




Flomfarevurdering av Gardselva i Davik, Bremanger kommune



Sunnfjord Geo Center



Prosjektinformasjon og status

Prosjektnummer:	Dokumentkode:	Dokumentnr.:	Dokumenttittel:
2022-01-029	FF-H30-M02-01	01r	Flomfarevurdering av Garselva i Davik, Bremanger kommune
Revisjon:	Beskrivelse:	Leveransedato:	
0	Godkjent rapport	01.03.2023	
Kontraktør:		Kontaktinformasjon:	
 Sunnfjord Geo Center		Sunnfjord Geo Center AS Stongfjordvegen 577 6984 Stongfjorden Tlf.: 577 31 900 E-post: post@sunnfjordgeocenter.no Organisasjonsnummer: 998 899 834 MVA	
Fagområde:	Dokumenttype:	Lokalitet:	
Flomfarevurdering	Rapport	Davik, Bremanger kommune	
HMS-risikovurdering før feltarbeid:	Dato for risikovurdering	Hendelse/avvik meldt:	
Risikogruppe 1	07.12.2022	Nei	
Feltarbeid utført av:	Dato for feltarbeid:		
Thomas Austin Stormoen	07.12.2022		
Rapport utarbeidet av:	Dato for ferdigstilling:	Signatur:	
Rev 0: Jenny Sjøstad Hagen	27.02.2023	Jenny Sjøstad Hagen (sign.)	
Rapport kvalitetssikret av:	Godkjent, dato:	Signatur:	
Rev 0: Vetle Nordang	28.02.2023	Vetle Nordang (sign.)	



Innholdsfortegnelse

Sammendrag	4
1. Innledning	5
1.1 Bakgrunn og formål	5
1.2 Krav til sikkerhet	5
2. Det undersøkte området	7
2.1 Områdebeskrivelse.....	7
2.2 Beskrivelse av vassdraget.....	8
2.3 Klima.....	10
2.4 Aktsomhetskart for flom	11
2.5 Eksisterende flomfarevurderinger.....	12
2.6 Stormflo.....	12
3. Beregning av flomstørrelser	14
3.1 Metode.....	14
3.1.1 <i>Den rasjonelle metode</i>	14
3.1.2 <i>Nasjonalt formelverk for flomberegninger i små felt</i>	15
3.1.3 <i>Flomfrekvensanalyser fra sammenliknbare felt</i>	17
3.2 Usikkerhet i flomberegningene	18
3.3 Dimensjonerende flomstørrelse	18
3.4 Flomforløp.....	18
4. Hydraulisk modellering	21
4.1 Metode.....	21
4.2 Resultater.....	25
4.3 Sensitivitetsanalyse	29
5. Vurdering av erosjonsfare	32
6. Tiltak	33
7. Konklusjon	35
Referanser	36
8. Vedlegg	I
8.1 Vedlegg 1 – Faresonekart.....	I
8.2 Vedlegg 2 – Tverrsnitt	III



Sammenheng

Sunnfjord Geo Center AS (SGC) har på oppdrag av Per Mulvik AS utført en flomfarevurdering i henhold til Byggteknisk forskrift (TEK17) og NVE sine retningslinjer for flom- og skredfare i arealplaner. Flomfarevurderingen er utført i forbindelse med at Dampen Davik AS planlegger flere tiltak i sikkerhetsklasse F2 ved camping- og ferieområdet på gbnr. 106/10 m. fl. nær Gardselva. Planområdet ligger innenfor NVEs aktsomhetsområde for flom. I tråd med anbefalinger fra NVE og Norsk klimasenterservice, er et klimapåslag på 40 % lagt til i beregningen av dimensjonerende flomstørrelse. En sammenlikning mellom estimatet av 200-årsflommen i Gardselva beregnet ved bruk av *Nasjonalt formelverk for flomberegninger i små felt og den rasjonelle metode* ble foretatt for å detektere usikkerhet knyttet til valg av metode. Sistnevnte metode resulterte i noe mindre flomstørrelser enn estimatene fra formelverket. Uten klimapåslag, ble 200-årsflommen beregnet til 21.4 m³/s. Det finnes ingen lokale målestasjoner for vannføring i nedbørfeltet; en sammenlikning ble derfor også gjort med et målt sammenliknbart felt identifisert på www.seriekart.nve.no.

En kombinert en- og todimensjonal (1D/2D) hydraulisk modell av analyseområdet ble først utarbeidet i GeoHECRAS basert på en terrengmodell fra laserdata med en punkttetthet på 2 pkt/m². Lysåpningen til broen ved Fv. 616 ble oppmålt under befaring og inkorporert i modellen. Deretter ble en mer detaljert 2D-modell utarbeidet for det kartlagte området. En sensitivitetsanalyse ble utført ved å øke ruhetstallet (Manning-tallet) med 20 % og dernest øke flomstørrelsen med 20 %. En sammenlikning ble deretter foretatt mellom beregnet vanndybde i det kartlagte området ved bruk av henholdsvis den kombinerte 1D/2D-modellen og den mer detaljerte 2D-modellen. Det er endringer i den dimensjonerende flomstørrelsen som gir de største endringene i vanndybde. Resultatene er relativt robuste, men flomutbredelsen er betydelig mindre i den mer detaljerte 2D-modellen. Dette kan forklares med at 1D-modellen av elveløpet ikke tar hensyn til høyere terreng mellom lavpunkter, slik at overføringer mellom 1D- og 2D-domenet overestimeres. Grunnet manglende oppmålte og georefererte tverrsnitt oppstrøms og nedstrøms for broen ved Fv. 616 samt kotehøyde til eksisterende mur mellom broen og utløpet i Davika, er det likevel knyttet usikkerhet til flomutbredelsen i det kartlagte området. Resultatene i denne rapporten representerer derfor et konservativt anslag.

Resultatene indikerer at broen ved Fv. 616 fører til oppstuvning ved 200-årsflom i Gardselva. Maksimal vanndybde i elveløpet mellom broen og utløpet i Davika er 1.6 m. Det er hovedsakelig vestlig elveslette som oversvømmes ved 200-årsflom. Elven flommer først over ved tverrsnitt 862 i den kombinerte 1D/2D-modellen. Dette samsvarer med utviklingen av flomutbredelse i den mer detaljerte 2D-modellen. I det kartlagte området varierer vannstanden mellom 1.27 moh. og 3.17 moh. Gitt usikkerheten i resultatene, legges en sikkerhetsmargin på 0.3 m til beregnet vannstand. Store deler av det kartlagte området berøres også av 200-årsstormflo (2.31 moh.). Trygg byggehøyde varierer derfor mellom 2.3 moh. og 3.5 moh. i det kartlagte området. De høyeste hastighetene inntreffer i elveløpet like nedstrøms for broen ved Fv. 616. På elveslettene er hastighetene betydelig lavere og i hovedsak under 1 m/s.

Det er primært stormflo som utgjør fare i det kartlagte området. Bobilparkeringen og tilkomstveier bør plasseres utenfor 200-årsstormflosoneen. Eksisterende bygg kan sikres mot 200-årsstormflo ved terrengheving eller konstruksjonsmessig tilpasning slik at byggene tåler belastninger under stormflo/ flom og dermed unngår skade. Det anbefales at eksisterende mur forlenges frem til tverrsnitt 862, da dette er identifisert som første område som oversvømmes på vestlig elveslette ved 200-årsflom. Det er flere alternativer som vil kunne sikre byggene på gbnr. 106/6, gbnr. 106/11 og gbnr. 106/14 mot flom slik at kravene i TEK17 §7-2 oppfylles, deriblant terrengheving, tørrmur eller en permanent flomvegg. En mulighetsstudie vil kunne identifisere de mest aktuelle tiltakene basert på et nytte-kostnadsestimat.

1. Innledning

1.1 Bakgrunn og formål

Sunnfjord Geo Center AS (SGC) har på oppdrag for Dampen Davik AS utført en vurdering av flomfaren ved Gardselva i Davik, Bremanger kommune. Bakgrunnen for vurderingen er at Dampen Davik AS planlegger flere tiltak ved camping- og ferieområdet på gbnr. 106/10 m. fl. nær Gardselva. Området ligger innenfor NVEs aktsomhetsområde for flom. Vurderingen er utført i henhold til Byggteknisk forskrift (TEK17) samt NVE sine retningslinjer for flom- og skredfare i arealplaner (veileder 2/2011) (NVE, 2011) og kartlegging av flomfare langs bekker (veileder 3/ 2015) (NVE, 2015).

1.2 Krav til sikkerhet

Byggteknisk forskrift (TEK17) §7-1 sammenfatter generelle krav til sikkerhet mot naturpåkjenninger ved to ledd. Første ledd krever at «byggverk plasseres, prosjekteres og utføres slik at det oppnås tilfredsstillende sikkerhet mot skade og uvesentlig ulempe fra naturpåkjenninger», mens det i andre ledd kreves at «tiltak prosjekteres slik at byggverk, byggegrunn og tilstøtende terreng ikke utsettes for fare for skade eller vesentlig ulempe som følge av tiltaket». TEK17 §7-2 sammenfatter kravene til sikkerhet spesifikt mot flom for nybygg samt ombygginger og utbygginger av eksisterende byggverk, jf. temaveiledningen «Utbygging i fareområder» fra Direktoratet for byggkvalitet. TEK17 § 7-2 definerer tre sikkerhetsklasser for saktevoksende flom med ulike dimensjonerende flomstørrelser som skal legges til grunn for byggverk i flomutsatte områder der oversvømmelse ikke medfører fare for liv. Hvilken sikkerhetsklasse et byggverk tilhører, avhenger av byggets funksjon og det økonomiske og/ eller samfunnsmessige skadeomfanget oversvømmelser av bygget kan føre til ved flom. Byggverk skal plasseres slik at største nominelle flomsannsynlighet for den relevante sikkerhetsklassen ikke overskrides (se Tabell 1). Sikkerhetskravene oppnås ved å innføre tilstrekkelig risikoreduserende tiltak, eller plassere byggverket utenfor området som oversvømmes med den gjeldende sannsynligheten. Byggverk der konsekvensen av flom er særlig stor må plasseres utenfor flomutsatt område. Dette gjelder blant annet byggverk som er viktig for regional og nasjonal beredskap og krisehåndtering samt byggverk som omfattes av storulykkeforskriften. Det er kommunens ansvar å sørge for at byggverk plasseres i henhold til sikkerhetsklassene F1 - F3.

Tabell 1: TEK17 §7-2 klassifiserer byggverk i tre sikkerhetsklasser som definerer akseptnivå for flom.

Sikkerhetsklasse	Konsekvens	Største nominelle årlige sannsynlighet	Eksempler
F1	Liten	1/20	Lagerbygning med lite personopphold; garasje
F2	Middels	1/200	Bolig; skole; kontorbygg; industribygg
F3	Stor	1/1000	Sykehjem; brannstasjon, avfallsdeponi med forurensningsfare

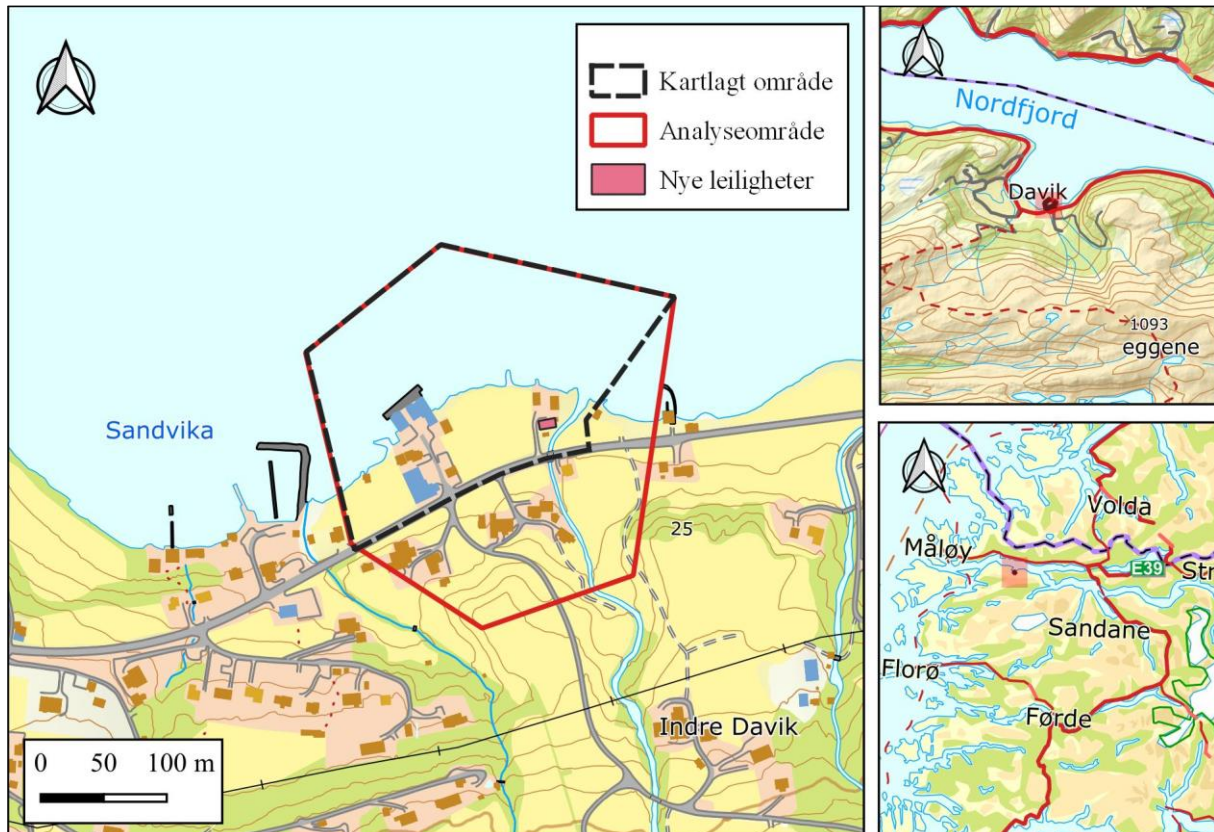
Eksempler på byggverk som tilhører hver av sikkerhetsklassene er presentert i Tabell 1. I sikkerhetsklasse F1 inngår byggverk med lite personopphold og liten økonomisk og/ eller samfunnsmessig skade ved flom. De fleste byggverk som er beregnet for personopphold omfattes av sikkerhetsklasse F2. De økonomiske konsekvensene av flom kan være store, men kritiske samfunnsfunksjoner settes ikke ut av spill. I flomutsatte områder der oversvømmelser i sikkerhetsklasse (F1-F2) medfører sterk strøm (≥ 1.0 m/s) og stor dybde (> 2 m), bør sikkerhetsklasse F3 legges til grunn for byggverket. Sikkerhetsklasse F3 omfatter byggverk for sårbare samfunnsfunksjoner, byggverk for særlig sårbare grupper av befolkningen, og byggverk der oversvømmelse kan medføre forurensningsfare. Byggverk som skal fungere i lokale beredskapssituasjoner, inngår også i sikkerhetsklasse F3. Kravene til sikkerhet mot flom gjelder også for stormflo.

Det er planlagt omregulering av eksisterende midlertidig bobilparkering til permanent bobilparkering samt utvidelse av eksisterende nedlagt fabrikkbygg med carport for opprettelse av to leiligheter. Bobiler regnes som mobile hytter beregnet for personopphold i liket med leilighetene. I henhold til TEK17, legges dermed sikkerhetsklasse F2 til grunn i flomfarevurderingen.

2. Det undersøkte området

2.1 Områdebeskrivelse

Det kartlagte området dekker planområdet nedstrøms for Fv. 616. Lengst oppstrøms i det kartlagte området renner elven under en bro ved Fv. 616. Analyseområdet er noe større av hensyn til hydrauliske forhold oppstrøms som kan påvirke flomfaren i det kartlagte området. Figur 1 viser plassering og avgrensning av det kartlagte området som flomfarevurderingen gjelder for. Bygget som er tiltenkt omgjort til leiligheter ligger på vestlig side av elven like nedstrøms for broen ved Fv. 616.

