

Beregnet til
Østbyen Utvikling AS

Dokument type
Rapport

Dato
Mars, 2022

FLOMUTREDNING SJØSKOGBEKKEN



FLOMUTREDNING SJØSKOGBEKKEN

Oppdragsnavn **Flomutredning Sjøskogbekken**
Prosjekt nr. **1350049234**
Mottaker **Østbyen Utvikling AS**
Dokument type **Rapport**
Versjon **1**
Dato **14.03.2022**
Utført av **Kristine Bergseng og Lars Skeie**
Kontrollert av **Lars Skeie**
Godkjent av **Lars Skeie**

Rambøll
Kobbegate 2
PB 9420 Torgarden
N-7493 Trondheim

T +47 73 84 10 00
<https://no.ramboll.com>

Revisjon	Dato	Utarbeidet av	Kontrollert av	Godkjent av	Forklaring
1	14.03.2022	BKRI	LASK	LASK	Endelig rapport

INNHALDSFORTEGNELSE

1.	Innledning og mål	3
1.1	Bakgrunn	3
1.2	Målsetting	3
2.	Områdebeskrivelse og flomfare	4
2.1	Felt 1 - Sverre Svendsens veg til E6 (Kulvert 1)	6
2.2	Felt 2 – E6 til jernbanen – Kulvert 1 til kulvert 3	7
2.3	Felt 3 – jernbanen til Ranheimsvegen – kulvert 3 til kulvert 4	9
2.4	Felt 4 – Ranheimsvegen (kulvert 4) til sjøen	12
3.	Krav, retningslinjer og Metoder	13
3.1	Krav og retningslinjer	13
3.1.1	Dimensjonerende gjentaksintervall for flom	13
3.1.2	Klimafaktor	13
3.1.3	Konsentrasjonstid	13
3.1.4	Dimensjonerende flom	15
3.2	SCALGO Live	15
3.3	Konstruerte nedbørforløp og historiske nedbørdata	15
3.4	Flomberegninger	16
3.4.1	Formelverk for små nedbørfelt	16
3.4.2	Rasjonale formel	16
3.4.3	PQRUT	17
3.4.4	Flomfrekvensanalyse / Observasjoner i vassdrag	17
3.5	Hydrauliske beregninger 2D	17
3.5.1	Modelloppbygging	18
3.5.2	Geometri	20
3.5.3	Infiltrasjonslag	22
3.5.4	Manningslag	23
3.5.5	Grensebetingelser	24
4.	Resultater	25
4.1	Konsentrasjonstid	25
4.2	Flomberegninger	25
4.2.1	Formelverk for små nedbørfelt	25
4.2.2	Rasjonale formel	26
4.2.3	PQRUT	26
4.2.4	Flomfrekvensanalyse / Observasjoner i vassdrag	28
4.2.5	Vannføring fra nedbør-avrenningsmodell	30
4.2.6	Sammenstilling av flomverdier og valg av dimensjonerende vannføring	32
4.3	Hydrauliske beregninger	34
4.3.1	Nedbør-avrenningsmodell	34
4.3.2	Eksisterende situasjon	34

4.3.3	Endringer som følge av Overvik	40
4.3.4	Modell med satt vannføring	41
5.	Usikkerhet	47
6.	Oppsummering	48
7.	Referanser	49

VEDLEGG

VEDLEGG 1

- Nedbørhendelser og vannføring

VEDLEGG 2

- Flomhendelse «Fredlybekken»

1. INNLEDNING OG MÅL

1.1 Bakgrunn

Sjøskogbekken ligger i Trondheim kommune, og renner ut i Trondheimsfjorden gjennom bydelen Ranheim. I nedbørfeltet til bekken er det planlagt en ny boligutbygging på Overvik. Denne utbyggingen er skissert i Figur 1. Rambøll er blitt engasjert til å foreta en flomutredning for Sjøskogbekken, og se på hvilke påvirkninger utbyggingen har for Sjøskogbekken nedstrøms planområdet.



Figur 1 Skisse av utbyggingen på Overvik.

1.2 Målsetting

Målet med denne flomutredningen består av 2 delmål. Delmål 1 har vært å vurdere hvilke konsekvenser utbyggingen på Overvik har med tanke på flomsituasjonen nedstrøms i Sjøskogbekken. Delmål 2 har vært å vurdere tiltak for trygg avledning av flom i Sjøskogbekken i henhold til gjeldende myndighetskrav og forventede klimaendringer for en dimensjonerende flomhendelse.

2. OMRÅDEBESKRIVELSE OG FLOMFARE

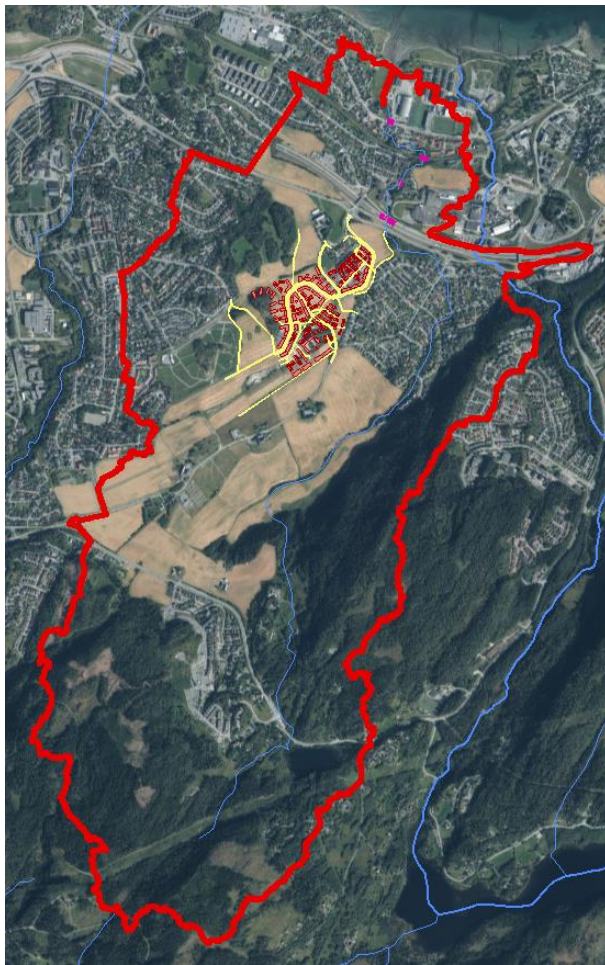
Det er planlagt en utbygging på Overvik på cirka 20 ha som vil ligge i nedbørfeltet til Sjøskogbekken. Utbyggingen er ganske tett, og vil erstatte areal som i dag for det meste er dyrket mark. Den planlagte utbyggingen på Overvik er skissert i Figur 1, og i Figur 2 er det fremstilt hvordan området ligger i nedbørfeltet til Sjøskogbekken. Sjøskogbekken har et areal på cirka 5,8 km², og ligger på Ranheim øst i Trondheim kommune. Nøkkelinformasjon om nedbørfeltet er gitt i Tabell 1.

Tabell 1 Feltparametere og arealbruk i nedbørfeltet til Sjøskogbekken. Det meste av informasjonen er hentet fra NVE sin tjeneste NEVINA, imens størrelsen til nedbørfeltet er beregnet med SCALGO. Årlig nedbør er gitt for Ranheim (Norsk Klimaservicesenter, 2022).

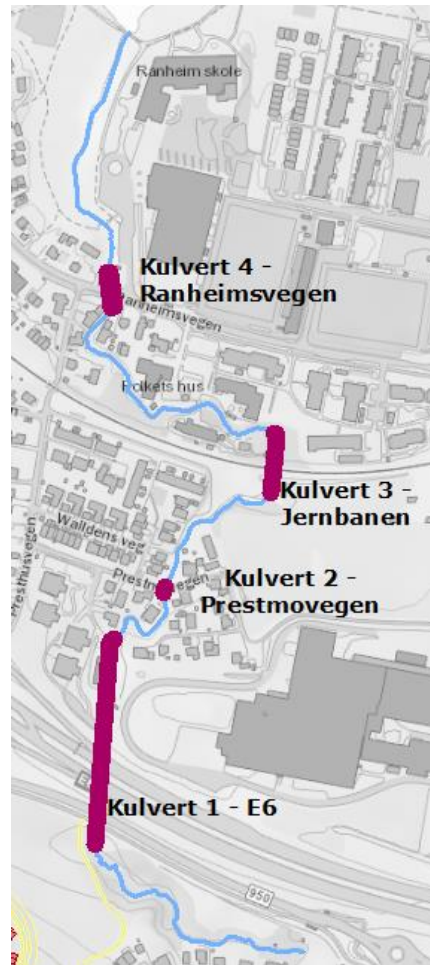
Feltparameter	Verdi	Enhet	Feltparameter	Verdi	Enhet
Areal	5.8	km ²	Sjø	0.6	%
Effektiv sjø	0.0	%	Snauffell	0.0	%
Elvelengde	5.1	km ²	Skog	39.6	%
Elvegradient	48.5	m/km	Urban	28.8 ¹	%
Dreneringstetthet	0.87	km ⁻¹	Dyrk. Grad	30.1	%
Feltlengde	4.3	km	Myr	0.9	%
			H _{min} -H _{max}	1-346	m
			Årlig nedbør	980	mm

Nedbør-avløpsmodellen er satt opp for hele nedbørfeltet, imens fokusområdet for flomutredningen har vært Sjøskogbekken fra dalen rett oppstrøms E6 og ned til sjøen. Bekkestrekningen er vist i Figur 3. På denne strekningen er det i eksisterende situasjon fire vanngjennomløp nedstrøms Overvik; Disse går igjennom E6, Prestmovegen, Jernbanen og Ranheimsvegen. Det er ikke registrert noen aktsomhetssone for Sjøskogbekken i NVE Atlas flomsonekart.

¹ I rapporten for nedbørfeltparametere generert i NEVINA for Sjøskogbekken er 11.9 % uklassifisert areal. Dette er lagt inn i tabellen som urban arealbruk.



Figur 2 Det beregnede nedbørfeltet for Sjøskogbekken er markert i rødt. Utbyggingen for Overvik er vist i gult for veger og mørk rød for bygninger. Kulvertene nedstrøms er markert med lilla merker.



Figur 3 Kartet viser bekkestrekningen av Sjøskogbekken som er i hovedfokus i denne flomutredningen. De fire kulvertene på strekningen er markert.

I følgende delkapitler er bilder fra befarings den 27.12.2021 og 2.2.2022 gitt. I perioden før befarings i desember var det snøsmelting og nedbør, og observert vannføringen i Sjøskogbekken var høyere enn normalen.

2.1 Felt 1 - Sverre Svendsens veg til E6 (Kulvert 1)



Figur 4 Sjøskogbekken går i øverste del av fokusområdet i en dal. På dette bildet ser man Sjøskogbekken fra nedstrøms og opp mot bebyggelsen i Martin Barstads veg. På befaring i desember 2021 ble observert mye erosjon på siden mot vest (høyre), og rør var gravd ut, knekt av og lå nå i vassdraget.



Figur 5 På bildet ser man Sjøskogbekken rett oppstrøms inntaket til kulverten som går gjennom E6. Det er høy vannstand oppstrøms innløpet av kulverten på grunn av at risten, som dekker litt over halve tverrsnittet, inn til kulverten er tett. Dette reduserer kulverten sin kapasitet betraktelig.



Figur 6 Inntaket til kulverten som går gjennom E6. Foran inntaket til kulverten med dimensjon $\varnothing 1600$ mm er det en rist med en høyde på ca. 110 cm. På dagen Rambøll var på befaring (17.12.21) var risten dekket med greiner, sedimenter og annet drivgods, noe som gjør at kulverten har redusert kapasitet.

2.2 Felt 2 – E6 til jernbanen – Kulvert 1 til kulvert 3



Figur 7 Bildet er tatt av utløpet av kulvert 1.



Figur 8 Sjøskogbekken går forbi eiendommene oppstrøms Prestmovegen i en smal kanal. På sidene er det markert hvor vannstanden stod før befaringen den 17.12.21.



Figur 9 Kulvert 2 sett fra oppstrøms. Denne kulverten er privat. Huseier informerte om at kulverten er en tank med fjernet topp og bunn fra Franzefoss. Tanken har seget sammen, og er nå videre i bredden enn i høyden. Høyden er cirka 1,2 m.



Figur 10 Innløpet til kulvert 3 under jernbanen. Bak risten kan man se at bekken har gravd inn under muren på høyre side. Det er planlagt å erstatte denne kulverten med to kulverter med dimensjon $\varnothing 1800$ mm (Rambøll Norge AS, 2018). I undersøkelser av avbøtende tiltak ønsker Trondheim kommune at de nye kulvertene skal legges til grunn i beregningene.

2.3 Felt 3 – jernbanen til Ranheimsvegen – kulvert 3 til kulvert 4



Figur 11 Utløpet av kulvert 3. Det er en kulp i forkant av røret, og nøyaktige innmålinger av hele denne er ikke målt inn.



Figur 12 På strekningen ligger en bru som går over til Sjøskogbekken barnehage.



Figur 13 I svingen oppstrøms Sjøskogbekken ligger Presthusvegen 2B. Eiendommen har en terrasse som ligger lavt (målt til kote 3,7 m). På bildet ser vi også at det er vinduer som ligger lavt i kjelleretasjen.



Figur 14 Presthusvegen 2B sett fra nedstrøms. Presthusvegen 2A har i desember 2021 fått satt opp en ny mur mot Sjøskogbekken.



Figur 15 Kulvertene gjennom Ranheimsvegen sett fra oppstrøms.

2.4 Felt 4 – Ranheimsvegen (kulvert 4) til sjøen



Figur 16 Kulvert nummer 4 sett nedstrøms. Kulverten mot vest har mindre vannføring. Nedstrøms kulvertene ser man at det er mye sediment som er bygd opp. I beregninger for avbøtende tiltak ønsker Trondheim kommune at det skal legges til grunn at disse er nesten frie for sedimenter.

3. KRAV, RETNINGSLINJER OG METODER

3.1 Krav og retningslinjer

3.1.1 Dimensjonerende gjentaksintervall for flom

Flomfare for byggverk må følge kravene gitt i Byggteknisk forskrift (TEK 17) vedrørende sikkerhetsklasser. TEK 17 oppgir følgende sikkerhetsklasser for flom:

Sikkerhetsklasse F1 inkluderer bygninger som garasjer og lagerbygg med lite personopphold der oversvømmelse har liten konsekvens. 20-årshendelse er dimensjonerende.

Sikkerhetsklasse F2 omfatter bebyggelse med personopphold og gjelder for områder der oversvømmelse får middels konsekvens. 200-årshendelse er dimensjonerende.

Sikkerhetsklasse F3 omfatter bygg for sårbare samfunnsfunksjoner og byggverk som under flom kan forårsake stor forurensning på omgivelsene. Sikkerhetsklasse F3 gjelder områder der oversvømmelse får store konsekvenser. 1000-årshendelse er dimensjonerende.

Bebyggelsen langs Sjøskogbekken består i hovedsak av boliger, samt en barnehage og en skole, som tilsvarer sikkerhetsklasse F2. Det vil si at største årlig nominelle sannsynlighet for oversvømmelse settes lik 1/200 (gjentaksintervall på 200 år) for området. I fokusområdet for beregningene har Sjøskogbekken vanngjennomløp i både E6 og Jernbanen, men disse vurderes ikke spesielt i denne utredningen. Likevel kan det nevnes at et vanngjennomløp i E6 og jernbanen har krav til å håndtere en 200 års flom med sikkerhetsfaktor 1,2 og klimafaktor 1,2 (Sør-Trøndelag) (Statens vegvesen, 2021, s. kap 2). I beregningene i denne rapporten benyttes klimafaktorer som oppgitt i 3.1.2 Klimafaktor.

3.1.2 Klimafaktor

Klimafaktorer i beregningene er valgt i henhold til Trondheim kommune sin VA-norm (Trondheim kommune, 2020), og er vist i Tabell 2.

Tabell 2 Klimafaktorer (K) som skal benyttes i Trondheim som funksjon av varighet og gjentaksintervall på nedbør (Trondheim kommune, 2020).

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

3.1.3 Konsentrasjonstid

Konsentrasjonstid ble estimert ved sammenligning av resultat ved bruk av ulike formler for konsentrasjonstid presentert i NIFS-rapport 28/2016 «Drenering for veg og jernbane» (NVE, 2016). På bakgrunn av disse formlene ble endelig konsentrasjonstid til å bestemme Q_{200} valgt.

