

Fjaler kommune

► Hydrauliske analyser for ny gravplass i Dale

Oppdragsnr.: 52103718 Dokumentnr.: R04 Versjon: J01 Dato: 2022-10-07



Oppdragsgiver: Fjaler kommune
Oppdragsgivers kontaktperson: Arne Strand
Rådgiver: Norconsult AS, Kjørboveien 22, NO-1337 Sandvika
Oppdragsleder: Torbjørn Sivertsen
Fagansvarlig: Henrik Opaker (hydrologi/hydraulikk)
Andre nøkkelpersoner: Erlend Brochmann

J01	2022-10-07	Hydrauliske vurderinger for bruk av oppdragsgiver	ErBro	HeOpa	TSI
Versjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult AS som del av det oppdraget som dokumentet omhandler. Opphavsretten tilhører Norconsult AS. Dokumentet må bare benyttes til det formål som oppdragsavtalen beskriver, og må ikke kopieres eller gjøres tilgjengelig på annen måte eller i større utstrekning enn formålet tilsier.

► Sammendrag

Ved utløpet av Dalselva i Dale i Fjaler kommune er det planlagt en ny gravplass. Gravplassen er tenkt anlagt på dagens flomslette på vestsiden av elva. I denne rapporten gjennomgås og dokumenteres konsekvensene av å etablere gravplassen, med utgangspunkt i 20-årsflom og 200-årsflom.

Plasseringen av gravplassen er ikke ideell med tanke på flom, og det bemerkes at en må forvente oversvømmelser ved flom, og for de største flommene kan heller ikke eventuelle skader utelukkes. Oppdragsgiver må således vurdere om det er akseptabelt med omfanget av oversvømmelser, og potensielt fare for flomskader i de mest ekstreme tilfellene, slik som beskrevet i denne rapporten.

Simuleringene som det presenteres resultater fra i denne rapporten, viser at det vil være mulig å etablere en gravplass som i svært liten grad påvirker dagens vannstander i vassdraget ved 20- og 200-årsflom. Det foreslåtte terrenget gir en svak økning av vannstander og vannhastigheter, med omtrentlig den samme fordelingen av vann på flomsletta og i elvas hovedløp som i dagens situasjon.

De hydrauliske simuleringene viser at en både i dagens situasjon og en fremtidig situasjon med gravplass på flomsletta, må forvente at områdene oversvømmes ved stor flom i elva. Terrengjusteringene som er lagt inn i den hydrauliske modellen viser liten endring av dagens flomsituasjon. En forbedrer altså ikke flomforholdene, men gjør heller ikke situasjonen i nevneverdig grad verre. Simuleringene viser at ingen bygg som ikke allerede er berørt i dag, vil bli berørt av flom etter etableringen av ny gravplass.

Simuleringene viser at en 20-årsflom oversvømmer deler av gravplassen, men at de høyestliggende arealene ikke vil bli oversvømt. Vannhastighetene på flomsletta og gravplassen er moderate, og det antas at det er liten fare for skader pga. erosjon. Ved større flommer øker både vannføringer, vannstander og vannhastigheter, slik at faren for eventuelle skader er til stede (noe som også er situasjonen i dag). Det antas dog at det vil være mulig å sikre området mot erosjon for å redusere skadepotensial ved de største flommene.

Det planlagte terrenget ved gravplassen viser at gravplassen først blir berørt, i nedre/laveste del, ved en vannføring på ca. 130 m³/s. Områdene der kistegravene er tenkt anlagt (ca. kt. 2,4 m.o.h.) blir berørt ved ca. 150 m³/s, og hele gravplassen står under vann ved ca. 250 m³/s i vassdraget. Et anslag for gjentakintervall for disse vannføringene er hhv. om lag en 5- til 10-årsflom, 10- til 20-årsflom, og en 100- til 200-årsflom (alle flommer inkluderer et klimapåslag på 40%).

For flommer opp til i underkant av en anslått 50-årsflom inkl. klimapåslag viser simuleringene at vannhastighetene ved gravplassen er mindre enn ca. 1 m/s. Iht. hydraulisk litteratur er det da tilstrekkelig å sikre mot erosjon med et godt etablert gressdekke. Enkelte lokale punkter viser noe høyere hastigheter, der erosjonssikringsdekke av f.eks. stein bør vurderes. Ved større vannføringer/flommer med høyere gjentakintervall øker vannhastighetene noe, og potensiale for eventuelle erosjonsskader øker.

