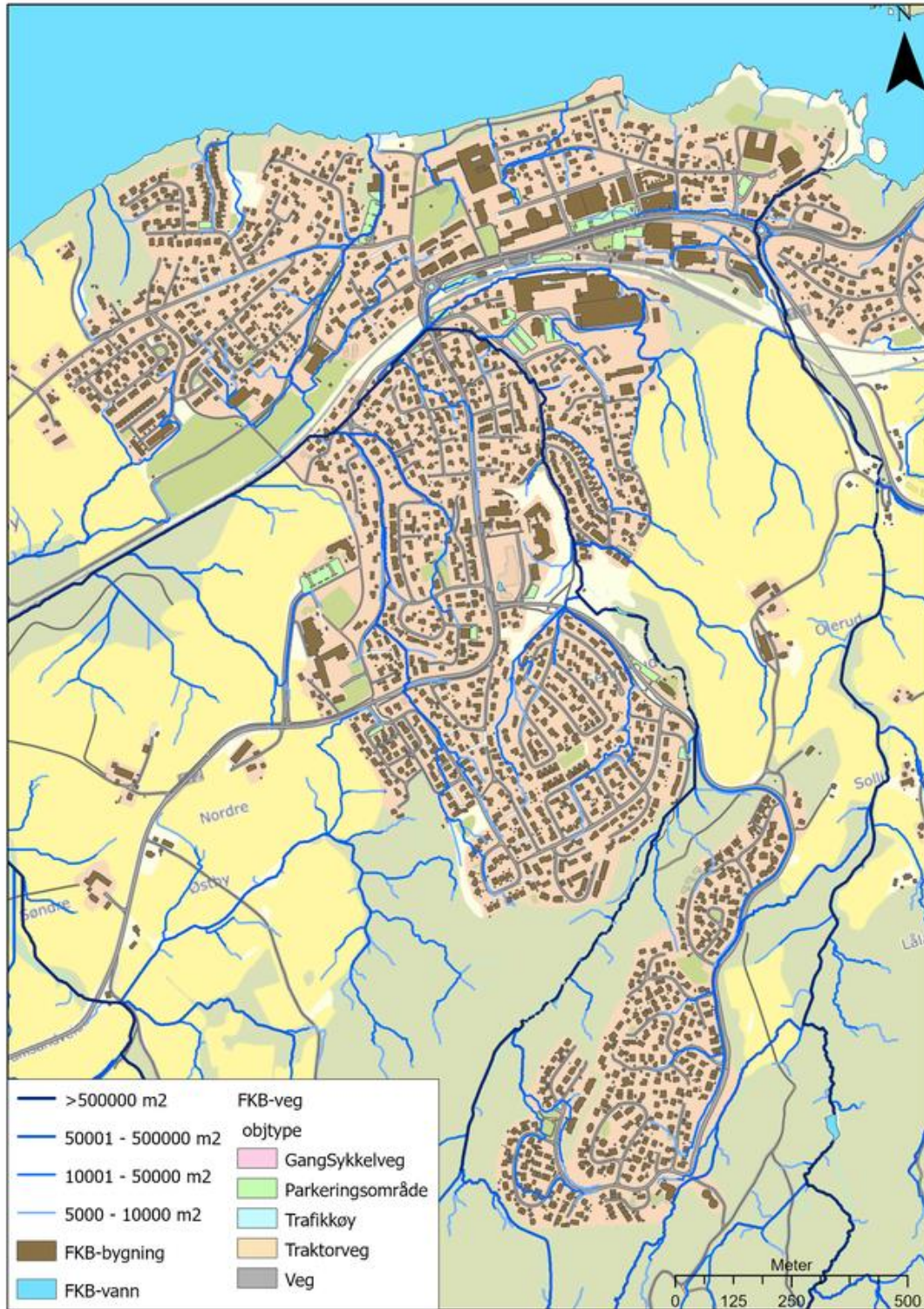
## 5.1 Dreneringslinjer

Figur 17 illustrerer dreneringslinjer med akkumulert areal  $> 500\,000\text{ m}^2$  for analyseområdet.



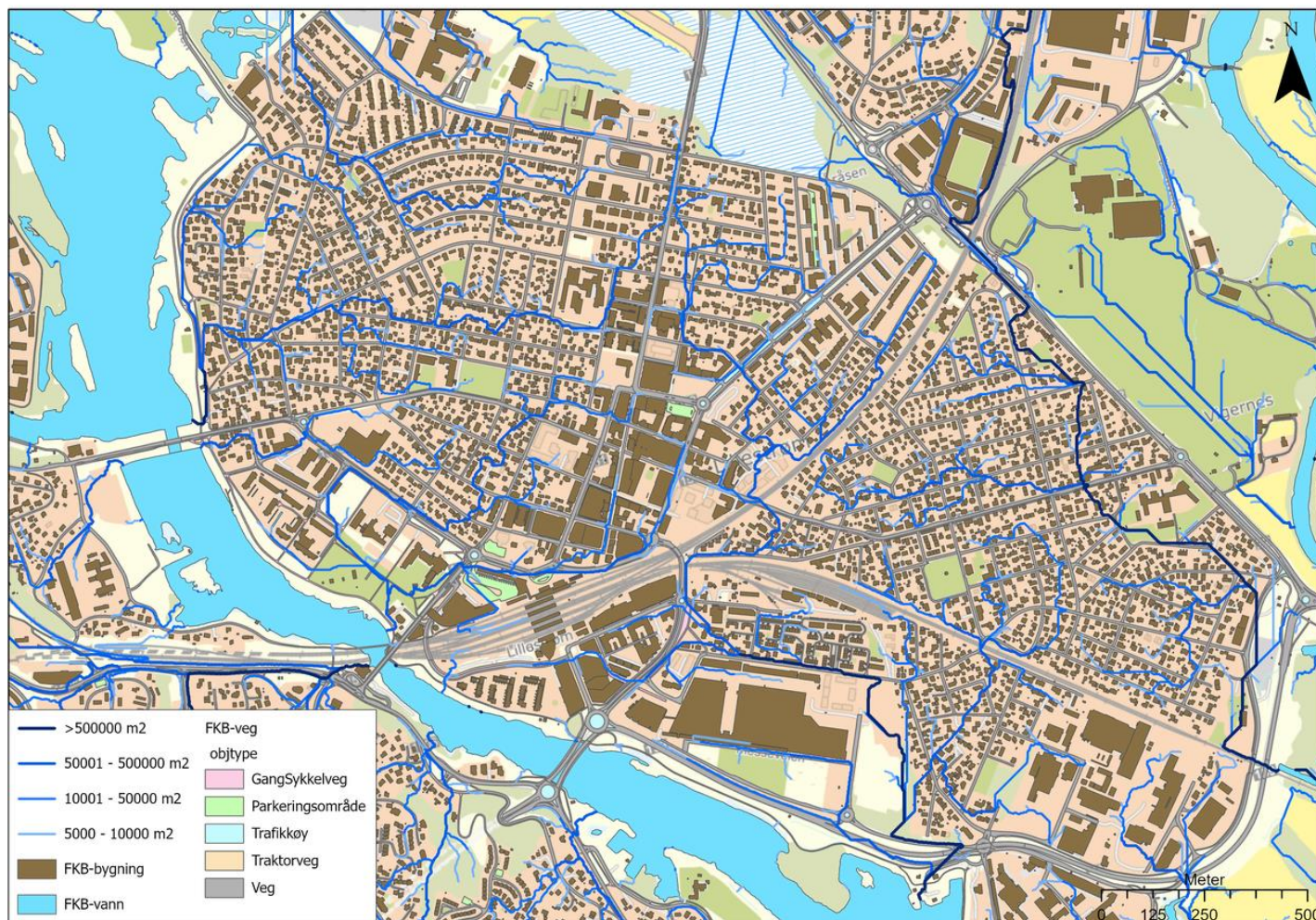
Figur 17: Dreneringslinjer for akkumulert areal større enn  $500\,000\text{ m}^2$ . Bakgrunnskart: Cachetjeneste fra Kartverket hentet fra Geonorge.no.

Kartutsnittet i figur 18 viser tettstedet Sørumsand og beregnede dreneringslinjer av ulike størrelsesorden.



Figur 18: Oversiktskart av Sørumsand med dreneringslinjer av ulike størrelse. Bakgrunnskart: Cachetjeneste fra Kartverket hentet fra Geonorge.no. FKB-data fra Geonorge.no.

Kartutsnittet i figur 19 viser Lillestrøm by og beregnede dreneringslinjer av ulike størrelsesorden.



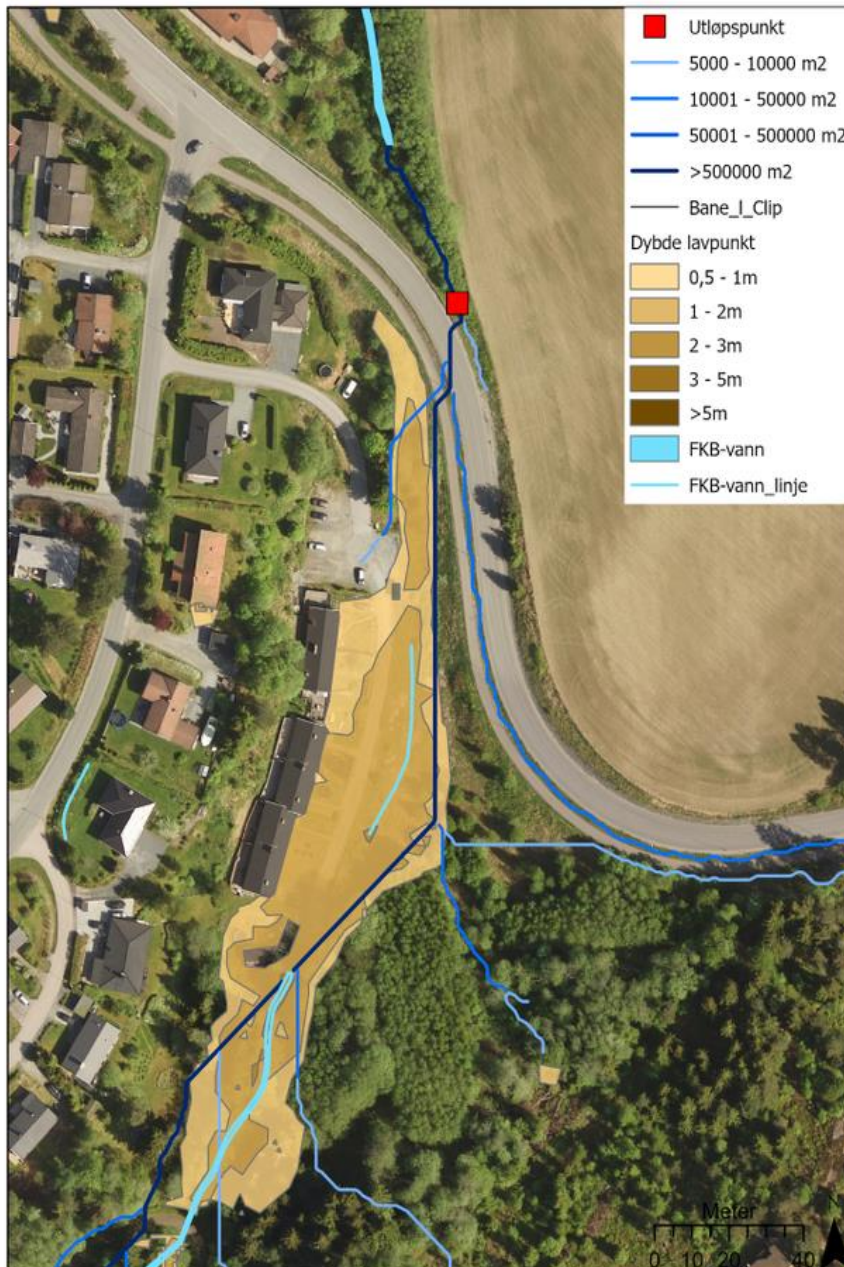
Figur 19: Oversiktskart av Lillestrøm by med dreneringslinjer av ulike størrelse. Bakgrunnskart: Cachetjeneste fra Kartverket hentet fra Geonorge.no. FKB-data fra Geonorge.no.