- Urbane felt

$$t_c = 0,02 \cdot L^{1,15} \cdot H^{-0,39},$$

, hvor

t_c = konsentrasjonstid [min]

L = Lengde [m]

H = Høydeforskjell i feltet [m]

- Naturlige felt

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

, hvor

t_c = konsentrasjonstid [min]

L = Lengde [m]

H = Høydeforskjell i feltet [m]

A_{se} = Andel innsjø i feltet [forholdstall]

- Naturlige felt (nyere ligning, NVE 28-2016, lign 3.17)

$$t_c = K \cdot \left(\frac{L}{I}\right)^{0.5}$$

, hvor

t_c = konsentrasjonstid [min]

K = Verdi basert på overflatetype. Se Tabell 3.7 i NVE 2016/28 (NVE, 2016, s. 74)

L = Lengde [m]

I = Nedbørfeltets helning [m/m]

- Delvis kanalisert

$$t_c = L / K * I^{0.5} / 60$$

, hvor

t_c = konsentrasjonstid [min]

K = Verdi basert på overflatetype. Se Tabell 3.6 i NVE 2016/28 (NVE, 2016, s. 70)

L = Lengde [m]

I = Nedbørfeltets helning [m/m]

3.1.4 Dimensjonerende flom

Den dimensjonerende flommen for planområdet settes til:

$$Q_{dim} = Q_{200} + \text{klimapåslag}$$

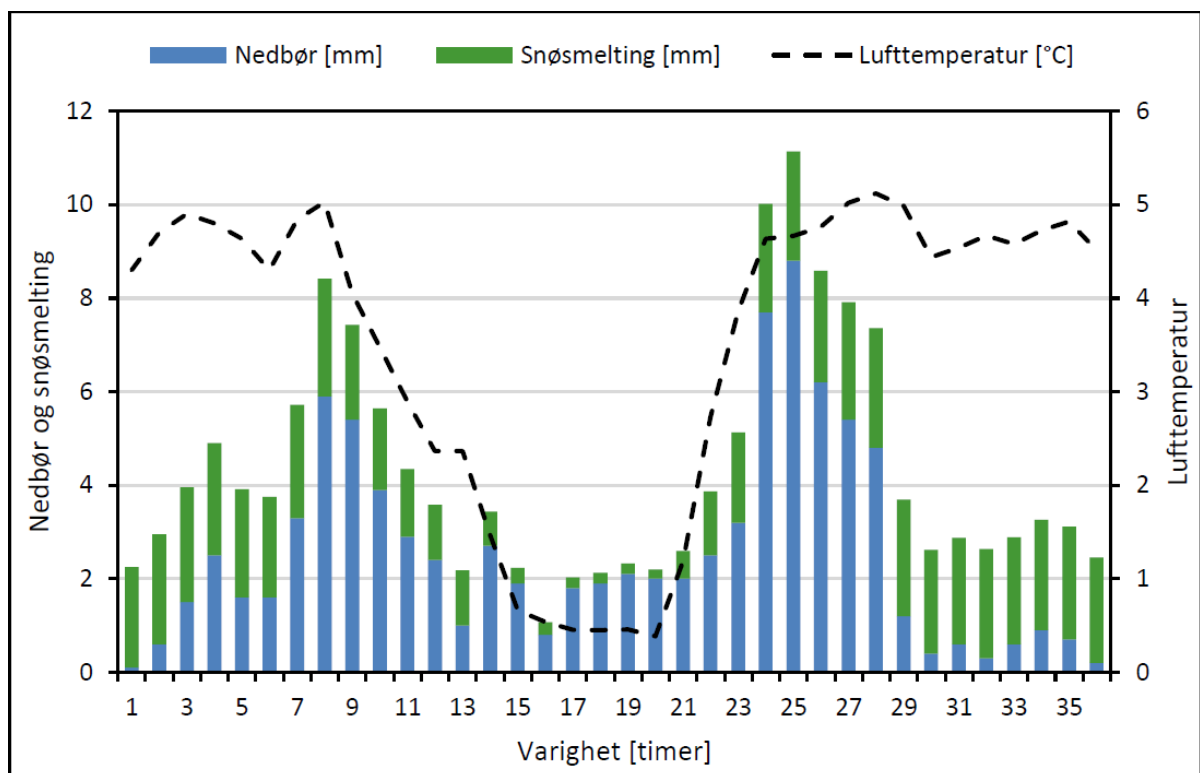
Vannføringen bestemmes med metodene i 3.4 Flomberegninger og konsentrasjonstiden på bakgrunn av 3.1.3 Konsentrasjonstid. I tillegg blir resultatene fra nedbør-avløpsmodellen laget for prosjektet tatt i betraktning.

3.2 SCALGO Live

Nedslagsfeltet er beregnet ved bruk av det internettbaserte, GIS-verktøyet SCALGO Live (<https://scalgo.com/>) som baserer seg på terrenngmodellen fra NDH (Nasjonal detaljert høydemodell) med gridceller på 1 x 1 m. Verktøyet kan blant annet beregne nedslagsfelt, avrennings-/flomveier, volum av groper og magasin og feltlengder og høydeforskjeller. I tillegg kan man legge inn egne GIS-filer og editere/redigere terrenget, for så å gjøre nye beregninger etter tiltak. Funksjonaliteten til programvaren ligner i stor grad på verktøyet Arc Hydro Tools for Arc GIS. Leseren henvises til hjemmesiden SCALGO Live for mer informasjon. Det kreves lisens for tilgang til terrenngmodell basert på NDH. SCALGO Live ble i denne utredningen benyttet til å beregne nedbørfelt og arealbruk.

3.3 Konstruerte nedbørforløp og historiske nedbørdata

I beregninger for flomverdier i både PQRUT og i nedbør-avrenningsmodellen i HECRAS er nedbørdata input. I begge metodene er konstruerte nedbørdata benyttet, imens for nedbør-avrenningsmodellen er også en rekonstruert nedbørhendelse for Fredlybekken fra 1997 benyttet. Denne hendelsen er vist i Figur 17. De beregnede snøsmeltingene er tatt med som en del av nedbøren.



Figur 17 Konstruert nedbørhendelse for Fredlybekken 30.03.1997 kl. 12:00 – 31.03.97 kl. 23:00. Denne er mottatt ved internkommunikasjon med Trondheim kommune (se Vedlegg 2).

Nedbørforløpet ble konstruert basert på medianverdien for nedbørmengde for en 200-årsflom med en gitt varighet, tabell 4 (NVE, 2015), og hvor verdien for total døgnnedbør er gitt med 200 års gjentaksintervall, figur 9 (NVE, 2015). Nedbørmengdene i tabellene gjelder kun for gjentaksintervall opp mot 200 år.

Dette ble videre benyttet til å konstruere nedbørhendelser med gjentaksintervall 20 og 200 år. Nedbørverdien for valgt varighet og returperiode blir funnet i IVF-kurven i Trondheim kommune sin VA-norm (Trondheim kommune, 2020). For en serie nedbørforløp, som ble brukt til input for nedbør-avrenningsmodell i HECRAS, ble verdiene fra IVF-kurven multiplisert med klimafaktor gitt i Tabell 2. IVF-verdiene, enten med eller uten klimapåslag, ble videre fordelt gjennom døgnet etter tallene fra NVE-rapporten. Regnet med mindre varighet ble plassert midt i 24-timers hendelsen over et tidsintervall bestemt av varigheten. Oversikt over IVF-verdiene, valgt varighet og gjentaksintervall for brukt i de konstruerte hendelsene er gitt i Tabell 3.

Tabell 3 Oversikt over varighet, gjentaksintervall og IVF-verdier både med og uten klimafaktor.

Returperiode	200 år				20 år	
	1 t	2 t	3 t	6 t	1 t	6 t
Varighet						
Nedbør	27.3	32.7	38.1	54.7	17.2	36.7
Nedbør med klimapåslag	41.0	45.8	53.3	71.1	24.1	47.7
24 t hendelse	94.9				66.3	
24 t hendelse med klimapåslag	123.4				86.2	

Verdiene for de konstruerte nedbørhendelsene ligger i Vedlegg 1 - Tabell 1 (uten klimafaktor) og Vedlegg 1 - Tabell 2 (med klimafaktor).

3.4 Flomberegninger

For å vurdere dimensjonerende flomverdi for vassdraget har det blitt benyttet metoder og formler anbefalt i NVE-veilederen 7/2015 «Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt» (NVE, 2015). Under er det gitt en kort forklaring av de ulike metodene benyttet, men for mer detaljert lesning om formelverket henvises leseren til veilederen.

3.4.1 Formelverk for små nedbørfelt

For beregning av vannmengder ved flom for nedslagsfelt i størrelse opp mot 50 km² anbefales det at nasjonalt formelverk for små nedbørfelt benyttes. Formelverket baserer seg på parameterne feltstørrelse, middelvannføring og andel sjø, og beregner kulminerende flomverdier for ulike gjentaksintervall (fra middelflom til 1000-årsflom), samt et troverdighetsintervall representert ved en høy og lav verdi. Ved bruk av NVEs lavvannsapplikasjon NEVINA kan nedslagsfelt, feltkarakteristika og flomverdier genereres og beregnes. Beregnede verdier fra NEVINA er sammenlignet og justert ved bruk av SCALGO. Den spesifikke avrenningen brukt som input i metoden er spesifikk avrenning for perioden 1961 til 1990 gitt av NEVINA.

3.4.2 Rasjonale formel

Den rasjonale formel er benyttet til å beregne avrenning fra enkle nedbørfelt, og brukes primært for overslagsberegninger og dimensjonering for små urbane felt opp mot 50 ha. For felt med areal i området 0,5 - 2 km² må den rasjonelle formel benyttes med varsomhet (større naturlige eller kombinerte naturlige/urbane felt). Feltet til Sjøskogbekken er større enn det anbefalte bruksområdet til formelen, men den blir beregnet som sammenligningsgrunnlag i vurderingen av dimensjonerende flom i vassdraget. Den rasjonelle formel er gitt ved (Stenius, Glad, Wang, & Væringstad, 2015):

$$Q_T = C * i * A$$

Her er:

Q_T = Beregnet avrenning for returperiode T [m^3/s]

C = avrenningsfaktor [-]. Den samlede avrenningsfaktoren for feltet regnes ut med

$C_{vektet} = \sum \frac{A_j * C_j}{A}$. Se Tabell 4 for benyttede verdier.

i = dimensjonerende nedbørintensitet, hentes fra lokal IVF-kurve [$l/(s*ha)$]. Her fra Trondheim kommune sin VA-norm (Trondheim kommune, 2020).

Konsentrasjonstiden beregnes etter 3.1.2 Klimafaktor og gjentakintervallet settes til 200 år.

A = feltareal [ha]

Tabell 4 Benyttede avrenningsfaktorer basert på Trondheim kommune sin VA-norm (Trondheim kommune, 2020).

Type	Koeffisient
Åpen fastmark	0.5
Urbant	0.7
Myr	0.5
Dyrket mark	0.3
Sjø	0.95
Skogsområder	0.35

3.4.3 PQRUT

Nedbør-avrenningsmodellen PQRUT er en forenkling av HBV-modellen (Hydrologiska Byråns Vattenbalanssektions modell), som benyttes for større vassdrag og ofte i vannkraftsammenheng. Modellen krever feltkarakteristikkene areal, effektiv sjøprosent, hypsografisk kurve (H25 og H75), feltlengde og spesifikk normalavrenning for å «kalibrere» modellparameterne K_1 , K_2 og T_1 . Alle inputer nevnt er hentet ut fra NEVINA, bortsett fra feltarealet som er justert etter SCALGO. I tillegg til det nevnte oppgis dreneringstetthet (elvelengde/totalt areal), årlig nedbør (hentet fra sekilma.no (Norsk Klimaservicesenter, 2022)) og andel skog. Det ble testet for ulike konsentrasjonstider etter ulike resultater for konsentrasjonstid, som ble beregnet som oppgitt i 3.1.3 Konsentrasjonstid. I PQRUT er også nedbør input, og konstruerte nedbørforløp ble benyttet. Måten disse er konstruert på er gitt i kapittel 3.3 Konstruerte nedbørforløp og historiske nedbørdata.

3.4.4 Flomfrekvensanalyse / Observasjoner i vassdrag

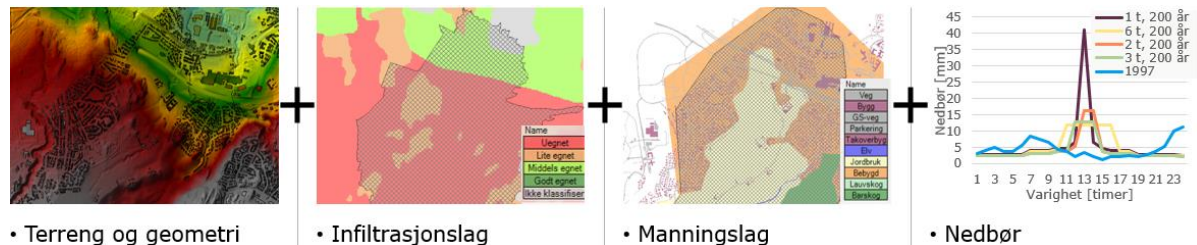
Det er knyttet usikkerhet ved middelsflommen ($l/s*km^2$) beregnet i NEVINA, slik at en sammenligning mot middelsflomverdier fra nærliggende og sammenlignbare felt med målestasjoner for vannføring må gjennomføres. Målestasjoner med lignende feltkarakteristika som planområdets nedbørfelt kan benyttes for å vurdere om beregnet middelflomverdi er for lav eller høy. Feltekarakteristikk og observasjoner av vannføring fra nærliggende vassdrag er hentet ved hjelp av NVE sitt verktøy Hydra II. Kulminasjonsverdier er benyttet i vurderingen.

3.5 Hydrauliske beregninger 2D

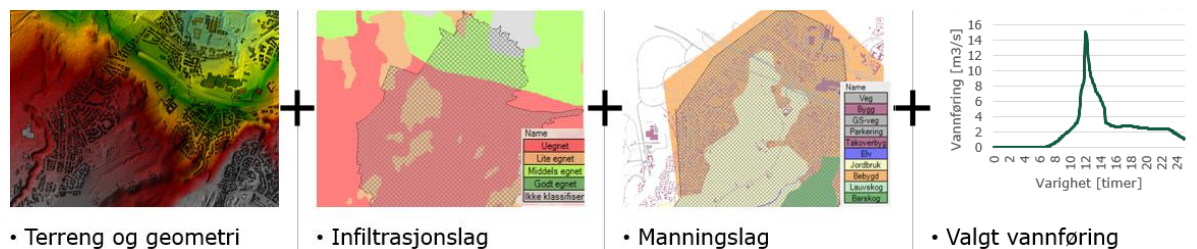
Programvaren HEC-RAS 6.1.0 er benyttet til beregning av vannlinjer. HEC-RAS er et anerkjent 1- og 2-dimensjonal-elvemodellprogram som beregner vannlinjer ved ulike hydrauliske forhold. Programmet har funksjoner for å beregne effekt av blant annet bruer (landkar og pilarer) og kulverter, og kan i tillegg benyttes til å gjøre tilpasninger i terrengmodell.

I prosjektet er det satt opp to ulike typer modeller. Den ene typen er nedbør-avrennings-modell og i den andre typen er det en satt vannføring som kjøres i en mindre modell som er satt fra

oppstrøms fokusområdet vist i Figur 3. Formålet med nedbør-avrenningsmodellen er å undersøke hvilke innvirkninger Overvik har på vannføringen, imens den mindre modellen med satt vannføring benyttes for å se på avbøtende tiltak i fokusområdet. Grunnen til at en mindre modell lages er at denne tar mye mindre tid å kjøre igjennom, og man kan dermed enklere prøve ulike tiltak. Alle modellene er bygget på samme høydemodell og geometri, men det er gjort ulike modifikasjoner basert på om det er eksisterende situasjon eller fremtidige situasjoner.



Figur 18 Bestanddeler i nedbør-avrennings-modellen.



Figur 19 Bestanddeler i modellen med valgt vannføring.

Nedbør-avrennings-modellene er bygget opp på høydemodellen, men det er i tillegg lagt oppå et infiltrasjonslag og et Manningslag for feltet, dette er videre beskrevet i kapittel 4.3. Som input er den konstruerte 1997-hendelsen og de konstruerte nedbørhendelsene basert på IVF-kurvene med klimafaktor benyttet. Dette er nærmere beskrevet i 3.3 Konstruerte nedbørforløp og historiske nedbørdata.

Følgende modeller er satt opp:

- Nedbør avrenningsmodeller:
 - o Eksisterende situasjon
 - o Ny situasjon med Overvik (med heving av hus Overvik)
 - o Ny situasjon med Overvik (uten heving av hus Overvik)
- Modell med satt vannføring
 - o Eksisterende situasjon [avgrenset]
 - o FREMTIDIG: Ny situasjon med planlagte nye jernbanekulverter (Kulvert 3) og uten tetting av kulverter i Ranheimsvegen (Kulvert 4).
 - Tiltak 1: FREMTIDIG med flommur oppstrøms Prestmovegen og mur inntil terrassen på Presthusvegen 2B.
 - Tiltak 2: Tiltak 1 med utvidelse av kulvert i Prestmovegen

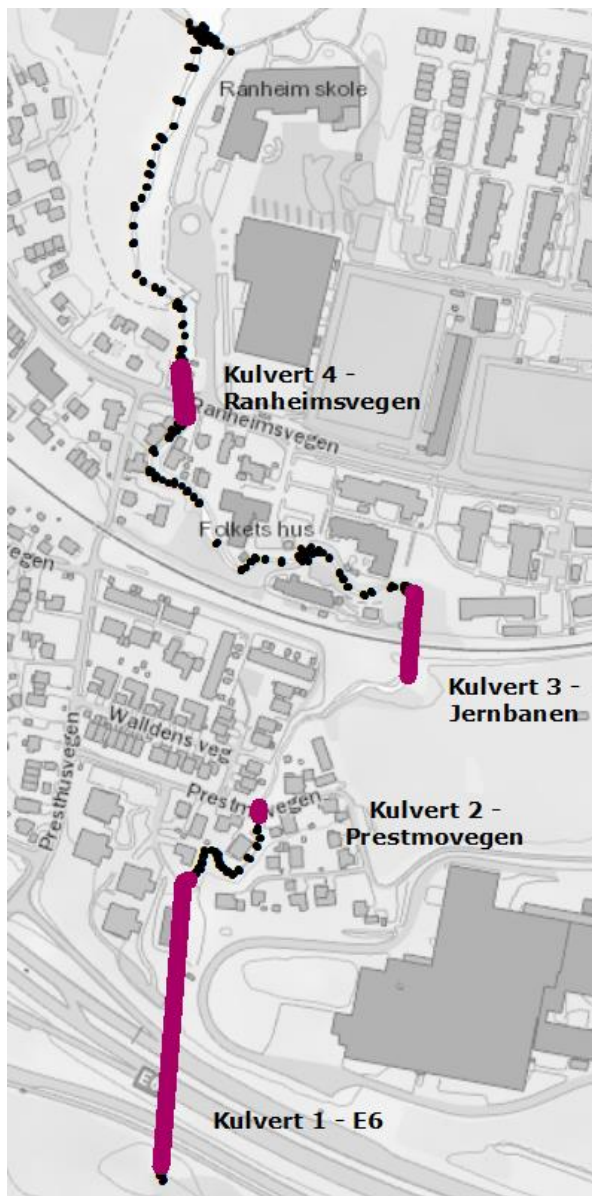
3.5.1 Modelloppbygging

3.5.1.1 Høydemodell

De hydrauliske modellene i HEC-RAS er basert på en generert høydemodell (i høydesystem NN2000 og koordinatsystem Euref89 UTM32) basert på prosjekt «Trondheim 5pkt 2017» hentet fra hoydedata.no. Sjøskogbekken ble målt inn av Rambøll den 17.12.2021 og 2.2.2022 med GPS og totalstasjon. Disse innmålingene ble brukt til å justere terrenget i bekken og områdene ved

inn- og utløp av kulvertene. Til modifikasjonen av terreng ble RAS Mapper i HEC-RAS 6.1.0 benyttet.

De eksisterende husene er hevet i alle modellene for å gjenskape feltet. Dette ble gjort ved hjelp av å hente ut hus fra FKB-data oversendt av Trondheim kommune i ArcMap, og senere heve dem i HEC-RAS i en del applikasjon kalt RAS Mapper. I modellen med hevede hus på Overvik er plantegningene fra arkitekten i prosjektet brukt for å se hvor husene er planlagt, og deretter heve dem. Det må understrekes at det ikke er gjort ytterligere terrengmodifikasjoner for Overvik-området i noen av modellene.



Figur 20 Innmålinger som ble gjort av vassdraget og benyttet i oppbygning av den hydrauliske modellen.