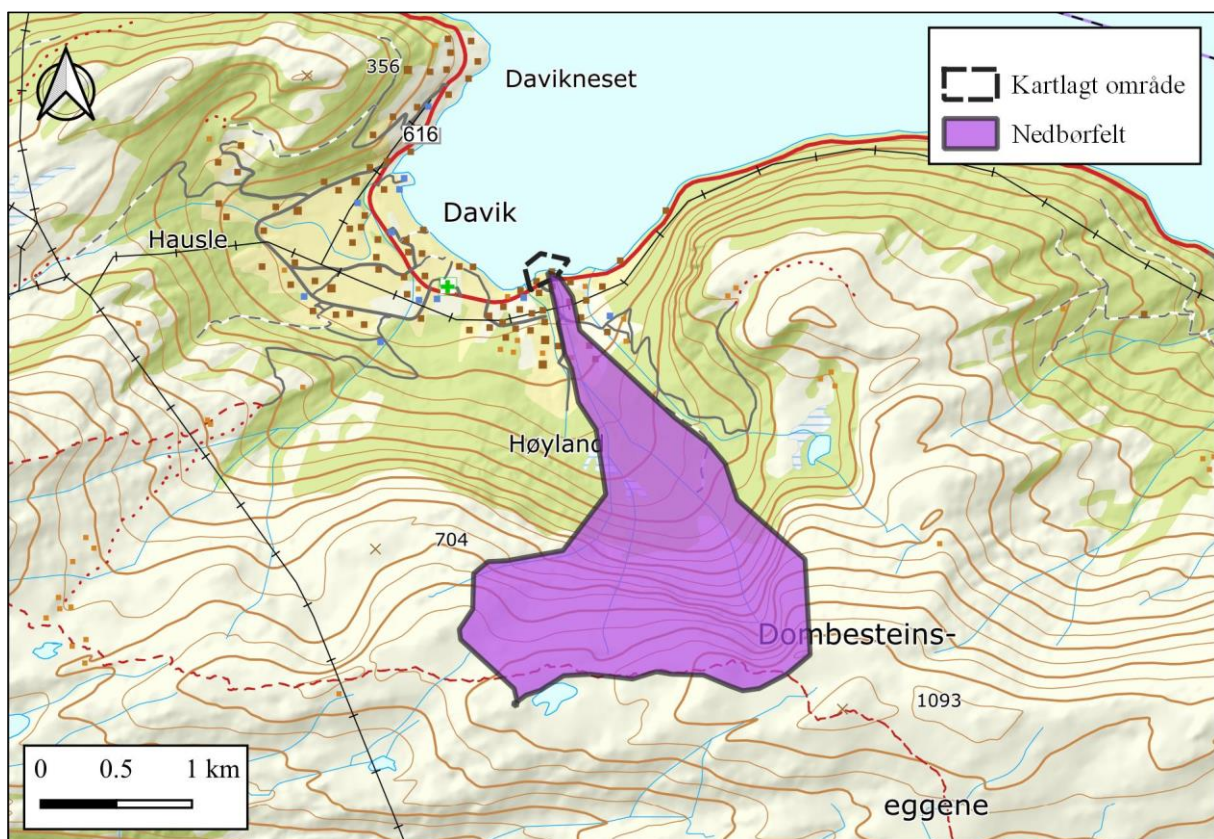


Figur 1: Plassering og avgrensning av det kartlagte området og analyseområdet i Davik. Oversiktskartene på høyre side viser hvor i Bremanger kommune det kartlagte området er plassert. Kartgrunnlag: Statens kartverk.

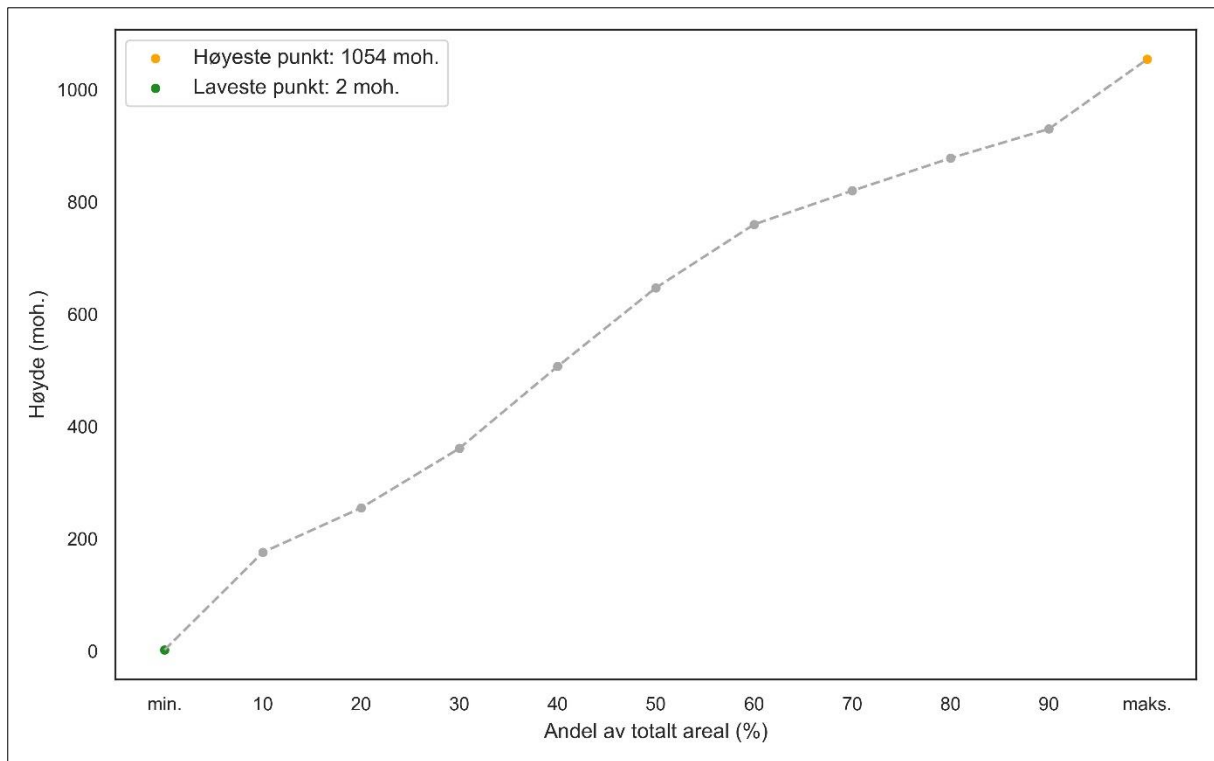
2.2 Beskrivelse av vassdraget

Gardselva drenerer et 2.9 km² nedbørfelt fra 1054 moh. til utløpet i Davika (2 moh.) (se Figur 2). Normalavrenningen er 100.5 ls⁻¹km⁻² (0.3 m³/s). Helningen i nedbørfeltet er 25.3 ° og feltlengden er 3.0 km. Nedbørfeltet er relativt høytliggende; 60 % av feltarealet ligger over 507 moh. Den hypsometriske kurven for nedbørfeltet er presentert i Figur 3.

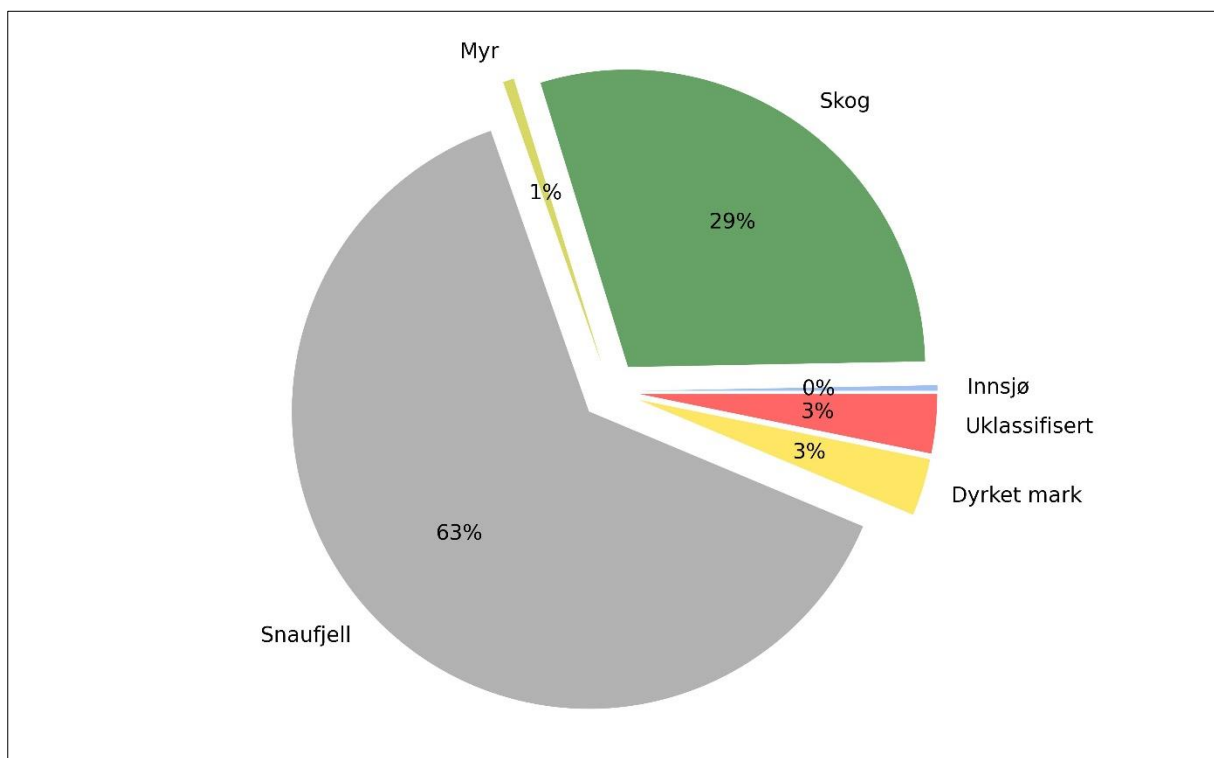
Arealfordelingen i nedbørfeltet er presentert i Figur 4. Snaufjell utgjør omtrent to tredeler av nedbørfeltets areal. Høy andel snaufjell bidrar til raskere avrenning og spissere flomforløp. Skog dekker 29.4 % av nedbørfeltets areal. Myr og dyrket mark utgjør henholdsvis 0.6 % og 3.1 % av feltarealet. Før metning har både myr og dyrket mark, i likhet med skog, en flomdempende effekt; etter metning vil myr og dyrket mark bidra til raskere flomforløp. Innsjø utgjør 0.3 % av feltarealet, mens 3.2 % er uklassifisert. Den gjennomsnittlige vinternedbøren er 1651 mm, mens den gjennomsnittlige sommernedbøren er 798 mm. Kystklimaet gir en gjennomsnittlig årstemperatur på 4.0 °C. Sett i sammenheng med kystklimaets innvirkning på vinternedbør og nedbørfeltets helningsgrad, kan feltet klassifiseres som raskt responderende der flomregimet domineres av regnflommer. Regnflommer oppstår som regel i høst- og vinterhalvåret. Ettersom nedbørfeltet er relativt høytliggende, vil snøsmelteflommer også kunne forekomme i vår- og sommerhalvåret. Nedbørfeltkarakteristikkene hentet fra NEVINA-databasen er oppsummert i Tabell 2.



Figur 2: Nedbørfeltet til Gardselva og plassering av analyseområdet. Kartgrunnlag: Statens kartverk.



Figur 3: Hypsometrisk kurve for nedbørfeltet. Kurven viser den prosentvise andelen av nedbørfeltets areal som ligger under en gitt høyde.



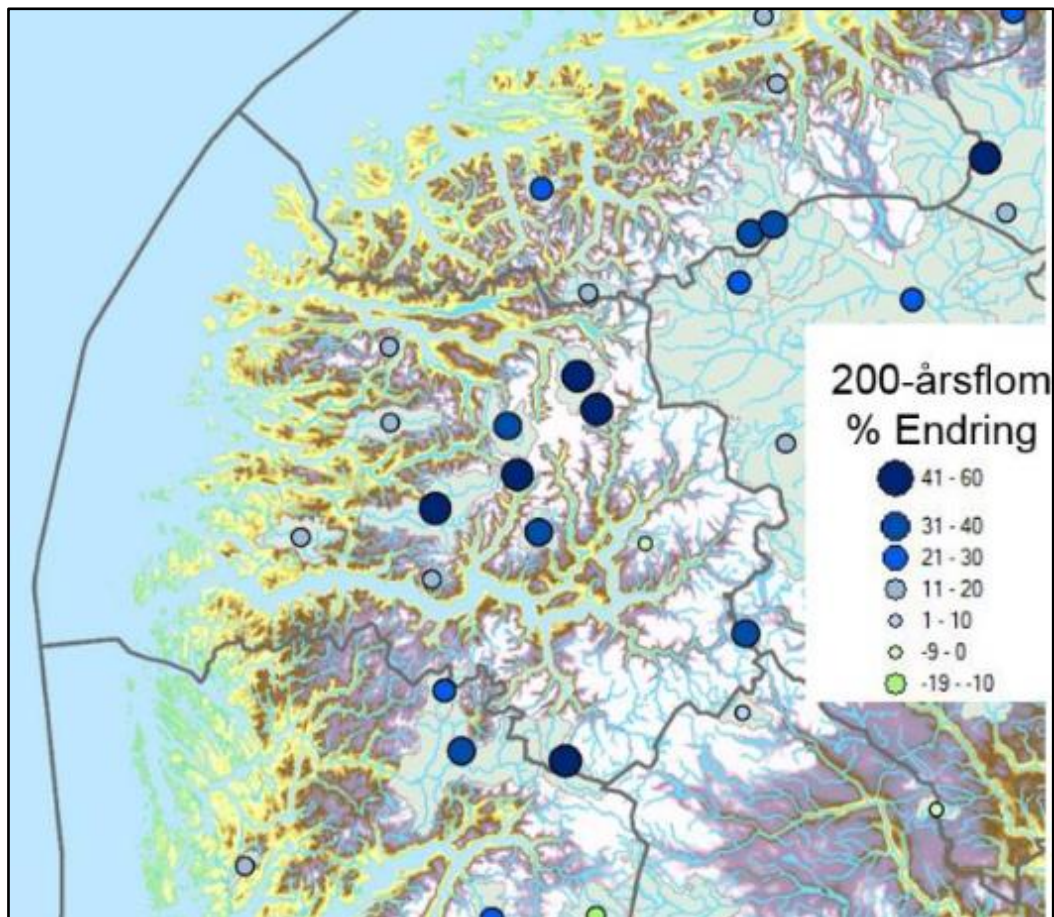
Figur 4: Arealfordeling for nedbørfeltet.

Tabell 2: Nedbørfeltkarakteristikker for Gardselva.

Areal (km ²)	Effektiv sjø (%)	Felt-lengde (km)	Høydeforskjell (m)	Helning (°)	Normal-avrenning (l/s*km ²)	Elvelengde (km)	Elvegradient (m/km)
2.9	0.05	3.0	1052	25.3	100.5	2.8	259.1

2.3 Klima

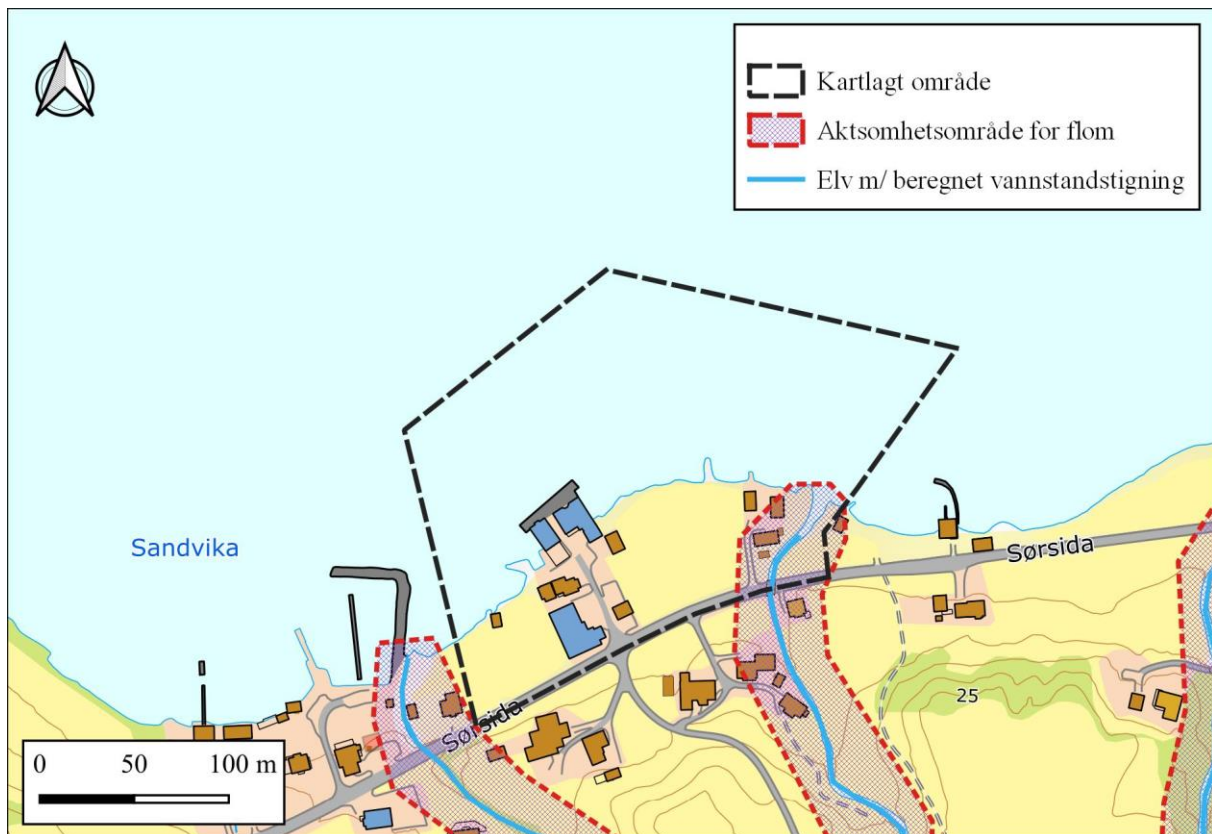
Rapporten *Klima i Norge 2100* (Hanssen-Bauer et al., 2015) sammenfatter resultater fra modellkjøringer med nedskalerte og biasjusterte data for Norge fra globale klimamodeller presentert i den femte hovedrapporten fra FN's klimapanel. Hovedfunnet i rapporten er at det forventes økninger i både temperatur og nedbør samt hyppigere ekstremnedbør i Norge. Klimaendringer vil kunne endre både flomfrekvensen assosiert med ulike flomstørrelser og de flomgenererende prosessene i de ulike nedbørfeltene slik at også flomsesongen endres. Norsk klimasenterservice har på bakgrunn av denne rapporten utarbeidet en klimaprofil for Sogn og Fjordane (NKSS, 2021) som et kunnskapsgrunnlag og hjelpemiddel for klimatilpasning. Klimaprofilen beskriver hvilke klimaendringer som bør tas hensyn til på regionalt og lokalt nivå. Både økt stormflonivå og større og hyppigere regnflommer er forventet i Sogn og Fjordane. Figur 5 viser forventet prosentvis endring i 200-årsflommen ved utvalgte, representative vassdrag i regionen. Klimaprofilen for Sogn og Fjordane anbefaler et klimapåslag på 20 % eller 40 % på beregnede flomstørrelser, avhengig av nedbørfeltets plassering og flomsesong. For nedbørfelt som reagerer raskt på nedbør, anbefales et klimapåslag på 40 %. Videre anbefaler NVE et klimapåslag på 40 % for små nedbørfelt med mindre areal enn 10 km², uavhengig av nedbørfeltets karakteristikk og størrelse. Et klimapåslag på 40% legges dermed til på de beregnede flomstørrelsene.