## 5.2 Mulige risikoområder og genererte nedbørfelt

### Område 1 – Sørumsand

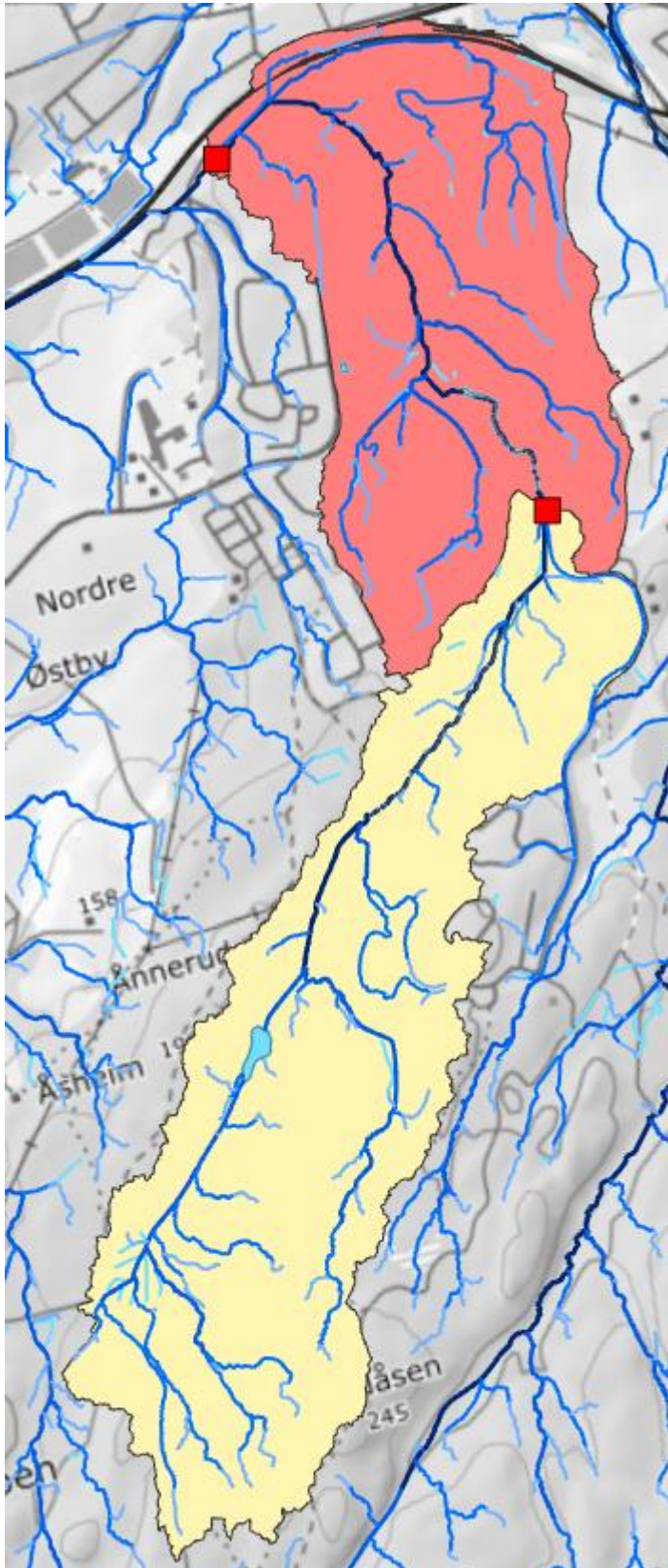
Figur 20 viser et boligfelt på Sørumsand med et eksempel på en mulig kritisk bekkelukking. Fra flyfoto kommer det tydelig frem at det er en bekkelukking som ligger under Suluveien øst for boligene og som stopper på andre siden av Orderudveien. Dette bekreftes ved å se på FKB-vann som viser at bekken stopper ved inntaket til røret og starter igjen på andre siden av

veien. Området befinner seg i tillegg i et lavpunkt, og det samles flere dreneringslinjer gjennom lavpunktet. Bekken går også først gjennom tett skog som kan dra med seg kvister og diverse som kan tette åpningen på bekkelukkingen. Dersom bekkelukkingen går tett i et tilfelle av kraftig nedbør vil lavpunktet kunne fylles med vann og vannet vil finne nye veier ut fra området. Figur 21 viser det genererte nedbørfeltet for risikoområdet (i gult) og det er et nedbørfeltareal på 0,97 km<sup>2</sup> som drenerer mot utløpspunktet i området.



Figur 20: Kartutsnitt fra et boligfelt på Sørumsand. Suluveien ligger i et lavpunkt og under veien er det en mulig kritisk bekkelukking. Bakgrunnskart: Cachetjeneste fra Kartverket hentet fra Geonorge.no. FKB-data fra Geonorge.no.

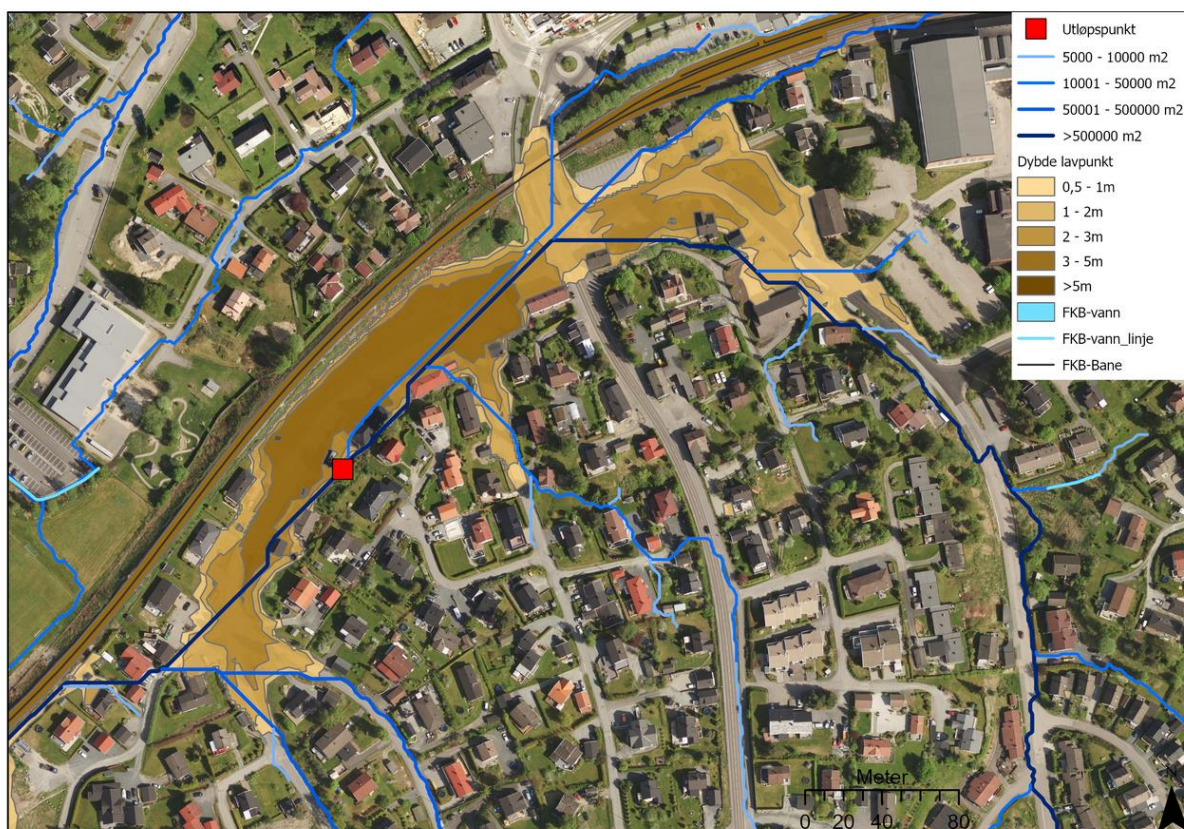




Figur 21: Genererte nedbørfelt for risikoområde 1 og 2 på Sørumsand. Nedbørfelt i rødt – 0,72 km<sup>2</sup> og nedbørfelt i gult – 0,97 km<sup>2</sup>. Bakgrunnskart: Cachetjeneste fra Kartverket hentet fra Geonorge.no.

## Område 2 – Sørumsand stasjon

I området ved Sørumsand stasjon er det et større lavpunkt som også befinner seg flere dreneringslinjer. I tillegg er det som vist i figur 21 et massivt areal som drenerer til lavpunktområdet, da nedbørfeltet tilhørende risikoområde 1 også drenerer til nedbørfeltet tilhørende Sørumsand stasjon. Her er det muligheter for opphopning av vann i tilfeller av ekstrem nedbør der fordrøyningsløsninger er tette/overbelastede. Jernbanen går forbi langs nordsiden av området og befinner seg oppå en bratt skråning på mellom 20-30°, og noen steder enda brattere. Store vannmengder vil kunne erodere i bunn av skråningen og påvirke stabiliteten.



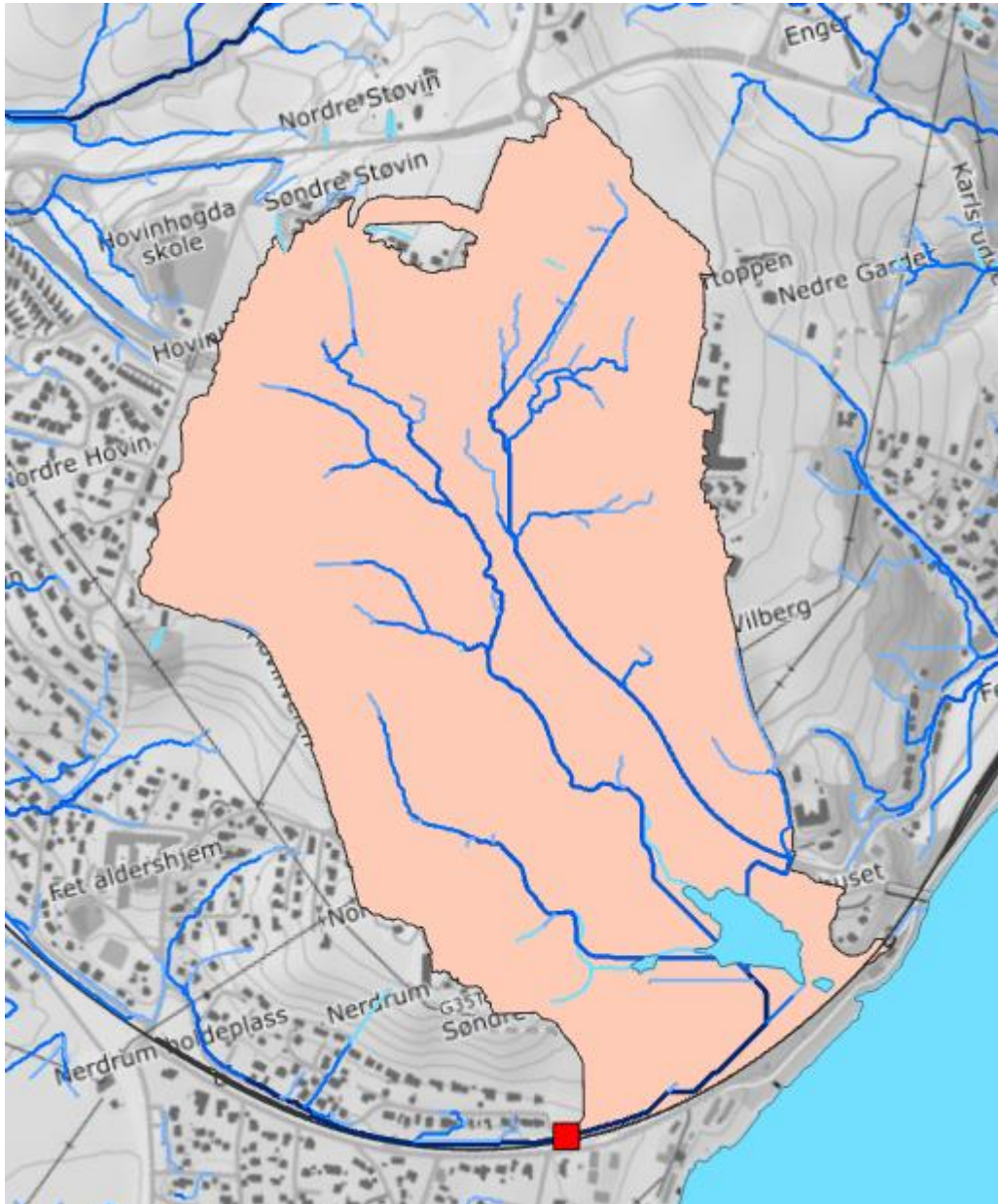
Figur 22: Lavpunkt område ved Sørumsand stasjon nedstrøms flere store nedbørfelt. Bakgrunnskart: Cachetjeneste fra Kartverket hentet fra Geonorge.no. FKB-data fra Geonorge.no.