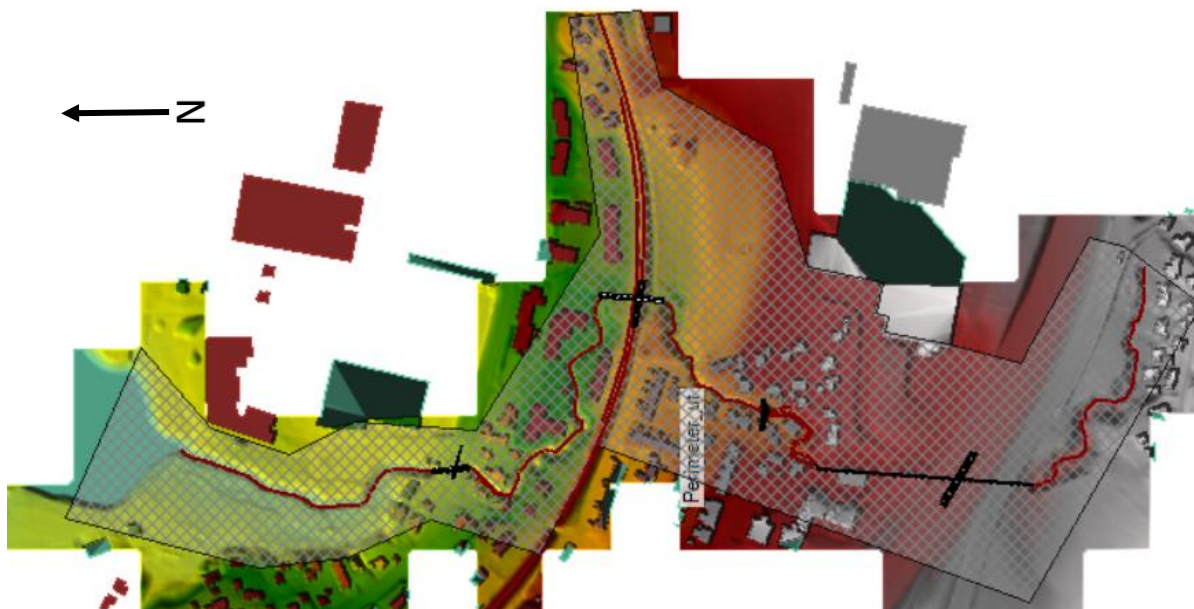
Ved endring av kulverter i modeller for nye/fremtidige situasjoner er det gjort tilpasninger i terrenget for å få kulvertene til å passe. I modell for tiltak er det også gjort heving av Prestmovegen.

3.5.2 Geometri

3.5.2.1 Cellestørrelse og breaklines

Nedbør-avrenningsmodellen sin geometri er basert på en cellestørrelse på 10 m * 10 m, og med 1 m * 1 m størrelse på cellene i Sjøskogbekken. Det er også lagt inn noen refinement regions og breaklines på steder i fokusområdet hvor det er barrierer som ikke blir fanget opp med cellestørrelse 10 m * 10 m. Ideelt sett skulle hele modellen hatt en mindre cellestørrelse for å fange opp avrenningsmønstrene mer grundig, men på grunn av lang kjøretid av modellene lot dette seg ikke gjøre i praksis. Det ble forsøkt å kjøre nedbør-avrenningsmodellen for eksisterende situasjon med en cellestørrelse på 5 m * 5 m for hele nedbørfeltet, men denne simuleringen tok nesten fire døgn å gjennomføre.

De mindre modellene med valgt vannføring har en cellestørrelse på 3 m * 3 m. Det ble også i denne modellen brukt breaklines med cellestørrelse 1 m*1m i elv. Breaklines og refinement regions ble også benyttet, for eksempel ved nye tiltak.



Figur 21 Utklipp av den mindre modellen som ble brukt for å se på fokusområdet med valgt vannføring.

3.5.2.2 Kulverter

Kulvertene i fokusområdet er markert i Figur 20, og informasjon om disse i de ulike modellene er gitt i Tabell 5.

Tabell 5 Oversikt over kulvert informasjon som er gitt i modellen. Kulverter med like karakteristikk som eksisterende situasjon og FREMTIDIG er markert med henholdsvis lys blått og grønt.

Modell		E6 Kulvert 1	Prestmovegen Kulvert 2	Jernbanen Kulvert 3	Ranheimsvegen Kulvert 4
<ul style="list-style-type: none"> • Eksisterende situasjon • Ny situasjon med Overvik • Eksisterende situasjon [avgrenset] 	Lengde [m]	208.6	6.6	62	35.3
	Tapskoeff. innløp [-]	0.8	0.6	0.8	0.5
	Mannings topp/bunn [-]	0.015/0.03	0.015/0.03	0.015/0.03	0.015/0.03
	Dybde blokkert [m]	0.05	0.1	0.05	0.6
	Oppstrøms elevasjon [m]	19.5	10.86 ²	7.26	0.6 ³
	Nedstrøms elevasjon [m]	12.8	10.96 ²	6	0.6 ³
	Dimensjon [m]	1.6	1.3	1.2	2*1.6
<ul style="list-style-type: none"> • FREMTIDIG • Tiltak 1 	Lengde [m]				
	Tapskoeff. innløp [-]				
	Mannings topp/bunn [-]				
	Dybde blokkert [m]			0.05	0.1
	Oppstrøms elevasjon [m]			7.35	
	Nedstrøms elevasjon [m]			6	
	Dimensjon [m]			2*1.8	
Tiltak 2	Lengde [m]		7.2		
	Tapskoeff. innløp [-]				
	Mannings topp/bunn [-]				
	Dybde blokkert [m]		0.01		
	Oppstrøms elevasjon [m]		10.86		
	Nedstrøms elevasjon [m]		10.80		
	Dimensjon [m]			B*H=2.5*2.3	

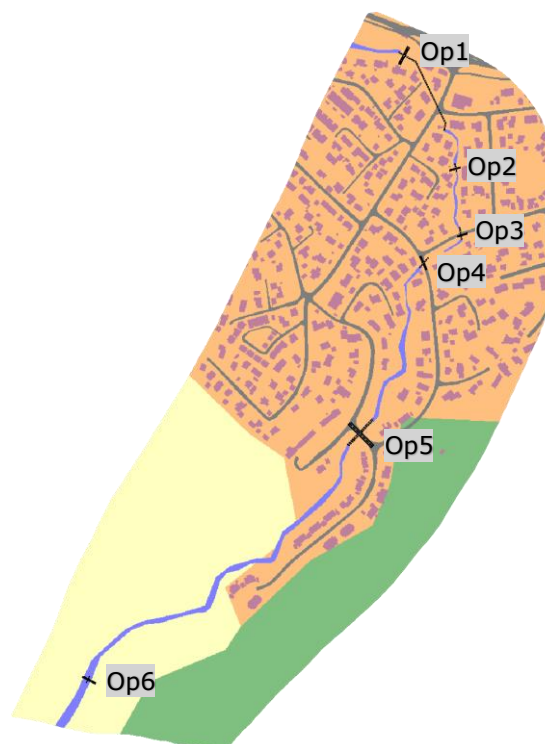
I nedbør-avrenningsmodellen er det også lagt inn seks kulverter oppstrøms fokusområdet for å få en mer korrekt. Disse kulvertene er ikke målt inn, men dimensjonene er gitt av Trondheim kommunes ledningskart. På grunn av usikkerhet av terreng/tetting rundt disse kulvertene knyttes det usikkerhet rundt resultatene oppstrøms fokusområdet. Informasjon og beliggenhet av disse kulvertene er gitt i Tabell 6 og Figur 22.

² Innmålte verdier. Det er antakelig noe blokkering i front av utløpet.

³³ Det er mye tetting i kulvertene ved innmåling, men det er antatt at bunn rør ligger ca på 0.6 m basert på dimensjon. Basert på topp rør virker det som at kulvertene ligger relativt flatt.

Tabell 6 Dimensjon på kulvertene lagt inn oppstrøms fokusområdet.

Kulvert	Dimensjon [mm]
Op1	1200
Op2	1200
Op3	1200
Op4	1200
Op5	2 * 1100
Op6	1000

**Figur 22 Beliggenhet av kulvertene oppstrøms fokusområdet.**

3.5.3 Infiltrasjonslag

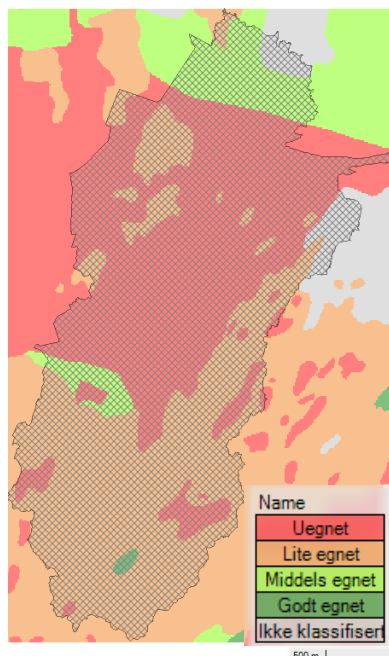
Nedbørfeltet til Sjøskogbekken består i stor grad av hav- og fjordavsetninger, torv og myr samt morenemateriale i tynt lag over berggrunnen. Løsmassekartet viser at grunnen er for det meste «uegnet» til «lite egnet» for infiltrasjon.

I HEC-RAS 6.1 er "Deficit and Constant" valgt som infiltrasjons metode. Infiltrasjonspotensialet fra NGU sitt løsmassekart (hentet https://geo.ngu.no/kart/losmasse_mobil/) for området er lagt inn som et grunnlagskart for infiltrasjon, og potensiell perkolasjonsrate er lagt inn for de ulike infiltrasjonspotensialene. Verdier for potensiell perkolasjonsrate er hentet fra HEC-RAS sin bruker manual tabell 2-4 (USACE Hydrologic Engineering Center, 2022), og de anvendte verdiene er gitt i Tabell 7. Når det gjelder fuktighetsinnholdet i jorda er dette vanskelig å estimere, og det er derfor satt lave verdier for dette slik at den potensielle perkolasjonsraten vil være styrende. Verdiene valgt i denne modellen er antatt å være konservative.

Tabell 7 Anvendte verdier for potensiell perkolasjonsrate

Infiltrasjonspotensiale	Maks fuktighet [mm]	Initial fuktighet [mm]	Potensiell perkolasjonsrate [mm/t]
Uegnet	10	5	0.01
Lite egnet	12	5	0.05
Middels egnet	15	5	0.1
Godt egnet	20	5	0.2
Ikke klassifisert	1	1	0.1

Optimalt skulle det vært gjort feltarbeid for å avdekke mer sikre verdier for både maks fuktighet, en sannsynlig initial fuktighet og potensiell perkolasjonsrate. Dette ville gitt en modell med mindre usikkerhet.



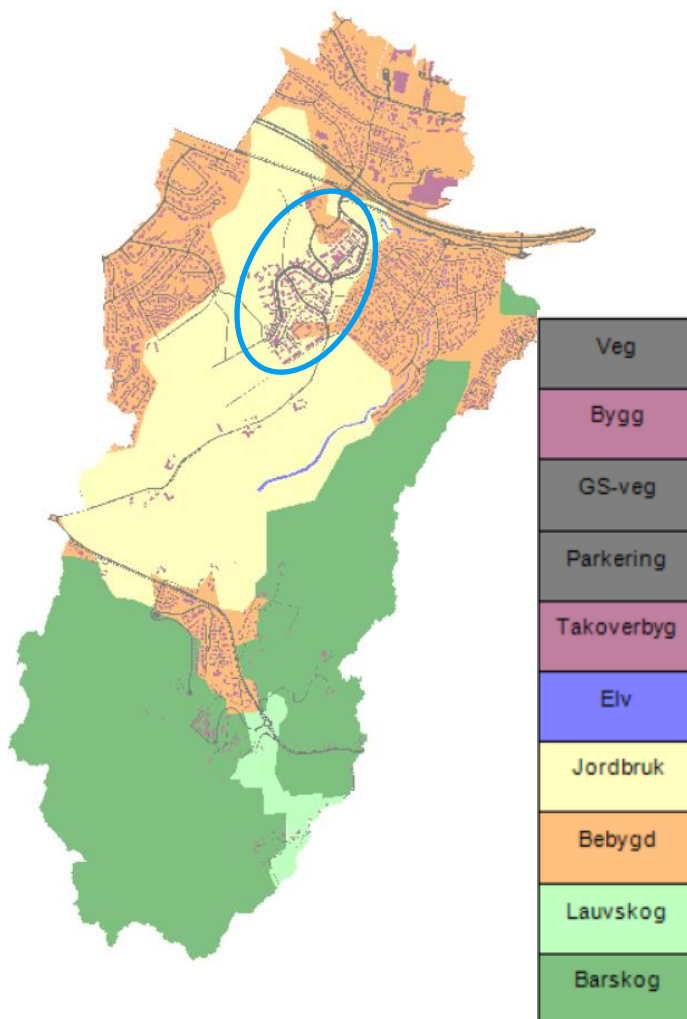
Figur 23 Infiltrasjonslaget benyttet i modellen. Det skisserte området er nedbørfeltet til Sjøskogbekken. I feltet består altså grunnen for det meste av masser som har et infiltrasjonspotensiale fra uegnet til lite egnet.

3.5.4 Manningslag

I modellen er det lagt inn et Manningslag som er laget basert på arealtype AR250, hentet fra NIBIO, og FKB data fra Trondheim kommune. Manningslaget benyttet i modell med ny situasjon på Overvik er i tillegg også basert på tegninger av planområdet oversendt av arkitekt på prosjektet, Trine Aagaard ved Okala Arkitektur AS. For de ulike arealtypene er det lagt inn en Mannings verdi samt en arealfaktor. De benyttede verdiene er basert på (Chow, 1959) og Trondheim kommunes VA-norm (Trondheim kommune, 2020), og er presentert i Tabell 8.

Tabell 8 Benyttede verdier for Mannings n og avrenningskoeffisient.

Arealtype	Mannings n [$s/m^{1/3}$]	Avrenningskoeffisient
Jordbruksareal	0.04	0.4
Bebyggelse og samferdsel	0.03	0.6
Lauvskog	0.1	0.3
Barskog	0.1	0.3
Bygg	0.015	0.9
Veg	0.016	0.9
Elv	0.05	1



Figur 24 Manningslaget benyttet for modellene med Overvik. Det ble laget et eget Manningslag for eksisterende situasjon, som ikke har med Overvik utbyggingen (markert med sirkel).

3.5.5 Grensebetingelser

I begge modellene er det benyttet en vannstand i Trondheimsfjorden tilsvarende en stormflo på 1 år, som ligger på kote 1,9 m. I randen av modellene er det satt en helning på vannspeilet på 1 %. Dette er satt for å få vann i utkanten av nedbørfeltet og vann som renner ut på grunn av oppstiving skal kunne renne ut av modellområdet. Helningen vil ikke være korrekt rundt hele modellen, men dette har lite betydning for resultatet.

4. RESULTATER

4.1 Konsentrasjonstid

Konsentrasjonstiden i feltet er beregnet til å være mellom halv time til nesten fire timer med de gitte metodene for beregning av konsentrasjonstid, se Tabell 9. Feltet består av store deler som kan bli betraktet som naturlig, samtidig som at vesentlig deler som består av jordbruksarealer og urbane områder. Feltet er derfor verken helt naturlig eller urbant, og konsentrasjonstiden i feltet er antatt å ligge et sted mellom to og tre timer.

Tabell 9 Beregnede konsentrasjonstid med ulike metoder fra veilederen til NVE (NVE, 2016).

Metode	Beregnet konsentrasjonstid [timer]
Urbane felt	0,5
Naturlige felt	3,8
Naturlige felt (nyere ligning)	1,5
Delvis kanalisert	2,6

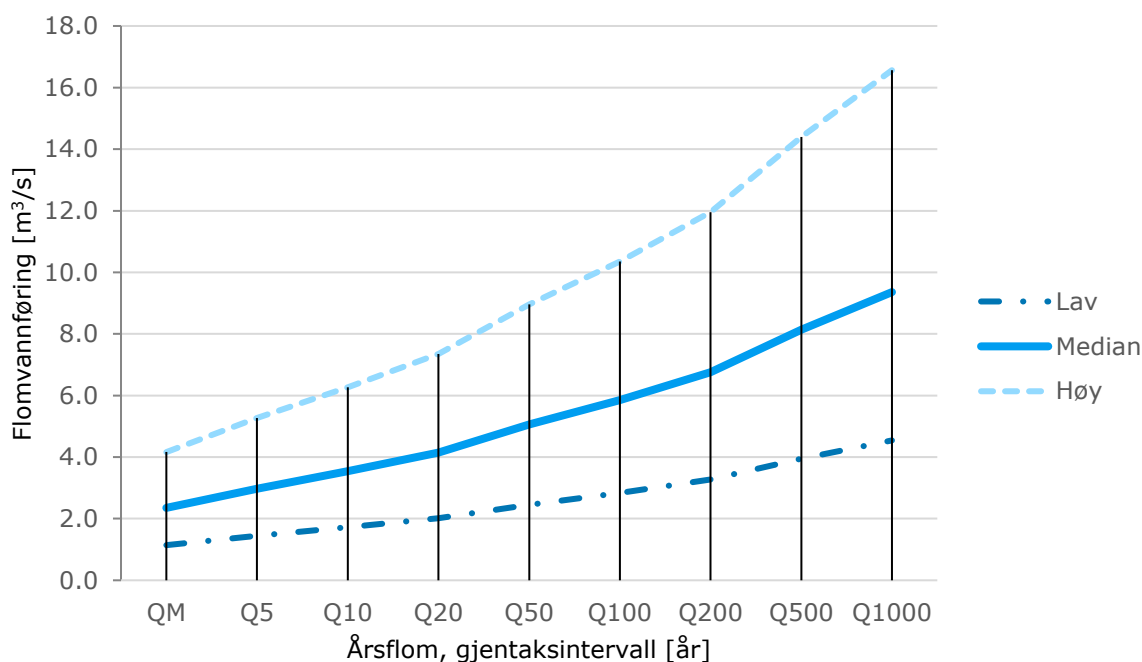
Siden det er høy konsentrasjon av urbane areal nederst i nedslagsfeltet er det også vurdert at kortere konsentrasjonstiden kan gi høyere flomtopper i Sjøskogbekken. Det er derfor i nedbør-avrennings-analysene valgt å benytte 1, 2 og 3 timer for konsentrasjonstid og konstruering av nedbørshendelser/hyetogram.

4.2 Flomberegninger

Det er benyttet fire metoder for beregning av dimensjonerende vannføring i tillegg til nedbør-avrenningsmodellen i HEC-RAS. Resultatene blir brukt til å vurdere en valgt vannføring for Sjøskogbekken.