Figur 5: Prosentvis endring i 200-årsflom for nedbørfelt i Møre og Romsdal, Sogn og Fjordane og Hordaland (NKSS, 2021).

2.4 Aktsomhetskart for flom

NVE har utarbeidet et nasjonalt aktsomhetskart for flom som viser potensielt flomutsatte områder; kartet er tilgjengelig på atlas.nve.no. Aktsomhetsområdene er generert basert på empirisk datagrunnlag for norske vassdrag i kombinasjon med en digital terrengmodell. Aktsomhetsområdene kan derfor ikke knyttes til spesifikke gjentaksintervall og er som regel overestimert. En mer detaljert kartlegging vil dermed som regel redusere aktsomhetsområdets omfang. Figur 6 viser at deler av det kartlagte området i denne rapporten ligger innenfor aktsomhetsområde for flom. Årsaken til dette er at det er estimert en maksimal vanstandsstigning i Gardselva på 3.04 m i det kartlagte området. Det kartlagte området grenser til aktsomhetsområde for flom ved Steinelva i sørvest.



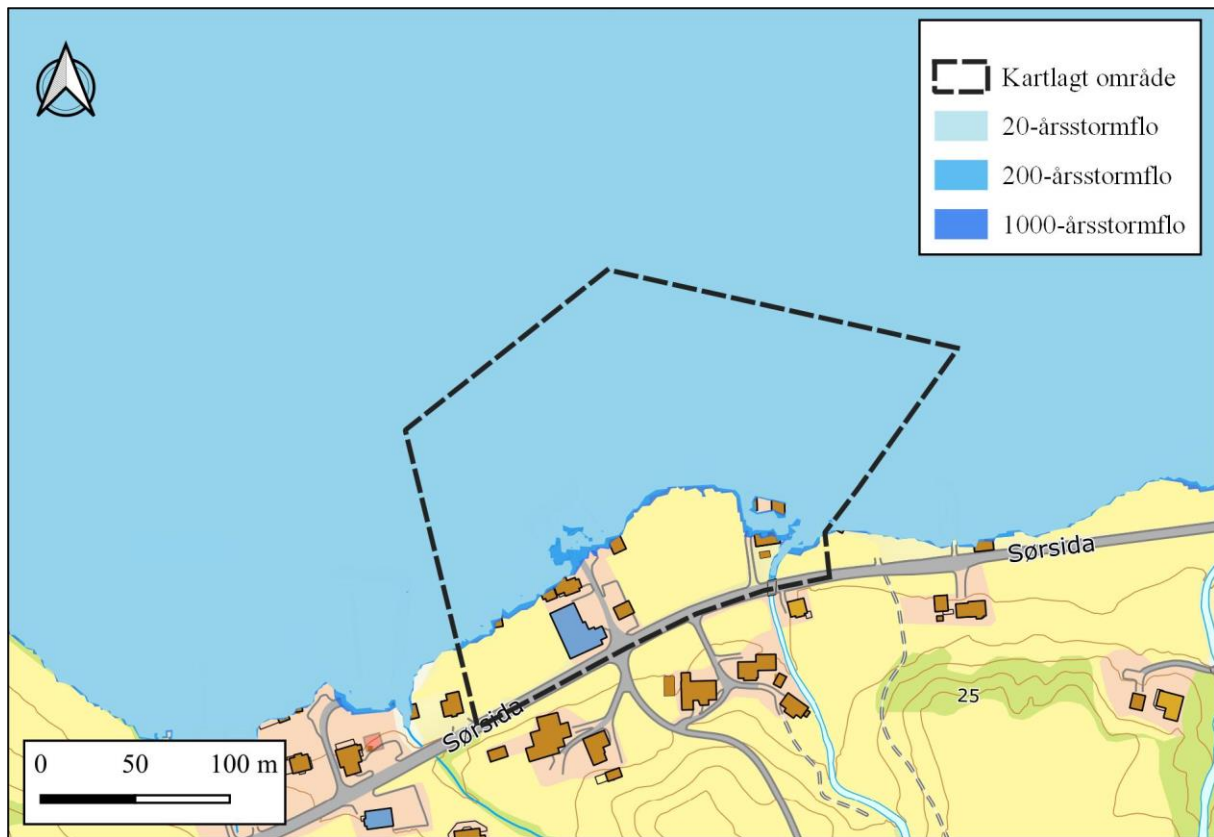
Figur 6: Aksomhetskartet viser at deler av det kartlagte området ligger innenfor aktsomhetsområdet for flom. Datakilde: atlas.nve.no og Statens kartverk.

2.5 Eksisterende flomfarevurderinger

Sunnfjord Geo Center kjenner ikke til eksisterende flomfarevurderinger for Gardselva.

2.6 Stormflo

Tidligere har stormflo i Davika med 20-, 200- og 1000-årgjentaksintervall blitt kartlagt (se Figur 7). Store deler av det kartlagte området berøres av 200-årsstormflo. Ved 200-årsstormflo er vannstanden beregnet til 2.31 moh.



Figur 7: Tidligere kartlagt stormflosjoner i Davika med 20-, 200- og 1000-års gjentakintervall. Datakilde: atlas.nve.no og Statens kartverk.

3. Beregning av flomstørrelser

3.1 Metode

Det finnes ingen målestasjoner for vannføring i nedbørfeltet til Gardselva. For beregning av flomstørrelser med gjentaksintervall på opptil 200 år i nedbørfelt uten lokale vannføringsmålinger der feltarealet er mindre enn 60 km², anbefales det å bruke *Nasjonalt formelverk for flomberegninger i små felt* (RFFA-NIFS) (Glad et al., 2014). I tillegg er den rasjonelle metode egnet for beregning av dimensjonerende avrenning fra nedbørfelt hvis areal ikke overgår 5 km². Ulike øvre grenser for feltstørrelse finnes i litteraturen (se eksempelvis Lindholm (2008) og Tharan Fergus et al. (2010)) og det refereres her til den største øvre rapporterte verdien (SVV, 2014). Det anbefales at resultater fra minst to metoder sammenliknes. Ettersom nedbørfeltet til Gardselva er et lite nedbørfelt og flomstørrelser med gjentaksintervall på 200 år vurderes, blir en sammenlikning mellom beregnede flomstørrelser ved bruk av henholdsvis i) den rasjonelle metode og ii) RFFA-NIFS presentert nedenfor.

3.1.1 Den rasjonelle metode

Formelen i den rasjonelle metode beregner dimensjonerende avrenning Q med gjentaksintervall T . Inngangsparameterne er nedbørfeltets areal (A_f), arealvektet avrenningsfaktor (C), og dimensjonerende nedbørintensitet I med gjentaksintervall T antatt uniform over hele nedbørfeltet. Formelen er gitt ved

$$Q_T = C * I_T * A_f \quad (1)$$

Den arealvektede avrenningsfaktoren uttrykker den gjennomsnittlige andelen nedbør som renner bort som overflatevann og reflekterer dermed en middelveidi av nedbørfeltets karakteristikk. Avrenningsfaktoren er gitt ved

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n (C_i A_i)}{A_f} \quad (2)$$

, der C_i er avrenningsfaktoren assosiert med arealtypen i for delareal A_i . Avrenningsfaktoren oppjusteres med en faktor på 1.3 for gjentaksintervall på 200 år i henhold til N200 (Statens vegvesen, 2021). Både markfuktighet og nedbørens intensitet, varighet og romlige fordeling påvirker den faktiske avrenningen i nedbørfeltet, som i realiteten er ikke-lineær og heteroskedastisk. Tabell 3 viser den arealvektede avrenningsfaktoren for nedbørfeltet.

Tabell 3: Ujustert avrenningsfaktor og tilsvarende delareal for relevante arealtyper i nedbørfeltet til Gardselva. Den justerte avrenningsfaktoren for 200 års gjentaksintervall er angitt i parentes.

Arealtype	Avrenningsfaktor	Areal (km ²)
<i>Skog</i>	0.35	0.85
<i>Dyrket mark</i>	0.20	0.09
<i>Myr</i>	0.20	0.02

<i>Snauffjell</i>	0.80	1.83
<i>Innsjø</i>	0.10	0.01
<i>Uklassifisert</i>	0.25	0.09
Sum	0.58 (0.75)	2.9

Den dimensjonerende nedbørintensiteten beregnes fra nedbørfeltets konsentrasjonstid (t_k) og varierer med gjentakingsintervallet. Konsentrasjonstiden (min) i naturlige nedbørfelt med feltareal $A_f < 5 \text{ km}^2$ og effektiv sjøprosent $A_{SE} < 1 \%$ kan estimeres ved hjelp av følgende empiriske formel (Berg et al., 1992):

$$t_k = 0.6 * L_f * \Delta H_f^{-0.5} + 30A_{SE} \quad (3)$$

, der L_f er nedbørfeltets lengde (m), ΔH_f er høydeforskjellen (m) og A_{SE} er prosentandel innsjø. Det eksisterer tidsserier med døgndata fra målestasjon for nedbør i Davik, men ettersom konsentrasjonstiden til nedbørfeltet er beregnet til 4 t, kan ikke disse dataene benyttes. Dermed ble nedbørintensitet på 24.9 mm, 40.8 mm og 58.4 mm med varighet på 3 t for gjentakingsintervall på henholdsvis 2 år, 20 år og 200 år hentet fra IVF-kurven for målestasjonen i Modalen (SN52300), 104 moh. Tabell 4 viser flomstørrelse beregnet ved bruk av den rasjonelle metode.

Tabell 4: Beregnede flomstørrelser ved 2-årsflom (Q_2), 20-årsflom (Q_{20}) og 200-årsflom (Q_{200}) i Gardselva ved bruk av den rasjonelle metode uten klimapåslag. Flomstørrelsene er oppgitt i kulminasjonsverdier.

Q_2		Q_{20}		Q_{200}	
m^3/s	$l/s * km^2$	m^3/s	$l/s * km^2$	m^3/s	$l/s * km^2$
4.2	1444	6.9	2366	12.8	4403

3.1.2 Nasjonalt formelverk for flomberegninger i små felt

Formelverket RFFA-NIFS beregner middelflom og vannføringer med høyere returperioder direkte på kulminasjonsverdier for små, umålte felt i Norge basert på regresjonsanalyser. Inngangsparameterne er nedbørfeltets areal (A_f), normalavrenning (q_N) og effektiv sjøprosent (A_{SE}). Parameterintervallene som inngår i analysegrunnlaget for regresjonsligningene er $0.2 \text{ km}^2 \leq A_f \leq 53 \text{ km}^2$, $9 \text{ l/s} \times \text{km}^2 \leq q_N \leq 163 \text{ l/s} \times \text{km}^2$, og $0 \% \leq A_{SE} \leq 21\%$; bruk av formelverket utover disse intervallene øker usikkerheten i de beregnede flomstørrelsene. Ettersom analysegrunnlaget for formelverket er uregulerte felt, egner det seg følgelig mindre for bruk på regulerte og urbane nedbørfelt. Formelverket er implementert i NEVINA.

I formelverket er middelflommen (Q_M) gitt ved

$$Q_M = 18.97 \left(Q_N^{0.864} e^{-0.251\sqrt{A_{SE}}} \right) \quad (4)$$

, der Q_N er nedbørfeltets middelvannføring (m^3/s) i perioden 1961 – 1990 hentet fra NVE sitt avrenningskart, A_{SE} er den effektive sjøprosenten, og e er grunntallet $e \approx 2.718$.

Vekstkurven er gitt ved

$$\frac{Q_T}{Q_M} = 1 + 0.308 \left(q_N^{-0.137} * \frac{[\Gamma(1+k)\Gamma(1-k) - (T-1)^{-k}]}{k} \right) \quad (5)$$

, der q_N er normalavrenningen ($l/s \times km^2$) i perioden 1961-1990 henta fra NVE sitt avrenningskart, Γ er gammafunksjonen, T er gjentakintervallet og k er en konstant gitt ved

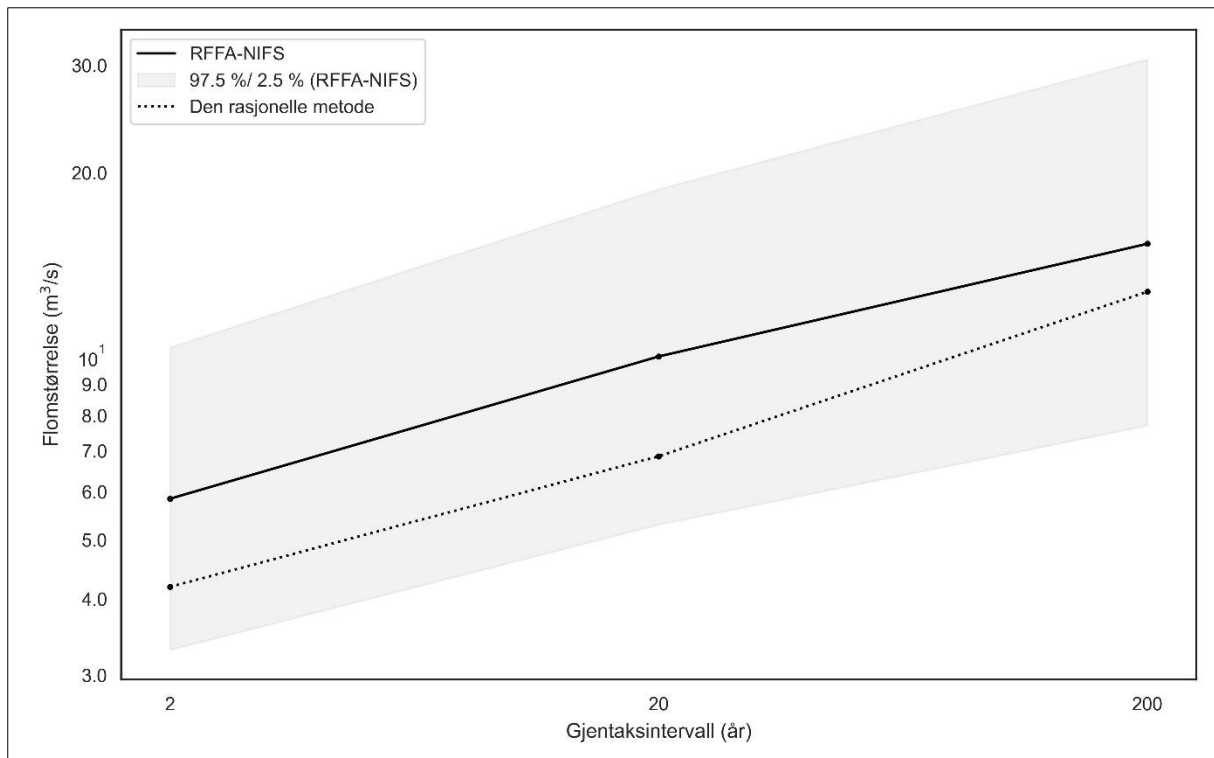
$$k = -1 + 2/[1 + e^{0.391+1.54\left(\frac{A_{SE}}{100}\right)}] \quad (6)$$

Fra Ligning 5 fremgår det at høyere normalavrenning gir slakere vekstkurve, mens økt effektiv sjøprosent gir brattere vekstkurve. Tabell 5 viser flomstørrelser beregnet ved bruk av formelverket RFFA-NIFS.