### Område 3 – Fetsund

Ganske midt mellom Fetsund stasjon og Nerdrum stasjon ligger toglinjen i et lavpunkt langs Lundveien. Det er flere store dreneringslinjer i området og toglinjen ligger nedstrøms et stort dreneringsområde illustrert i figur 24. I sørvestlige del av jordet er det helning på mellom 20-30°, og noen steder enda brattere, i skråningen ned mot toglinjen. Det går også flere mindre dreneringslinjer fra jordet og ned mot toglinjen, men disse drenerer mindre enn 5000 m<sup>2</sup> og er ikke illustrert i figur 23. Ved tette/overbelastede fordrøyningsløsninger kan store vannmengder påvirke massene under togsporet.



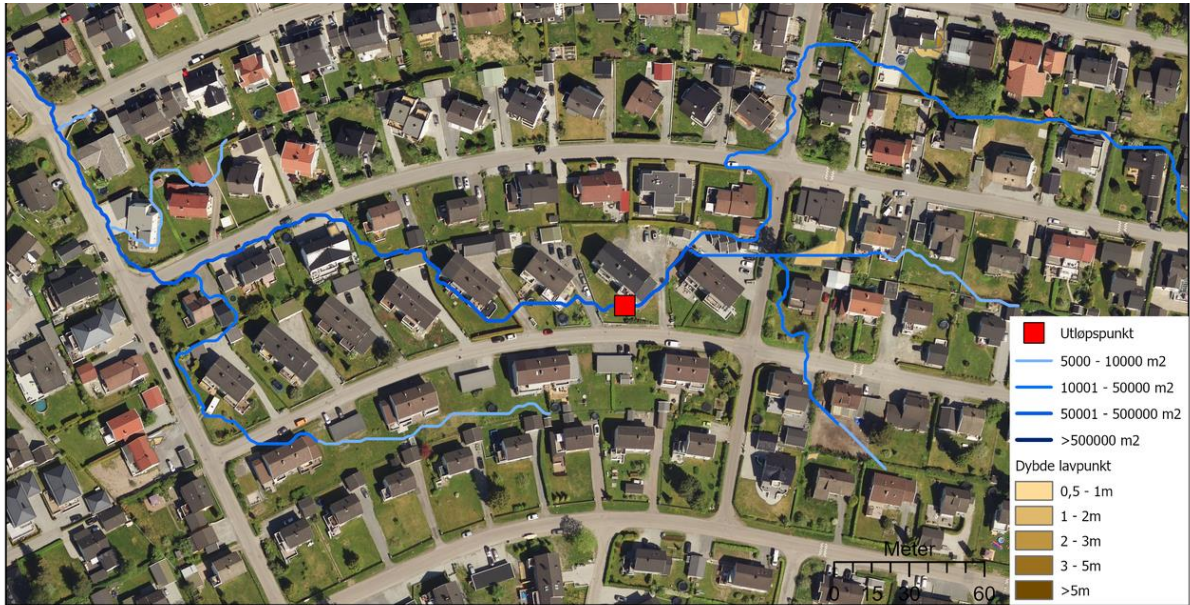
Figur 23: Mulig risikoområde langs toglinja i Fetsund. Bakgrunnskart: Cachetjeneste fra Kartverket hentet fra Geonorge.no. FKB-data fra Geonorge.no.



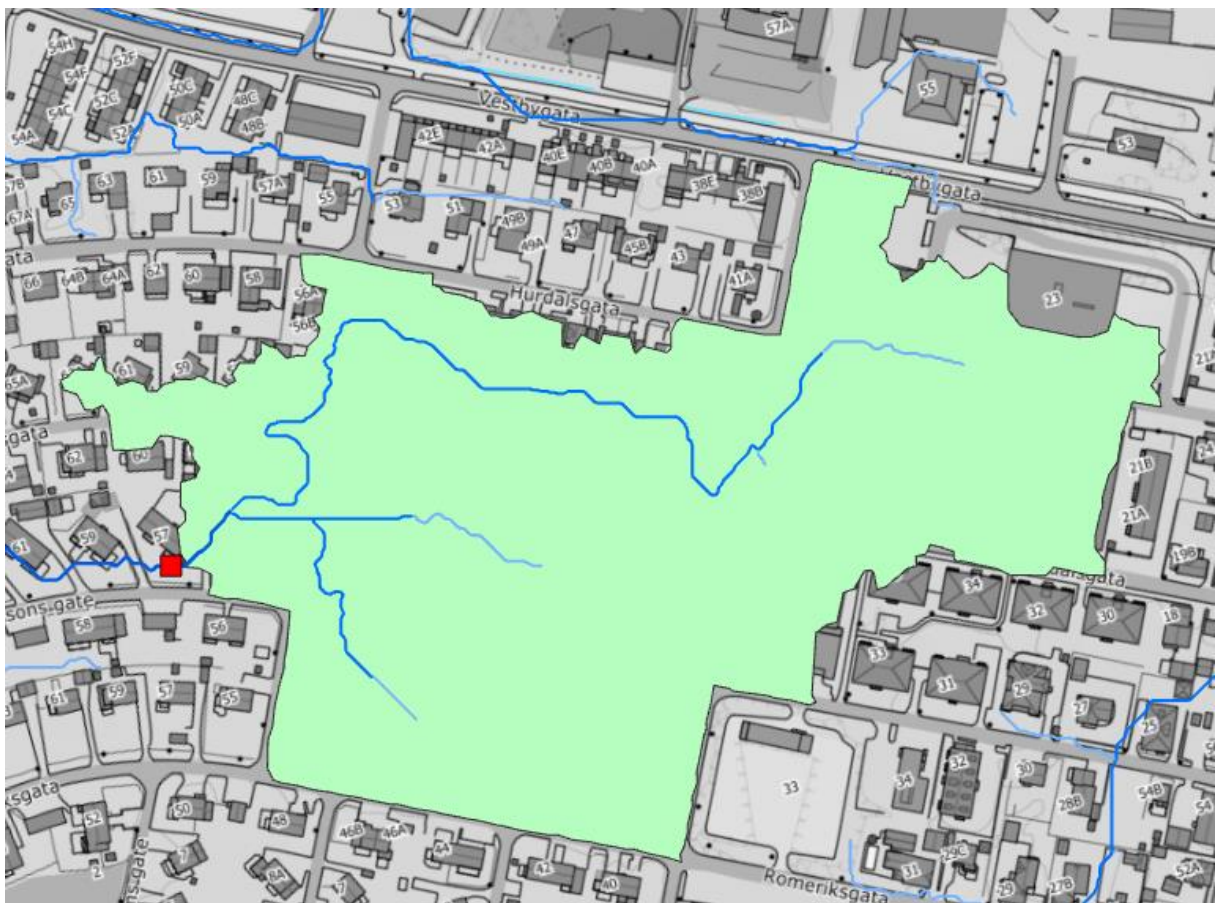
Figur 24: Toglinjen ligger nedstrøms et stort nedbørfelt med areal 0,7 km<sup>2</sup>. Bakgrunnskart: Cachetjeneste fra Kartverket hentet fra Geonorge.no.

#### Område 4 – Lillestrøm sentrum

Lillestrøm sentrum består av en del tette flater som kan gi høy avrenning i ekstreme nedbørsperioder. I bydelen Volla er det flere store dreneringslinjer som møtes i et boligområde ved Bjørnsons gate. Under ekstreme nedbørhendelser kan husene risikere vannskader uten god drenering. Det utvalgte området illustrert i figur 25 er kun ett av mange slike eksempler fra Lillestrøm.



Figur 25: Dreneringslinjer i bydelen Volla i Lillestrøm sentrum. Bakgrunnskart: Cachetjeneste fra Kartverket hentet fra Geonorge.no. FKB-data fra Geonorge.no.



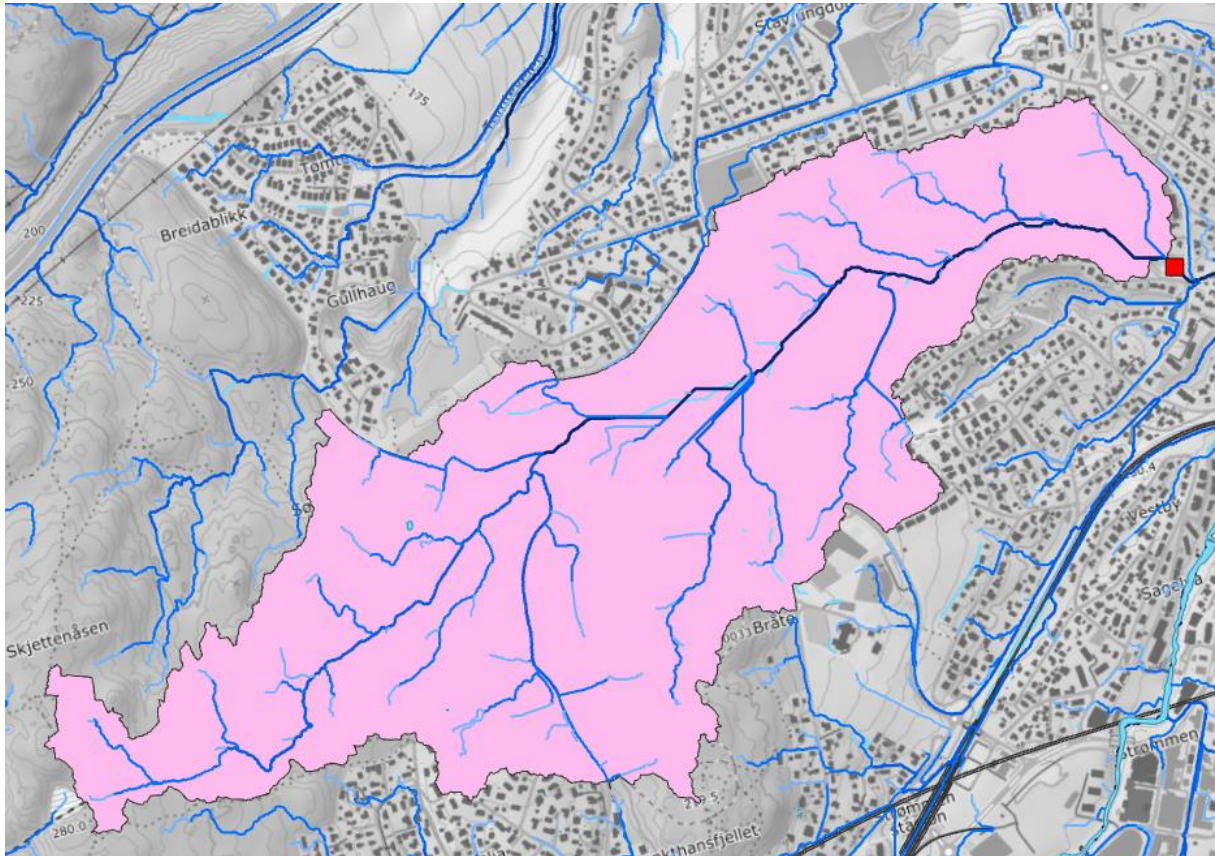
Figur 26: Nedbørfeltet på 0,07 km<sup>2</sup> som drenerer til blant annet Bjørnsøns gate 57 i Lillestrøm sentrum. Bakgrunnskart: Cachetjeneste fra Kartverket hentet fra Geonorge.no.