4.2.1 Formelverk for små nedbørfelt

Det er utført beregninger av vannføringer basert på formler for små nedbørfelt. Figur 1 og Tabell 10 viser de beregnede flom med ulike gjentakintervall for Sjøskogbekken. I tillegg er øvre og nedre konfidensintervall for flomverdiene beregnet. Resultatene viser en beregnet årsflom på 2,4 m³/s og en 200-årsflom på 6,8 m³/s som tilsvarer spesifikke verdier på henholdsvis 403 l/(s*km²) og 1158 l/(s*km²).



Figur 25 Beregning av flom med ulike gjentaksintervall basert på formler for små nedbørfelt. Området innenfor de stiplede linje viser et intervall hvor det er sannsynlig at den faktiske flomhendelsen vil ligge basert på gjentaksintervall.

Tabell 10 Beregnede kulminasjonsverdier for flom [m^3/s] basert på formelverk for små nedbørfelt.

Gjentaksintervall [år]	Kulminasjonsvannføring [m^3/s]			
	Lav	Median	Høy	Median, inkl. 1.4 klimafaktor
1 (Q_M kulm)	1,1	2,4	4,2	3,3
5	1,4	3,0	5,3	4,2
10	1,7	3,5	6,3	5,0
20	2,0	4,2	7,3	5,8
50	2,5	5,1	9,0	7,1
100	2,8	5,9	10,4	8,2
200	3,3	6,8	11,9	9,5

4.2.2 Rasjonale formel

Den rasjonale formel skal i utgangspunktet brukes på urbane felt med et areal på 0,2–0,5 km^2 , og helst ikke på felt større enn 2–5 km^2 etter anbefalinger i NVE-veileder 7/2015 (NVE, 2015). Sjøskogbekken har et areal som er over øvre grense av hva som er anbefalt for bruk av den rasjonale formel (5,8 km^2). Beregningene er likevel gjort som referanse, men vektlegges ikke i valget av dimensjonerende vannføring for Sjøskogbekken. Det er lagt til grunn en konsentrasjonstid på 2 timer og et gjentaksintervall på 200 år. Vannføringen i Sjøskogbekken er beregnet til å være 11,4 m^3/s , som tilsvarer en spesifikk avrenning på 1962 $\text{l}/(\text{s}\cdot\text{km}^2)$. Med klimafaktor på 1,4 tilsvarer dette henholdsvis 16,0 m^3/s og 2747 $\text{l}/(\text{s}\cdot\text{km}^2)$.

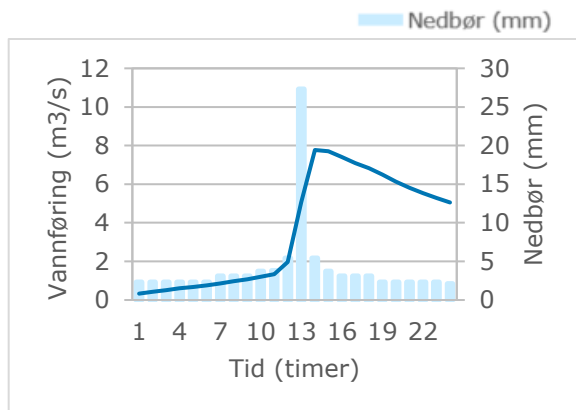
4.2.3 PQRUT

Resultatene for PQRUT er gitt i Figur 26, Figur 27, Figur 28 og Figur 29, samt Tabell 11. Vannføringen gitt med klimafaktor er justert med klimafaktor i input nedbørhendelse, og der er derfor ikke direkte brukt en klimafaktor på 1,4 på tallene. Maksverdien uten og med klimafaktor

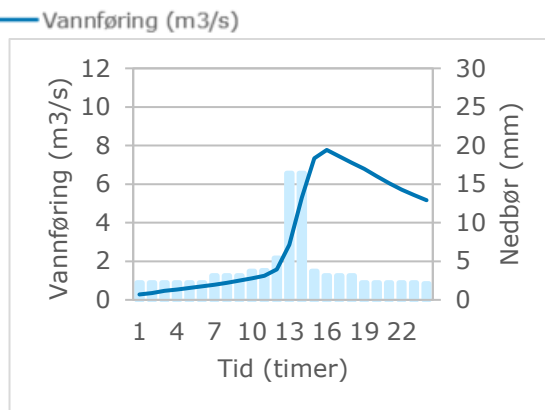
er beregnet til henholdsvis 9,3 m³/s for 6 t varighet og 11,5 m³/s for 1 t varighet. Grunner til en slik endring er at ved en kort varighet vil klimafaktorene i henhold til Tabell 2 er større for korte varigheter. Dette gir en større flomtopp med større maksimale vannføring. Mengden nedbør som faller i løpet av et døgn vil være den samme.

Tabell 11 Resultater fra PQRUT beregninger.

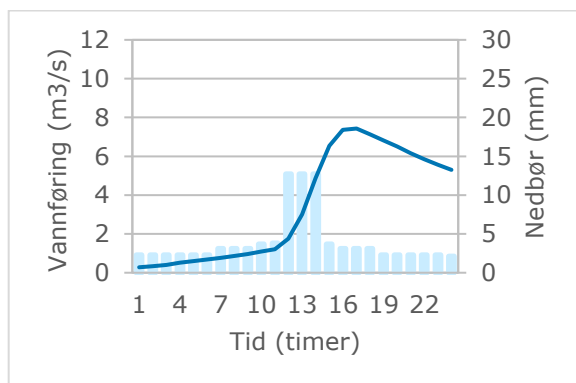
Gjentaksintervall, varighet	Uten klimafaktor		Med klimafaktor	
	Vannføring [m ³ /s]	Spesifikk vannføring [l/(s*km ²)]	Vannføring [m ³ /s]	Spesifikk vannføring [l/(s*km ²)]
200 år, 1 t	7,8	1333	11,5	1973
200 år, 2 t	7,8	1333	11,1	1904
200 år, 3 t	7,4	1274	10,7	1830
200 år, 6 t	9,3	1592	10,7	1832



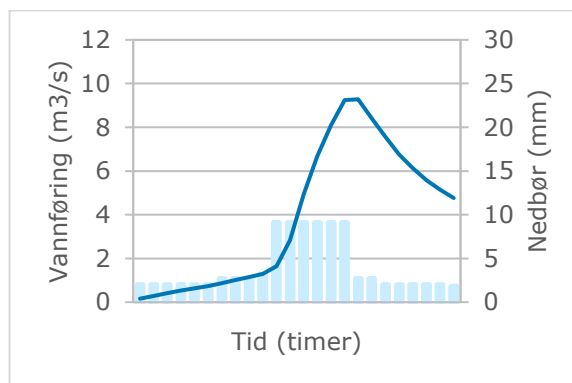
Figur 26 Returperiode 200 år, varighet 1 t. Effektiv sjø 0,03 %. Uten klimapåslag.



Figur 27 Returperiode 200 år, varighet 2 t. Effektiv sjø 0,03 %. Uten klimapåslag.



Figur 28 Returperiode 200 år, varighet 3 t. Effektiv sjø 0,03 %. Uten klimapåslag.



Figur 29 Returperiode 200 år, varighet 6 t. Effektiv sjø 0,03 %. Uten klimapåslag.

4.2.4 Flomfrekvensanalyse / Observasjoner i vassdrag

Det måles ikke vannføring i Sjøskogbekken, og det er derfor utført en flomfrekvensanalyse for å estimere dimensjonerende vannføring basert på nærliggende nedbørfelt med målestasjon for vannføring. Feltkarakteristikk til de nærliggende feltene er gitt i Tabell 12.

Arealmessig plasseres feltet til Sjøskogbekken mellom Hokfossen (8,0 km²) og Svarttjørbekken (3,4 km²). Feltet Øvre Hestsjøbekk er tre ganger mindre enn Sjøskogbekken, imens Engstad er nesten 20,1 km². Dette gjør at disse to feltene ikke er like nærliggende å sammenligne. Arealbruksmessig består Sjøskogbekken for det meste av dyrket mark og skog, imens i bunnen av feltet er det for det meste urbane områder med småhusbebyggelse. Sjøskogbakkens felt strekker seg fra sjøen til en høyde på 346 moh. Sett bort fra Klett, er alle feltene det sammenlignes med naturlige uten urbane områder. Sett over ett ligner Sjøskogbekken mest på Hokfossen og Svarttjørbekken. Feltene skiller seg mest på andel myr i feltet (det vil i en flomsituasjon med mett myr gi større avrenning) og høyde over havet. Elvegradienten er relativt lik med et spenn på 10 ‰.

Tabell 12 Nærliggende felt med målestasjon som er brukt til sammenligning for å kunne anslå flomverdi i Sjøskogbekken.

Felt nr.	Navn	Areal	Sjø	Eff. sjø	Snau fjell	Skog	Urban	Dyrk. Grad	Myr	Himin-Hmax	Elvegradient
		[km ²]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[m]	[promille]
	Sjøskogbekken	5,8	0,6	0,03	0,0	39,6	28,8	30,1	0,9	1-346	48,5
122.23.0	Klett	10	0	0	0	31	24	30	3,0	29-262	25,1
123.28.0	Hokfossen	8,0	4,0	1,2	0	76	0	0	20	246-512	39,0
123.29.0	Svarttjørn-bekken	3,4	2,9	0,85	0	82	0	0	16	280-512	44,6
123.30.0	Øvre Hestsjøbekk	1,9	0,35	0	0	64	0	0	36	306-512	40,3
126.2.0	Engstad	20	0	0	0	35	0	55	0	13-286	13,7

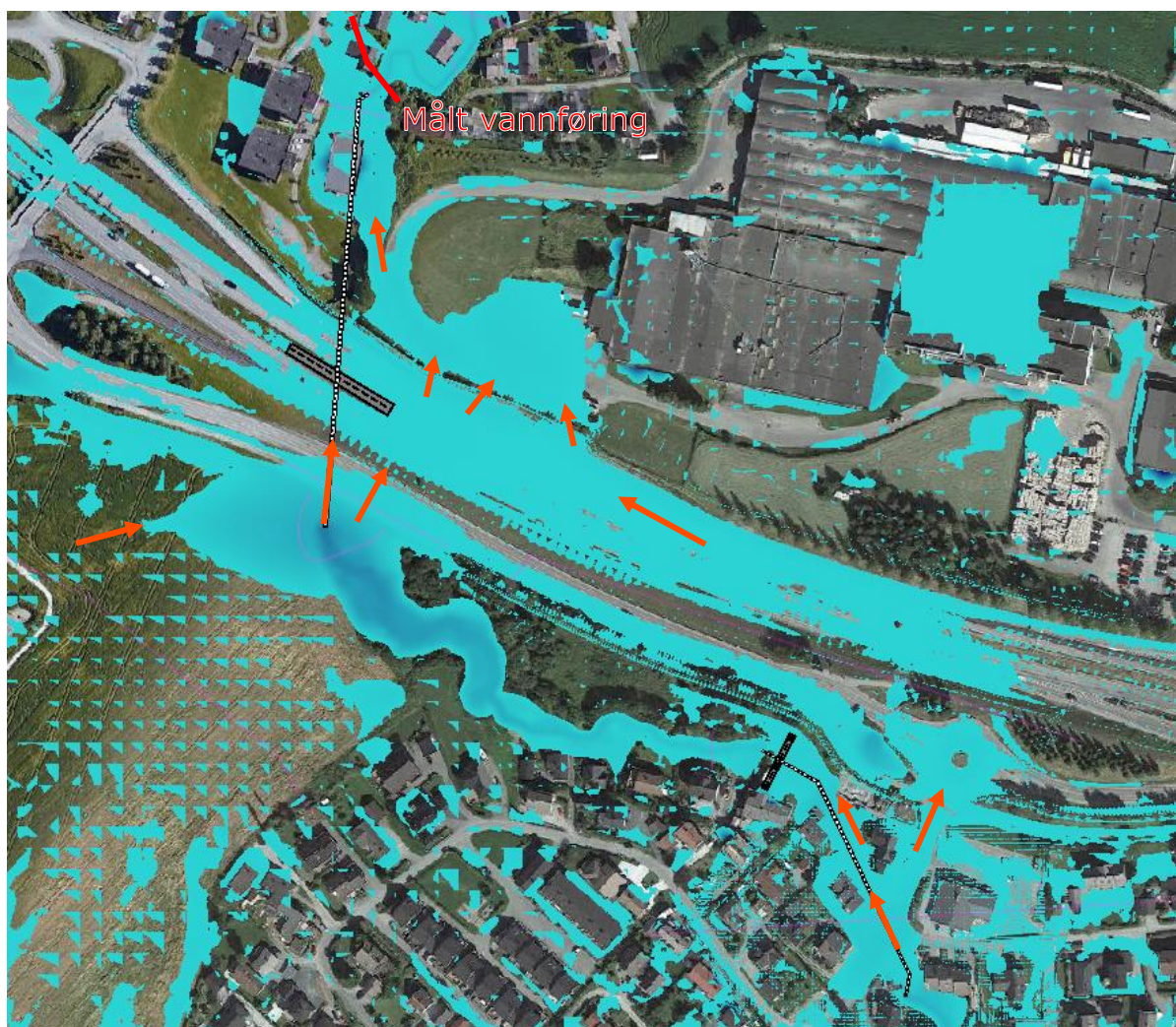
Tabell 13 Spesifikk middelflom kulminasjonsverdier (Q_M kulm), forhold mellom kulminasjonsverdier og middelflommen (Q_M) samt middel- og 200-årsflom for nærliggende felt.

Felt nr.	Navn	Q_M kulm	Q_M kulm/ Q_M	Q_{200} / Q_M	Kilde	Fordeling	Kommentar
		[l/(s*km ²)]	[-]	Vekstfaktor			
122.23.0	Klett	580	1.76	2,09	HYDRA II (hentet 9.2.22)	GEV (L-moment)	Lagt ned i 1998, kort måleperiode
123.28.0	Hokfossen	421	1.40	2,26	HYDRA II (hentet 10.2.22)	GEV (Bayesiansk)	1960-2020. Oppholdsperiode fra 1993 til 2002
123.29.0	Svarttjørn-bekken	566	1.74	1,96	HYDRA II (hentet 10.2.22)	GEV (max)	1971-2020.
123.30.0	Øvre Hestsjøbekk	775	1.82	1,93	HYDRA II (hentet 10.2.22)	GEV (max)	1972-2018 Oppholdsperiode på 1990 tallet samt noe på 2010-tallet
126.2.0	Engstad	621	1.41	2,09	HYDRA II (hentet 10.2.22)	GEV (max)	1992-2022. Små opphold i serien

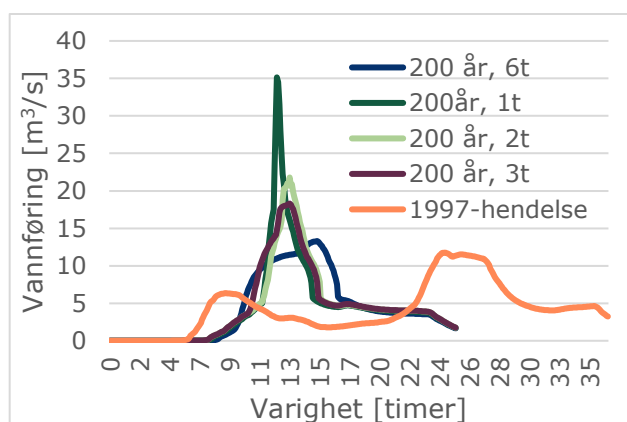
For middelflommene basert på kulminasjonsverdier er det et spenn på ca. 355 l/s*km², hvor Hokfossen har minst med 421 l/s*km² og det største er Øvre Hestsjøbekk med 775 l/s*km². Spesifikk middelflom og forholdstall Q_{200}/Q_M kulm er også gitt i Tabell 13. Basert på sammenligningene settes Q_M kulm til 640 l/s*km², og Q_M kulm/ Q_M til 1.6. Valgene begrunnes med den større urbane andelen og helningen i Sjøskogbekken sammenlignet med de mest sammenlignbare. Samtidig settes forholdstallet mellom Q_M kulm og Q_M til mellom Hokfossen og Svarttjønnbekken på grunn av mer urbane områder, størrelse på feltet og høyde over havet. Den spesifikke 200-års flommen blir 1837 l/s*km², som utgjør en vannføring på 10,7 m³/s.

4.2.5 Vannføring fra nedbør-avrenningsmodell

Vannføringen i nedbør-avrenningsmodellen er brukt i grunnlaget for å bestemme vannføringen i Sjøskogbekken. Nedbør-avrenningsmodellen vil også bli diskutert mer i kapittel 4.3.1, for ytterligere diskusjon om modellen og områder med utfordringer. I nedbør-avrenningsmodellene har ikke kulvertene oppstrøms E6 eller den igjennom E6 tilstrekkelig kapasitet, og det fører til at vann fra Sjøskogbekken renner over E6. I tillegg er det ikke tilstrekkelig kapasitet i alle kulvertene videre ned i Sjøskogbekken, og vannføring målt i bunnen av feltet vil ikke være representativ på grunn av mye fordrøyning ved kulvertene. Det vil også være en del fordrøyning oppstrøms E6 kulverten, men et profil rett nedstrøms E6-kulverten anses som det beste stedet å måle vannføringstoppen, for her får man også vannet som renner over E6. Profilet valgt for å måle vannføringen er vist i Figur 30. Vannføringsseriene i dette profilet er vist i plottene i Figur 31 og høyeste verdi er gitt i Tabell 14.



Figur 30 Utklipp fra HEC-RAS som viser den største utbredelsen av vann i Sjøskogbekken ved nedbørhendelsen med gjentaksintervall 200 år og varighet 1 t (med klimafaktor) på eksisterende situasjon. Det er lagt inn oransje strømningspiler på bildet, og man kan se at det renner vann fra Sjøskogbekken ned til E6 på Sverre Svendsens veg og ved kulverten gjennom E6.



Tabell 14 Maksimal vannføring målt i profilet nedstrøms kulvert 1 ved ulike nedbørforløp som input for nedbør-avrenningsmodellen for eksisterende situasjon.

Nedbørforløp	Største vannføring [m³/s]
200 år, 6t	13,3
200 år, 1t	36,3
200 år, 2t	21,8
200 år, 3t	18,3
1997-hendelse	11,8

Figur 31 Målt vannføring i nedbør-avrenningsmodellen nedstrøms kulvert 1. Profilet vannføringen er målt i er markert i Figur 30.