Simuleringene viser at driftsbygget/utstyrslageret kan enten etableres høyere enn vannstanden ved en 20-årsflom, eller evt. lavere dersom det konstrueres for å tåle oversvømmelse. Vannstanden under brua som er planlagt å krysse elva ved gravplassen er ved 200-årsflom på ca. 2,6 m.o.h.

Innhold

1	Innledning	5
2	Grunnlag	7
2.1	Flomberegninger	7
2.2	Havnivå	7
2.3	Terrenggrunnlag og oppmålingsdata	8
2.3.1	<i>Eksisterende situasjon</i>	8
2.3.2	<i>Situasjon med ny gravplass</i>	8
3	Hydraulisk modell	10
3.1	Modelloppsett	10
3.2	Grensebetingelser	11
3.3	Kalibrering	11
4	Resultater	12
4.1	200-års høyvann/stormflo i fjorden	12
4.2	Dagens situasjon	13
4.2.1	<i>20-årsflom i elva og 1-års høyvann/stormflo i fjorden</i>	13
4.2.2	<i>200-årsflom i elva og 1-års høyvann/stormflo i fjorden</i>	15
4.3	Situasjon med ny gravplass, og endringer sammenlignet med dagens situasjon	17
4.3.1	<i>20-årsflom i elva og 1-års høyvann/stormflo i fjorden</i>	17
4.3.2	<i>200-årsflom i elva og 1-års høyvann/stormflo i fjorden</i>	19
5	Kommentarer	22
5.1	Generelt	22
5.2	Vannhastigheter og erosjon	22
5.3	Nivå for ny bru	23
5.4	Nivå for utstyrlager/driftsbygg	23
5.5	Usikkerheter og sensitivitet	23

1 Innledning

Denne rapporten oppsummerer hydrauliske simuleringer for en planlagt ny gravplass ved Dale i Fjaler kommune. Gravplassen er tenkt anlagt på det som i dag er flomslette på vestre side av elva Dalselva, like oppstrøms utløpet i fjorden. Et oversiktskart er vist i Figur 1.

Det er tidligere utført hydrologiske og hydrauliske analyser for området, blant annet for å undersøke om en flomvoll kunne avskjære flomsletta for å flomsikre bakenforliggende arealer og bebyggelse. På flomsletta ligger det blant annet en barnehage, et omsorgssenter og bolighus, som i dag er flomutsatte.

Utredninger av virkningen av en flomvoll ved 200-årsflom inkl. klimapåslag, viste at en slik voll vil kunne avskjære flomsletta som i dag er aktiv ved større flommer. Flomvollen vil skape oppstuvninger i elva langs, og oppstrøms, den planlagte vollen. Oppstuvningen var i størrelsesorden opp mot 50-60 cm, og det finnes blant annet eneboliger i området som viste vannstandsøkning. Vollen gav også en økt hastighet i elva på opp mot 1,5 m/s ved 200-årsflom inkl. klimapåslag. Selv om en her i teorien kunne ha gitt en økt flomsikring for bebyggelsen bak vollen som ble foreslått av oppdragsgiver, vil et slik tiltak føre til en forverring av flomsituasjonen for bebygde områder på motsatt side av elva.

Etter innledende kommunikasjon med NVE og oppdragsgiver ble det valgt å gå bort fra alternativet med flomvoll, og gå videre med utredninger der oversvømmelser av gravplassen tillates ved større flommer. I et slikt tilfelle forsøkes gravplassen plassert og utformet slik at den i minst mulig grad endrer dagens flomsituasjon i området, og samtidig så langt det lar seg gjøre redusere skadepotensiale ved oversvømmelse av gravplassen.