## Område 5 – Strømmen

I dette området på Strømmen er det en kvikkleiresone med faregrad middels. Helt sørvest i feltet er det et lavpunkt som har bratte skråninger. Store deler av skråningene nord og sør for bekken har en helning på mellom 20-30°. Gjennom lavpunktet møtes to store dreneringslinjer i en bekk. Det er en kulvert/bekkelukking under Statsråd Ihlens vei v/Rettenveien, og som vist i figur 28 er det et stort nedbørfelt som drenerer til denne. Dersom denne skulle gå tett eller overbelastes vil det kunne demmes opp store mengder vann i området. Kraftig vannføring og vannopphopning vil kunne erodere på løsmassene i området og grave seg inn i skråningen.



Figur 27: Mulig kritisk kulvert/bekkelukking på Strømmen. Kraftige vannmasser kan erodere i skråningen som grenser til kvikkleiresonen. Bakgrunnskart: Cachetjeneste fra Kartverket hentet fra Geonorge.no. FKB-data fra Geonorge.no.



Figur 28: Nedbørfelt på 1,20 km<sup>2</sup> drenerer til utløpspunkt ved Statsråd Ihlens vei/Rettenveien. Bakgrunnskart: Cachetjeneste fra Kartverket hentet fra Geonorge.no.

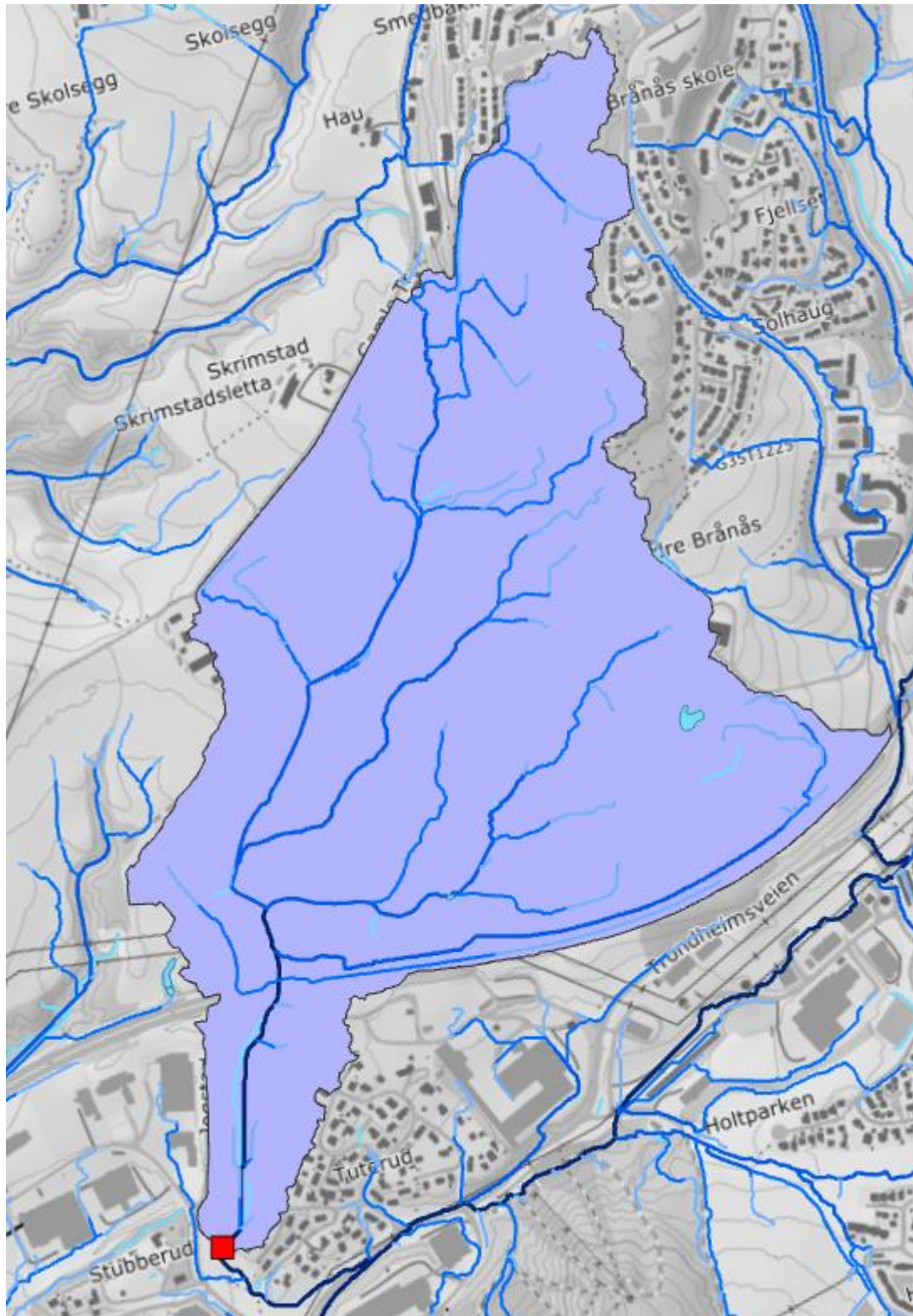
## Område 6 – Kjeller

I dette området på Kjeller er det ganske lik situasjon som for området på Strømmen. Langs kanten av kvikkleiresonen med middels faregrad drenerer det en bekk i lavpunktområdet, som skiller kvikkleiresonen fra boligfeltet i øst. Skråningene på hver side av bekken har bratt helning på 20-30°. Figur 30 viser at det også her er et stort nedbørfelt som drenerer til utløpspunktet. Det ser også ut til at det er en bekkelukking i området da bekken fra FKB-vann stopper i sørenden av lavpunktområdet.



Figur 29: Lavpunktsovråde mellom Jogstadveien og Tuterudkroken på Kjeller. Kvikkleiresone med middels faregrad vest for lavpunkt med bekk. Bakgrunnskart: Cachetjeneste fra Kartverket hentet fra Georange.no. FKB-data fra Georange.no.





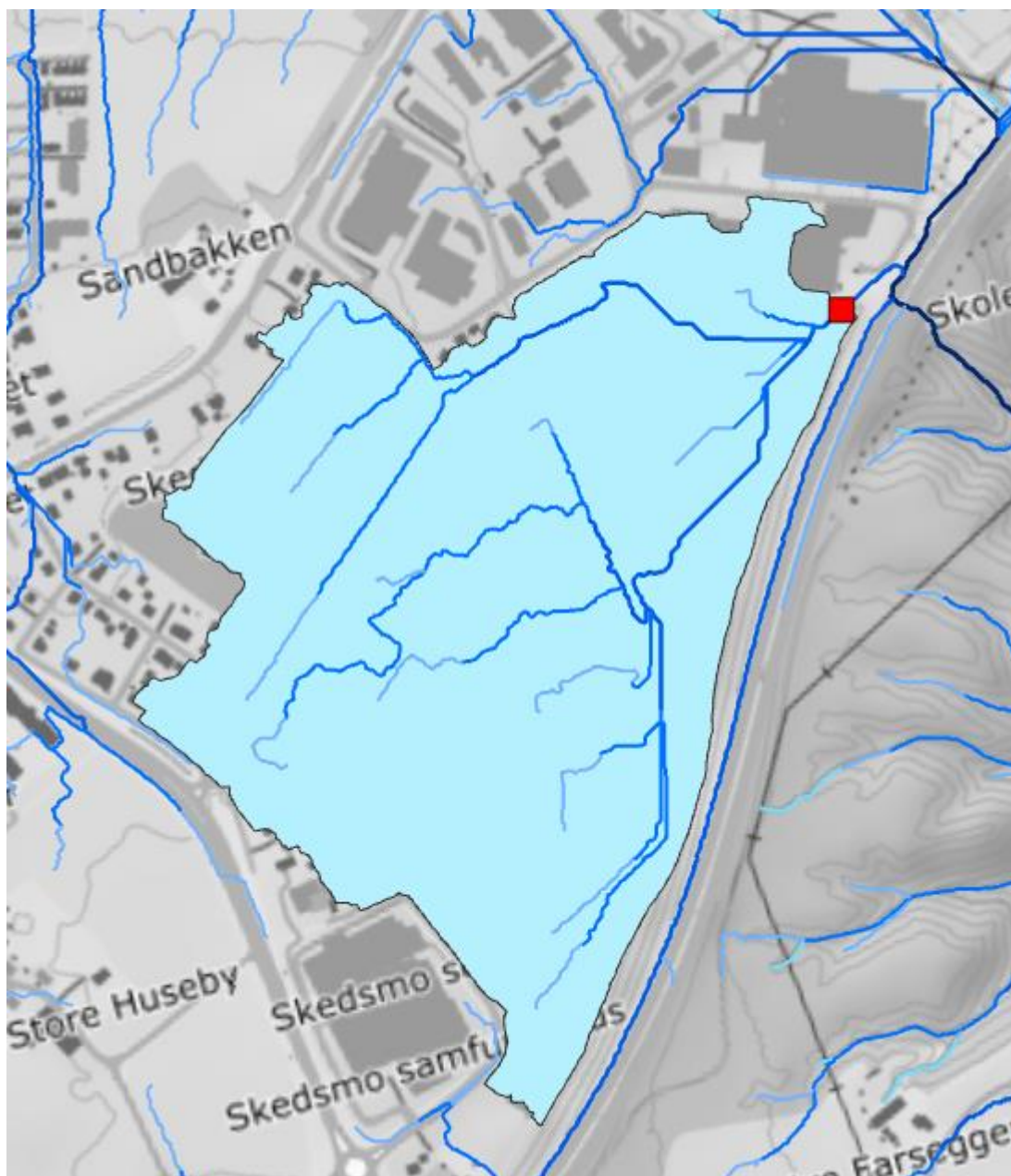
Figur 30: Nedbørfelt med areal 0,87 km<sup>2</sup> drenerer til utløpspunktet i lavpunktet. Bakgrunnskart: Cachetjeneste fra Kartverket hentet fra Geonorge.no.

## Område 7 – Skedsmokorset

Gjennom dette boligområdet ved Stubben/Skogfaret på Skedsmokorset går det flere store dreneringslinjer samt at mange av boligene ligger i et lavpunkt. Her vil det kunne samles vann i tilfeller av ekstrem nedbør.



Figur 31: Lavpunktsonråde i boligfelt på Skedsmokorset. Bakgrunnskart: Cachetjeneste fra Kartverket hentet fra Geonorge.no. FKB-data fra Geonorge.no.



Figur 32: Nedbørfelt med areal på 0,28 km<sup>2</sup> drenerer til boligområdet ved Stubben/Skogfaret. Bakgrunnskart: Cachetjeneste fra Kartverket hentet fra Geonorge.no.

## 5.3 Avrenningsfaktor

For utregninger brukes Calculate-funksjonen i kartlagets attributtavregning. Tabell 5 illustrerer totale arealet av hver arealtype innenfor hvert nedbørfelt.

Tabell 5: Summering av totale areal av hver arealtype basert på FKB-data innenfor hvert nedbørfelt.