4.2.6 Sammenstilling av flomverdier og valg av dimensjonerende vannføring

Flomberegningene som er gjort for Sjøskogbekken basert på samtlige metoder i «Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt» (NVE, 2015) i tillegg til en nedbør-avrenningsmodell. Den spesifikke årsflommen (Q_M kulm) for Sjøskogbekken er anslått til å være $640 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{km}^2)$ ved flomfrekvensanalyse og beregnet til $403 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{km}^2)$ ved formelverk for små nedbørfelt (median). Spesifikk årsflom fra flomfrekvensanalysen ligger likevel innenfor troverdighetsintervallet til formelverket for små nedbørfelt, hvor den øvre verdien er på $714 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{km}^2)$. Resultatene fra PQRUT-modellen gir spesifikk 200-årsverdi gir verdier som ligger over medianverdien til 200-årsflommen til formelverk for små nedbørfelt, men fortsatt godt innenfor troverdighetsintervallet. I Tabell 15 er de beregnede kulminasjonsverdiene for en 200-årsflom for alle benyttede metoder oppsummert.

Med klimafaktor gir metodene fra NVEs veileder en differanse på ca. $5 \text{ m}^3/\text{s}$, imens for nedbør-avrenningsmetodene er differansen opp mot $20 \text{ m}^3/\text{s}$. Det er interessant å merke forskjellen på PQRUT og nedbør-avrenningsmodellen i HEC-RAS. Begge modellene baserer seg på nedbør som input og gir vannføring som resultat. Forskjellen på de to er blant annet at HECRAS-modellen hensyntar terrenget, og dermed gropmagasinering, men den har også muligheter til å modellere hastighet og mengder på overflateavrenningen i form av infiltrasjon- og manningslag. I begge modellene er det også infiltrasjon til grunnen, men har noe ulike beregningsmetoder. Resultatene i maksavrenning for de to metodene avviker fra hverandre. Dette kan skyldes en hurtigere respons i HEC-RAS-modellen. 1997-hendelsen samt HEC-RAS modellene med 2 til 6 timers varighet har vannføringer som er i mer lignende størrelsesorden som PQRUT enn 1 timers hendingen. På sistnevnte hendelsen ser man en bratt flomtopp i HEC-RAS, imens i PQRUT avtar toppen mer gradvis. Dette kan være med å forklare den store flomtoppen i HEC-RAS.

I forbindelse med vurderinger for nye kulverter under jernbanen ble det satt en dimensjonerende vannføring på $12,1 \text{ m}^3/\text{s}$ (Rambøll Norge AS, 2018).

Tabell 15 Sammenstilling av resultatene fra flomberegningene. Valgt vannføring er gjort som en vurdering på disse vurderingene. Merk at for nedbør-avrenningsmodellen er 200-års hendelsen opprinnelig beregnet med klimafaktor imens 1997-hendelsen er uten. Disse er derfor justert med en klimafaktor på 1.4 for vannføringen med og uten klimafaktor.

Metode/formel	Spesifikk 200-årsflom [l/(s*km ²)]	200-årsflom [m ³ /s]	Spesifikk 200-årsflom [l/(s*km ²)] m. klimapåslag	200-årsflom [m ³ /s] m. klimapåslag
Rasjonale formel	1962	11,4	2747	16,0
Formelverk for små nedbørfelt (median)	1158	6,8	1621	9,5
PQRUT				
• 200 år, 1t	1333	7,8	1973	11,5
• 200 år, 2t	1333	7,8	1904	11,1
• 200 år, 3t	1274	7,4	1830	10,7
• 200 år, 6t	1592	9,3	1832	10,7
Flomfrekvensanalyse	1837	10,7	2572	15,0
Nedbør-avrenningsmodell (Eksisterende)				
• 200 år, 1t	4305	25,1	6027	36,3
• 200 år, 2t	2669	15,6	3736	21,8
• 200 år, 3t	2243	13,1	3140	18,3
• 200 år, 6t	1630	9,5	2282	13,3
• 1997-hendelse	2018	11,8	2825	16,5
Valgt	1838	10,7	2573	15,0

Det er en høy usikkerhet til valg av dimensjonerende flom i små felt uten vannføringsmålinger. Den høye andelen urbane områder i feltet øker usikkerheten ytterligere. Basert på flomberegningene både med formler foreslått av NVEs Veileder for små uregulerte nedbørfelt og nedbør-avrenningsmodellen gjort for Sjøskogbekken er det valgt dimensjonerende vannføring $Q_{200} + 40\%$ klimafaktor = 15,0 m³, og denne verdien brukes som valgt vannføring videre i den mindre HEC-RAS-modellen. Hydrografen benyttet er gitt i Vedlegg - Figur 1, og har samme form som resulterende vannføringen oppstrøms E6 i nedbør-avrenningsmodellen med varighet 1 t og gjentaksintervall 200 år. I Tabell 16 er beregnede flomverdier ved valgt middelflom gitt.

Tabell 16 Beregnede flomverdier ved valgt valgt spesifikk Q_M kulm på 640 l/(s*km²).

Gjentaksintervall (år)	Valgt spesifikk Q_M kulm [l/s*km ²]	Valgt [m ³ /s]	Valgt m klimapåslag [m ³ /s]	Spesifikk m klima [l/s*km ²]
1 middel	640	3,7	5,2	896
5	809	4,7	6,6	1133
10	964	5,6	7,9	1350
20	1130	6,6	9,2	1581
50	1377	8,0	11,2	1928
100	1592	9,3	13,0	2229
200	1837	10,7	15,0	2572

4.3 Hydrauliske beregninger

4.3.1 Nedbør-avrenningsmodell

I sammenstillingen av flomverdiene kan man se at nedbør avrenningsmodellene gir relativt høy vannføring i Sjøskogbekken i forhold til metodene i «Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt» (NVE, 2015). Dette kommer av at nedbørforløpene som er brukt som input i modellen har større volum nedbør midt i forløpet på grunn av klimafaktorer. Dette gir store topper også i vannføring. I tillegg er det i det meste av feltet dårlig infiltrasjonskapasitet, som gjør at det meste av nedbøren blir til overflateavrenning. Det finnes ingen etablert standard eller veiledning for gjennomføring av nedbør-avrenningsmodeller i Norge. Dette er derfor en ganske ny type metode, og med det så knyttes det store usikkerheter. Det ble ikke gjort feltmålinger for å bestemme verdier i infiltrasjonslaget. Antakelig vil det være både en større tilgjengelig kapasitet i grunnen til å ta opp vann enn det er lagt inn i denne modellen. Samtidig er det vanlig praksis ved flomberegninger at grunnen er mettet av vann.

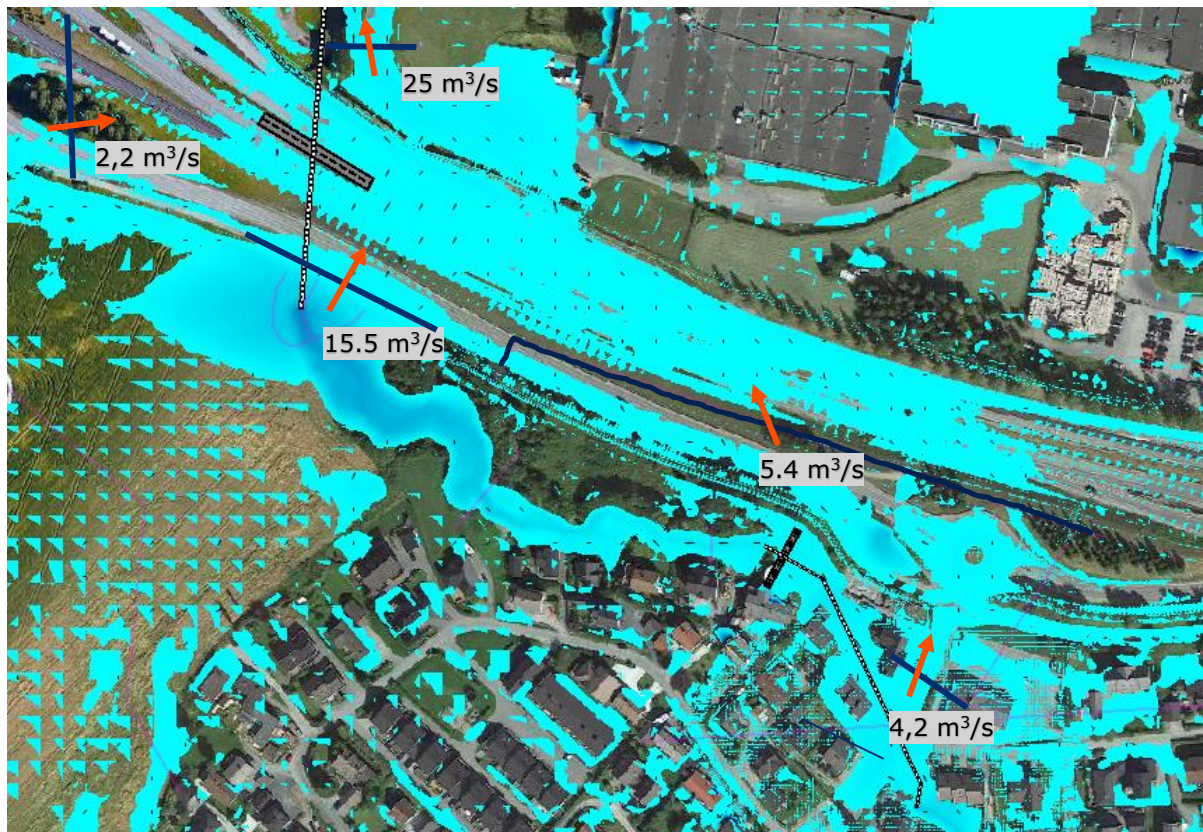
Hovedformålet med nedbør-avrenningsmodellene var å se på endringer fra eksisterende situasjon til en full utbygging på Overvik. Det viste seg derimot å være små endringer i vannføring fra Overvik området før og etter utbygging. Dette er videre vist i kapittel 4.3.3. Først vil noen utsatte områder i nedbør-avrenningsmodellen presenteres.

4.3.2 Eksisterende situasjon

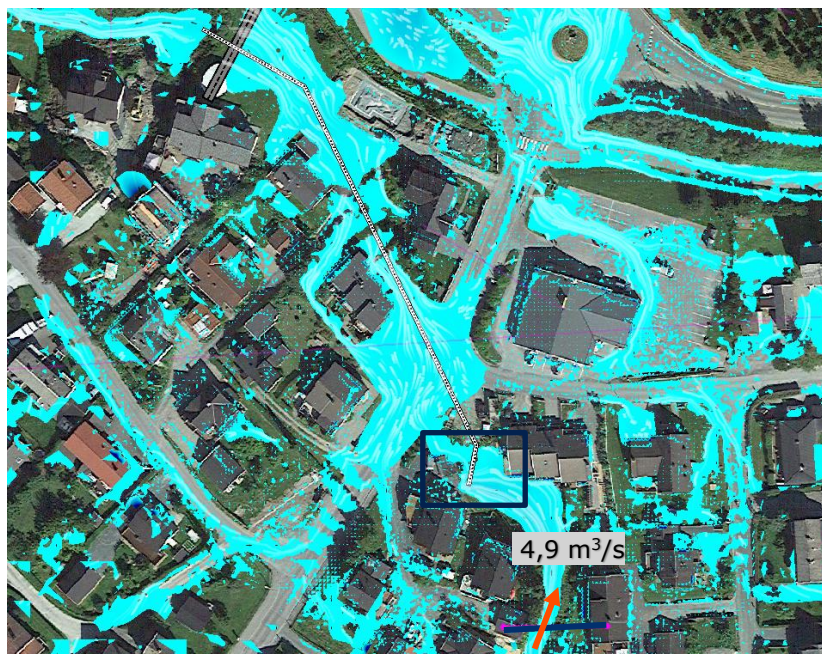
Oppstrøms E6

Vann fra Sjøskogbekken renner over og ned til E6 på to steder oppstrøms E6. Disse to områdene er markert i Figur 32. I punktet i øst flommer det over ved nedbørhendelser med varighet 1 t, 2 t, 3 t og 6 t, imens for området i vest, ved innløpet til kulverten gjennom E6, skjer dette bare i modellen med varighet 1 t. Under 1997-hendelsen rant det ikke over vann til E6 fra Sjøskogbekken. I modellen med varighet 1 t er det i vest i underkant av 11 m³/s som renner over til E6, imens ca. 8 m³/s renner over i øst⁴.

⁴ Det ble laget en egen modell med flere breaklines og refinement regions for å se på vannet som renner over til E6. Dette er ikke like godt fanget opp i modeller med celledørrelse 10 m * 10 m. Modellen med finere celledørrelse rundt vuller og området hvor vannet renner over er kun kjørt for nedbørforløpet med varighet 1 t og gjentakintervall 200 år.



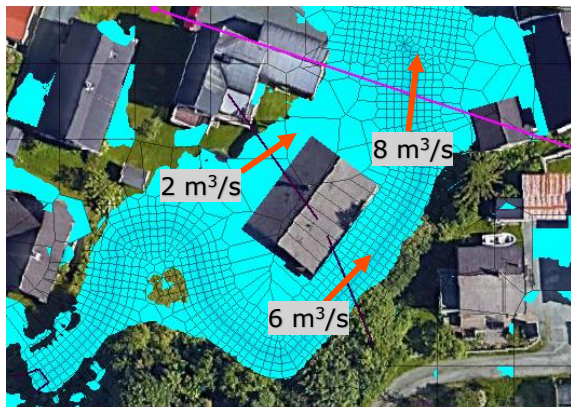
Figur 32 Utklipp fra HEC-RAS-modellen for området rundt E6. Sjøskogbekken vil renne over på to steder, som er markert med oransje piler i figuren. Nedbørhendelse: Gjentakintervall 200 år, varighet 1 t. Modell: Eksisterende situasjon (med ekstra breaklines og refinement regions).



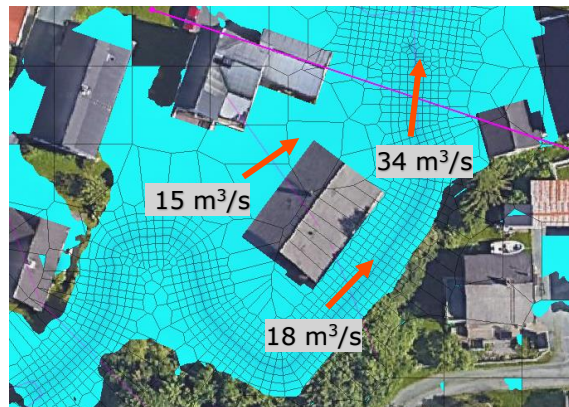
Figur 33 Nedbørhendelse: Situasjonen viser øyeblikket hvor Sjøskogbekken renner over kulverten oppstrøms fokusområdet. Sjøskogbekken vil renne over på terreng (tilsvarende kulvertens kapasitet) ved en vannføring på mellom 3,6 m³/s og 4,9 m³/s. Modell: Eksisterende situasjon (med ekstra breaklines og refinement regions). Merk at denne kulverten ikke er målt inn, og at det dermed er knyttet usikkerhet til disse vannføringene.

Bebyggelse oppstrøms Prestmovegen

Bebyggelsen oppstrøms Prestmovegen er utsatt for oversvømmelse under flomhendelser, som vist i Figur 34 og Figur 35.



Figur 34 Utklipp fra HEC-RAS av bebyggelse oppstrøms Prestmovegen. Nedbørhendelse: Gjentakintervall 20 år, varighet 6 t. Modell: Eksisterende situasjon.

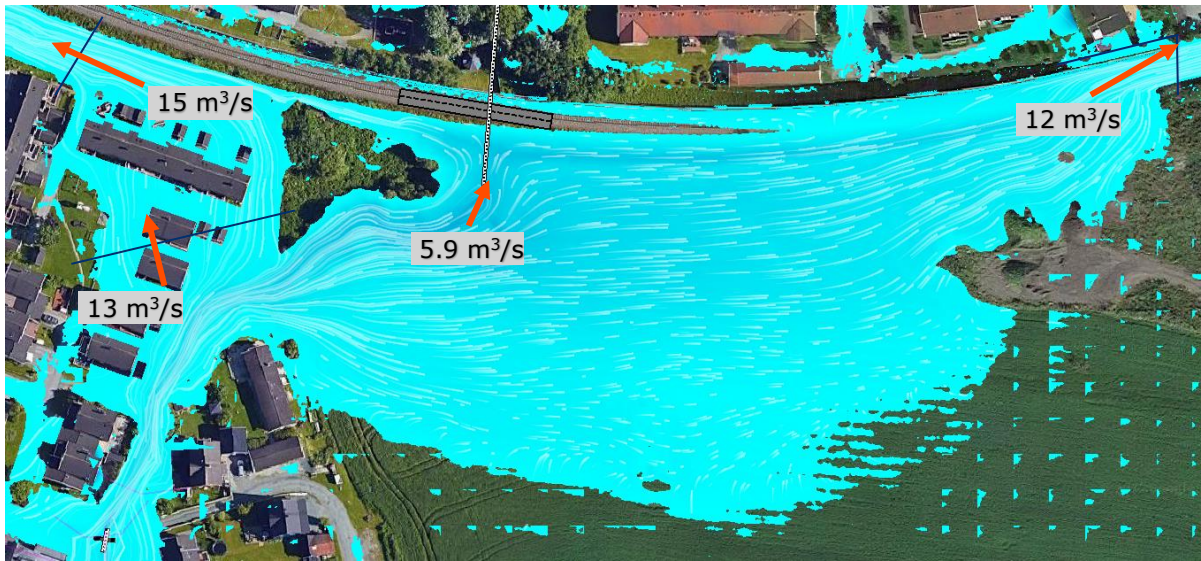


Figur 35 Utklipp fra HEC-RAS av bebyggelse oppstrøms Prestmovegen. Nedbørhendelse: Gjentakintervall 200 år, varighet 1 t. Modell: Eksisterende situasjon.

Det er ikke kun ved de meste ekstreme hendelsene hvor bebyggelsen oppstrøms Prestmovegen er utsatt. Ved den laveste vannføringen modellert (20 år, 6t) på $8 \text{ m}^3/\text{s}$ er det oversvømmelser rundt et hus, og opp mot to andre hus og en garasje.