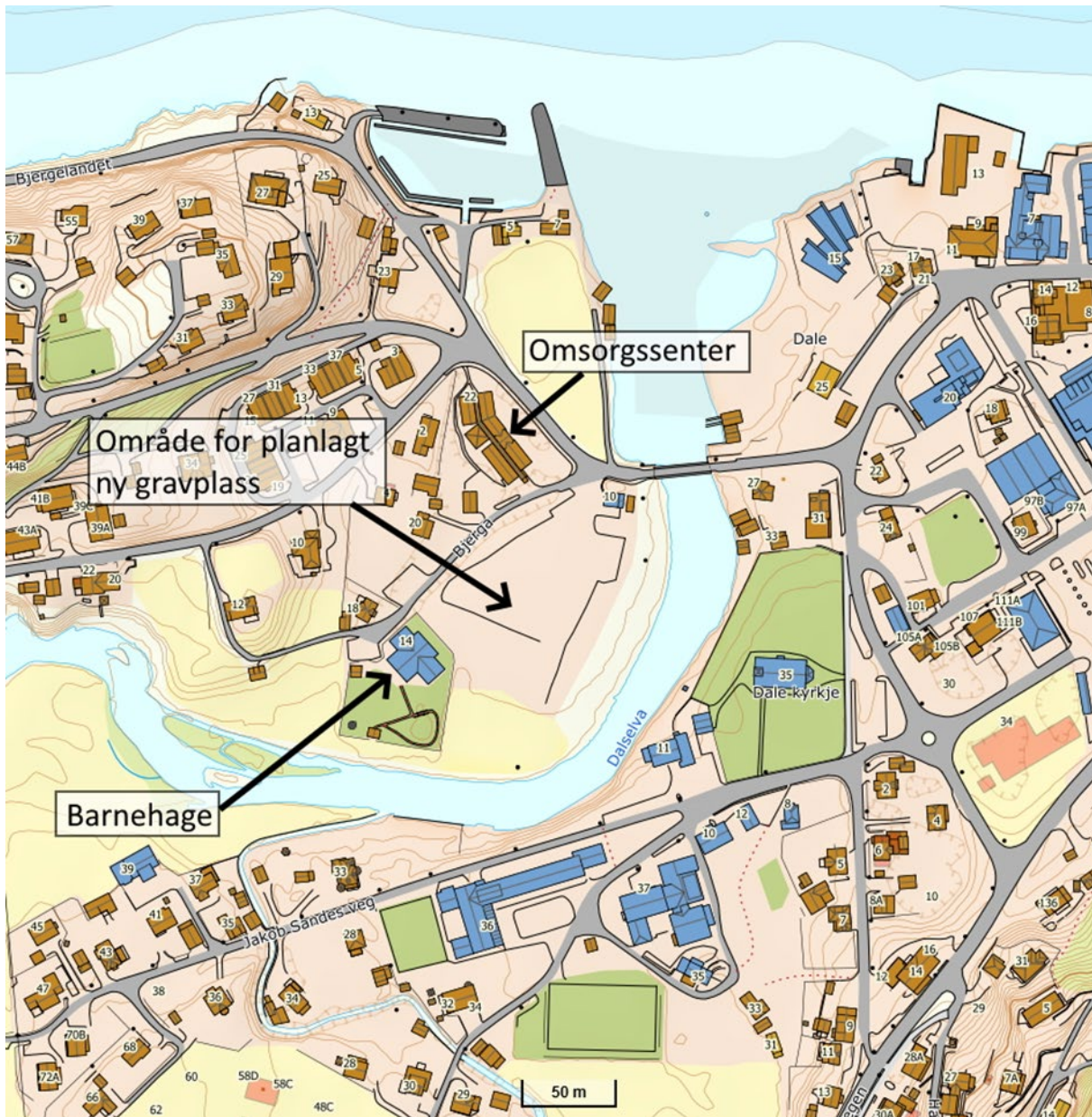
Gravplassens lokalisering er foreslått av oppdragsgiver i samråd med Gravplassrådgiver, og vi har forstått det slik at det har vært en lengre prosess for å komme frem til lokaliteten som nå foreligger, og som undersøkes i denne rapporten. Plasseringen er ikke ideell med tanke på flom, og denne rapporten skal vise konsekvenser en kan forvente ved plassering av gravplassen på flomsletta. Enkelte punkter er viktige å være klar over ved plassering av gravplassen i områder som i dag oversvømmes ved flom:

- Dagens topografi og flomforhold er slik at en må forvente at også den nye gravplassen oversvømmes ved større flommer.
- Endringer inne på flomsletta vil kunne ha en påvirkning på vannstander og avrenningsmønstre/flomveier. Simuleringene i denne rapporten viser dog at disse påvirkningene vil være svært små.
- De omkringliggende områdene og bebyggelsen rundt gravplassen vil være like flomutsatte som i dag.
- Ved større flommer kan en ikke utelukke at det kan bli skader på flomsletta/gravplassen, på samme måte som i dag.