Tabell 5: Beregnede flomstørrelser ved middelflom (Q_M), 20-årsflom (Q_{20}) og 200-årsflom (Q_{200}) i Gardselva ved bruk av nasjonalt formelverk for små felt uten klimapåslag. Flomstørrelsene er oppgitt i kulminasjonsverdier.

Q_M		Q_{20}		Q_{200}	
m^3/s	$l/s*km^2$	m^3/s	$l/s*km^2$	m^3/s	$l/s*km^2$
6.3	2172	10.0	3448	15.3	5276

Figur 8 viser beregnede flomstørrelser ved bruk av den rasjonelle metode til sammenlikning med 2-årsflom, 20-årsflom og 200-årsflom beregnet ved hjelp av RFFA-NIFS. Det fremgår at flomstørrelsene beregnet med den RFFA-NIFS er noe større enn flomstørrelsene beregnet med den rasjonelle metode. Likevel havner flomstørrelsene beregnet med den rasjonelle metode innenfor de beregnede konfidensintervallene (97.5% og 2.5%) ved bruk av RFFA-NIFS.



Figur 8: Beregnede flomstørrelser uten klimapåslag ved bruk av den rasjonelle metode og formelverk for små felt (RFFA-NIFS). Flomstørrelsene er oppgitt i kulminasjonsverdier. Skraverte områder angir konfidensintervallene (97.5 % og 2.5 %).

3.1.3 Flomfrekvensanalyser fra sammenliknbare felt

For å finne sammenliknbare felt med målestasjoner for vannføring ble seriekart.nve.no benyttet. Sammenliknbare felt ble filtrert på følgende kriterier i henhold til Gardselvas nedbørfeltkarakteristikker: feltareal ($< 10 \text{ km}^2$), andel snaufjell ($> 50 \%$) andel skog ($> 20\%$), og normalavrenning ($80 - 120 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$). Basert på disse kriteriene, ble ett sammenliknbart felt på Vestlandet identifisert. Stasjon 65.5.0.1 (Blådalsvatnet) var i drift mellom juni 2005 og november 2008. Tabell 6 viser beregnede flomstørrelser ved bruk av RFFA-NIFS for stasjon 65.5.0.1. Tidsserien med lokale vannføringsdata er både kort og ufullstendig. Kun årlig maksimalverdi fra 2005 er derfor inkludert i flomfrekvensanalysen.

Tabell 6: Beregnede flomstørrelser ved middelflom (Q_M), 20-årsflom (Q_{20}) og 200-årsflom (Q_{200}) i Gardselva ved bruk av nasjonalt formelverk for små felt uten klimapåslag. Flomstørrelsene er oppgitt i kulminasjonsverdier.

Målestasjon	A (km^2)	A _{FJELL} (%)	A _{SKOG} (%)	A _{SE} (%)	q _N ($\text{l/s} \cdot \text{km}^2$)	Q _M (m^3/s)	Q ₂₀		Q ₂₀₀	
							m^3/s	$\text{l/s} \cdot \text{km}^2$	m^3/s	$\text{l/s} \cdot \text{km}^2$
65.5.0.1 <i>(Blådalsvatnet)</i>	5.6	51.1	33.4	10.95	119.8	6.1	10.1	1807	17.3	3095

3.2 Usikkerhet i flomberegningene

Ved beregning av flomstørrelser med bruk av RFFA-NIFS, er det normalavrenningen det knyttes størst usikkerhet til (Glad et al., 2022). Verdiene for normalavrenning i NVE sitt avrenningskart reflekterer en ikke-uniform fordeling av målestasjoner, og vil dermed være mer usikre i områder med færre hydrologiske målestasjoner. Den rasjonelle metode, på den andre siden, gir et svært forenklet estimat av dimensjonerende flomstørrelse under antagelsen om at gjentaksintervallet samsvarer med nedbørintensitetens returperiode. Det er avrenningsfaktoren det knyttes størst usikkerhet til. Usikkerhet i midlet avrenningsfaktor forplantes videre når det tas forbehold om økende avrenningsfaktor med økende returperiode for å representere endrede initialtilstander (metningsgrad) ved høyere returperioder. Det er også knyttet usikkerhet til forutsetningen om samsvar mellom flomstørrelsen og nedbørintensitetens gjentaksintervall. IVF-kurven utviklet basert på måledata fra Modalen (SN52300) er klassifisert som svært usikker.

3.3 Dimensjonerende flomstørrelse

Basert på de beregnede flomstørrelsene for Gardselva og det sammenliknbare nedbørfeltet, regnes 200-årsflommen beregnet ved bruk av RFFA-NIFS som mer pålitelig enn flomstørrelsen beregnet med den rasjonelle metode. Dermed blir 200-årsflommen beregnet med RFFA-NIFS lagt til grunn i den videre analysen.

Flomforløp

viser dimensjonerende flomstørrelse i Gardselva ved planområdet. Verdiene er oppgitt som kulminasjonsvannføring. I utregningen av dimensjonerende flomstørrelse $Q_{T, dim}$ er klimafaktoren $KF = 1.4$ for 40 % klimapåslag (jf. beskrivelse i Kap. 2.3):

$$Q_{T, dim} = Q_T * KF \quad (7)$$

Tabell 7: Dimensjonerende flomstørrelser i Gardselva ved planområdet med et klimapåslag på 40 %.

Dimensjon	Flomstørrelse (m ³ /s)
200-årsflom	21.4

3.4 Flomforløp

Flomforløpet påvirkes av nedbørfeltkarakteristikkene; varighet og volum må derfor tilpasses konsentrasjonstiden og øvrige feltegenskaper som tilspisser (mettet mark og myr) eller demper (skog og innsjøer) flomtoppen. I henhold til NVEs anbefalinger, konstrueres flomforløpene med en oppløsning på 1 time (Glad et al., 2022). Et syntetisk flomforløp som hensyntar nedbørfeltets feltegenskaper ble konstruert i nedbør-avløpsmodellen PQRUT (Andersen et al., 1983). PQRUT er en konseptuell, lineær karmodell der avløpet antas proporsjonalt med vanninnholdet i karet (full metning). Modellen består av et kar med to utløp som representerer økende reaksjonstid med økende totalnedbør; en terskelhøyde definerer skillet mellom øvre og nedre utløp. Avrenning er da gitt ved:

$$Q_{T,dim} = K1(H - T) + K2(H) \quad (8)$$

, der H er initialverdi, K1 er øvre tømmekonstant, K2 er nedre tømmekonstant og T er terskelverdien som skiller øvre og nedre utløp. De tre modellparameterne beregnes ved hjelp av empiriske formler basert på utvalgte feltegenskaper (Andersen et al., 1983):

$$K1 = 0.0135 + 0.00268(H_L) - 0.01665 * \ln(A_{SE}) \quad (9)$$

$$K2 = 0.009 + 0.21(K1) - 0.00021(H_L) \quad (10)$$

$$T = -9.0 + 4.4(K1^{-0.6}) + 0.28(q_n) \quad (11)$$

, der H_L er reliefforholdet (m/km), L_f er feltlengden, A_{SE} er effektiv sjøprosent (%) og q_n er normalavrenningen ($l/s*km^2$). De beregnede modellparameterne og nedbørfeltets beregnede konsentrasjonstid er vist i Tabell 8.

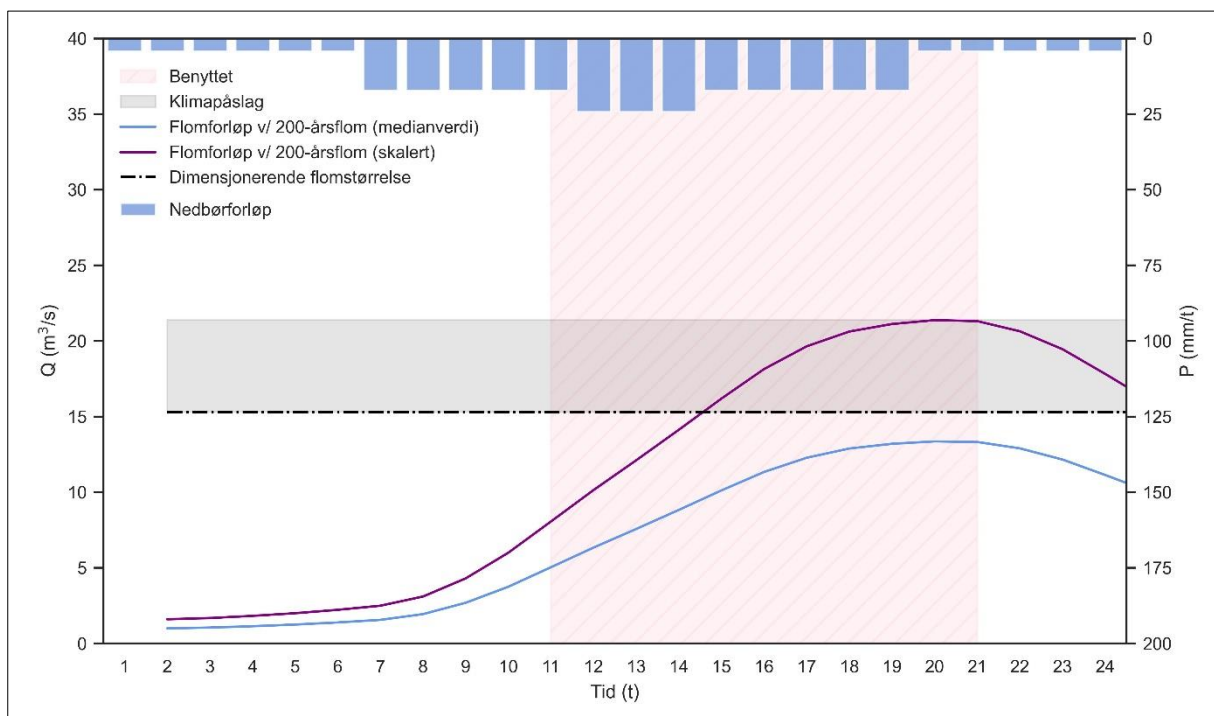
Tabell 8: Modellparameter benyttet i PQRUT.

K1 (time ⁻¹)	K2 (time ⁻¹)	T (mm)	t _k (t)
0.029	0.049	25.0	4

Ved konstruksjon av nedbørforløp anbefales det at dimensjonerende nedbørverdier med ulike varigheter for aktuell returperiode kombineres til et forløp, og at nedbørforløpet legges symmetrisk om den mest intense nedbørintensiteten hvis varigheten på nedbøren er vurdert som mindre eller lik to døgn (Glad et al., 2022). Nedbørintensitet med varighet på 24 t og 200 års gjentaksintervall ble beregnet ved statistisk tilpasning av Gumbel-fordeling på døgndata fra målestasjonen for nedbør i Davik (SN57870 og SN57860). Tidsserien dekker perioden 1900-1990. Tabell 9 viser nedbørintensitet med 200 års gjentaksintervall hentet fra den regionale IVF-kurven for Vestlandet (Førland et al., 2015). Et nedbørforløp ble konstruert med utgangspunkt i den beregnede verdien for 200-årsnedbør med varighet på 24 t (161 mm). Den beregnede døgnverdien ble skalert med en faktor på 1.13 for justering til vilkårlige 24 timer (Stenius et al., 2015). Dette gir dimensjonerende døgnnedbør på 182 mm. Nedbør med mindre varigheter enn 24 t ble utledet ved bruk av den regionale IVF-kurven fra Vestlandet (prosentandeler). Forenklede hyetografer basert på beregnet 200-årsnedbør med varighet på tre timer ble deretter konstruert. De konstruerte nedbør- og flomforløpene er vist i Figur 9.

Tabell 9: Nedbørintensitet med 200-årsgjentaksintervall fra den regionale IVF-kurven for Vestlandet. Data er hentet fra Førland et al. (2015). Prosentvis andel av 24-timersnedbør for mindre varigheter er også angitt.

Verditype	1 (min)	10 (min)	30 (min)	1 (time)	3 (timer)	6 (timer)	12 (timer)	24 (timer)
Medianverdi (mm)	3.0	12.0	20.8	29.4	51.0	69.8	97.6	127.9
Andel av døgnverdi (%)	2.3	9.4	16.3	23.0	39.9	54.6	76.3	100



Figur 9: Syntetisk nedbør- og flomforløp for Gardselva ved analyseområdet.

4. Hydraulisk modellering

4.1 Metode

For å beregne vannstanden, vannhastigheten og arealet som kan oversvømmes i analyseområdet ved 200-årsflom i Gardselva, ble det hydrauliske modelleringsverktøyet GeoHECRAS benyttet. Programmet integrerer HEC-RAS 6.2.0 og AutoCad i et effektivisert brukergrensesnitt. HEC-RAS 6.2.0 er utviklet av det amerikanske forsvarsdepartementet og inkluderer funksjoner for endimensjonal (1D), todimensjonal (2D), og tredimensjonal (3D) hydraulisk modellering basert på forenklinger i henholdsvis en eller to dimensjoner samt fullverdige Navier-Stokes-ligninger. Sistnevnte brukes hovedsakelig i tilfeller der detaljprosjektering av eksempelvis broer krever informasjon om vertikal vannhastighet. I tilfeller der vannet strømmer langs den definerte strømningslinjen i elven og på flomslettene, samt i tilfeller der elven passerer broer, kulverter og andre hydrauliske strukturer, anbefales det på generelt grunnlag å benytte 1D-modellering. I tilfeller der vannet vil strømme nevneverdig i avvikende horisontal retning fra den definerte strømningslinjen i elven og på flomslettene – som, for eksempel, i forgreinede elver – anbefales det å benytte 2D-modellering. Beregningsintensiteten øker med økende dimensjon, og valg av modell avhenger av både datagrunnlaget og analyseområdets karakteristikk. GeoHECRAS tilrettelegger for modellering i både 1D og 2D og er dermed et passende verktøy for denne analysens omfang.

I dette prosjektet ble det først utarbeidet en kombinert 1D/2D-modell av analyseområdet. En digital terrengmodell basert på tilgjengelige laserdata fra prosjektet «Bremanger Vågsøy Selje 2pkt 2015» med en punkttetthet på 2 pkt/m² ble benyttet for oppsettet av den hydrauliske modellen. Under befaring ble lysåpningen til broen i det kartlagte området målt til 2.1 m høyde, 3.7 m bredde og 7.9 m lengde (se Figur 10). Broen ble inkorporert i 1D-modellen av elveløpet. Modellerte tverrsnitt er vist i Figur 11. Elvesletten på vestlig side ble modellert med variabel cellestørrelse tilpasset terrenget (*adaptive mesh*) og mindre cellestørrelser (1 m) i det kartlagte området (*mesh zone*).