Område	Nedbørfelt areal (m <sup>2</sup> )	Veiareal (m <sup>2</sup> )	Bygningsareal (m <sup>2</sup> )	Resterende areal (m <sup>2</sup> )
<i>Sørumsand</i>	965793,70	22654,08	37565,18	905574,45
<i>Sørumsand stasjon</i>	719968,51	60967,42	89228,78	569772,30
<i>Fetsund</i>	702747,01	41128,93	28153,15	633464,93
<i>Lillestrøm sentrum</i>	69018,42	8393,41	13613,05	47011,95
<i>Strømmen</i>	1203932,73	48310,63	82379,15	1073242,95
<i>Kjeller</i>	866410,53	47730,27	37058,68	781621,59
<i>Skedsmokorset</i>	276057,80	17540,78	38447,18	220069,84

Basert på avrenningsfaktorer fra figur 3 og bruk av formel 2 er det beregnet midlere avrenningsfaktor innenfor hvert nedbørfelt. Resultatet angis i tabell 6.

Tabell 6: Utregning av midlere avrenningsfaktor for hvert nedbørfelt.

Område	C vei	C bygning	C resterende	C midlere	Urbaniseringsgrad
<i>Sørumsand</i>	18123,26	33808,66	181114,89	0,24	6,24 %
<i>Sørumsand stasjon</i>	48773,94	80305,90	113954,46	0,34	20,86 %
<i>Fetsund</i>	32903,14	25337,84	126692,99	0,26	9,86 %
<i>Lillestrøm sentrum</i>	6714,73	12251,74	9402,39	0,41	31,88 %
<i>Strømmen</i>	38648,51	74141,23	214648,59	0,27	10,86 %
<i>Kjeller</i>	38184,21	33352,81	156324,32	0,26	9,79 %
<i>Skedsmokorset</i>	14032,63	34602,46	44013,97	0,34	20,28 %

## 5.4 Konsentrasjonstid

Tabell 7: Beregnet konsentrasjonstid ved bruk av formel 3.

Område	Feltlengde (m)	Høydeforskjell i feltet (m)	Konsentrasjonstid (min)	Avrundet konsentrasjonstid
<i>Sørumsand</i>	2327,76	104,54	24,29	20
<i>Sørumsand stasjon</i>	1188,29	45,38	15,52	15
<i>Fetsund</i>	1354,54	69,17	15,31	15
<i>Lillestrøm sentrum</i>	422,43	2	15,97	15
<i>Strømmen</i>	2344,04	178,06	19,90	20
<i>Kjeller</i>	1929,18	103,45	19,65	20
<i>Skedsmokorset</i>	677,79	32,26	9,30	10

## 5.5 Nedbørintensitet

Figur 33 viser IVF-verdier ( $l/(s*ha)$ ) hentet fra klimaservicesenter.no.

Nedbørsintensitetsverdier brukt i den rasjonelle formel er markert ut basert på beregnet avrundet konsentrasjonstid og ønskede gjentakintervaller.

IVF-verdier ( $l/(s*ha)$ )										
	Varigheter (minutter)									
Gjentaksintervall (år)	1	2	3	5	10	15	20	30	45	60
2	307,5	276,2	243,4	202,7	155,7	128,7	110,0	87,9	67,5	54,0
5	398,6	365,5	332,6	271,5	195,2	159,2	139,5	111,7	84,0	69,8
10	458,8	424,6	391,6	317,1	221,3	179,4	158,9	127,5	95,0	80,3
20	516,6	481,3	448,3	360,8	246,3	198,8	177,6	142,7	105,5	90,4
25	535,0	499,3	466,3	374,7	254,3	204,9	183,6	147,5	108,9	93,6
50	591,5	554,7	521,6	417,4	278,7	223,8	201,8	162,3	119,2	103,5
100	647,6	609,7	576,6	459,8	303,0	242,6	220,0	177,0	129,4	113,3
200	703,6	664,5	631,4	502,1	327,3	261,3	238,1	191,7	139,6	123,0

Figur 33: IVF-tabell hentet fra klimaservicesenter.no

## 5.6 Dimensjonerende vannføring

Klimafaktor på 40 % er inkludert i beregningen for å ta høyde for fremtidig økning i nedbørintensitet grunnet klimaendringer.

Tabellen angir dimensjonerende vannføring i hvert nedbørfelt for ulike gjentakintervaller.

Tabell 8: Dimensjonerende vannføring beregnet ved bruk av Rasjonelle formel (formel 1).

Område	Vannføring 2 års gj.intervall		Vannføring 20 års gj.intervall		Vannføring 200 års gj.intervall	
	l/s	m3/s	l/s	m3/s	l/s	m3/s
<i>Sørumsand</i>	3588,92	3,59	5794,48	5,79	7768,38	7,77
<i>Sørumsand stasjon</i>	4378,99	4,38	6764,13	6,76	8890,68	8,89
<i>Fetsund</i>	3332,14	3,33	5147,08	5,15	6765,25	6,77
<i>Lillestrøm sentrum</i>	511,15	0,51	789,56	0,79	1037,79	1,04
<i>Strømmen</i>	5042,55	5,04	8141,43	8,14	10914,83	10,91
<i>Kjeller</i>	3509,06	3,51	5665,54	5,67	7595,53	7,60
<i>Skedsmokorset</i>	2019,56	2,02	3194,72	3,19	4245,36	4,25

## 6 Diskusjon

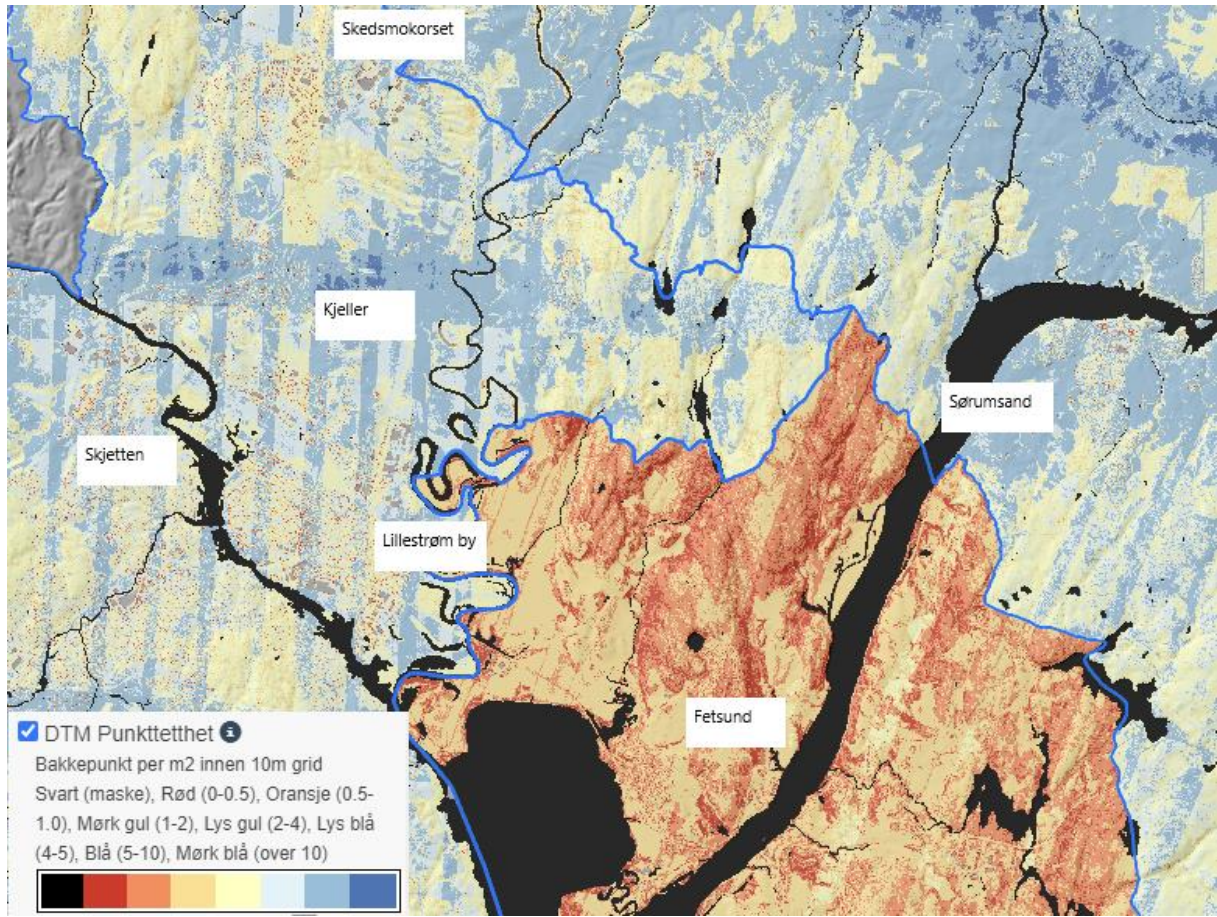
### 6.1 DTM 1 og modifisering ved bruk av FKB-data.

Bakgrunnen for etablering av en landsdekkende modell med detaljerte høydedata er behovet for økt kvalitet på grunnlagsdata i ulike analyser og produkter. Dette skyldes i stor grad klimaendringer som gir nye utfordringer når det kommer til arealplanlegging og beredskap. Mer detaljerte høydedata vil medføre større nøyaktighet i skred- og flomanalyser og dermed gi et bedre kunnskapsgrunnlag for beredskapsplanlegging og iverksetting av forebyggende tiltak. Samfunnseffekter innebærer blant annet færre person- og materielle skader og reduserte kostnader som følge av naturskader. (Grubbmo, et al., 2017)

I Kartverkets samfunnsøkonomiske analyse av NDH-prosjektet pekes det på at NVE har spesielt god nytte av mer detaljerte høydedata til bruk i blant annet beregninger av flomveier. I den samme analysen peker Oslo og Sandnes kommune samt Miljødirektoratet på at en mer detaljert høydemodell gir bedre grunnlag for urbane flom- og overvannsanalyser. Dette vil dog være avhengig av en høyere oppløsning enn det som er minimumskrav i prosjektet (2 punkter per m<sup>2</sup>). I tillegg vil en nasjonal detaljert høydemodell gi merverdi ved at den kan forbedre andre datagrunnlag som for eksempel FKB-data. (Grubbmo, et al., 2017).

DTM 1 brukt i analysen er etablert fra flere ulike laserskanningsprosjekter på Nedre Romerike. To av prosjektene ble utført i 2017 og 2019 og dekker alle identifiserte risikoområder i Lillestrøm sentrum, Sørumsand, Strømmen, Kjeller og Skedsmokorset. Minimum punkttetthet for disse prosjektet var 5.0 pkt/m<sup>2</sup>, som tilsvarer kravene til punkttetthet i delspesifikasjonen FKB-Laser-B. Risikoområdene i Fetsund ble skannet i 2019 med laserstandard tilsvarende FKB-Laser-C. Punkttettheten innenfor de ulike områdene er illustrert i Figur 34.





Figur 34: Registrert punktthet per kvadratmeter fra de ulike kartleggingsprosjektene. Fetsund og omegn har lavere punktthet enn de andre tettstedene i kommunen. (Kartverket, u.d.)

Som illustrert i figur 34 er det varierende grad av punktthet i de ulike fokusområdene i kommunen. For alle tettsteder, med unntak av Fetsund, er det hovedsakelig kartlagt minimum 2 pkt/m<sup>2</sup>. For Fetsund er det dokumentert vesentlig lavere punktthet som kan ha gitt utslag i beregning av strømningsretning ved bruk av D8-metoden.

Opprinnelig var det planlagt å modifisere terrengmodellen med FKB-vei for å sikre at vannet fulgte veien i områder med oppbygd fortau og i veigrøftene der det var naturlig. Likevel ble modellen kjørt uten videre modifiseringer av vei for å teste hvorvidt DTM 1 er egnet for å skille på de ulike typene av vei i dreneringsanalysen. Figur 35 viser et eksempel fra Kjeller der dreneringslinjene går i veibanen i områder med oppbygd fortau. Figur 36 illustrerer hvordan dreneringslinjen holder seg til veigrøften mellom fortauet og veien. Resultatene viser at dreneringslinjene hovedsakelig følger traseene som er naturlige, med noen unntak. Dette kan skyldes områder med litt lavere punktthet som ikke har klart å fange opp alle fortauskanter like godt. En mulig løsning hadde vært å filtrere ut objekttypene «Fortauskant»

og «Vegkant» for deretter å heve disse. På den måten ville vannet vært tvunget til å følge veien i områder med oppbygde fortau og vegkanter.