Grunnvannsnivåer og nødvendig overdekning av kistegraver gjør at dagens terreng på flomsletta må løftes noe. Innledende analyser har vist at flomvannstandene i området er sensitive for terrengendringer på flomsletta, og tilpasning av et nytt terreng har derfor vært en omhyggelig og iterativ prosess. Terreng som er benyttet i denne rapporten er justert og tilpasset av landskapsarkitekt for å oppnå så høyt terreng, og så stort areal som mulig, med så liten virkning på flomsituasjonen som mulig. Evt. videre optimalisering i forbindelse med detaljprosjektering bør følge samme prinsipper.

Som dimensjonerende forutsetninger har vi lagt til grunn 20-årsflom, sikkerhetsklasse F1 iht. TEK17, da det skal etableres et driftsbygg/utstyrslager på gravplassen. For selve gravplassen har vi ikke fått et konkret gjentakintervall som dimensjonerende, men etter opplysninger fra landskapsarkitekt, gravplassrådgiver og oppdragsgiver tillates det at gravplassen står under vann i en flomsituasjon, så fremt det ikke medfører skade, og skjer sjelden. Vi har derfor også tatt utgangspunkt i en 20-årsflom som dimensjonerende flom for selve gravplassen. For kontroll av konsekvens for tredjepart/øvrige flomsituasjon i området har vi undersøkt

konsekvenser ved en 200-årsflom. 200-årsflom er også dimensjonerende for etablering av en ny bru som skal krysse over elveløpet ved gravplassen. Alle flommer som benevnes i denne rapporten, der ikke annet er angitt, inkluderer 40 % klimapåslag.



Figur 1 Oversiktskart

2 Grunnlag

2.1 Flomberegninger

I rapporten *Flomvurdering i Dale, Rev. 01*, utarbeidet av Sweco i 2018 ble det presentert verdier for middelflom, 20-årsflom og 200-årsflom for området. Norconsult undersøkte flomverdiene i denne rapporten i 2021, og fant resultatene rimelige. Det er derfor valgt å legge flomverdiene fra Sweco-rapporten fra 2018 til grunn for de hydrauliske analysene ved Dale. Verdiene er som følger:

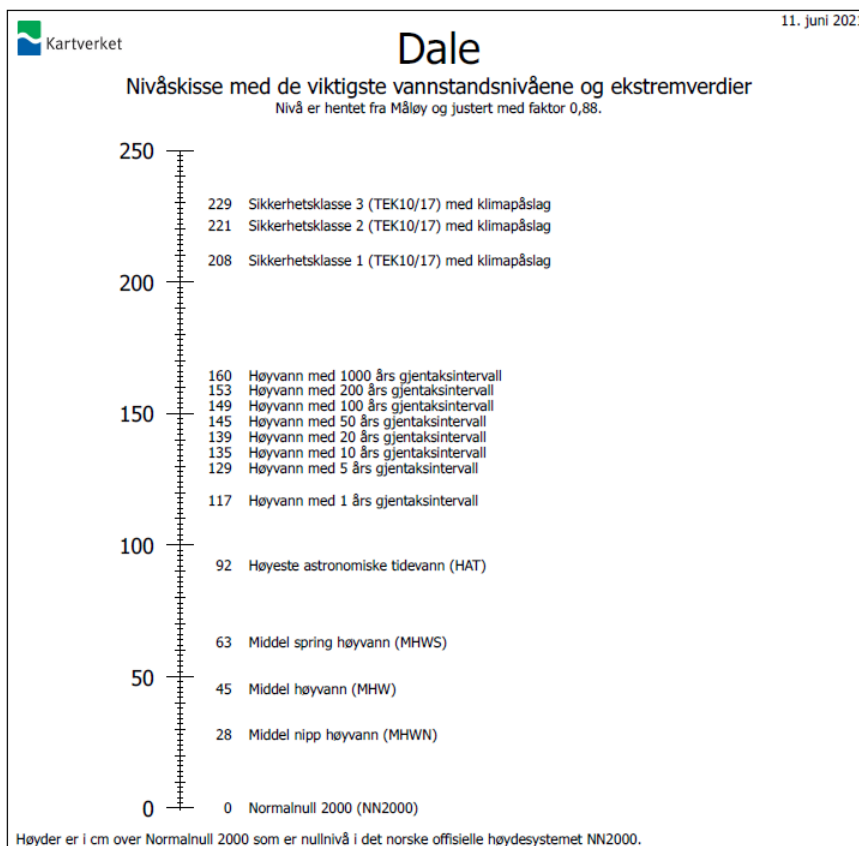
- Middelflom, $Q_M \approx 90 \text{ m}^3/\text{s}$
- 20-årsflom inkl. 40% klimatillegg, $Q_{20} + 40\% \approx 169 \text{ m}^3/\text{s}$
- 200-årsflom inkl. 40% klimatillegg, $Q_{200} + 40\% \approx 276 \text{ m}^3/\text{s}$

2.2 Havnivå

Havnivået ved utløpet av Dalselva presenteres av kartverket i tidevannstabellen for Dale. Se Figur 2.