En mer detaljert 2D-modell av det kartlagte området nedstrøms for Fv. 616 ble deretter utarbeidet. Et heksagonalt grid (1 m) ble benyttet over det kartlagte området. I og langs elveløpet mellom Fv. 616 og utløpet i Davika ble det benyttet mindre cellestørrelse (0.5 m). En mer detaljert 2D-modell ble utarbeidet fordi 1D-modellen av elveløpet ikke tar hensyn til terrengvariasjoner over beregnet vannstand som hindrer oversvømmelse i relevante tverrsnitt; dette kan føre til urealistiske overførslar av vann fra elven (1D) til elveslettene (2D) i den kombinerte 1D/2D-modellen. Både i den kombinerte 1D/2D-modellen og i den mer detaljerte 2D-modellen ble ti timer av det konstruerte flomforløpet benyttet som øvre grensebetingelse. Som nedre grensebetingelse ble 1-årsstormflo for Davika i Nordfjord hentet fra sehavnivå.no benyttet (1.27 moh.). Initialtilstanden ble satt vannføringen ved tidsskritt 11 i den benyttede delen av det konstruerte flomforløpet. Variabelt tidsskritt ble benyttet i simuleringen for å oppnå en numerisk stabil løsning med Courant-nummer (C) som følgende

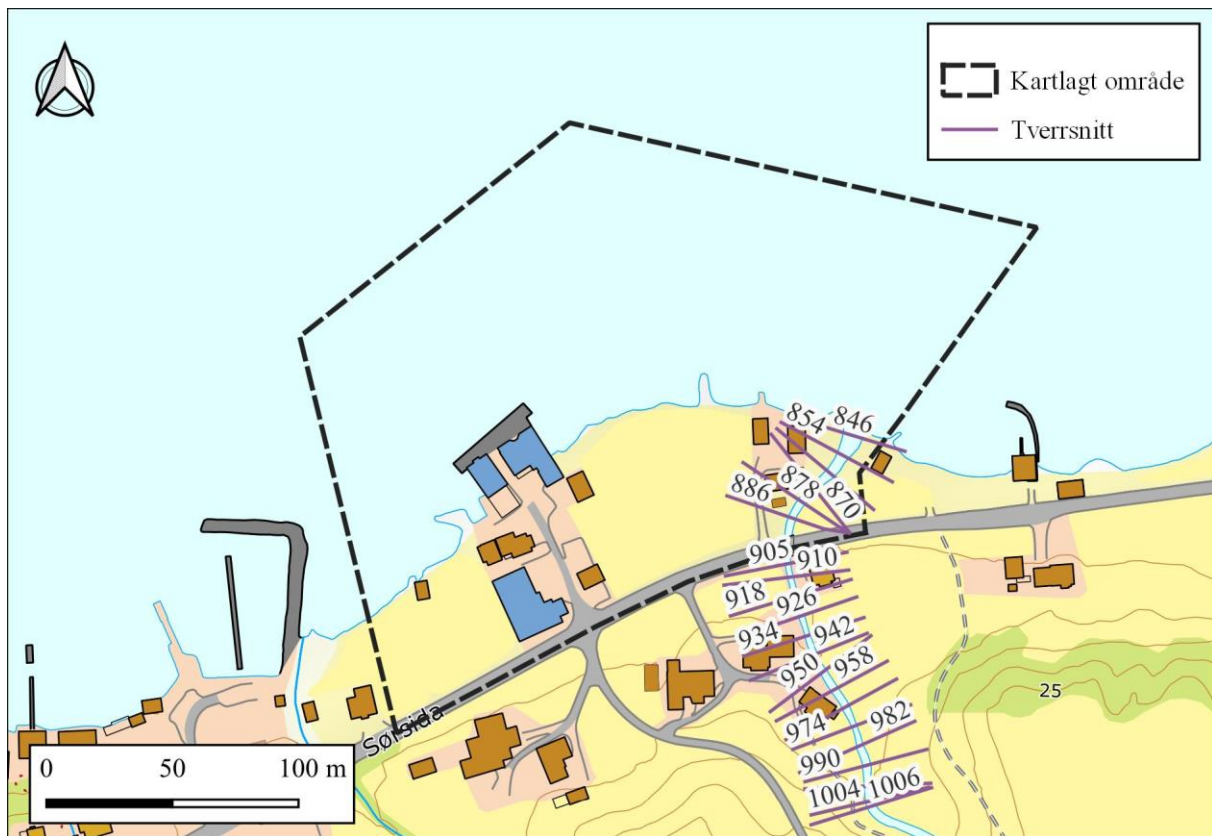
$$C = \frac{v\Delta t}{\Delta x}, \quad 0.3 \leq C \leq 1.0 \quad (12)$$

, der v er hastighet (m/s), t er tidsskritt (s) og x er lengde mellom celler (m). Elvens ruhet er angitt med Manning-tall. Verdiene som er benyttet er hentet fra litteraturen der areal typer har blitt assosiert med representative Manning-tall. Etersom store deler av det kartlagte området var snødekt på tidspunktet for befaring, er en forenklet representasjon av overflatene i modellen

benyttet. Tabell 10 viser Manning-tallene som er brukt i de hydrauliske modellene. Modelloppsettet for den kombinerte 1D/2D-modellen av analyseområdet er vist i Figur 12. Modelloppsettet for 2D-modellen av det kartlagte området er vist i Figur 13.



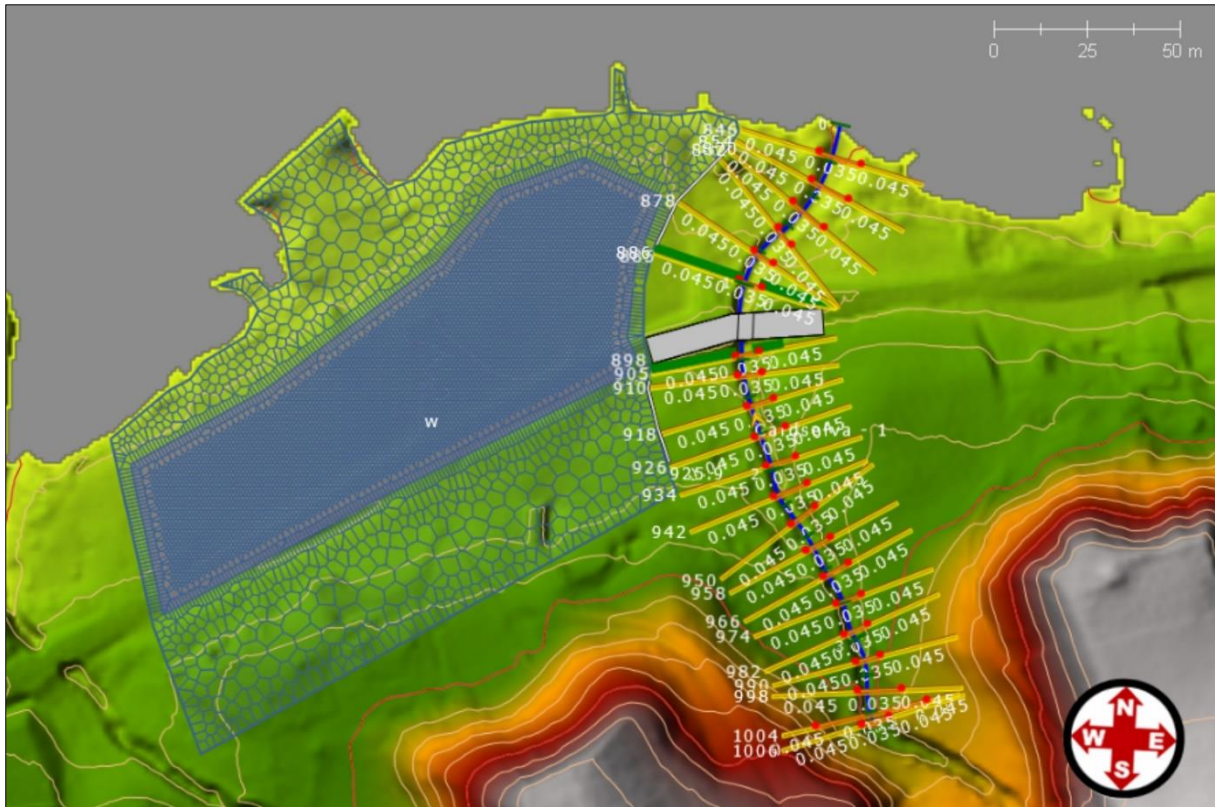
Figur 10: Broens lysåpning sett fra oppstrøms side av Fv. 616.



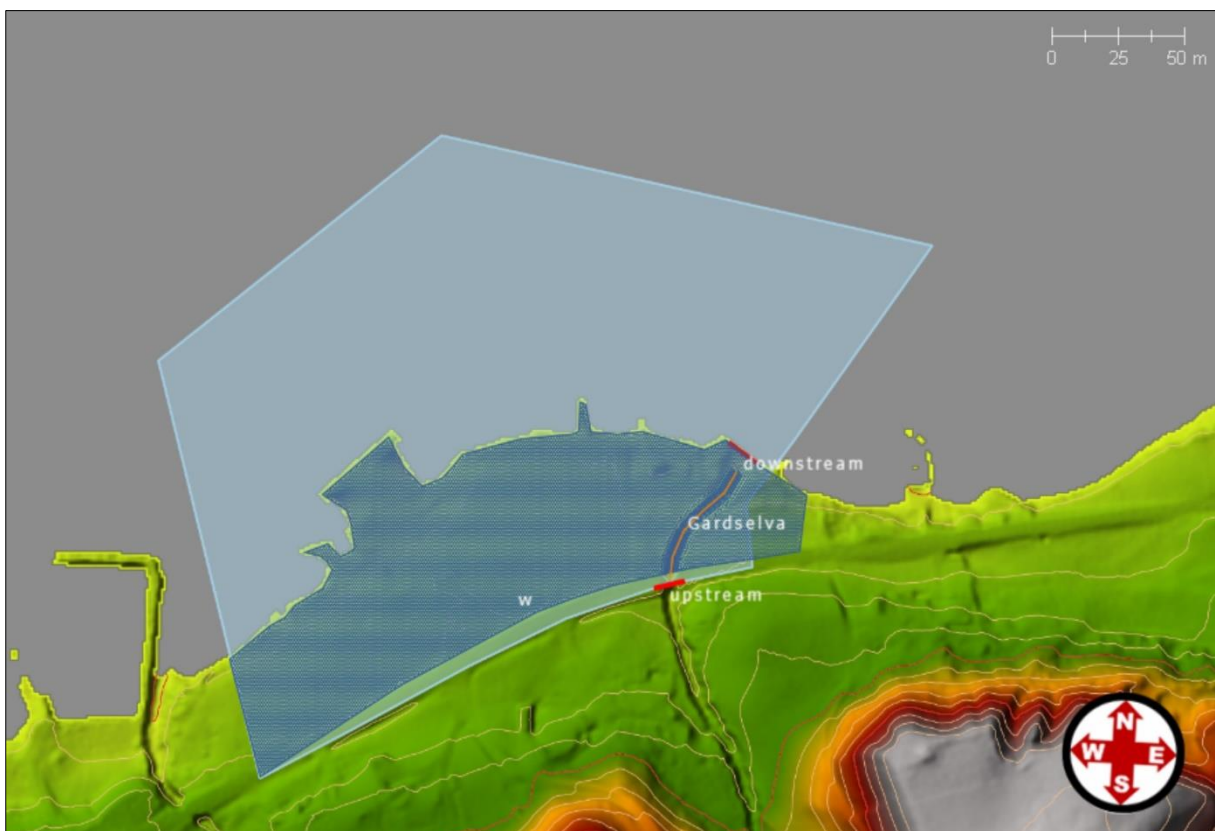
Figur 11: Modellerte tversnitt i den kombinerte 1D/2D-modellen.

Tabell 10: Manning-tall benyttet i den hydrauliske modellen.

Overflate	Manning-tall
Elveløp (1D)	0.035
Elvebank (1D)	0.045
Elveslette (2D)	0.030



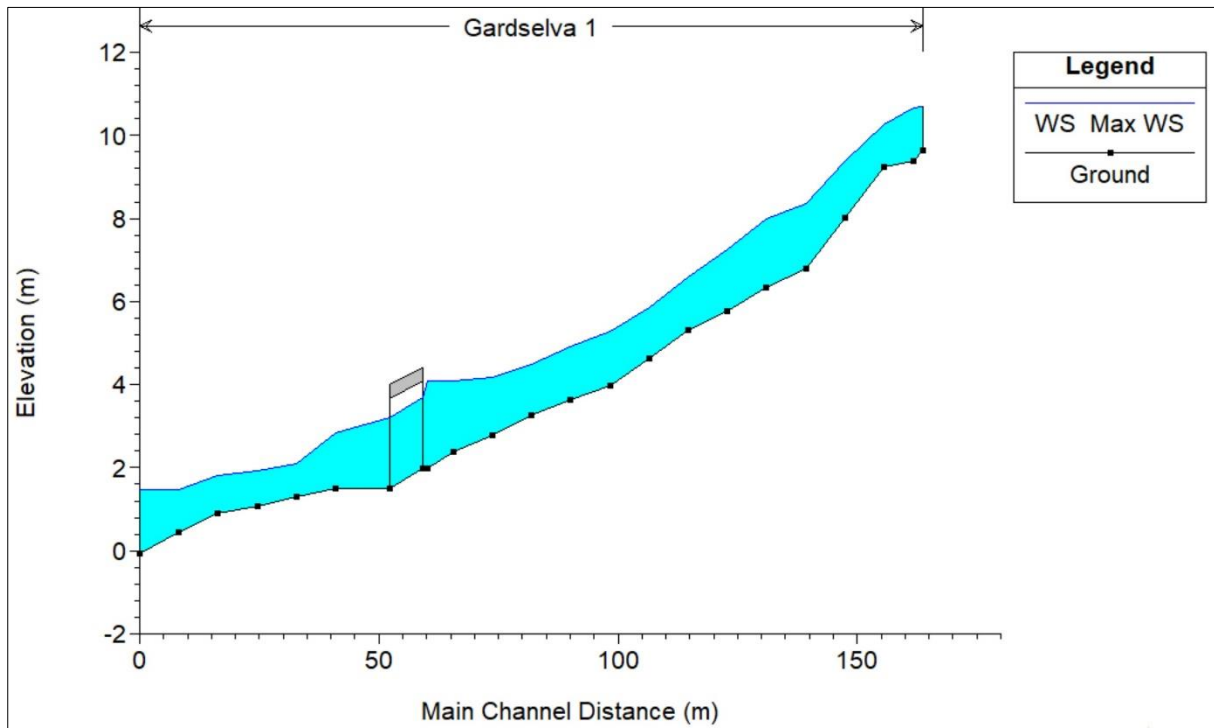
Figur 12: Kombinert 1D/2D-modell over analyseområdet.



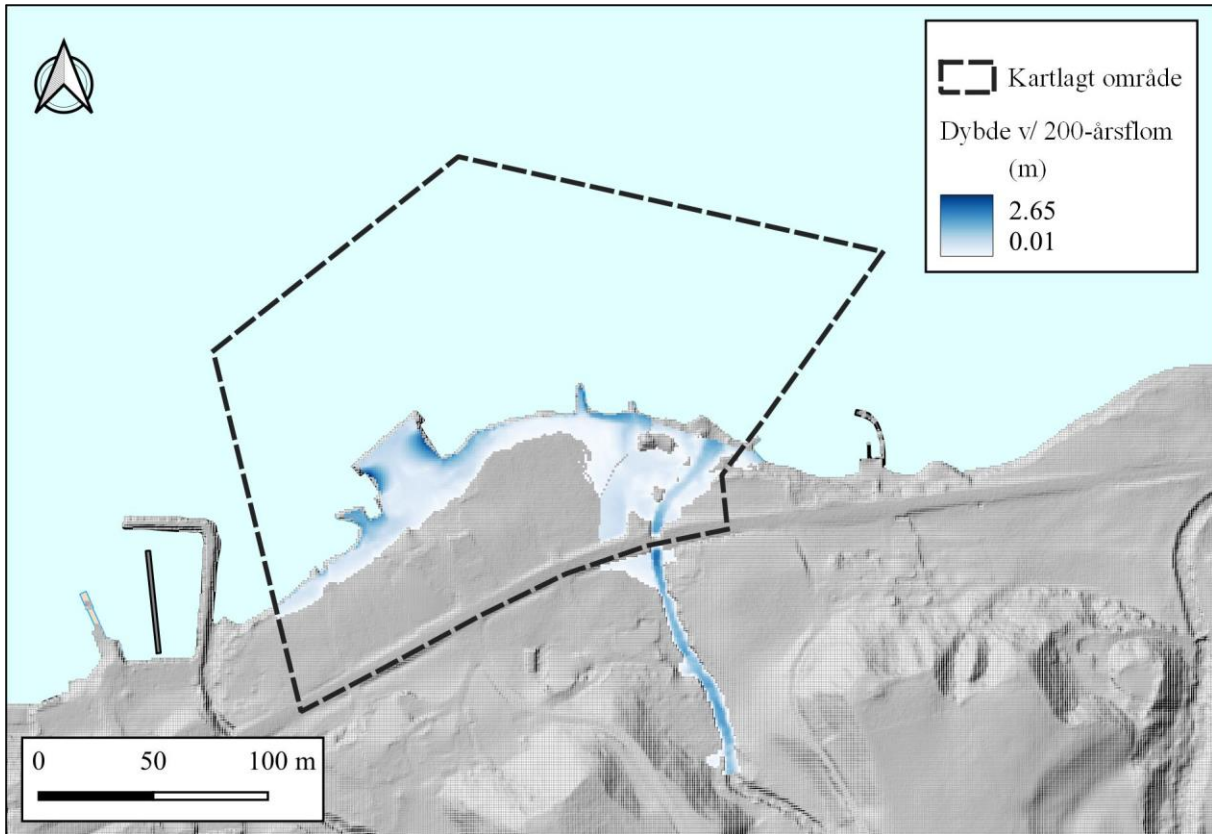
Figur 13: 2D-modell over det kartlagte området.