Oppstrøms Jernbanen

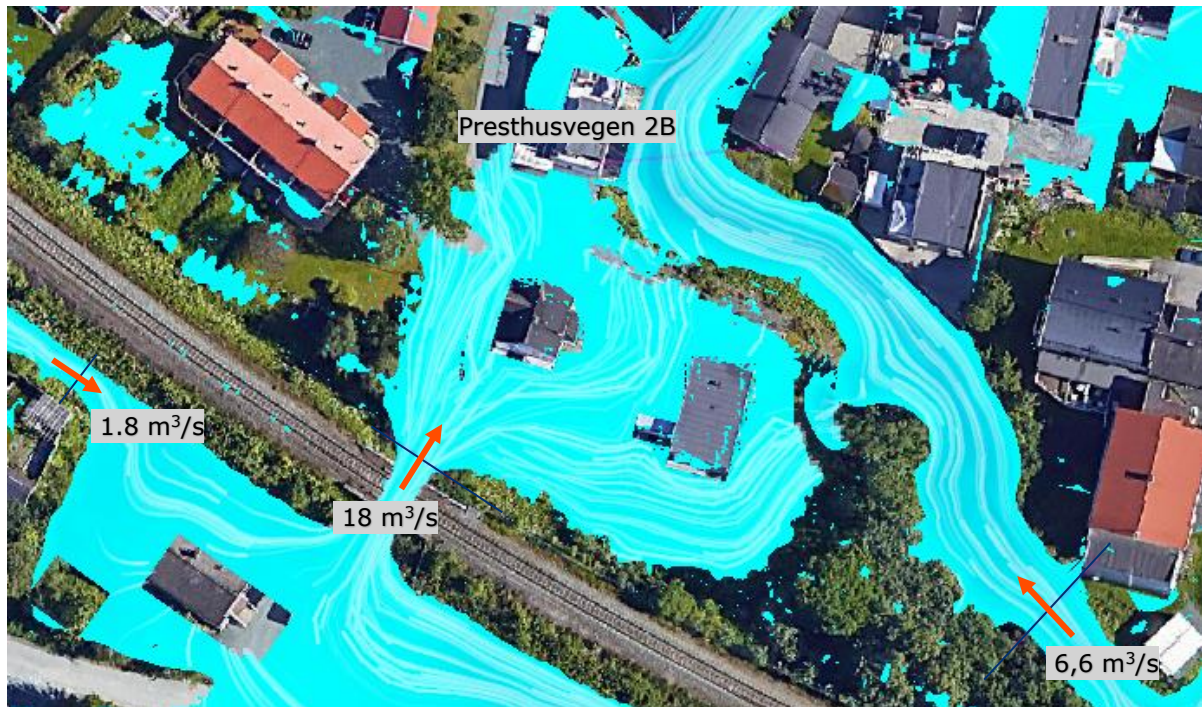
I Figur 36 er det gitt et utklipp av området oppstrøms jernbanen. Med eksisterende jernbanekulvert blir det en stor oppstuvning oppstrøms kulvertene, og mye vann flommer mot Ranheimsvegen i øst og Presthusvegen i vest. Vannet som renner til Presthusvegen går gjennom en gangundergang i jernbanen, og videre til bebyggelse. Dette er vist i Figur 37. Bebyggelsen på vestsiden av Sjøskogbekken mellom Prestmovegen og jernbanen blir også utsatt for flommengder ved en nedbørhendelse med varighet på 1 t og gjentakintervall 200 år. Mot øst avsluttes modellen, og hvor vannet tar veien er dermed ikke omfattet i modellen.



Figur 36 Utklipp fra HEC-RAS av området oppstrøms jernbanen i eksisterende situasjon. Nedbørhendelse: Gjentakintervall 200 år, varighet 1 t. Modell: Eksisterende situasjon.

Presthusvegen

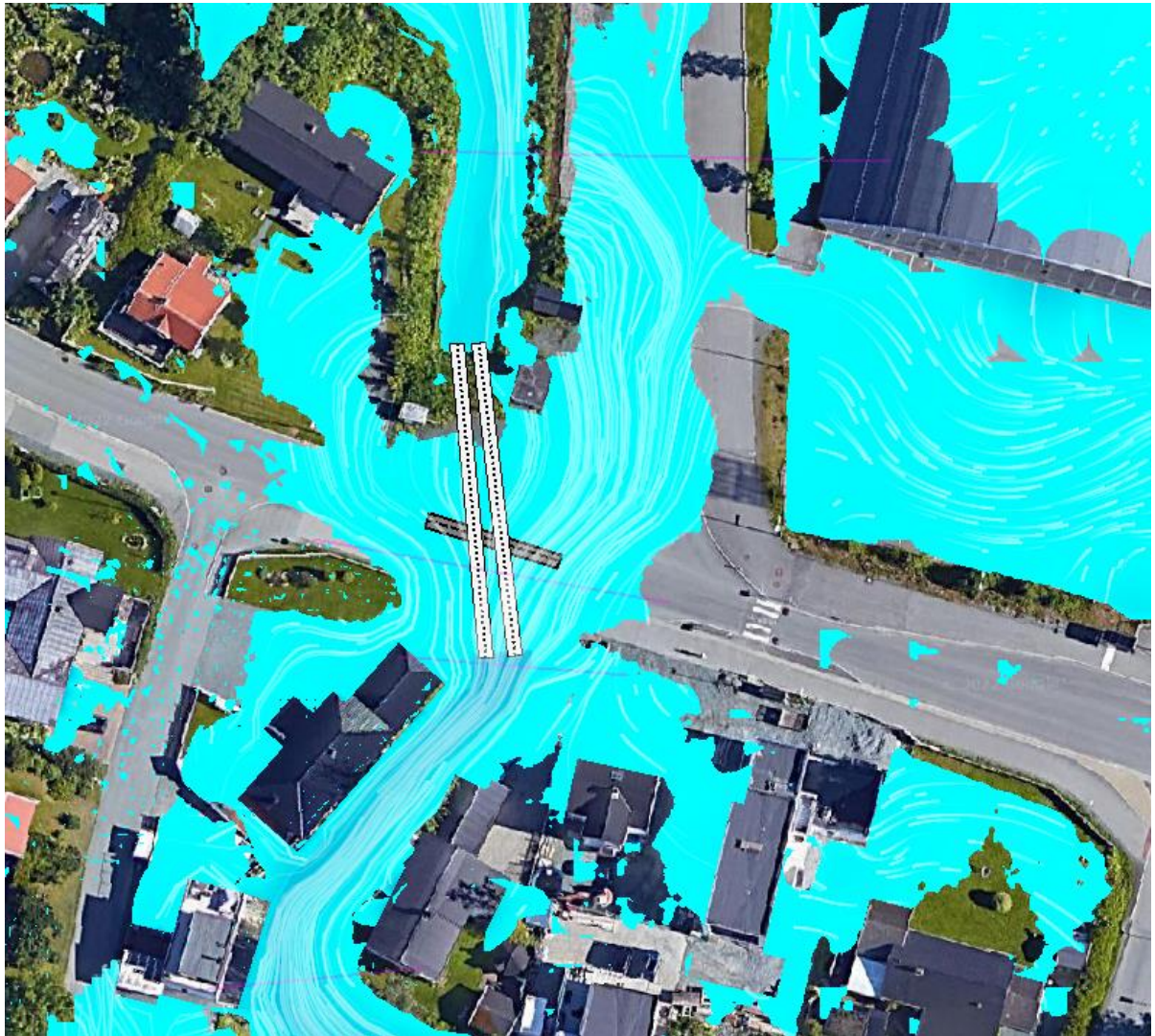
I Presthusvegen er det stor belastning ved eksisterende situasjon. Oppstuvningen av vann oppstrøms jernbanen gjør at vann renner mot vest, og dette tar veien gjennom en undergang for gang-og sykkelveg. Dette vannet gjør at bebyggelsen langs Presthusvegen oversvømmes, som vist i Figur 37.



Figur 37 Utklipp fra HEC-RAS av området rundt Presthusvegen. Nedbørhendelse: Gjentakintervall 200 år, varighet 1 t. Modell: Eksisterende situasjon.

Ranheimsvegen

Ved store vannføringer renner Sjøskogbekken over Ranheimsvegen. Ved oversvømmelse av Ranheimsvegen tar noe vann inn mot idrettsplassen, men det meste går tilbake inn i Sjøskogbekken. Med tetting i kulvertene renner Sjøskogbekken over Ranheimsvegen ved en vannføring høyere enn ca. 10 m³/s.



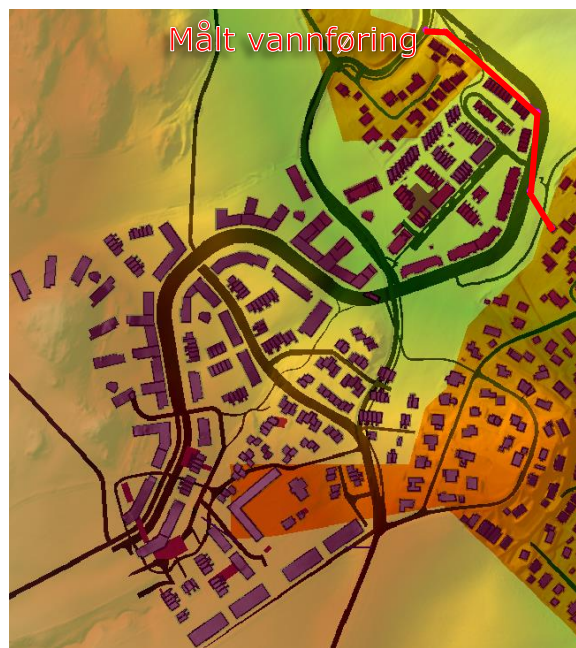
Figur 38 Sjøskogbekken renner over Ranheimsvegen ved store vannføringer. Nedbørhendelse: Gjentakintervall 200 år, varighet 1 t. Modell: Eksisterende situasjon.

4.3.3 Endringer som følge av Overvik

Det er en liten endring i vannføring mellom modellen ved eksisterende situasjon og ny situasjon med Overvik. For modellen med Overvik hvor husene ble hevet ser det ut til å være en del fordrøyning inntil husene, og det ble derfor i tillegg laget en modell som kun implementerer den nye utbyggingen ved hjelp av Manningslaget. Den faktiske situasjonen regnes med å være et sted imellom, siden terrenget rundt husene ved bygging vil formes slik at vannet renner bort fra hus. Et utklipp av Overvik i eksisterende situasjon er vist i Figur 39, imens den nye situasjonen er vist i Figur 40.



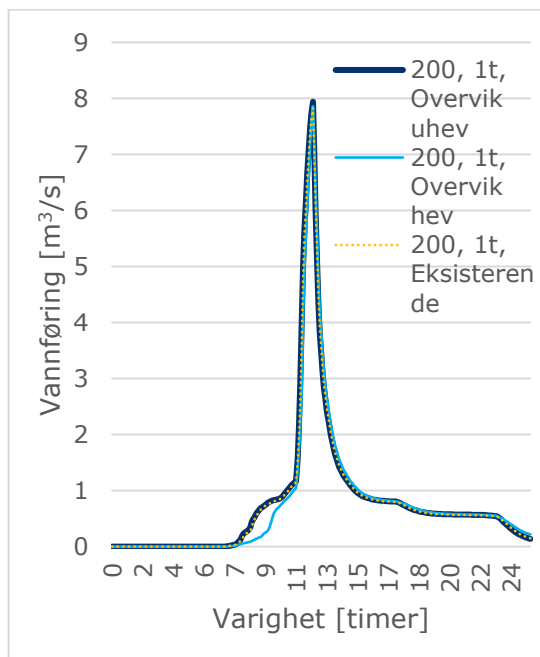
Figur 39 Utklipp fra terreng og infiltrasjonslag for eksisterende modell. Den røde linjen nord i feltet viser profilet vannføringen ut fra feltet er tatt.



Figur 40 Utklipp fra terreng og infiltrasjonslag for ny situasjon på Overvik. Den røde linjen nord i feltet viser profilet vannføringen ut fra feltet er tatt.

Nedbør-avrenningsmodellen gir en svært liten endring i vannføring fra den eksisterende situasjonen til ny utbygging på Overvik, som man kan se i Figur 41 og Tabell 17. Økningen fra eksisterende situasjon til utbyggingen på Overvik (uten heving av hus) er på nesten 1,4 prosent ved et 200 års regn med varighet 1 t. Grunnen til at endringen er så liten er trolig på grunn av at nedbørhendelsen som er brukt som input har en stor nedbørtopp, og det er lite infiltrasjonskapasitet i grunnen.

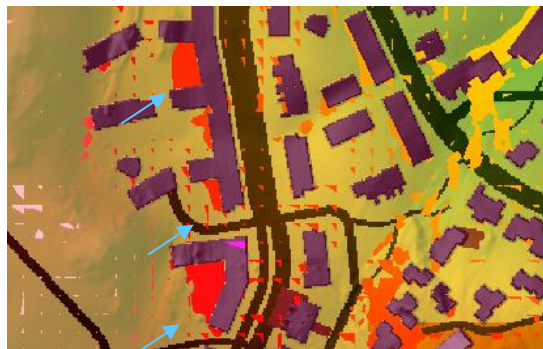
Det er ikke lagt til grunn noen fordrøyningsmagasin/-anlegg i beregningene. Slik at økningen i avrenningen vil være noe lavere hvis det etableres fordrøyningsmagasin på området.



Figur 41 Avrenning fra området som er planlagt for utbygging på Overvik. Modellen med utbygging på Overvik og hevede hus har en forsinkelse i avrenning, som tyder på fordrøyning i feltet. Eksempler kan bli sett på figuren til høyre.

Tabell 17 Avrenning fra Overvik området.

Nedbørførløp	Maksimal vannføring [m ³ /s]		
	Eksisterende	Overvik	
		Hevet	Uhevet
200 år, 1 t	7.83	7,86	7,94
20 år, 1t	4.15	3.86	-



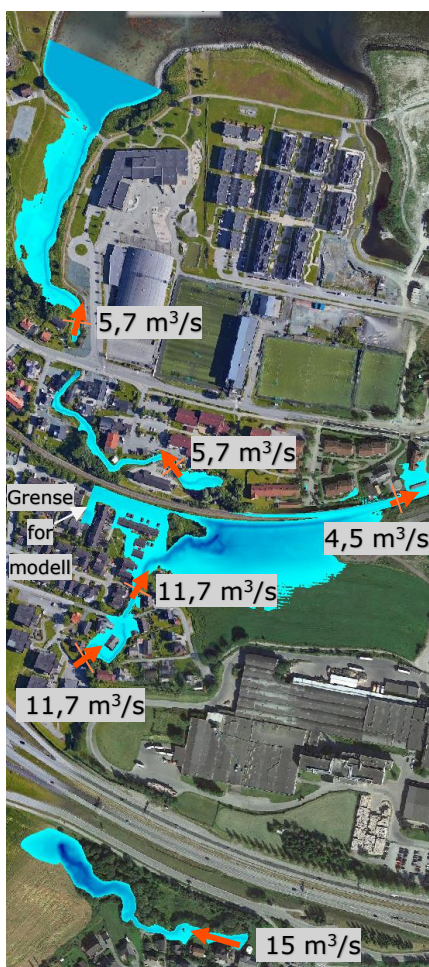
Figur 42 Kartet viser utklipp av nedbør-avløpsmodellen med hevede hus for ny situasjon på Overvik. Vann stuver seg opp inntil husene.

4.3.4 Modell med satt vannføring

Det er valgt en dimensjonerende vannføring på 15 m³/s for en 200-års flom i Sjøskogbekken, se kap 4.2.6. Denne vannføringen er brukt til å se nærmere på Sjøskogbekken i en mindre modell og kunne se på avbøtende tiltak.

Figur 43 viser modell med dimensjonerende 200-års vannføring i Sjøskogbekken med eksisterende kulvert under Jernbanen og med sedimenter i kulvertene under Ranheimsvegen. Figur 44 viser det samme område og vannføring med nye jernbanekulverter og med redusert mengder sedimenter under Ranheimsvegen (FREMTIDIG) ((mer kan bli sett i Tabell 5). Tiltak for å forbedre flomsituasjonen vil settes inn i FREMTIDIG modell.

I modellen for eksisterende situasjon og i FREMTIDIG er det utsatte områder for flom i dalen oppstrøms E6, bebyggelse oppstrøms Prestmovegen og ved Presthusvegen. Modelleringen for eksisterende situasjon viser i tillegg utfordringer med oppstuvning foran jernbanen slik at vannet strømmer ut mot Presthusvegen i vest og Ranheimsvegen i øst. Med nye kulverter under jernbanen løses dette problemet, og det er kun en mindre oppstuvning som skjer i front av kulverten. I følgende kapitler vil det bli foreslått og diskutert avbøtende tiltak på de utsatte områdene i FREMTIDIG situasjon.



Figur 43 Vannføring: 15 m³/s



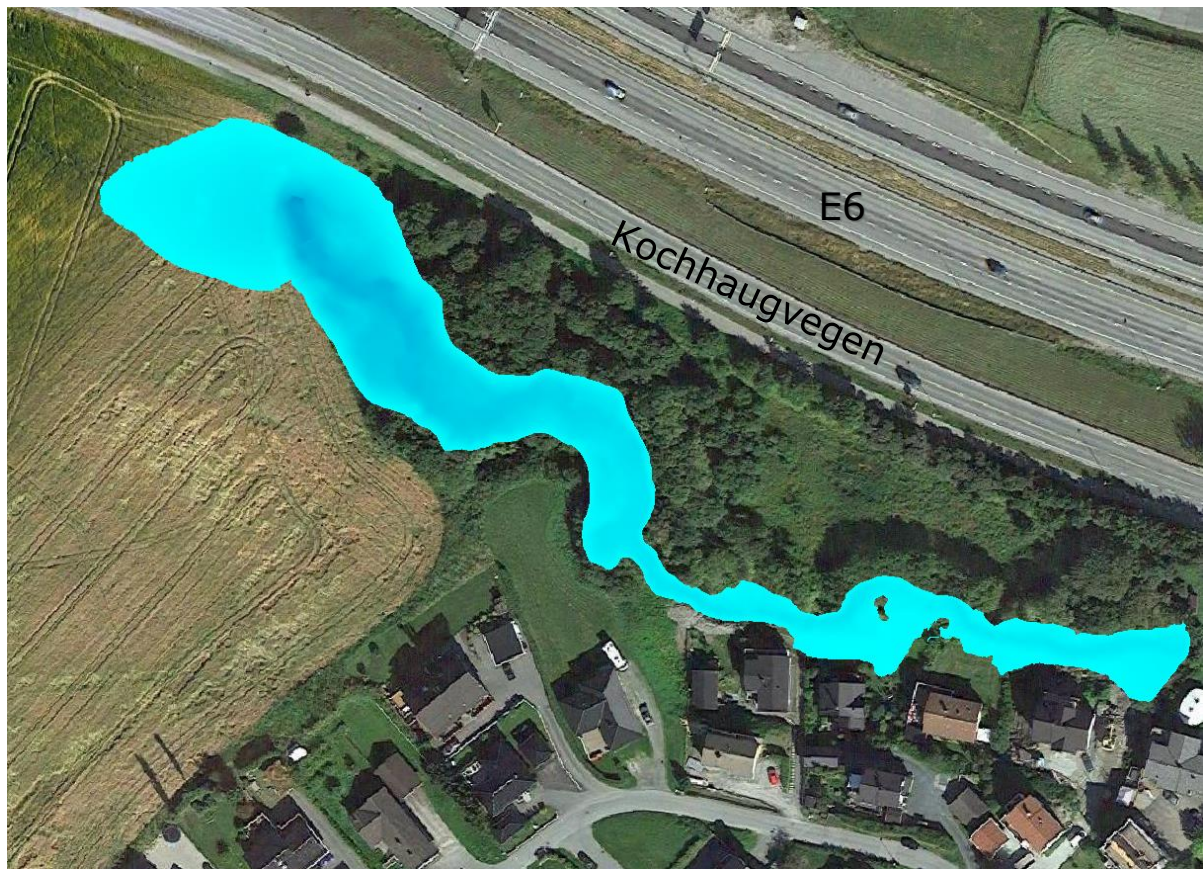
Figur 44 Vannføring: 15 m³/s

4.3.4.1 Avbøtende tiltak i området

For de avbøtende tiltakene er modellen med nye jernbanekulverter og kulverter uten betydelige mengder sedimenter under Ranheimsvegen benyttet.