Stormflo med 200-års gjentaksintervall og klimatillegg iht. TEK17 (sikkerhetsklasse 2) angis til kt. 2,21 m.o.h.

Høyvann med 1-års gjentaksintervall angis til kt. 1,17 m.o.h. uten klimapåslag. Vi har lagt til 48 cm på denne verdien, som er gjennomsnittlig forventet vannstandsøkning/klimapåslag iht. utslippsscenario *Høyt utslipp (RCP8.5)* i år 2100. Benyttet estimat for høyvann med 1-års gjentaksintervall inkl. klimatillegg blir med dette på kt. 1,65 m.o.h.



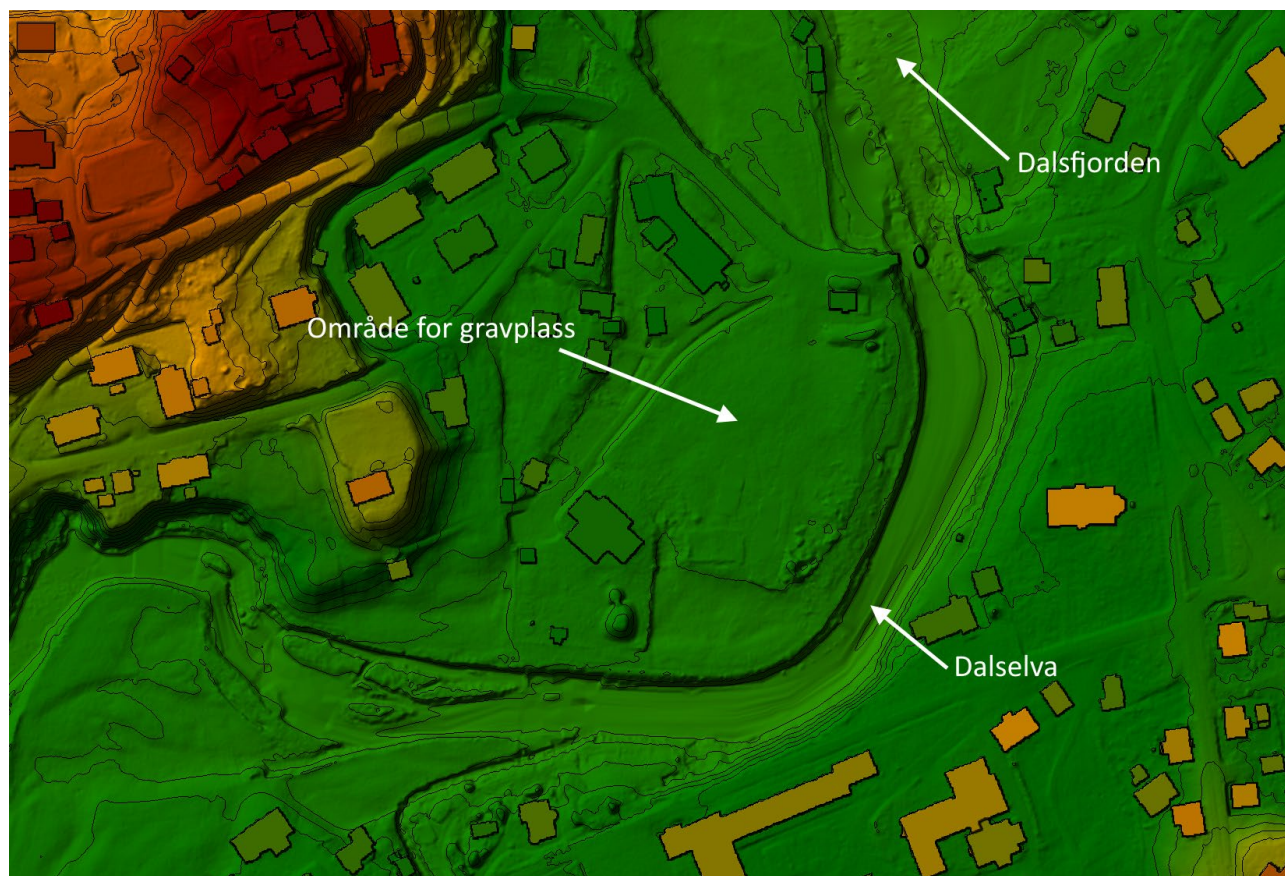
Figur 2 Utklipp fra tidevannstabell for Dale