4.2 Resultater

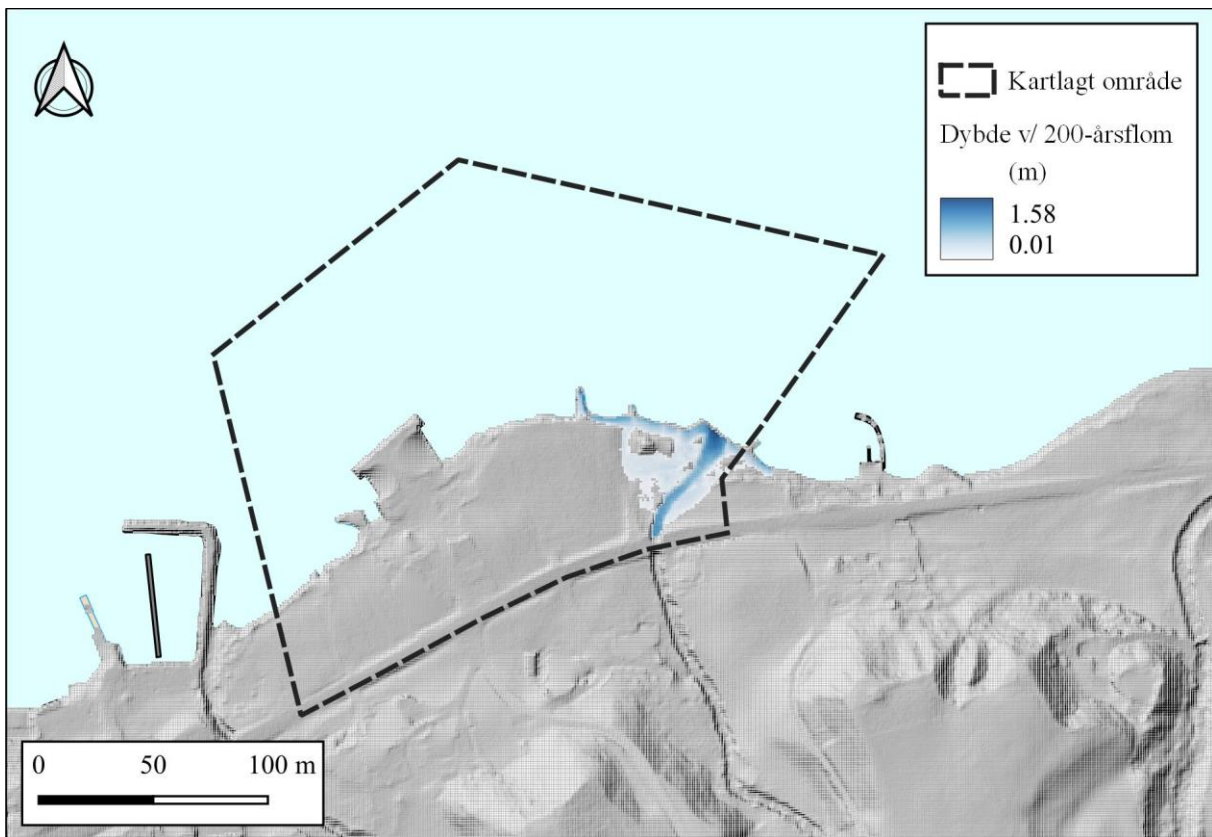
Resultatene fra den hydrauliske modelleringen viser at broen ved Fv. 616 fører til oppstuvning ved 200-årsflom i Gardselva. Elveprofilen ved 200-årsflom er vist i Figur 14. Vanndybde beregnet med 1D/2D-modellen er vist i Figur 15. Det er hovedsakelig elveslettene på vestlig side av elven som oversvømmes; dette gjelder både oppstrøms og nedstrøms for broen ved Fv. 616. I det kartlagte området er beregnet vanndybde opptil 1.6 m i elveløpet. Elven flommer først over ved tverrsnitt 862. Resultatene fra 1D/2D-modellen viser at maksimal vannstand ikke overgår terrenghøyde som skiller bakenforliggende arealer på vestlige elveslette ved tverrsnitt 878, 854 og 846 i det kartlagte området. Dette gjelder likevel ikke tverrsnitt 862, hvor elven først flommer over på vestlig side av elven i det kartlagte området. Vanndybde beregnet med den mer detaljerte 2D-modellen er vist i Figur 16. Flomutbredelsen er mindre i 2D-modellen sammenliknet med den kombinerte 1D/2D-modellen. Dette antas å skyldes ovennevnte problem med den endimensjonale representasjonen av elveløpet. Videre er ikke kotehøyde til eksisterende mur nedstrøms for broen ved Fv. 616 oppmålt med GPS. Dersom denne muren i realiteten gir høyere terreng enn terrengmodellen tilsier, vil flomutbredelsen kunne reduseres ytterligere. Vannstand beregnet med 1D/2D-modellen er vist i Figur 17. I det kartlagte området varierer vannstanden mellom 1.48 moh. og 3.61 moh. Dette er noe høyere enn vannstanden beregnet med den mer detaljerte 2D-modellen (se Figur 18).



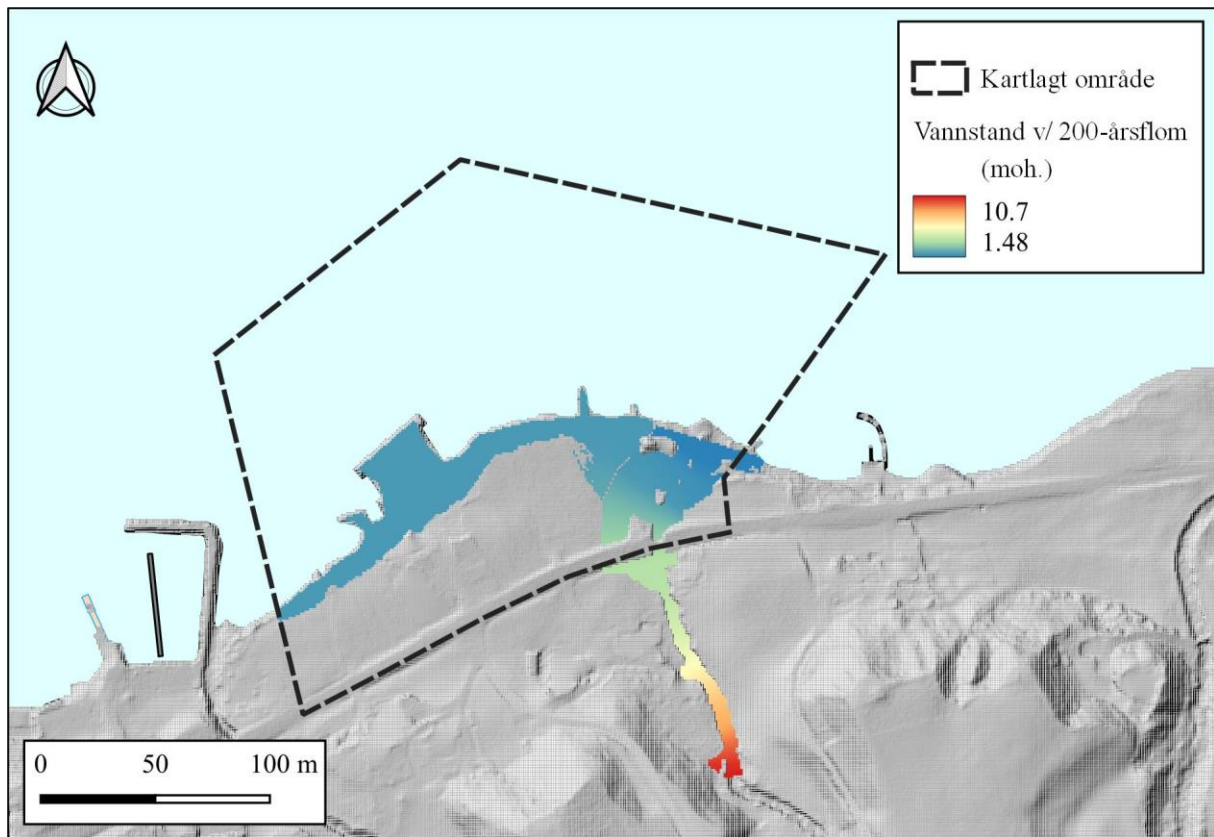
Figur 14: Elveprofil ved 200-årsflom.



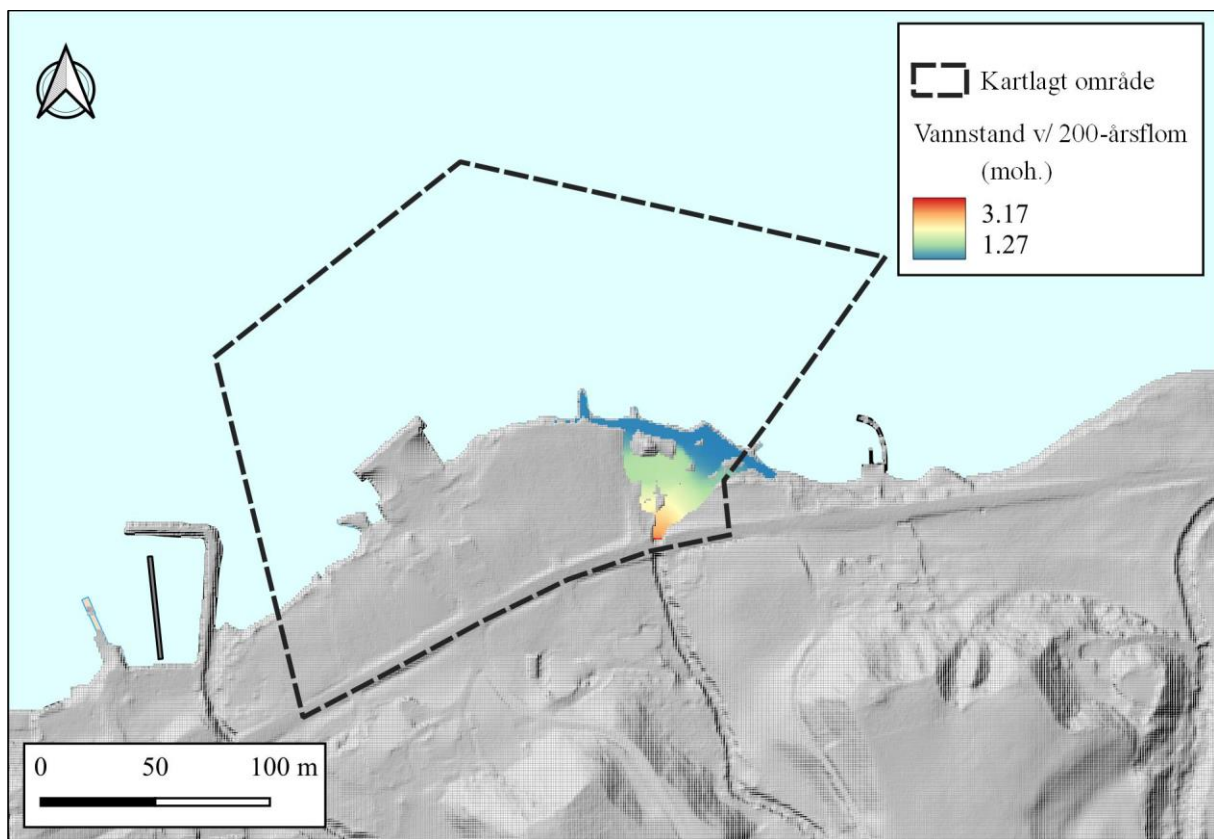
Figur 15: Vanndybde ved 200-årsflom beregnet med den kombinerte 1D/2D-modellen.



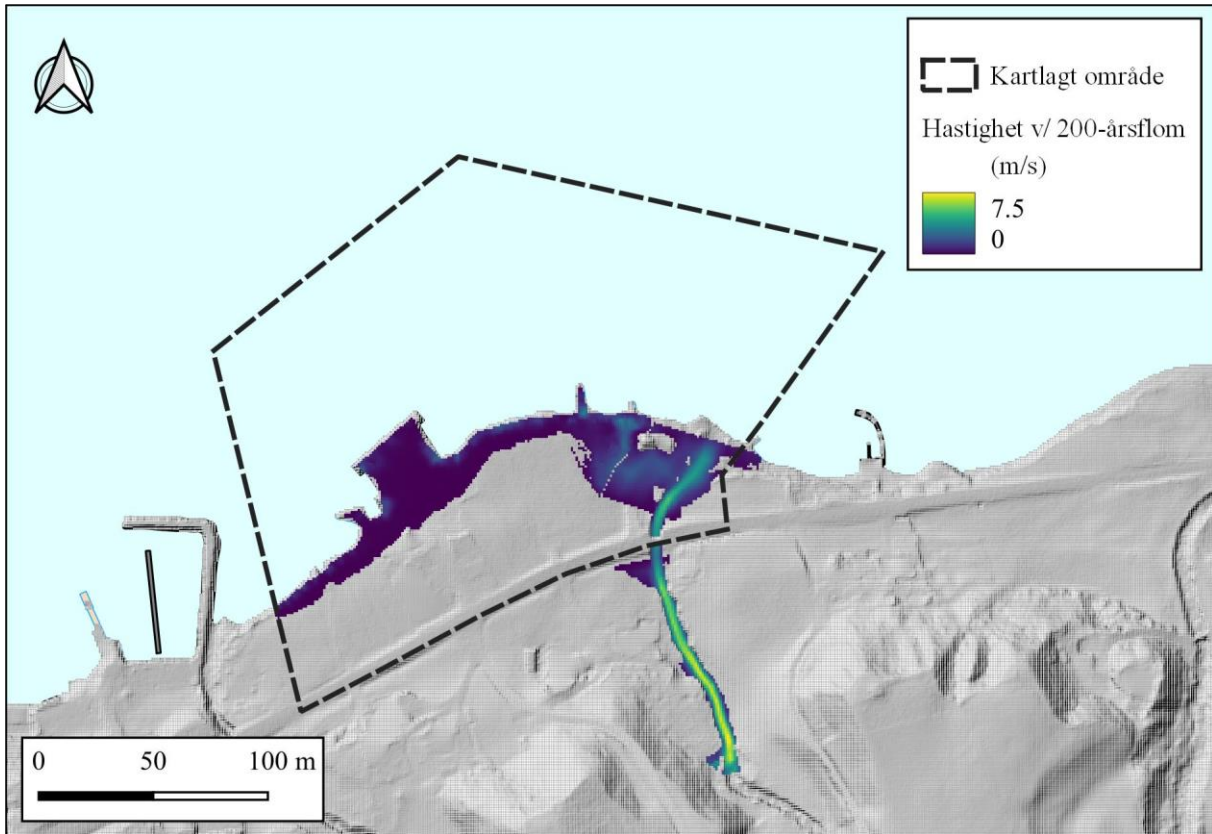
Figur 16: Vanndybde ved 200-årsflom beregnet med 2D-modellen.



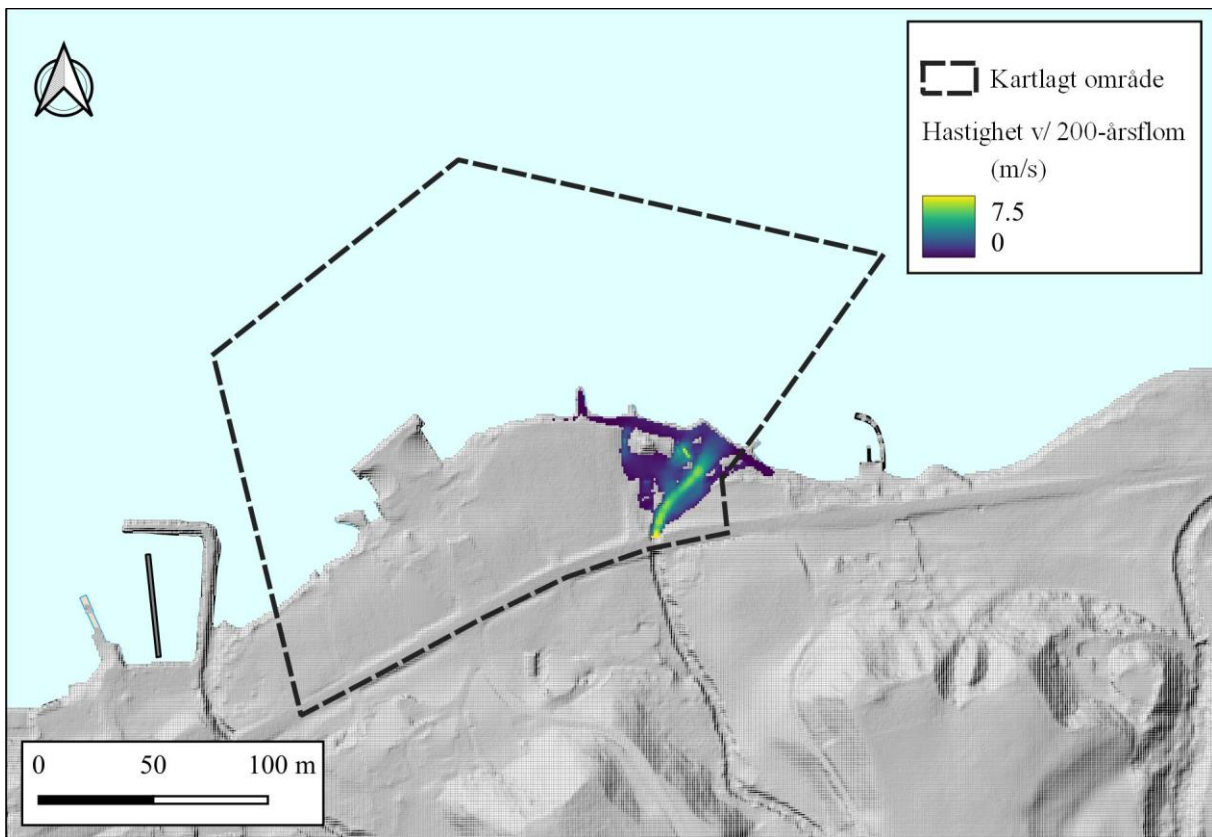
Figur 17: Vannstand ved 200-årsflom beregnet med den kombinerte 1D/2D-modellen.