Dal oppstrøms E6

Et tiltak for å håndtere den dimensjonerende 200-års flommen i Sjøskogbekken på 15 m³/s vurderes det som fordelaktig å benytte dalen oppstrøms E6 til fordrøyning slik som man ser i modelleringene. Ved å beholde kapasiteten i nåværende kulvert vil ikke bebyggelsen nedstrøms E6 bli belastet for større vannføringer, noe som er viktig i et allerede utsatt område. Som nevnt i kapittel 2.1 er det i eksisterende situasjon observert erosjon i dalen, og for å kunne bruke denne dalen som et varig tiltak i flomhåndteringen må dalen erosjonssikres. Geotekniker Per Arne Wangen ved Dr.techn. Olav Olsen skal regne på stabilitet på Kochhaugvegen som en del av utredning på flom. Med en dimensjonerende vannføring på 15 m³/s ligger høyeste simulerte vannstand på kote 25 m. Denne situasjonen er vist i Figur 45.

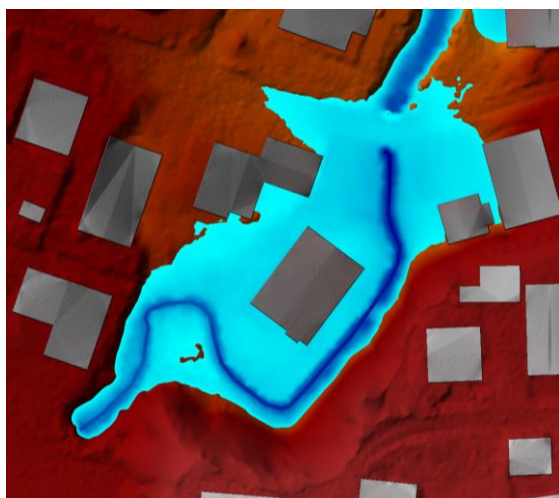


Figur 45 Høyeste simulerte vannstand ligger på kote 25 m. Laveste terrengpunkt (innmålt) 19.3 m.

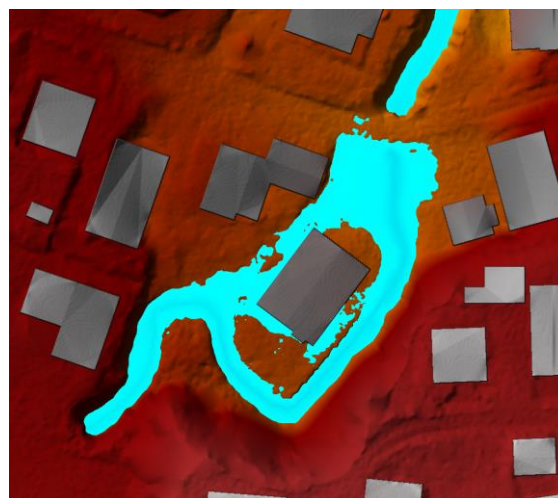
En uendret situasjon oppstrøms E6 er lagt til grunn for tiltakene lengre nedstrøms i Sjøskogbekken. Nødvendig erosjonssikring bestemmes i detaljprosjektering, men grunnet pågående erosjon anbefales det at sikringstiltak vurderes/gjennomføres siden det er kartlagt kvikkleire i front av innløpet til kulverten og at hele bekkedalen ligger under marin grense (NVE, 2022).

Tiltak i Prestmovegen

Bebyggelsen i Prestmovegen er utsatt for oversvømmelser dersom det ikke gjøres tiltak i området. Den største utbredelsen av den dimensjonerende 200-års hendelsen er vist i Figur 46. I Figur 47 er det vist en situasjon med vannføring på $3 \text{ m}^3/\text{s}$, som i «Formelverk for små nedbørfelt» tilsvarer middelverdien for en 5-årsflom uten klimafaktor. Dersom man inkluderer klimafaktor for verdien tilsvarer denne vannføringen ikke mer enn en middelflom.

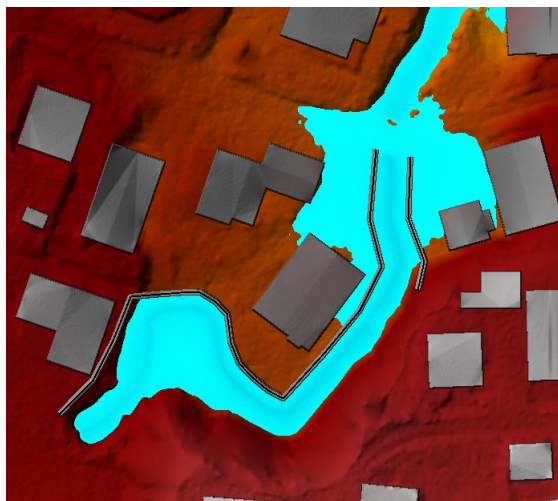


Figur 46 Maksimal utbredelse av den valgte dimensjonerende flomhendelsen. Vannføringen forbi området er 11.7 m³/s.

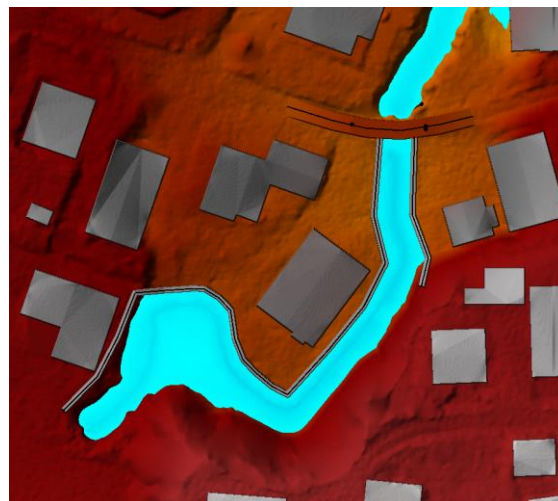


Figur 47 Utklipp fra HEC-RAS ved en situasjon med vannføring på 3 m³/s. Det er ikke lagt inn noen tiltak i denne situasjonen.

Det er sett på to ulike tiltak i området ved Prestmovegen. I tiltak nummer 1 er det satt inn flommurer på begge sider av vegen for å skjerme bebyggelsen. Tiltak nummer 2 bygger videre på tiltak 1 med en heving på Prestmovegen på 80 cm i tillegg til en bokskulvert med bredde * høyde lik 2,5 m * 2,3 m. Resultatene for tiltak 1 og 2 er vist i henholdsvis Figur 48 og Figur 49 ved en dimensjonerende 200-års hendelse.



Figur 48 Situasjon uten heving av Prestmovegen, men oppsetting av flommurer mot Sjøskogbekken. På grunn av høyden på Prestmovegen vil vannet strømme mot bebyggelsen nedstrøms murene.



Figur 49 I Prestmovegen er tiltakene å sette inn flommurer mot Sjøskogbekken. I dette tiltaket heves Prestmovegen slik at murene går inntil og kulverten kan få tilstrekkelig dimensjon.

Resultatene viser at for tiltak 1 vil det være nødvendig med en flommur på ca. 50 cm. Med dette tiltaket vil det uansett renne vann tilbake mot husene nedstrøms tiltaket på grunn av at Prestmovegen er lavere enn vannstanden ved enden av tiltaket. Dette vil uansett være en bedre situasjon enn uten noen tiltak, for vannet blir hindret i å renne mellom husene i svingen rett nedstrøms kulvert 1.

Uten tiltak er den største hastigheten på vannet ved en dimensjonerende 200-års hendelse i underkant av 3 m/s i hjørnet i nord-vest på huset på østsiden nærmest Sjøskogbekken. Dybden i samme situasjon ligger på ca. 0,3 m. Dette gir hastighet gange dybde lik 0,9 m²/s. Med tiltak 1 er det derimot lav hastighet (<0,2 m/s) og dybde (< 0,3 m) inntil husene på både øst og vestsiden av Sjøskogbekken. Tiltak 1 gir i verste situasjon dybde multiplisert med hastighet inntil husveggene lik 0,06 m²/s.

I NVE sin veileder «Rettleiar for handtering av overvatn i arealplanar» (NVE, 2022) blir det foreslått maksimale verdier for dybde, hastighet og dybde multiplisert med hastighet inntil bygninger. For eksisterende situasjon vil grenseverdiene i det generelle diagrammet være overskredet (NVE, 2022, s. 21). Dersom disse maksverdiene legges til grunn, vil tiltak 1 være tilstrekkelig flomsikring for husene.

I både eksisterende situasjon og ved tiltak 1 vil vannet renne over Prestmovegen, og hastigheter opp mot 6 m/s vil forekomme over veggen. Dette kan gi store erosjonsskader og fare for utvasking av veien.

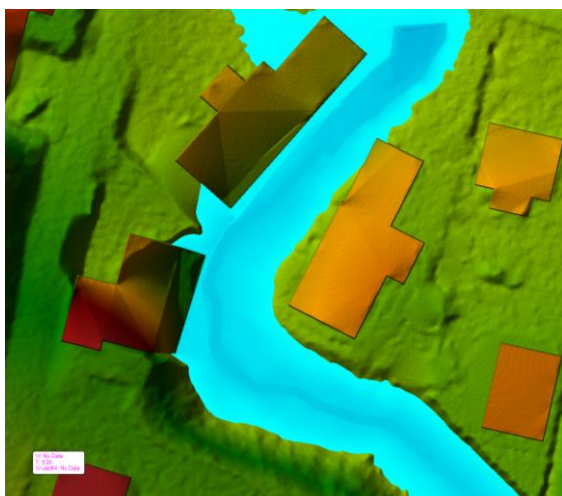
For å hindre at Prestmovegen skades i en flomsituasjon må kulverten byttes og veggen heves med 80 cm. I tiltak 2 er det lagt inn en ny kulvert for å sikre tilstrekkelig kapasitet, og sammen med flommurer på 70 cm er bebyggelsen oppstrøms Prestmovegen ikke utsatt for oversvømmelser. Det er ikke inkludert noen sikkerhetsmargin i høyden på murene. Flommurene bør ligge 30–50 cm høyere pga. usikkerhet i beregningene, altså må de være 100–120 cm.

Tiltak i Presthusvegen

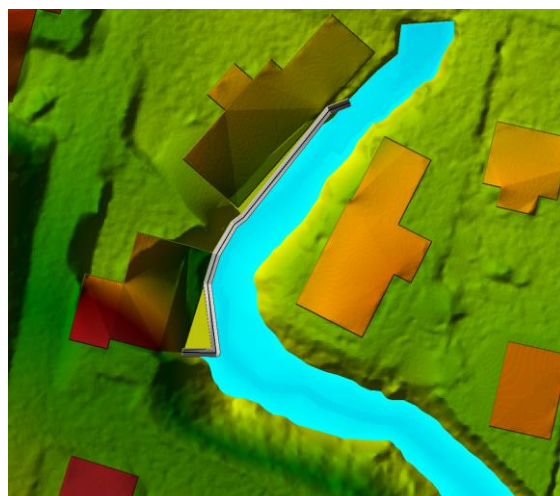
I Presthusvegen 2B er det en terrasse foran kjelleretasjen, som ligger ned mot Sjøskogbekken. Med tetting i kulvertene under Ranheimsvegen vil denne terrassen oversvømmes ved en vannføring på ca. 4,7 m³/s, og ved maksimal vannføring (15 m³/s i fokusområdet, fordrøyning oppstrøms E6, nye jernbanekulverter) på 11,7 m³/s vil dybden på terrassen være ca. 1,6 m og hastigheten på vannet vil ha en hastighet på inntil 1 m/s inntil husveggen. Denne situasjonen er vist i Figur 50. Vannstanden vil nå opp mot vinduene i kjelleretasjen på bygningen, og også gå over muren i Presthusvegen 2A. Vannstanden ved Ranheimsvegen vil maksimalt være på kote ca. +5,3 ved en vannføring på 11,7 m³/s og tetting i kulvertene. En vannføring over ca. 10 m³/s vil føre til at Sjøskogbekken renner ut på terreng og over Ranheimsvegen i denne situasjonen.

Ved å fjerne sedimentene i og nedstrøms kulvertene i Ranheimsvegen vil situasjonen ved en vannføring på 11,7 m³/s bedres, og vannstanden på terrassen i Presthusvegen 2B vil være opp mot 0,6 m og hastigheten inntil husveggen vil være inntil 1,5 m/s. Dette gir en verdi for dybde multiplisert med hastighet på 0,9 m²/s, som er over akseptabelt område i det generelle dybde-hastighetsdiagrammet foreslått i NVE sin nye veileder (NVE, 2022, s. 21).

For å sikre huset i Presthusvegen 2B er det foreslått et tiltak ved å bygge en flommur for å beskytte kjelleretasjen mot flomvannet. Tiltaket er vist i Figur 51. Muren må ha en høyde på minst 60 cm over dagens terrasse, som er målt inn til å ligge på kote +3,7. For etablering av flommur bør det inkluderes en sikkerhetsmargin på 30–50 cm pga. usikkerhet i beregningene, slik at mur bør ligge på kote +4,6–4,8.



Figur 50 Situasjonen ved Presthusvegen ved nye jernbanekulverter og fortsatt tetting under Ranheimsvegen. Det er store oversvømmelser både opp mot Presthusvegen 2 A og B.



Figur 51 På terrassen til Presthusvegen 2B er avbøtende tiltak å sette opp en flommur på terrassen. Denne må være ca. 60 cm.

Vannstanden rett oppstrøms Ranheimsvegen vil maksimalt nå en vannstand på kote +3,8, og Sjøskogbekken vil derfor ikke renne over veien.

5. USIKKERHET

Denne type analyser og beregningsresultater vil alltid være heftet med usikkerhet. Faktorer som nevnt nedenfor vil påvirke sluttresultatet og dermed påvirke beregnede vannlinjer og flomutbredelser.

Usikkerheten i flomberegningene er vurdert etter NVE-veileder 7/2015 (NVE, 2015). Observasjoner i nært vassdrag gjør flomberegningene noe mindre usikre, men grunnet flere nærliggende stasjoner vurderes usikkerheten til å være middels: «Brukbar hydrologisk datagrunnlag, med observasjoner i eller nært vassdraget.» (NVE, 2015, s. 48).

Datagrunnlaget for vassdraget kan karakteriseres som godt med data med laserdata fra høydedata i tillegg til nøyaktige innmålinger med GPS og totalstasjon. Likevel er det noe usikkerhet knyttet til beregnede flomutbredelser som følge av støy som ikke har blitt filtrert ut. Bekkeløpet er også modifisert ved hjelp av innmålingene.

Viktige faktorer som påvirker usikkerheten av resultatene i den hydrauliske modellen er nøyaktigheten på terreng, samt usikkerhet i valg av ruheter. I nedbør-avrenningsmodellen er det også knyttet stor usikkerhet til inputdata knyttet til infiltrasjonsparametere og brukervalg som cellestørrelse i modellområdet. Nedbørforløpene er konstruert teoretisk, og en reell nedbørhendelse vil trolig ikke utspille seg på denne måten.

Ved bruk av beregnede verdier for vannstander anbefales det å legge til en sikkerhetsmargin på 30–50 cm for å ta hensyn til usikkerhetene i beregningene.

6. OPPSUMMERING

Denne flomutredningen har hatt som formål å se på endringene en utbygging på Overvik vil ha for vannføringen i Sjøskogbekken, samt å se på avbøtende tiltak nedstrøms planområdet. Det har blitt laget en nedbør-avrenningsmodell for å se på endringene med og uten utbygging på Overvik, men modellen for utbygging inneholder kun en endring ved å heve bygninger i terreng og endre parametere for arealbruk. I modellen med heving av bygninger på Overvik oppstår det fordrøyning inntil bygninger oppstrøms hus, noe som antakelig ikke vil skje etter faktisk utbygging på grunn av ny utforming av terreng. Derfor ble det gjort simuleringer av situasjonen uten heving av bygninger, men med nye parametere for arealbruk. Resultatet viser at Overvik-utbyggingen vil kunne føre til en økning i vannføring på ca. 1,4 prosent ut av feltet dersom det ikke gjøres tiltak.

Videre ble det sett på flomberegninger for Sjøskogbekken, hvor det i tillegg til nedbør-avrenningsmodellen ble vurdert verdier i henhold til metoder gitt i NVE-veilederen 7/2015. Basert på resultatene ble det vurdert at 15 m³/s (inkludert klimapåslag) er en sannsynlig verdi for 200-årsflommen i Sjøskogbekken, og denne ble videre brukt som dimensjonerende verdi. Den dimensjonerende verdien ble videre brukt på en mindre modell for å enklere kunne vurdere konsekvenser av en 200-årsflom i Sjøskogbekken. Fokusområdet strekker seg fra dalen oppstrøms E6 og ned til utløp i sjøen. For flomtiltak i området ble det lagt til grunn nye kulverter under jernbanen, som er planlagt utskiftet av Bane NOR, samt at det ikke ligger mye sedimenter i kulvertene under Ranheimsvegen. Foreslåtte tiltak for flomsikring i fokusområdet inkluderer å sikre dalen oppstrøms E6 slik at den trygt kan brukes til fordrøyning og sette opp flommurer oppstrøms Prestmovegen og langs terrassen i Presthusvegen 2B. Eventuelt kan det også vurderes å bytte kulverten i Prestmovegen for å sikre at bekken ikke gir store erosjonsskader/vasker ut veien når det renner over.