2.3 Terrenggrunnlag og oppmålingsdata

Alle benyttede terrengdata er satt opp i koordinatsystem UTM32N, med høydedatum NN2000.

2.3.1 Eksisterende situasjon

Som underlag for dagens terrengnivåer ved Dale er det benyttet en terrengmodell basert på laserscan/DTM fra kartverket NDH Fjaler-Hyllestad 2019, med oppgitt punktetthet 5pkt./m². Deler av elvebunnen er oppmålt på strekningen fra utløpet i fjorden og oppover langs området der gravplassen er planlagt plassert. Delstrekningene mellom de oppmålte områdene/profilene er interpolert etter innspill fra landmåler. Oppmålingen av elvebunnen er inkludert i terrengmodellen. Videre er byggene som fremkommer i kartet også lagt inn som en del av terrenget. For brua ved utløpet i fjorden er brupilar og landkar inkludert i terrengmodellen basert på oppmålingene. Resulterende terrengmodell har oppløsning 0,25x0,25 m.



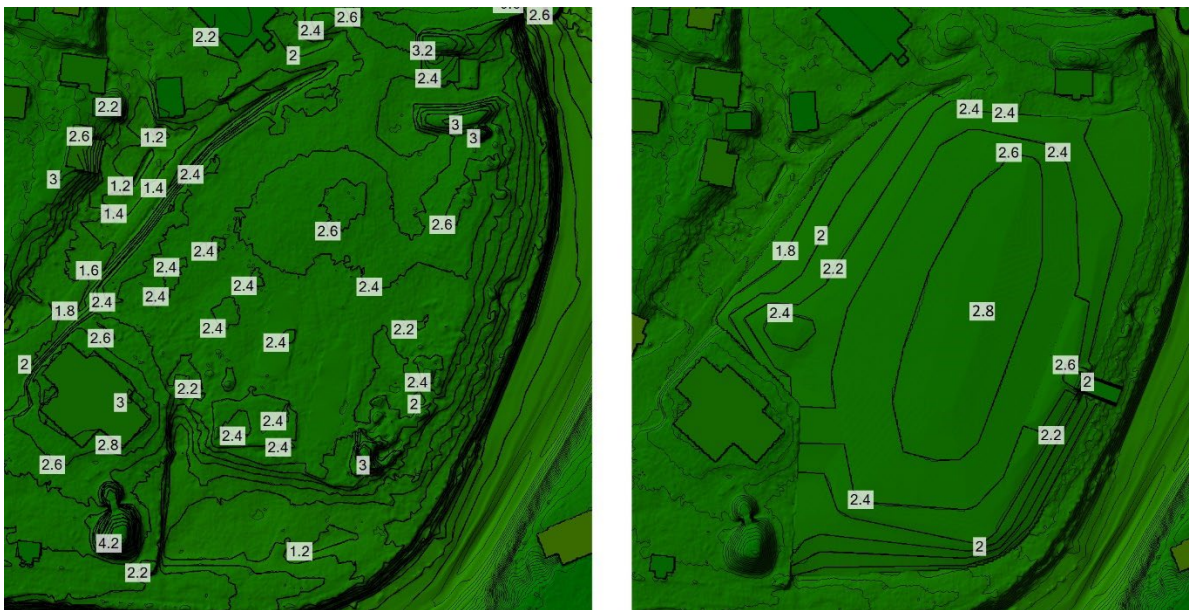
Figur 3 Utsnitt fra terrengmodell, eksisterende situasjon

2.3.2 Situasjon med ny gravplass

Som nevnt i innledningen er det en del bindinger og utfordringer knyttet til området der den nye gravplassen er tenkt anlagt med tanke på grunnvannstander, stormflo og flom. I innledende iterasjoner av et mulig nytt terreng ble området lagt inn med en horisontal flate på kt. 2,6 m.o.h. Nivået var gitt av landskapsarkitekt og hydrogeolog å være laveste mulige terrengnivå for kistegravene med tanke på grunnvannstanden i området, og nødvendig overdekning av gravene. Etter videre bearbeiding og optimalisering av terrenget har landskapsarkitekt utført enkelte justeringer/optimaliseringer, der terrenget langs den lengste akse på

gravplassen er hevet til kt. 2,8 m.o.h., med et slak «takfall» ut til hver side for å besørge avrenning fra plassen.