Figur 18: Vannstand ved 200-årsflom beregnet med 2D-modellen.



Figur 19: Vannhastigheter ved 200-årsflom modellert med den kombinerte 1D/2D-modellen.



Figur 20: Vannhastigheter ved 200-årsflom modellert med 2D-modellen.

Figur 19 viser hastigheter ved 200-årsflom modellert med 1D/2D-modellen. De høyeste hastighetene inntreffer lengst oppstrøms i elveløpet. Hastighetene i elveløpet avtar frem mot broen ved Fv. 616. I det kartlagte området varierer hastighetene i elveløpet mellom 4 m/s (like nedstrøms for broen) til 2 m/s (ved utløpet). Hastigheten på elveslettene er betydeligere lavere. I det kartlagte området er hastighetene over elvesletten i hovedsak under 0.3 m/s mellom gbnr. 106/ og gbnr. 106/50. Rundt gbnr. 106/6 forekommer høyere hastigheter (opptil 3 m/s). Hastighetene beregnet med den endimensjonale delen av modellen rundt gbnr. 106/6, gbnr. 106/11 og gbnr. 106/14 er noe lavere (0.5 – 2 m/s). Figur 20 viser hastigheter ved 200-årsflom modellert med den mer detaljerte 2D-modellen. Av hensyn til den visuelle sammenlikningen, er skalaen normalisert i henhold til skala benyttet i Figur 19. Det fremkommer at elveløpet får noe høyere hastigheter i den mer detaljerte 2D-modellen. Like nedstrøms for broen ved Fv. 616 får elven svært høy hastighet; resultatene antas her å vise syntetisk høye hastigheter grunnet terrengets helning og fraværet av en brostruktur i modellen (av hensyn til numerisk stabilitet). I elveløpet variere hastigheten hovedsakelig mellom 4 – 6 m/s frem til gbnr. 106/14. Mot utløpet avtar hastigheten til 1 m/s. Hastighetene på elvesletten på vestlig side av elven er primært under 1 m/s.

4.3 Sensitivitetsanalyse

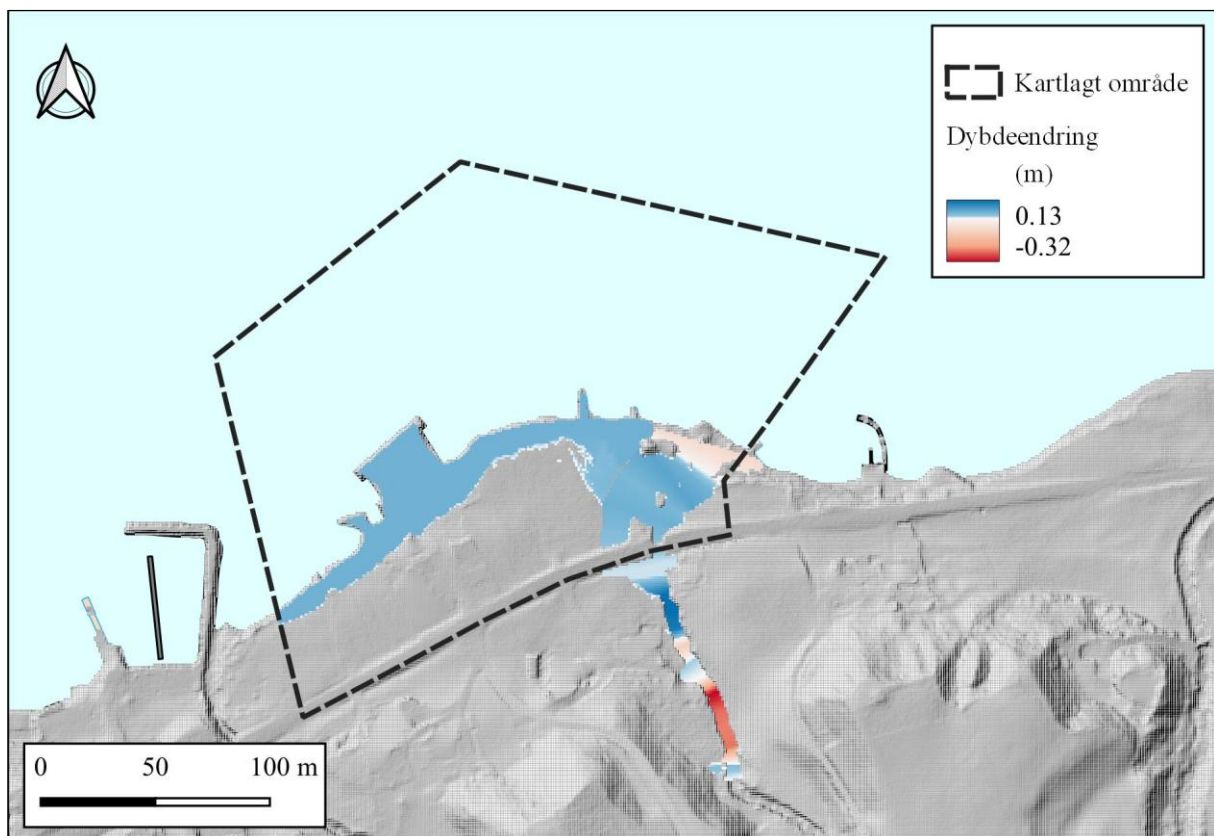
Det er knyttet usikkerhet til beregninger av dybde, vannhastighet og flomutbredelse med hydrauliske modeller. Usikkerheten i en hydraulisk modell stammer fra tre overordnede usikkerhetskilder: inngangsdata (beregnet flomstørrelse og kartgrunnlag), parameterverdier (ruhetstall), og modellstrukturen (forenklinger av det hydrauliske systemet i valgte dimensjoner som representeres med modellen). En sensitivitetsanalyse avdekker deler av denne usikkerheten. I dette prosjektet ble sensitivitetsanalysen utført ved å øke ruhetstallet (Manning-tallet) med 20% og dernest øke den dimensjonerende flomstørrelsen med 20 %. I tillegg ble endringer i resultatene fra henholdsvis 1D/2D-modellen og den mer detaljerte 2D-modellen undersøkt. Sensitiviteten (S) med hensyn til inngangsvariabel/ parameter underlagt endring er dermed definert som følgende

$$S = \frac{\Delta d}{\Delta x} \quad (8)$$

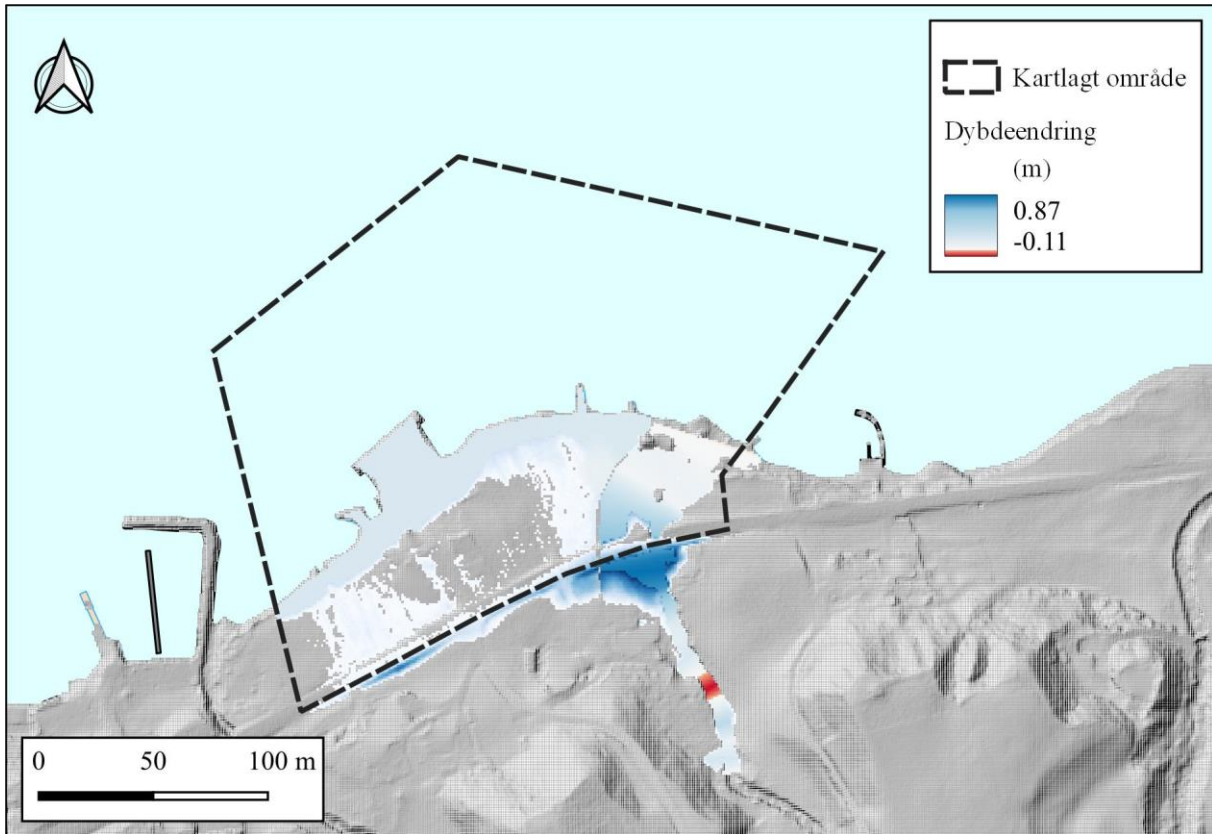
, der Δx er endringen i inngangsvariabel/ parameter og Δd er tilsvarende endring i vanndybde. Figur 21 viser endringer i flomdybde ved økning av Manning-tallet. Figur 22 viser endringer i flomdybde ved økning av flomstørrelsen. Sensitivitetsanalysen viser at resultatene er relativt robuste, med unntak av beregnet vanndybde oppstrøms for broen ved Fv. 616; her er økningen i beregnet vannstand opptil 87 cm ved 20 % økning i flomstørrelse. Resultatene er mindre sensitive i det kartlagte området sammenliknet med områdene lenger oppstrøms i analyseområdet. Økning i Manning-tall fører til dybdeendringer mellom -7 cm og 6 cm i det kartlagte området. Tilsvarende dybdeendringer ved økning i flomstørrelse er opptil 64 cm. Figur 23 viser forskjell i vanndybde beregnet med henholdsvis 1D/2D-modellen og 2D-modellen. Positive verdier indikerer at vanndybde beregnet med 1D/2D-modellen er større enn vanndybde beregnet med 2D-modellen. Negative verdier indikerer at vanndybde beregnet med 1D/2D-modellen er mindre enn vanndybde beregnet med 2D-modellen. Resultatene viser at vanndybden i selve elveløpet er noe mindre i 1D/2D-modellen sammenliknet med 2D-modellen. Samtidig er beregnet vanndybde på elveslettene generelt mindre 2D-modellen. Den største forskjellen inntreffer nær fjorden. Den største vanndybden beregnet med 1D/2D-

modellen antas å skylde at elven flommer over ved en lavere vannstand fordi høyere terreng som skiller lavpunkter ikke hensyntas. Dermed regnes resultatene fra 2D-modellen som mer pålitelige i det kartlagte området.

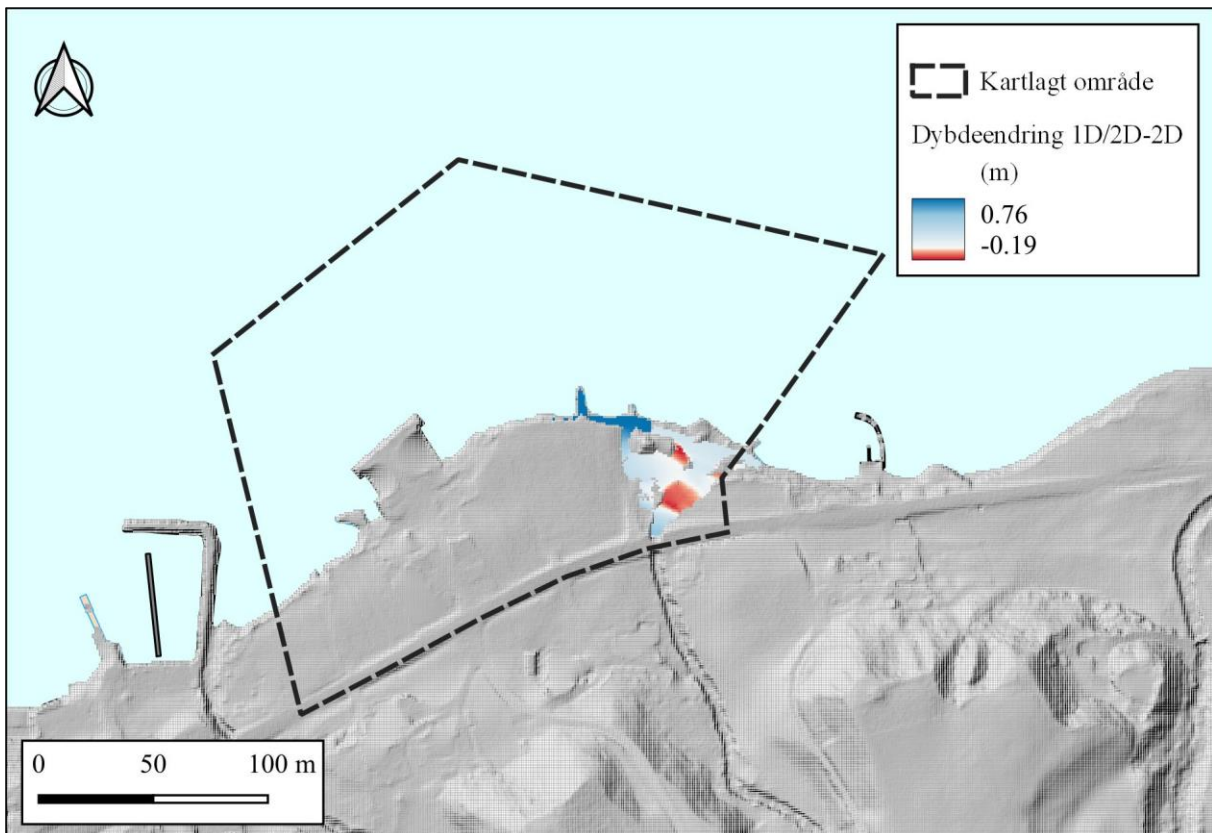
Ettersom endringer i flomstørrelsen førte til noe større endringer i beregnet vanndybde enn endringer i ruhetstall, regnes inngangsdataene derfor som den største kvantifiserte usikkerhetskilden i den utviklede modellen. Usikkerhet i modellstrukturen er ikke adressert. Mangel på oppmålt kotehøyde av eksisterende mur samt oppmålte og georefererte tverrsnitt oppstrøms og nedstrøms for broen ved Fv. 616 utgjør dog betydelig usikkerhet i modellstrukturen. Denne usikkerheten forplantes videre i beregninger av oppstuvningseffekter ved broen i analyseområdet og flomutbredelse i det kartlagte området. Beregninger med den hydrauliske modellen presentert i neste delkapittel gir dermed kun et konservativt anslag.



Figur 21: Endret vanndybde som følge av økning i Manning-tall (20%) ved 100-årsflom. Økningen i vanndybde er opptil 13 cm.



Figur 22: Endret vanndybde som følge av økning i flomstørrelse (20 %). Økningen i vanndybde er opptil 87 cm.



Figur 23: Differanse i vanndybde beregnet med henholdsvis den kombinerte 1D/2D-modellen og 2D-modellen.

5. Vurdering av erosjonsfare

På tidspunktet for befaring var store deler av det kartlagte området, inkludert både elvebanker og elveløp, helt eller delvis snødekt. Det ble dermed ikke funnet tegn til erosjon. Ved den eksisterende muren mellom broen ved Fv. 616 og utløpet i Davika antas erosjonsfaren å være lav til tross for høye hastigheter (5-6 m/s) og yttersving mot gbnr. 106/14 da det antas at muren er dimensjonert for å sikre mot både flom og erosjon. Den eksisterende muren langs vestlig side av elveløpet fra broen ved Fv. 616 til like nedstrøms for bygget som er planlagt omgjort til leiligheter er vist i Figur 24. En tilsvarende mur dekker en kortere strekning fra Fv. 616 på østlig side. Elvebankene ved utløpet ligger relativt lavt i terrenget og det er ukjent hvorvidt det er ytterligere sikringer her (se Figur 24).



Figur 24: a) Mur langs vestlig side av elveløpet nedstrøms for broen ved Fv. 616 og b) utløpet i Davika sett fra østlig side.