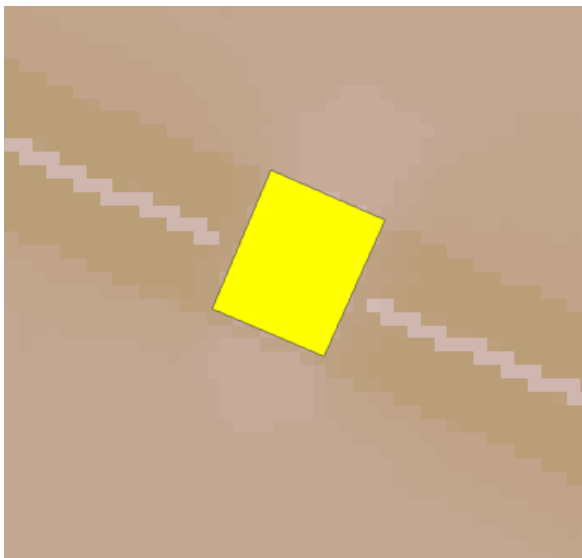


Figur 35: Utklipp fra modell i ArcGIS Pro. Beregnede dreneringslinjer følger veien i områder med oppbygd fortau.

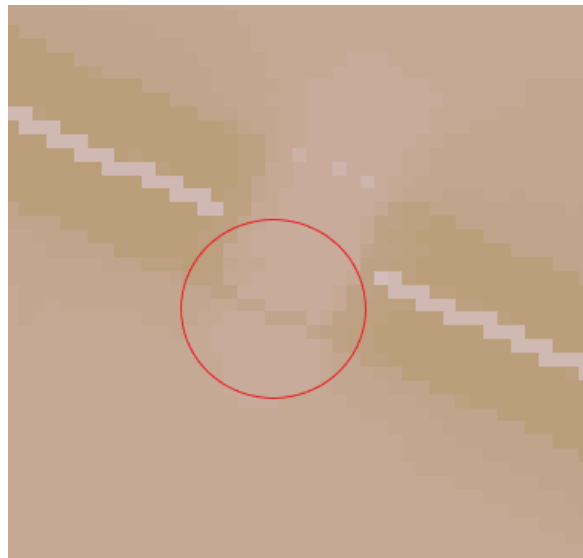


Figur 36: Utklipp fra modell i ArcGIS Pro. I dette området hvor veien er oppbygd følger dreneringslinjen grøften mellom fortau og vei.

Videre er ikke alle hulrom under bruer blitt fanget opp på en tilfredsstillende måte slik at de i stedet fungerer som demninger. Dette problemet blir delvis løst ved å modifisere terrengmodellen med FKB-vann og senke elveløpene. For bruer som går over vei, gangvei og lignende er ikke problemet like enkelt å løse. Det som ble gjort i analysen var å bruke datasettet FKB-BygnAnlegg og filtrere på objekttype bru for deretter å senke bruene som ved FKB-vann. Som for andre FKB-data er fotogrammetrisk datafangst den dominerende metoden for datainnsamling, og kvaliteten på dataene vil variere i ulike områder. Fra analysen er det identifisert minst ett tilfelle der data fra FKB-BygnAnlegg ikke stemmer overens med terrengmodellen. Figur 37 illustrerer bru fra FKB-data og figur 38 viser terrengmodellen etter at bruene er senket. Da det ikke er fullstendig overensstemmelse med terrengmodellen og FKB-data vil dette føre til at det fortsatt vil være en demning foran undergangen til tross for at bruene er senket. Dette vil kunne stoppe strømmingen i analysen, mens det i realiteten vil kunne strømme vann under bruene.



*Figur 37: Bru fra FKB-BygnAnlegg i gult. Under bruene er det en undergang for fotgjengere.*



*Figur 38: Terrengmodellen etter at bruene er senket. Det gjenstår en liten flik som ikke er blitt senket og som vil fungere som demning for vannet i modellen.*

FKB-bygg ble brukt i analysen for å modifisere terrengmodellen slik at dreneringslinjene går langs og rundt en bygning, fremfor rett gjennom. Alle objekttypene i FKB-bygg ble konvertert til raster og fikk en fiktiv høyde slik at de ble hevet over opprinnelig terreng. Datasettet inneholder dog flere objekttyper som ikke nødvendigvis er et hinder for drenering av vann i virkeligheten. Det burde derfor vært filtrert på objekttype, hvor takoverbygg og

lignende ikke ble inkludert i modifiseringen da vannet fortsatt kan renne «gjennom» og under disse. Dette kan gi et falskt inntrykk av at dreneringslinjen har større avstand til hus enn den i realiteten har.

## 6.2 Dreneringslinjer

### 6.2.1 Dreneringsalgoritmen D8

D8-metoden for definering av strømningsretningen er en grov forenkling av vannets bevegelse i terrenget. Metoden er velegnet og mye brukt for å definere dreneringslinjer og nedbørsfelt, men forenklingen gjør at metoden har flere svakheter.

Algoritmen tillater kun strømming i en av åtte mulige retninger ut av cellen. I realiteten beveger ikke vann seg alltid i en konsentrert strøm – den kan fordeles på flere ulike strømmingstraseer og da spesielt i områder med vegetasjon hvor det er mange små hindringer. I tillegg er algoritmen følsom ovenfor små endringer i terrengmodellen som vil kunne gjøre store utslag for videre dreneringsretning i modellen. Figur 39 viser et eksempel der en hindring i terrengmodellen eller følger av lav punkttetthet har ført dreneringslinjen over i annen trase enn bekkeleiet, til tross for at bekken er senket 10 meter.



Figur 39: Mulig feil i grunnlagsdataene har ført til at dreneringslinjen får en annen trasé enn bekken.

ArcGIS Pro og utvidelsen «Spatial Analyst» har alternative metoder for beregning av dreneringsretning: MFD og D-infinity. Disse algoritmene tillater strømming i flere retninger ut fra cellen og kan gi et mer naturlig resultat av vannets bevegelse. Resultatet ved bruk av disse metodene er dog svært vanskelig å symbolisere, i tillegg til at de ikke kan brukes videre i hydrologiverktøyene ArcGIS Pro tilbyr, enn så lenge.

## 6.2.2 Vurdering av dreneringslinjer og risikoområder

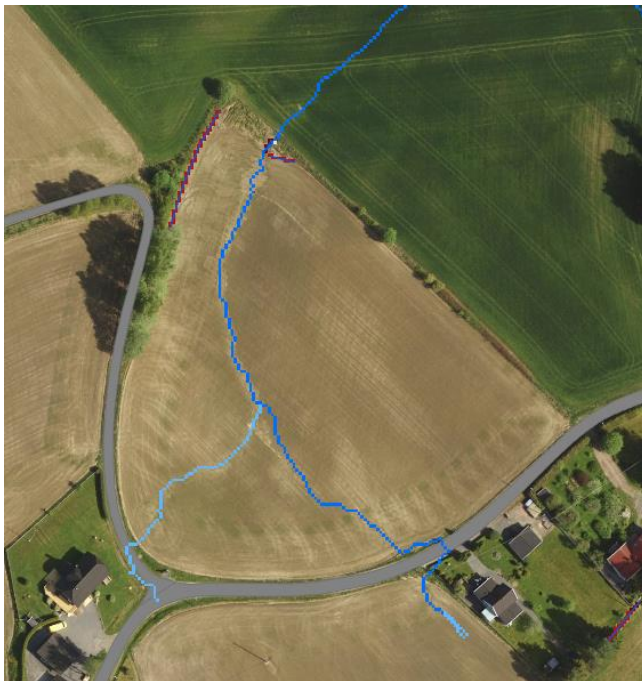
Dreneringslinjer er en gjengivelse av terrengmodellen hvor analysen beregner hvilke og hvor mange celler som avgir «vann» til laveliggende celler. Resultatet av en dreneringslinjeanalyse kan beskrives som ferskvare grunnet vannets egenskaper og bevegelser. Under nedbørsperioder hvor det blir stor vannføring kan vannet grave og endre terrenget som vil føre til dannelse av nye dreneringslinjer. Vann kan dra med seg løsmasser og vegetasjon som kan fylle lavpunkter og lede vannet over i annen dreneringslinje og eventuelt over i nabo-nedbørfeltet.

Dreneringslinjer sier ingenting om når det renner vann i området og hvor mye vann som drenerer gjennom området. Det analysen gir svar på er hvor vannet mest sannsynlig tar veien og hvor stort areal som drenerer til, eller ligger høyere i terrenget enn, et tenkt utløpspunkt. For kontroll av dreneringslinjer er det studert kartdata fra Fylkesmannen i Oslo og Akershus (nå Statsforvalteren i Oslo og Viken) (Fylkesmann i Oslo og Akershus, u.d.) og aktsomhetskart for flom fra NVE. Aktsomhetskartet til NVE viser kun de «store» dreneringslinjene og er generert fra terrengmodell med oppløsning 10x10 meter. Hvilken oppløsning Statsforvalteren i Oslo og Viken har brukt er ukjent, men her vises kun dreneringslinjer større enn 10000m<sup>2</sup>. Dreneringslinjene fra begge aktører samsvarer med funn i denne analysen, med noen mindre uregelmessigheter som kan skyldes ulik oppløsning på terrengmodellen.

Fra ortofoto, både av nyere og eldre dato, kan man se dreneringsspor på jorder. Ved å se ortofoto i sammenheng med dreneringslinjer kan man se om det er samsvar mellom virkelighet og modell. Figur 40 og 41 illustrerer dette, og viser samtidig at selv om det er flere dreneringslinjer i samme område er det ikke nødvendigvis slik at vannet fordeles på disse. I figur 40 ser man at det er den «mindre» dreneringslinjen i lyseblått som har laget spor på jordet, og ikke den større dreneringslinjen i øst.



*Figur 40: Fra ortofoto kan man se dreneringsspor på jorder. Bakgrunnskart: Cachetjeneste fra Kartverket hentet fra Geonorge.no.*



*Figur 41: Samsvar mellom dreneringsspor på jordet og beregnede dreneringslinjer fra modell. Bakgrunnskart: Cachetjeneste fra Kartverket hentet fra Geonorge.no.*

For identifisering av risikoområder er det brukt en empirisk tilnærming. Det er lagt fokus på utbygde kvikkleireområder og områder med annen viktig infrastruktur for identifisering av områdene. Lavpunkt er brukt for å finne områder utsatt for oppsamling av vann, og størrelsen på og antall dreneringslinjer gjennom områdene er tatt i betraktning.

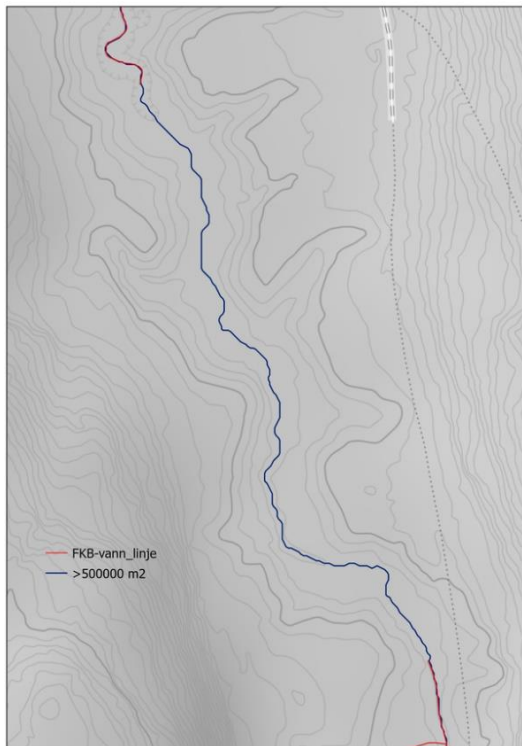
Nedre Eiker kommune har benyttet multivariate analyseteknikker for å se om det er sammenhenger mellom akkumulert tilrenningsareal, terrenghelning og grad av terrengskade. Dette for å potensielt kunne identifisere fareområder. Analysene antyder at områder med marine løsmasser i terreng med helning  $\geq 10^\circ$  og dreneringslinjer med akkumulert areal større enn 200 m<sup>2</sup> er spesielt utsatt for skade og erosjon ved styrtregn. Samtidig er det ikke funnet en klar sammenheng mellom grad av terrengskade og størrelsen på dreneringslinjenes akkumulerte areal. (Bratlie, 2015)

Risikoområdene i oppgaven er plukket ut på bakgrunn av antagelser og kjent teori, i kombinasjon med funn i analysen. Risikoområdene er ikke koblet til kjente hendelser eller kontrollert/kvalitetssjekket på noe vis. Med bakgrunn i Nedre Eiker kommunes analyser kan utvalgte risikoområder være reelle, men lokale forhold må tas i betraktning for hvert enkelt område. Det er heller ingen garanti for at resultatene fra Nedre Eiker kan overføres til andre kommuner grunnet ulike geologiske og hydrologiske parametre.