Det nye terrenget gir en endring som i all hovedsak ligger mellom ca. ± 40 cm, sammenlignet med dagens terreng. I enkelte mindre områder er endringen opp mot +50 cm. I nedre/søndre ende av gravplassen er et lavtliggende område tenkt gjenfylt, terrenget heves i dette området med inntil ca. 1 m. En skisse som viser koter/nivåer for eksisterende og planlagt terreng er vist i Figur 4.



Figur 4 Terrengnivåer i dag (til venstre), og for ny gravplass (til høyre)

Terrenget for ny gravplass er i den hydrauliske modellen koblet sammen med eksisterende terreng i randsonen, og resulterende terrengmodell har oppløsning på 0,25x0,25 m.

I tillegg er også brukarene til en planlagt ny gangbru som spenner over Dalselva lagt inn som en del av terrenget. De nye brukarene ligger på hver side av elva om lag 110-120 m oppstrøms dagens bru ved utløpet av Dalselva. Lysåpningen mellom brukarene er ca. 30 m.



Figur 5 Nye brukar

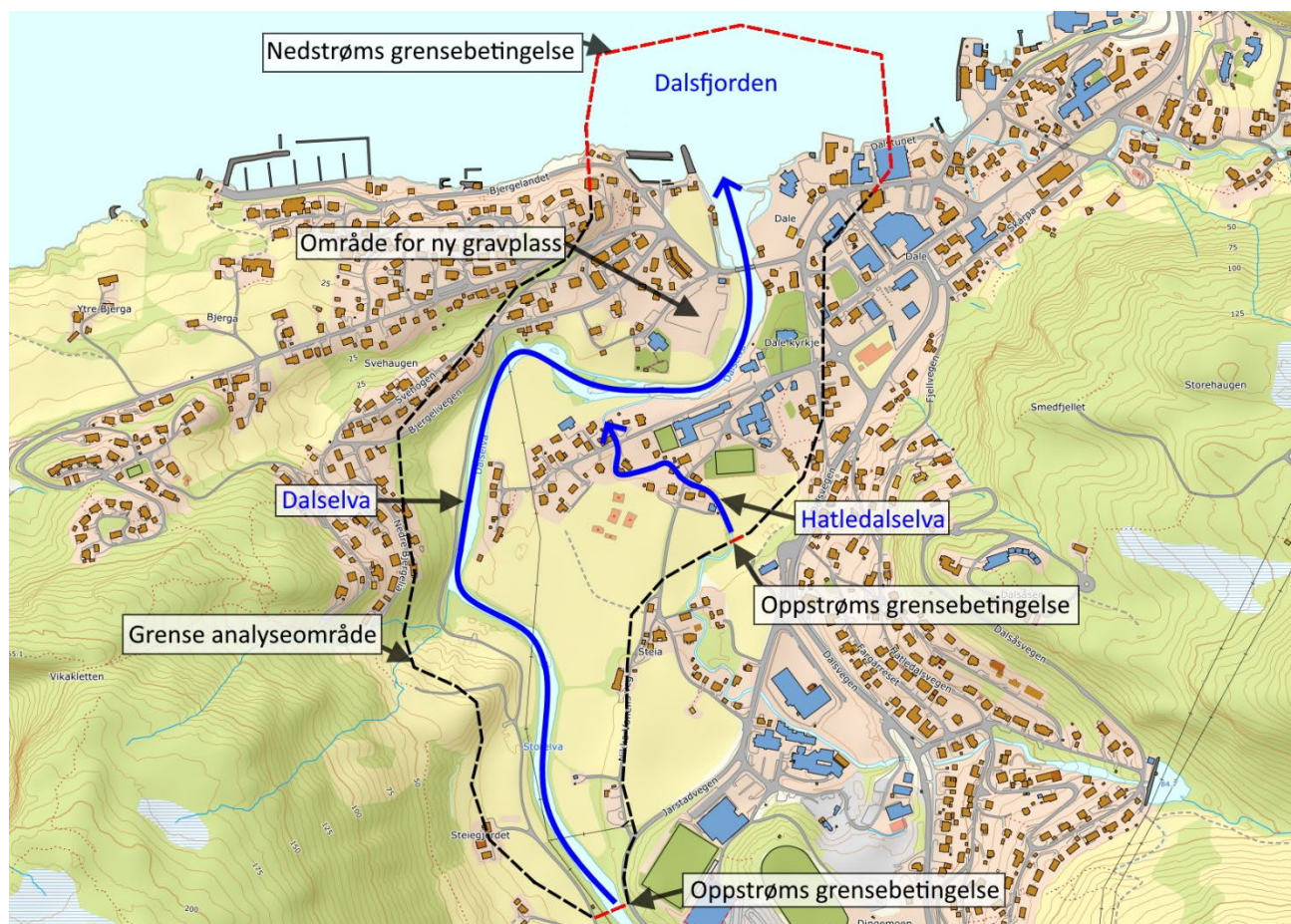
3 Hydraulisk modell

3.1 Modelloppsett

Den hydrauliske modellen er satt opp i programmet HEC-RAS (ver. 6.2), som en "2D-modell". 2D-modellen beregner vannstander og hastigheter i et nett av beregningsceller, med utgangspunkt i en underliggende terrengmodell. Terrenggrunnlaget for modellen er oppsummert i avsnitt 2.3.

Som ruhet/Mannings er det benyttet $n(M)=0,035(29)$ for elva, $n(M)=0,1(10)$ for områder dekket av skog, $n(M)=0,02(50)$ for veger, og $n(M)=0,035(29)$ for åpne områder dekket av jordbruksareal, gress etc. Beregningscellene er lagt med celledimensjon 2×2 m, samt supplert med bruddlinjer under/ved bruer og i viktige høybrekk og veger, for å fange opp den underliggende geometrien best mulig. Det er også, for ordens skyld, lagt inn en kulvertkryssing for Hatledalselva der denne krysser Jacob Sandes veg i modellen (like før utløpet i Dalselva). Dette er dog av mindre betydning for vannføringene og vannstandene i Dalselva som skal betraktes.