6. Tiltak

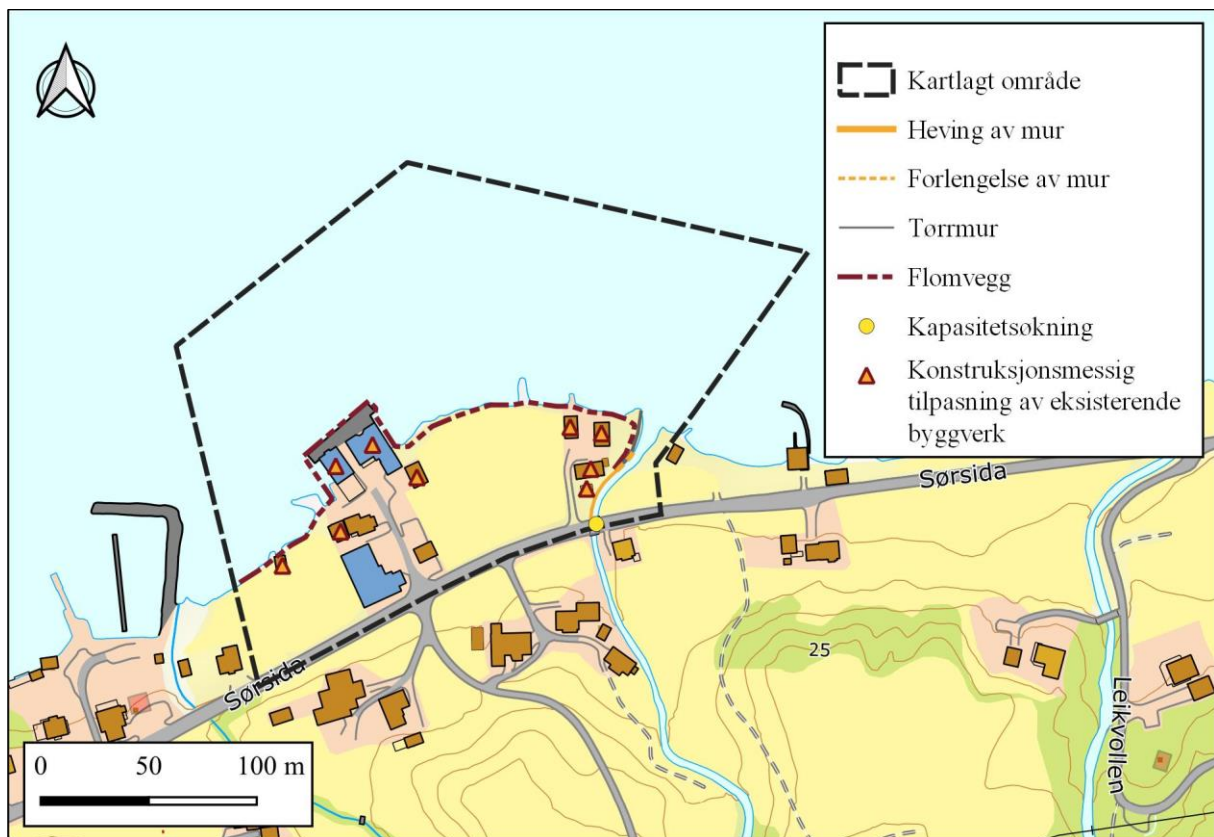
Sikringstiltak mot flom kan deles inn i tre hovedkategorier: fordrøyning, avledning og lokal sikring. Fordrøyningstiltak demper flomtoppen i elven nedstrøms. Avledningstiltak forbedrer flomavledningen og øker kapasiteten i flomutsatte områder. Lokale sikringstiltak hindrer oversvømmelse av lokalt flomutsatte arealer og bygninger gjennom flomvoller, flommurer, heving av byggegrunn eller andre konstruksjonsmessige tiltak. Mulige sikringstiltak mot flom og stormflo er oppsummert i Tabell 11.

Det er primært stormflo som utgjør fare i det kartlagte området. Bobilparkeringen og tilkomstveier bør plasseres utenfor 200-årsstormflosonen. Eksisterende bygg kan sikres mot 200-årsstormflo ved terrengheving eller ombygging slik at byggene tåler belastninger under stormflo og dermed unngår skade. Dette vil derimot ikke være tilstrekkelig sikring for bobilparkeringen grunnet oppdrift allerede ved anslagsvis 20 – 30 cm vanddybde. Det anbefales at eksisterende mur forlenges frem til tverrsnitt 862, da dette er identifisert som første område som oversvømmes på vestlig elveslette ved 200-årsflom. Det er flere alternativer som vil kunne sikre byggene på gbnr. 106/6, gbnr. 106/11 og gbnr. 106/14 mot flom slik at kravene i TEK17 §7-2 oppfylles, deriblant terrengheving, tørrmur eller en permanent flomvegg. En mulighetsstudie vil kunne identifisere de mest aktuelle tiltakene basert på et nytte-kostnadsestimat. Figur 25 viser plassering av anbefalte tiltak. Merk at oversikten over foreslåtte tiltak ikke er uttømmende, og at den optimale løsningspakken vil kunne inneholde ulike kombinasjoner av avbøtende tiltak.

Tabell 11: Mulige sikringstiltak mot flom og stormflo.

Tiltak	Kategori	Fordeler	Ulemper
<i>Begrense bobilparkering til områder som ikke berøres av flom eller stormflo med 200 års gjentaksintervall</i>	Avledning	Flytter tiltak ut av flomsone og unngår dermed skade	Ingen åpenbare ulemper
<i>Øke kapasitet ved bro v/ Fv. 616</i>	Avledning	Øker kapasiteten og reduserer oppstuvningseffekter ved Fv. 616	Krever detaljert kapasitetsberegning av bro og reduserer ikke nødvendigvis flombredelse i det kartlagte området
<i>Terrengheving ved eksisterende bygg</i>	Avledning	Flytter bygg ut av flomsonen ved at terrenget heves	Kan bli kostbart og vil kreve en konsekvensutredning med hensyn på tilstøtende arealer jf. TEK17 §7-1
<i>Forlengelse av eksisterende mur frem til tverrsnitt 862</i>	Lokal sikring	Forhindrer oversvømmelse på vestlig elveslette rundt eksisterende bygg ved 200-årsflom i Gardselva	Reduserer ikke flomfare lenger vest ved gbnr. 106/10 m.fl. som berøres av 200-årsstormflo

<i>Heving av eksisterende mur til trygg byggehøyde</i>	Lokal sikring	Relativt kostnadseffektiv løsning. Kan også oppfylles ved oppmåling av kotehøyde med GPS	Forhindrer ikke oversvømmelse av bygg som berøres av stormflo
<i>Tørrmurr</i>	Lokal sikring	Arealeffektivt; tåler høye vannhastigheter (opptil 8 m/s) og sikrer mot både flom og erosjon	Kostbar løsning
<i>Flomvegg</i>	Lokal sikring	Kostbar løsning	Restrisiko



Figur 25: Oversikt over plassering av foreslåtte tiltak mot flom og stormflo.

7. Konklusjon

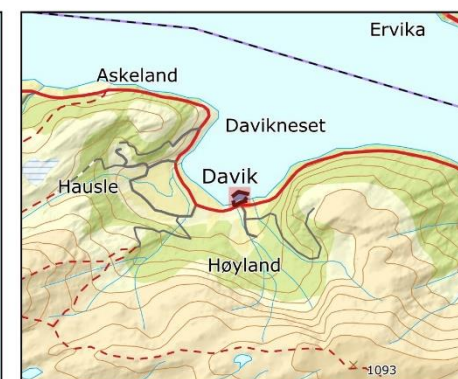
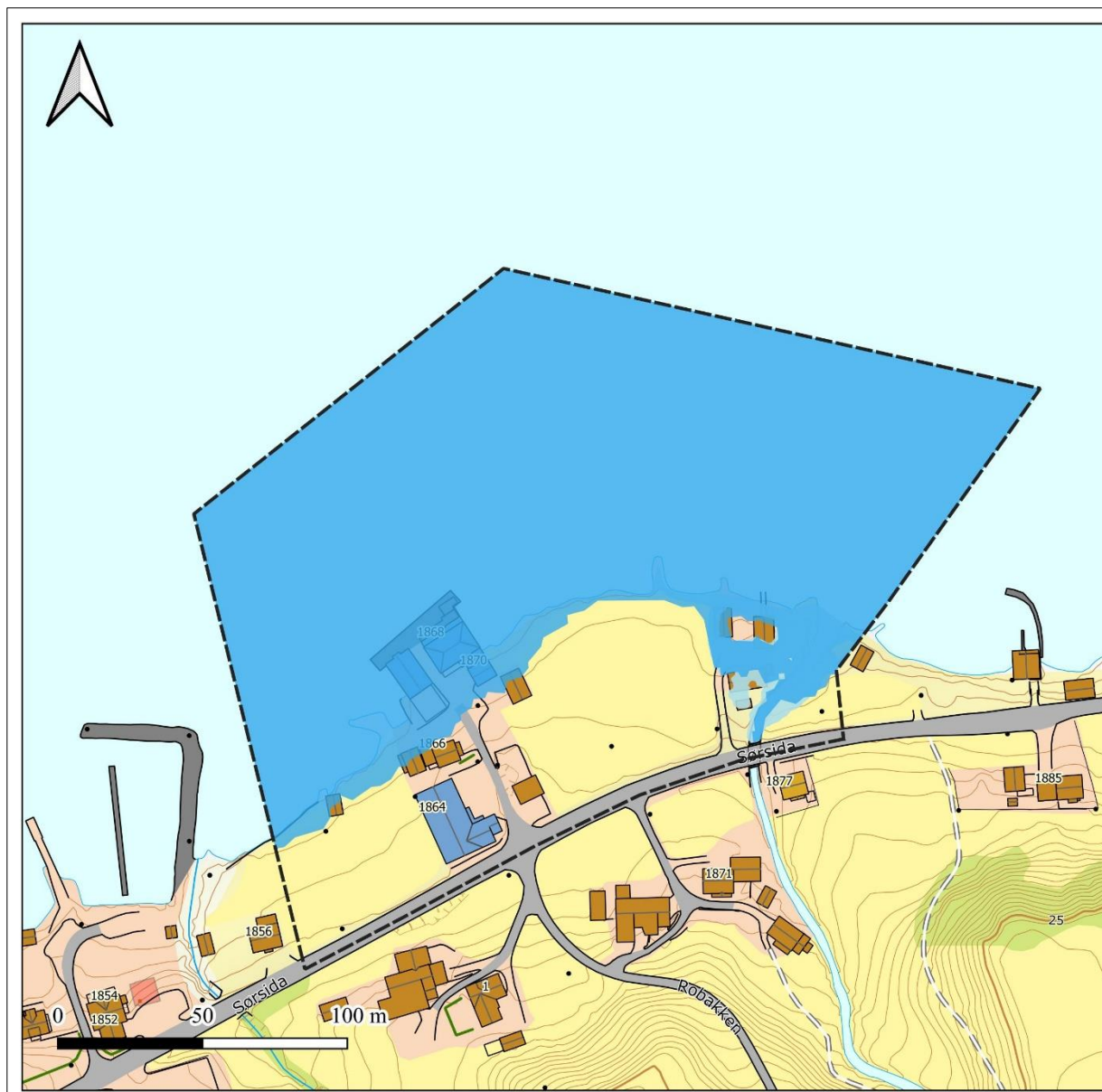
Med et klimapåslag på 40 %, ble 200-årsflommen i Gardselva beregnet til henholdsvis 21.4 m³/s. Ved hydraulisk modellering ble maksimal vanddybde i elveløpet beregnet til 1.6 m ved 200-årsflom i det kartlagte området. Resultatene indikerer at broen ved Fv. 616 har marginal kapasitet til å håndtere 200-årsflom og fører til oppstuvning. I det kartlagte området varierer vannstanden mellom 1.27 moh. og 3.17 moh. Gitt usikkerheten i resultatene, legges en sikkerhetsmargin på 0.3 m til beregnet vannstand. Store deler av det kartlagte området berøres også av 200-årsstormflo (2.31 moh.). Trygg byggehøyde varierer derfor mellom 2.3 moh. og 3.5 moh. i det kartlagte området. Det er primært stormflo som utgjør fare i det kartlagte området. Bobilparkeringen og tilkomstveier bør plasseres utenfor 200-årsstormflosonen. Eksisterende bygg kan sikres mot 200-årsstormflo ved terrengheving eller ombygging slik at byggene tåler belastninger under stormflo og dermed unngår skade. Det anbefales at eksisterende mur forlenges frem til tverrsnitt 862, da dette er identifisert som første område som oversvømmes på vestlig elveslette ved 200-årsflom. Det er flere alternativer som vil kunne sikre byggene på gbnr. 106/6, gbnr. 106/11 og gbnr. 106/14 mot flom slik at kravene i TEK17 §7-2 oppfylles, deriblant terrengheving, tørrmur eller en permanent flomvegg. En mulighetsstudie vil kunne identifisere de mest aktuelle tiltakene basert på et nytte-kostnadsestimert.

Referanser




- Andersen, J., Hjukse, T., Roald, L., & Sælthun, N. (1983). *Hydrologisk Modell for Flomberegninger. Report No. 2 1983.*
- Berg, A., Lunde, T., & Mosevoll, G. (1992). *Flomberegning og kulvertdimensjonering.*
- Førland, E., Mamen, J., Dyrrdal, A. V., Grinde, L., & Myrabø, S. (2015). *Rapport 134/ 2015. Dimensjonerende korttidsnedbør. Naturfareprosjektet Dp 5 Flom og vann på avveie.*
- Glad, P. A., Reitan, T., & Stenius, S. (2014). *Rapport nr. 62/ 2014. Naturfareprosjekt Dp. 5 Flom og vann på avveie. Regionalt formelverk for flomberegning i små nedbørfelt. Delprosjekt. 5.1.6. .*
- Glad, P. A., Stenius, S., Leine, A.-L. Ø., Væringstad, T., Holmqvist, E., Dahl, M.-P. J., & Trondsen, E. (2022). *Veileder nr. 1/ 2022. Veileder for flomberegninger.*
- Hanssen-Bauer, I., Førland, E. J. , Haddeland, I. , Hisdal, H. , Mayer, S. , Nesje, A. , Nilsen, J. E. Ø. , Sandven, S. , Sandø, A. B. , Sorteberg, A. , & Ådlandsvi, B. K. (2015). *Klima i Norge 2100. Kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning oppdatert i 2015. NCCS report no. 2/ 2015. a. opplag. .*
- Lindholm, O. (2008). *Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering.* Norsk vann.
- Norges vassdrag- og energidirektorat (NVE). (2011). *Retningslinjer nr. 2/ 2011. Flaum- og skredfare i arealplanar.*
- Norges vassdrag- og energidirektorat (NVE). (2015). *Rettleiar 3/ 2015. Flaumfare langs bekker. råd og tips om kartlegging.*
- Norsk klimaservicesenter (NKSS). (2021). *Klimaprofil Sogn og Fjordane.* <https://klimaservicesenter.no/kss/klimaprofiler/sogn-og-fjordane>
- Statens vegvesen. (2021). *N200 Vegbygging.*
- Statens vegvesen (SVV). (2014). *Håndbok N200 Vegbygging.*
- Stenius, S. (ed.), Glad, P. A. (ed.), Wang, T. K., & Væringstad, T. (2015). *Veileder 7/ 2015. Veileder for flomberegninger i små, uregulerte felt.*
- Tharan Fergus, Knut Aune Hoseth, & Einar Sæterbø. (2010). *Vassrdagshåndboka. Håndbok i vassdragsteknikk.* (Tharan Fergus, Knut Aune Hoseth, & Einar Sæterbø, Eds.). Tapir Akademiske Forlag.


8. Vedlegg

8.1 Vedlegg 1 – Faresonekart



Tegnforklaring

-  Kartlagt områder
-  Flomsone (1/200)
-  Stormflomsone (1/200)

1	Vedlegg 1 Faresonekart - 200-årsflom	
Oppdrag: 2022-01-029 Flomfarevurdering av Gardselva i Davik, Bremanger kommune		
Koordinatsystem: ETRS 1989 UTM Sone 32N		
Dato: 27.02.2023	Utarbeidet av: Jenny S. Hagen	Kontrollert av: Vetle Nordang
 Sunnfjord Geo Center		

8.2 Vedlegg 2 – Tverrsnitt

Tverrsnitt	Beregnet vannstand v/ 200-årsflom (moh.) (1D/2D)	Beregnet vannstand v/ 200-årsflom (moh.) (2D)	Tidligere kartlagt 200-årsstormflo (moh.)	Trygg byggehøyde inkludert sikkerhetsmargin (moh.)
1006	10.68			11.0
1004	10.65			11.0
998	10.26			10.6
990	9.38			9.7
982	8.36			8.7
974	7.98			8.3
966	7.24			7.5
958	6.60			6.9
950	5.86			6.2
942	5.29			5.6
934	4.90			5.2
926	4.48			4.8
918	4.18			4.5
910	4.08			4.4
905	4.08			4.4
886	2.83	2.55		2.9
878	2.09	2.28	2.31	> 2.3
870	1.93	2.05	2.31	> 2.3
862	1.82	1.83	2.31	> 2.3
854	1.48	1.66	2.31	> 2.3
846	1.48	1.29	2.31	> 2.3