7. REFERANSER

- USACE Hydrologic Engineering Center. (2022). *HEC-RAS 2D User's Manual*. Hentet fra <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/rasdocs/r2dum/latest/foreword>
- Chow. (1959). *Manning's n for Channels*. Hentet fra http://www.fsl.orst.edu/geowater/FX3/help/8_Hydraulic_Reference/Mannings_n_Tables.htm
- Norsk Klimaservicesenter. (2021, 09 06). *Seklima*. Hentet fra Nedbørintensitet (IVF-verdier), Molde - Nøisomhed: <https://klimaservicesenter.no/ivf?locale=nb&locationId=SN62290>
- Norsk Klimaservicesenter. (2022, 02). *Seklima*. Hentet fra Observasjoner og værstatestikk (Ranheim, SN69020): <https://klimaservicesenter.no/ivf?locale=nb&locationId=SN62290>
- NVE. (2015, 12). *Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt. Veileder nr 7-2015*. Norges vassdrags- og energidirektorat. Hentet fra Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt: https://publikasjoner.nve.no/veileder/2015/veileder2015_07.pdf
- NVE. (2016). *Overvannshåndtering og drenering for veg og jernbane. Rapport nr 28-2016*. Norges vassdrags- og energidirektorat. Hentet fra https://publikasjoner.nve.no/rapport/2016/rapport2016_28.pdf
- NVE. (2021). *Rettleiar for handtering av overvatn i arealplanar (høringsutkast)*.
- NVE. (2022, Mars 2). *NVE Atlas. Kart over kvikkleire og aktsomhet for marin leire*. . Hentet fra atlas.nve.no
- Rambøll Norge AS. (2018). *NORLANDSBANEN, TRONDHEIM – STEINKJER. Sjøskogbekken kulvert. Stikkrenne ved Ranheim km 6,85. Fagnotat Hydrologi*. Bane NOR.
- Statens vegvesen. (2021, Juni). *N200:2021*. Hentet fra N200 Vegbygging: <https://svv-cm-sv-apppublic-prod.azurewebsites.net/product/859919>
- Stenius, S., Glad, P. A., Wang, T. K., & Væringstad, T. (2015, 12). *Norges vassdrags- og energidirektorat*. Hentet fra Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt: https://publikasjoner.nve.no/veileder/2015/veileder2015_07.pdf
- Trondheim kommune. (2020, 02 03). *VA - Norm. Vedlegg 5*. Hentet fra Beregning av overvannsmengde. Dimensjonering av ledning og fordrøyningsvolum. : <https://www.va-norm.no/wp-content/uploads/2020/02/Vedlegg-5-Beregning-av-overvannsmengde.pdf>

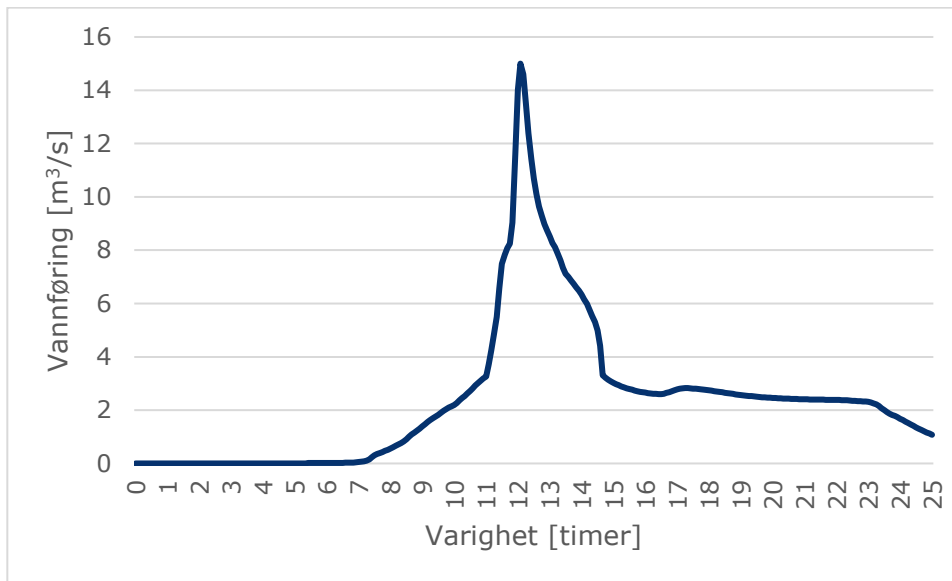
VEDLEGG 1 NEDBØRHENDELSER OG VANNFØRING

Vedlegg 1 - Tabell 1 Konstruerte nedbørførlop for Trondheim. Disse verdiene er uten klimafaktor, og er brukt som input i PQRUT.

Returperiode	200 år			
Varighet	1 t	2 t	3 t	6 t
1	2.3	2.2	2.3	2.0
2	2.3	2.2	2.3	2.0
3	2.3	2.2	2.3	2.0
4	2.3	2.2	2.3	2.0
5	2.3	2.2	2.3	2.0
6	2.3	2.2	2.3	2.0
7	3.1	3.1	3.1	2.7
8	3.1	3.1	3.1	2.7
9	3.1	3.1	3.1	2.7
10	3.7	3.7	3.7	3.2
11	3.8	3.8	3.8	9.1
12	5.4	5.4	12.7	9.1
13	27.3	16.4	12.7	9.1
14	5.4	16.4	12.7	9.1
15	3.7	3.7	3.7	9.1
16	3.1	3.1	3.1	9.1
17	3.1	3.1	3.1	2.7
18	3.1	3.1	3.1	2.7
19	2.3	2.2	2.3	2.0
20	2.3	2.2	2.3	2.0
21	2.3	2.2	2.3	2.0
22	2.3	2.2	2.3	2.0
23	2.3	2.2	2.3	2.0
24	2.1	2.1	2.1	1.8
Sum nedbør	94.9	94.9	94.9	94.9
Maksperiode	27.3	32.7	38.1	54.7
Døggnedbør	94.9	94.9	94.9	94.9

Vedlegg 1 - Tabell 2 3 Konstruerte nedbørførlop for Trondheim. Disse verdiene er med klimafaktor, og er brukt som input i nedbør-avrenningsmodellen i HECRAS.

Returperiode	200 år				20 år	
	1 t	2 t	3 t	6 t	1 t	6 t
1	2.7	2.8	2.8	2.5	2.0	1.9
2	2.7	2.8	2.8	2.5	2.1	1.9
3	2.7	2.8	2.8	2.5	2.1	1.9
4	2.7	2.8	2.8	2.5	2.1	1.9
5	2.7	2.8	2.8	2.5	2.1	1.9
6	2.7	2.8	2.8	2.5	2.1	1.9
7	3.8	3.9	3.9	3.5	2.9	2.6
8	3.8	3.9	3.9	3.5	2.9	2.6
9	3.8	3.9	3.9	3.5	2.9	2.6
10	4.5	4.6	4.6	4.2	3.4	3.1
11	4.6	4.7	4.7	11.9	3.5	8.0
12	6.6	6.7	17.8	11.9	5.0	8.0
13	41.0	22.9	17.8	11.9	24.1	8.0
14	6.6	22.9	17.8	11.9	5.0	8.0
15	4.5	4.6	4.6	11.9	3.4	8.0
16	3.8	3.9	3.9	11.9	2.9	8.0
17	3.8	3.9	3.9	3.5	2.9	2.6
18	3.8	3.9	3.9	3.5	2.9	2.6
19	2.7	2.8	2.8	2.5	2.1	1.9
20	2.7	2.8	2.8	2.5	2.1	1.9
21	2.7	2.8	2.8	2.5	2.1	1.9
22	2.7	2.8	2.8	2.5	2.1	1.9
23	2.7	2.8	2.8	2.5	2.1	1.9
24	2.5	2.6	2.6	2.4	1.9	1.7
Sum nedbør	123.4	123.4	123.4	123.4	86.2	86.2
Maksperiode	41.0	45.8	53.3	71.1	24.1	47.7
Døgnnedbør	123.4	123.4	123.4	123.4	86.2	86.2



Vedlegg - Figur 1 Benyttet vannføringsdata for valgt vannføring.

VEDLEGG 2 FLOMHENDELSE «FREDLYBEKKEN»

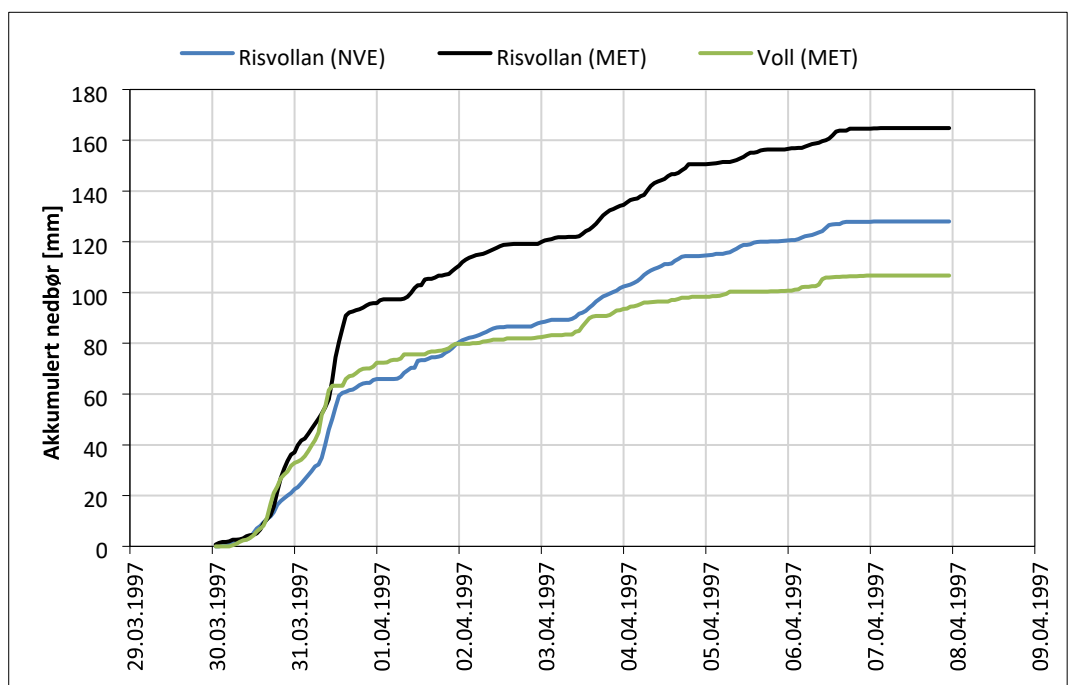
Følgende vedlegg er en rekonstruert flomhendelse for Fredlybekken, som er oversendt fra Trondheim kommune til bruk i Flomutredningen.

1.1.1 Flomhendelse «Fredlybekken»

«Fredlybekken» er den største flomhendelsen som har rammet Trondheim i nyere tid der en en langvarig periode med nedbør og snøsmelting forårsaket oversvømmelser i flere bydeler. Hendelsen inntraff i månedsskiftet mars-april 1997 og kulminerte den 31. mars.

Tidsserier for Fredlybekken er konstruert basert på historiske temperatur-, nedbør og snøsmeltesdata ved Risvollan og Voll målestasjoner. Det eksisterer to parallelle tidsserier for nedbør og snøsmelting ved Risvollan, en i NVEs database Hydra II og en fra Meteorologisk Instituttets (MET) webapplikasjon *seNorge* (www.senorge.no). Figur viser en sammenlikning av akkumulert nedbør ved Risvollan og Voll basert på tidsseriene fra NVE og MET. En ser at MET oppgir langt mer nedbør ved Risvollan enn NVE. NVE oppgir en døgnnedbør på 43,4 mm og MET en døgnnedbør på 59,7 ved Risvollan den 31.03.1997. Ved Voll oppgir MET en døgnnedbør på 39,2 mm. Årsakene til ulikhetene mellom tidsserien til NVE og MET er ikke kjent.

Eneste målestasjon med data på snøsmelting er NVEs ved Risvollan. NVE oppgir en samlet snøsmelting og nedbør på 99,4 mm den 31. mars 1997. Med en døgnnedbør på 43,4 mm tilsvarer dette en snøsmelting på 56 mm på et døgn. I følge dataene til NVE hender 53,9 mm av snøsmeltingen i løpet av én time, hvilket er helt urealistisk. Dette antyder at det er noe feil i dataene. For å skape en tidsserie som kunne benyttes til simuleringer i MIKE+ ble det derfor beregnet nedbør og snøsmelting basert på METs på temperatur- og nedbørdata ved Risvollan og Voll.



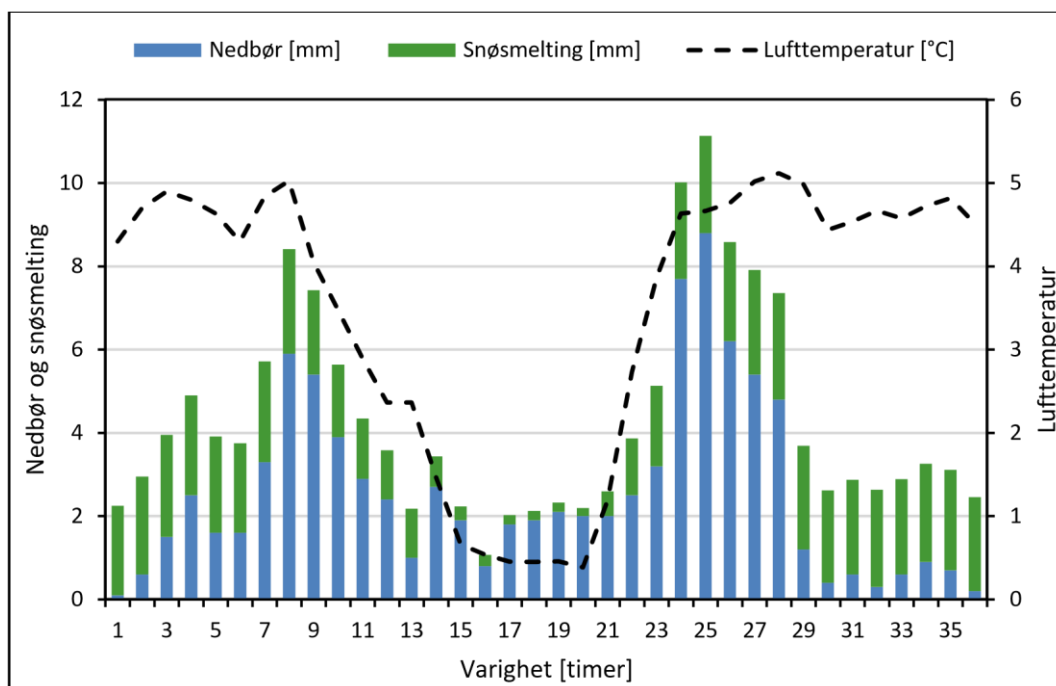
Figur Feil! Det er ingen tekst med den angitte stilen i dokumentet.-1: Sammenlikning akkumulert nedbør ved Risvollan og Voll målestasjoner

Snøsmelting ble beregnet ut ifra timesdata på temperatur og en valgt grad-dagsfaktor (C_S). Grad-dagsfaktor avhenger av hvilken arealdekning som dominerer i feltet. For perioder med nedbør anbefaler NVE grad-dagsfaktorer på henholdsvis 4, 5 og 7 mm/°C/døgn for områder med noe skog, snaufjell og isbreer. Modellberegninger fra ekstreme flommer på Fosenhalvøya viser at avrenning på 70-100 mm/døgn kan forekomme, hvilket tilsvarer graddagsfaktorer på 6-12 mm/°C/døgn [1]. Snøsmelting ble derfor beregnet med graddagsfaktorer på 6 og 12 mm/°C/døgn.

Tabell Feil! Det er ingen tekst med den angitte stilen i dokumentet.-1: Resultater snøsmelteberegninger

Dato	Risvolla (MET)				Voll (MET)			
	Temp. [°C]	Nedbør [mm]	$C_S=6$ [mm]	$C_S=12$ [mm]	Temp. [°C]	Nedbør [mm]	$C_S=6$ [mm]	$C_S=12$ [mm]
30.03.97	2,8	37,0	16,6	33,2	3,0	31,7	18,3	36,5
31.03.97	3,2	59,7	19,0	38,0	3,2	39,2	19,5	38,9
01.04.97	2,5	13,8	15,2	30,3	2,4	8,9	14,1	28,2
02.04.97	0,9	9,6	5,3	10,5	0,3	2,5	1,6	3,1

Beregningene er utført med timesverdier, men resultatene oppsummert i **Feil! Fant ikke referanse kilde.** angir døgnverdier. Basert på temperaturdataene er det beregnet snøsmelting ved Risvolla og Voll på ca. 19 og 39 mm per døgn med antatte graddagsfaktorer på henholdsvis 6 og 12 mm/°C/døgn. Maksimal snøsmelting inntreffer den 31. mars der også tidsseriene viser mest nedbør. Observert døgnnedbør ved Risvolla og Voll basert på METs data er 59,7 mm og 39,2 mm. Samlet nedbør og snøsmelting ved Risvolla den 31.03.1997 basert på METs temperatur- og nedbørserier er beregnet til 97,7 mm med en antatt grad-dagsfaktor på 12 mm/°C/døgn. For Voll er det beregnet 78,1 mm. Til sammenlikning oppgir NVE en samlet nedbør og snøsmelting 99,4 mm. Snøsmelting mellom 19 og 39 mm på et døgn er realistiske verdier, men en grad-dagsfaktor på 12 mm/°C/døgn vil kun være gyldige for helt spesielle termodynamiske forhold som ikke var tilfelle "Fredlybekken"-hendelsen. Med grad-dagsfaktor på 6 mm/°C/døgn måtte gjennomsnittstemperaturen vært 6,7 °C for å oppnå en snøsmelting på 40 mm per døgn.



Figur Feil! Det er ingen tekst med den angitte stilen i dokumentet.-2: Konstruert hendelse Fredlybekken 30.03.1997 kl. 12:00 – 31.03.97 kl. 23:00

Det er betydelige usikkerheter knyttet til de observerte nedbør- og snøsmeltingedataene ved Risvollan og Voll. Hensikten med å simulere "Fredlybekken"-hendelsen er å vurdere et verst tenkelig scenario. Derfor er det valgt å benytte METs tidsserie for nedbør ved Risvollan og beregnet snøsmelting med en antatt grad-dagsfaktor på 12 mm/°C/døgn. Dette gir en nedbør på 59,7 mm og snøsmelting på 38,0 mm løpet av 24 timer. Det er valgt å simulere 36 timer mellom 30.03.1997 kl. 12:00 og 31.03.1997 kl. 23:00. Samlet nedbør og snøsmelting for perioden er 154,6 mm, der 117 mm hender innen 24 timer og høyeste intensitet er 11,1 mm/time. Til sammenlikning viser kommunenes IVF-statistikk 94,9 mm for 200-årsnedbør med varighet på 24 timer og 27,3 for varighet på én time.