### **6.2.3 Øke kvaliteten på FKB-vann**

FKB-vann er et datasett som er etablert og ajourholdt ved konstruksjon fra flybilder. Dagens datasett kan stedvis ha dårlig fullstendighet og stedfestingsnøyaktighet. Dette skyldes at flybildene viser omgivelsene slik de var da bildet ble tatt og ikke nødvendigvis omgivelsene slik de «normalt» er. Det kan ha vært flom, mye overvann eller tørke når flybildene ble tatt og den konstruerte vannkonturen angir dermed ikke normal vannstand. I tillegg kan det være tett vegetasjon som gjør at mindre elver og bekker ikke fanges opp.

Ved å identifisere dreneringslinjer og se de i sammenheng med FKB-vann kan man øke kvaliteten på datasettet. Dreneringslinjer kan gi dekning for områder der tett vegetasjon har gitt ufullstendige elvenettverk. Figur 42 viser FKB-vann i rødt der bekken stopper i et punkt før den fortsetter litt lengre sør. Fra ortofoto i figur 43 ser man at tett skog starter og slutter i samsvar med bekken fra FKB-vann. Dreneringslinjen i blått fullfører bekken der metoden for datafangst ikke har klart å fange opp hele traseen.



Figur 42: Ufullstendig FKB-vann.



Figur 43: Tett skog har resultert i ufullstendig datafangst. Dreneringslinjer kan bidra til bedre fullstendighet i FKB-vann.

Som kommune er Lillestrøm en del av Geovekst som samarbeider om felles etablering, forvaltning, drift, vedlikehold og bruk av geografisk informasjon nevnt i kap. 2.1. Geovekstforumet har i 2019 etablert en arbeidsgruppe hvor hovedfokuset skal være på kvalitetsforbedring av FKB-vann. Dreneringslinjer kan være et nyttig hjelpemiddel i kvalitetshevingen for å gi økt fullstendighet og bedre geometri på dataene.

I områder der FKB-vann har ufullstendige traseer og det ikke skyldes tett vegetasjon kan det skyldes at det går en bekkelukking/kulvert/stikkrenne gjennom området. I dag er det generelt mangelfull registrering av den type infrastruktur, og dreneringslinjer kan lette arbeidet med å identifisere og registrere disse.

### 6.3 Aktsomhetskart for flomveier

Kartet som illustrerer dreneringslinjene kan brukes som et aktsomhetskart for potensielt utsatte områder ved ekstrem nedbør. Aktsomhetskartet er ikke verifisert opp mot faktiske



hendelser og kan derfor ikke sies å være kvalitetssikret. Aktsomhetskartet vil heller ikke si noe om sannsynlighet for vann i dreneringslinjene eller angi gjentaksintervall. Vann tar alltid enkleste og raskeste vei gjennom terrenget og aktsomhetskartet sier heller ingenting om hastigheten til og hvor store vannmengder som kommer. Likevel kan aktsomhetskartet brukes innen arealplanlegging for indikasjon på hvor vann kan komme på avveie og lavpunktsonråder der det bør stilles krav til robust drenering ved utbygging.

Aktsomhetskart for flomveier trenger heller ikke kun være til nytte i overvannshåndtering. I ulykkestilfeller der det blir utslipp av forurenset materiale kan et aktsomhetskart for flomveier være et nyttig skadebegrensende verktøy for å hindre spredning til blant annet ulike vannforekomster.

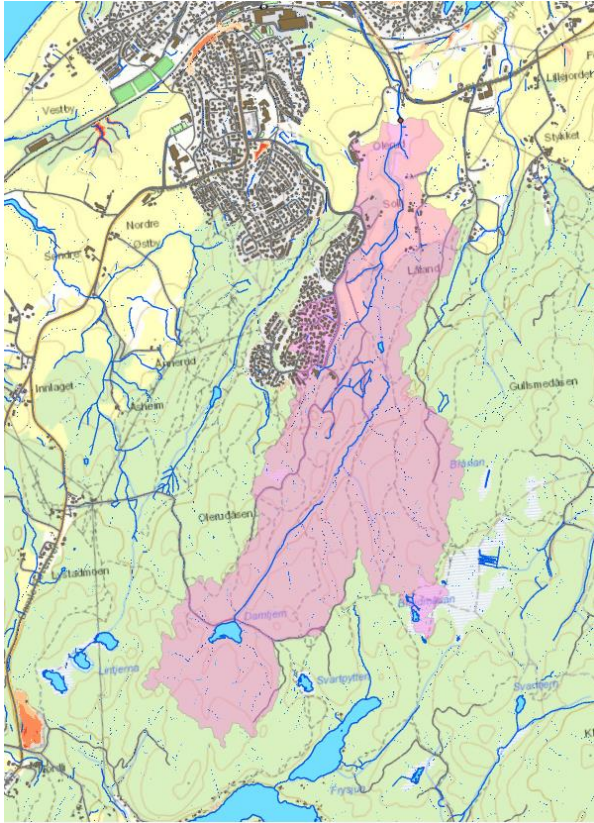
## **6.4 Hydrologiske analyser**

### **6.4.1 Avgrensning av nedbørfelt**

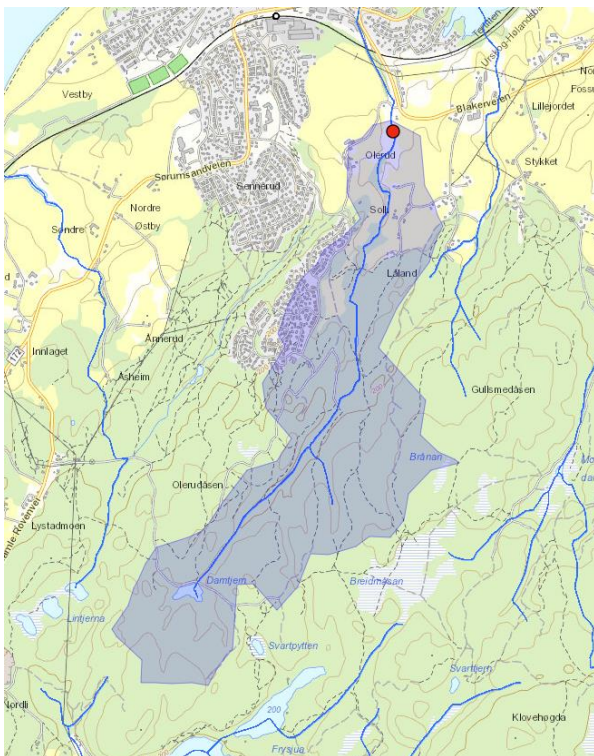
For kontroll av metoden for beregning av nedbørfelt er det kjørt en test mot NEVINA som er NVEs nettside for beregninger av lavvannsindekser og flomverdier. Utløpspunktene ble plassert på samme sted både i ArcGIS og på NEVINA, og deretter ble det generert et nedbørfelt. Resultatet fra modellen i ArcGIS er illustrert i figur 44, og resultatet fra NEVINA i figur 45. Nedbørfeltet fra NEVINA er en veldig forenklet polygon, men størrelsen og utformingen har visse likheter med nedbørfeltet generert i ArcGIS.

NEVINA beregner nedbørfeltet basert på naturlige feltgrenser og NVE påpeker at det er varierende grad av usikkerhet i beregningene (NVE, u.d.). NEVINA kan også kun beregne nedbørfelt basert på punkt som plasseres i et vassdrag. I ArcGIS er det som også nevnt varierende grad av usikkerhet, men fordelene er at nedbørfelt kan genereres hvor som helst ved bruk av dreneringslinjene.

Ved å generere nedbørfelt blir det synlig hvor stort areal som drenerer til valgte utløpspunkt. Dette kan være et nyttig verktøy for planlegging av ulike tiltak eller for eksempel vurdere kritikaliteten til eventuelle bekkelukkinger ved å se på kapasiteten opp mot størrelsen på nedbørfeltet de tilhører.



Figur 44: Nedbørfelt generert fra ArcGIS.



Figur 45: Nedbørfelt generert fra NEVINA. (NVE, u.d.)

## 6.4.2 Bruk av den rasjonelle formel

De hydrologiske beregningene i analysen vil ikke diskuteres i detalj, da hovedfokuset er på den geografiske analysen. Likevel er det viktig å poengtere at usikkerheten i grunnlagsdataene også påvirker resultatet ved bruk av for eksempel den rasjonelle formel i hydrologiberegninger. En av de større utfordringene med metoden er riktig bestemmelse av avrenningskoeffisienten. For det første brukes FKB-data av bygninger og vei som har varierende fullstendighet. Dette medfører en viss usikkerhet i beregningen av urbaniseringsgraden. I tillegg er det mange andre faktorer som påvirker avrenningskoeffisienten, som forutgående nedbørshendelser, intensitet og varighet på nedbøren, og ikke minst av helningen og vegetasjonen i terrenget som ikke er hensyntatt i formelen da koeffisienten her regnes å være konstant.

Formelen er beregnet på små, bratte felt med stor andel tette flater og NVE anbefaler bruk av formelen for områder opp til 0,5 km<sup>2</sup>. Det er ulike syn på hvor store nedbørfeltene kan være før formelen ikke er egnet, og historisk sett er den blitt benyttet i større områder enn 0,5 km<sup>2</sup>. Håndbok N200 fra Statens Vegvesen anbefaler nedbørfelt mindre enn 2 km<sup>2</sup>. (Statens Vegvesen, 2020).

En annen usikkerhetsfaktor er bruken av IVF-kurver i formelen. Verdiene på nedbørintensiteten fra IVF-kurver er basert på statistikk i kun ett punkt og korte tidsserier som medfører stor usikkerhet ved ekstra- og interpolering av intensitetsverdier. I denne analysen er det for beregning av vannføring brukt data fra en målestasjon i Oslo (Haugenstua), et godt stykke unna nedbørfeltene. Nedbør kan være av svært lokal karakter og ekstremt konsentrert slik at det introduseres store usikkerheter ved bruk av målestasjon langt unna.

Til tross for usikkerhetene ved bruk av formelen og inngangsdataene, kan et interessant bruksformål være å se endringen i vannføring før og etter en større utbygging. Økt areal av bygnings- og veimasse vil øke avrenningskoeffisienten og gi høyere dimensjonerende vannføring.

## 7 Konklusjon og anbefalinger

Klimaendringer fører med seg utfordringer i form av økende vannmengder og håndtering av disse. Urbanisering og stadig eldre VA-infrastruktur som ikke er dimensjonert for fremtidens klima gjør temaet overvannshåndtering enda viktigere. Som Nasjonal geodatastrategi peker på er bruken av geografisk informasjon et viktig ledd for å sikre god klimatilpasning og beredskap mot klimaendringene.

Oppgaven har hatt som mål å identifisere dreneringslinjer for Lillestrøm kommune og peke på mulige risikoområder i tilfeller av ekstrem nedbør. Basert på terrengmodell modifisert med FKB-data er det beregnet dreneringslinjer ved bruk av D8-algoritmen i ArcGIS Pro.

Dreneringslinjer og lavpunkt, kombinert med kvikkleiredata og beregning av terrenghelning, dannet utgangspunkt for identifisering av mulige risikoområder. Dette er områder som kan være utsatt for oversvømmelse og som berører mennesker eller infrastruktur. Ved å se dreneringslinjene i sammenheng med andre kartdata kan man også få en indikasjon på hvilke flomveier som kan lede til andre uønskede hendelser, som for eksempel skred og steinsprang.

Hensikten med oppgaven har vært å vurdere kvaliteten og feilkildene i analysen, ved bruk av nevnte grunnlagsdata, for å undersøke hvor god metoden er til bruk i klimatilpassningsarbeidet. Oppgaven har forsøkt å svare på følgende problemstillinger:

*Vurdering av kvalitet og feilkilder i GIS-analyse av dreneringslinjer i Lillestrøm kommune*

- *Er grunnlagsdataene gode nok for denne type analyse?*
- *Hvilke bruksområder har resultatet i kommunal forvaltning?*

Ny nasjonal detaljert høydemodell har gitt nye muligheter for analyse og kvalitetsheving av eksisterende data. En høyoppløselig terrengmodell er avgjørende for å kunne gi et mest mulig hydrologisk korrekt analyseresultat. Likevel er kvaliteten på sluttresultatet heller aldri bedre enn metoden og kvaliteten på dataene. Ved å modifisere terrengmodellen med FKB-data som har varierende grad av fullstendighet introduserer man også flere feilkilder i analysen, i tillegg til at D8-algoritmen gir en grov forenkling av vannets bevegelse i terrenget.

Med bakgrunn i resultatene og diskusjonen av disse er det likevel grunnlag for å konkludere med at grunnlagsdataene og metoden gir et resultat som kan benyttes til aktsomhetskart for flomveier.

Aktsomhetskart for flomveier har stor bruksverdi og kan være til nytte innen arealplanlegging- og prosjektering, kommuneplaner, ROS-analyser og annen kommunal saksbehandling. Kartlegging av dreneringslinjer og lavpunkt synliggjør mulige kritiske områder. Ved å gå videre med detaljerte analyser av vannføringen ved ulike nedbørintensiteter og kapasitet på stikkrenner/kulverter i de kritiske områdene, vil kommunene kunne identifisere skadereduserende tiltak og prioritet på disse. Mulige tiltak kan være å åpne bekkelukkinger, tilpasse sikre flomveier, lokal håndtering av overvann, øke størrelsen på stikkrenner og kulverter eller innføre fordrøyningsløsninger.

Ikke minst har metoden vist seg å være nyttig for kvalitetsheving av eksisterende data, spesielt FKB-vann, noe som også var målet med etablering av mer detaljerte terrengmodeller i NDH-prosjektet.

### **Anbefalinger**

- Bruke dreneringslinjer som hjelpemiddel i kvalitetshevingsarbeidet av FKB-vann, og for lettere identifisering og registrering av bekkelukkinger/kulverter/stikkrenner.
- Sammenligne resultatet med registrerte klimarelaterte naturskader.
- Etablering av lokal IVF-målestasjon for mer representative målinger av nedbør.
- ROS-vurdering og/eller hydrologisk kartlegging av identifiserte kritiske områder.
- Dreneringslinjer kan benyttes som utgangspunkt for tilskuddordningen til NVE som skal gå til kartlegging av kritiske punkt i bekker og bratte vassdrag.

# Litteraturliste

Berg, T. R., 2020. *Nabonøyaktighet*. [Internett]

Available at: <https://snl.no/nabon%C3%B8yaktighet>

[Funnet 11 April 2021].

Bratlie, R., 2015. *Beregning av flomveier*. [Internett]

Available at: <https://raundalselva.com/wordpress/wp-content/uploads/2016/11/Beregning-av-flomveier.pdf>

[Funnet 19 Mai 2021].

Bryhni, I. & Hagen, J. O., 2020. *Siste istid*. [Internett]

Available at: [https://snl.no/siste\\_istid](https://snl.no/siste_istid)

[Funnet 31 Mars 2021].

COWI, 2015. *Gjennomgang av avrenningsfaktorer*, s.l.: Miljødirektoratet.

Esri, 2020a. *ArcGIS Pro: Flow Direction*. [Internett]

Available at: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/flow-direction.htm>

[Funnet 25 Mars 2021].

Esri, 2020b. *ArcGIS Pro: Flow Accumulation*. [Internett]

Available at: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/flow-accumulation.htm>

[Funnet 25 Mars 2021].

Esri, 2020c. *How fill works*. [Internett]

Available at: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/how-fill-works.htm>

[Funnet 16 April 2021].

Esri, u.d. *How Slope works*. [Internett]

Available at: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/how-slope-works.htm>

[Funnet 17 April 2021].

Fylkesmann i Oslo og Akershus, u.d. *Nye kartdata er nå tilgjengelige*. [Internett]

Available at: <https://www.statsforvalteren.no/Oslo-og-Akershus/Landbruk-og-mat/Miljotiltak-i-jordbruket/Kart1/>

[Funnet 19 Mai 2021].

Greenlee, D. D., 1987. Raster and vector processing for scanned linework. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, pp. 1383-1387.

Grubbmo, E., Andersen, O., Hagen, I. & Gaarud, J. E., 2017. *Samfunnsøkonomisk analyse av Nasjonal detaljert høydemodell*, s.l.: Kartverket.

Kartverket, 2016. *Produktark N50 kartdata*. [Internett]

Available at:

[https://register.geonorge.no/data/documents/Produktark\\_N50%20Kartdata\\_v3\\_produktark-n50-kartdata-20161205\\_.pdf](https://register.geonorge.no/data/documents/Produktark_N50%20Kartdata_v3_produktark-n50-kartdata-20161205_.pdf)

[Funnet 22 April 2021].

Kartverket, 2019. *Produktspesifikasjon - Nasjonal modell for høydedata fra laserskanning (FKB-Laser)*. [Internett]

Available at: [https://register.geonorge.no/data/documents/Produktspesifikasjoner\\_FKB-Laser\\_v9\\_produktspesifikasjon-fkb-laser-3\\_0\\_.pdf](https://register.geonorge.no/data/documents/Produktspesifikasjoner_FKB-Laser_v9_produktspesifikasjon-fkb-laser-3_0_.pdf)

[Funnet 11 Mai 2021].

Kartverket, 2020. *SOSI Del 3 Produktspesifikasjon for Felles KartdataBase (FKB)*. [Internett]

Available at: [https://register.geonorge.no/data/documents/Produktspesifikasjoner\\_fkb-generell-del\\_v4\\_produktspesifikasjon-fkb-4\\_6-2020-01-01\\_.pdf](https://register.geonorge.no/data/documents/Produktspesifikasjoner_fkb-generell-del_v4_produktspesifikasjon-fkb-4_6-2020-01-01_.pdf)

[Funnet 27 Mars 2021].

Kartverket, 2021. *Nasjonal detaljert høydemodell*. [Internett]

Available at: <https://www.kartverket.no/geodataarbeid/nasjonal-detaljert-hoydemodell>

[Funnet 27 Mars 2021].

Kartverket, u.d. *Høydedata*. [Internett]

Available at: <https://hoydedata.no/LaserInnsyn/>

[Funnet 19 Mai 2021].

Kommunalbanken, 2021. *Klimarisiko i Lillestrøm*. [Internett]

Available at: <https://klimarisiko.kbn.com/regioner/viken/lillestrom/>

[Funnet 25 Mars 2021].

Kommunalbanken, u.d. *Fysisk klimarisiko*. [Internett]

Available at: <https://klimarisiko.kbn.com/hva-er-klimarisiko/#Fysisk%20klimarisiko>

[Funnet 05 April 2021].

Lørenskog, Rælingen og Tidl. Skedsmo kommune, 2017. *Retningslinjer for overvannshåndtering for kommunene Lørenskog, Rælingen og Skedsmo*. [Internett]

Available at: <https://www.lorenskog.kommune.no/f/p11/i3cc789c6-8622-40f4-a418-285ecc76b136/retningslinjer-overvannshandtering.pdf>

[Funnet 11 Mai 2021].

NemiTek, 2021. *Vannskader har kostet over 16 mrd*. [Internett]

Available at: <https://nemitek.no/finans-norge-forsikring-vannskader/vannskader-har-kostet->

over-16-mrd/144440#  
[Funnet 11 April 2021].

NGU, 2015a. *Dette er kvikkleire og kvikkleirekart*. [Internett]  
Available at: <https://www.ngu.no/nyheter/dette-er-kvikkleire-og-kvikkleirekart>  
[Funnet 31 Mars 2021].

NGU, 2015b. *NVE har tatt over skreddata fra NGU*. [Internett]  
Available at: <https://www.ngu.no/nyheter/nve-har-tatt-over-skreddata-fra-ngu>  
[Funnet 31 Mars 2021].

NGU, 2019. *Jordskred og flomskred*. [Internett]  
Available at: <https://www.ngu.no/emne/jordskred-og-flomskred>  
[Funnet 22 April 2021].

NGU, 2020. *Kvartærgeologiske kart (løsmassekart)*. [Internett]  
Available at: <https://www.ngu.no/emne/kvart%C3%A6rgeologiske-kart-l%C3%B8smassekart>  
[Funnet 11 April 2021].

NGU, 2021. *Marin grense*. [Internett]  
Available at: <https://www.ngu.no/emne/marin-grense>  
[Funnet 31 Mars 2021].

Norsk klimaservicesenter, 2015. *Klima i Norge 2100*, s.l.: Miljødirektoratet.

Norsk klimaservicesenter, 2017. *Klimaprofil for Oslo og Akershus*. [Internett]  
Available at: <https://klimaservicesenter.no/kss/klimaprofiler/oslo-og-akershus>  
[Funnet 27 Mars 2021].

Norsk klimaservicesenter, u.d. *Nedbørsintensitet*. [Internett]  
Available at: <https://klimaservicesenter.no/ivf?locale=nb>  
[Funnet 11 April 2021].

Norsk Vann, 2014. *Rapport: Åpne flomveger i bebygde områder*. [Internett]  
Available at: <https://norskvann.no/avlop/kunnskapsbase-slam/45-forside/916-ny-rapport-planlegging-av-apne-flomveger>  
[Funnet 11 April 2021].

NVE, 2019. *Veileder: Sikkerhet mot kvikkleireskred*. [Internett]  
Available at: [https://publikasjoner.nve.no/veileder/2019/veileder2019\\_01.pdf](https://publikasjoner.nve.no/veileder/2019/veileder2019_01.pdf)  
[Funnet 31 Mars 2021].

NVE, 2020a. *Aktsomhetskart for flom - Metodebeskrivelse*. [Internett]  
Available at: <https://www.nve.no/media/10583/metodebeskrivelse-aktsomhetskart-for-flom.pdf>  
[Funnet 31 Mars 2021].



NVE, 2020b. *Nedbørfelt (REGINE)*. [Internett]

Available at: <https://www.nve.no/karttjenester/kartdata/vassdragsdata/nedborfelt-regine/>

[Funnet 22 April 2021].

NVE, u.d. *NEVINA*. [Internett]

Available at: <https://nevina.nve.no/>

[Funnet 16 Mai 2021].

Statens Vegvesen, 2020. *Vannhåndtering - Flomberegninger og hydraulisk dimensjonering*, s.l.: Statens Vegvesen.

Thorsnæs, G., 2021. *Glomma*. [Internett]

Available at: <https://snl.no/Glomma>

[Funnet 25 Mars 2021].

Thorsnæs, G. & Askheim, S., 2021. *Øyeren*. [Internett]

Available at: <https://snl.no/%C3%98yeren>

[Funnet 25 Mars 2021].

Wikipedia, 2021. *Lillestrøm*. [Internett]

Available at: <https://no.wikipedia.org/wiki/Lillestr%C3%B8m>

[Funnet 22 April 2021].