I simuleringene er det benyttet SWE-ELM ligningssett, med tidskritt 0,4 sekund, som gir courant nr. i tråd med anbefalingene i HEC-RAS sin hydrauliske dokumentasjon (anbefalt ≤ 1 , maksimalt < 3). Simuleringene er kjørt over lang tid, slik at en stasjonær situasjon, med uendrede vannstander, hastigheter og vannføringer vises i resultatene.



Figur 6 Oversiktsskisse, analyseområde

3.2 Grensebetingelser

I simuleringene er vannføring lagt inn som oppstrøms grensebetingelse i Dalselva og Hatledalselva, som er et mindre sidevassdrag som renner ut i Dalselva like oppstrøms området der ny gravplass planlegges. Den totale vannføringen ved ulike flommer (som angitt i avsnitt 2.1) er fordelt på disse to vassdragene «inn i» den hydrauliske modellen. Fordelingen av vannføringene er, litt grovt, basert på en arealskalering med utgangspunkt i nedbørfeltene, som gir ca. 96% av total vannføring i Dalselva, og ca. 4% av total vannføring i Hatledalselva. Grensebetingelsene er lagt hhv. ca. 1,5 km (Dalselva) og 0,7 km (Hatledalselva) oppstrøms brua ved utløpet i fjorden.

Som nedstrøms grensebetingelse er det benyttet havnivåer som oppgitt i avsnitt 2.2, om lag 350 m nedstrøms brua ved utløpet av Dalselva. En oversiktsskisse som viser analyseområdet er presentert i Figur 6.

3.3 Kalibrering

For å kalibrere den hydrauliske modellen, kreves samhørende målinger av vannstander og vannføringer i elva. Ofte finnes ikke slike data, noe som også er tilfelle for Dalselva. Elvas ruhet/Manningstall er derfor basert på erfaringstall/normale verdier. I simuleringene er det i dette tilfellet et viktig premiss å vise *endringen* fra dagens situasjon til en fremtidig situasjon med ny gravplass. Disse endringene vil være mindre sensitive for valg av Manningstall (da valg av større eller mindre ruhet vil gjelde for både dagens og ny situasjon).

4 Resultater

Med utgangspunkt i terrengmodeller, flomvannføringer og havnivåer som beskrevet innledningsvis, er det utført simuleringer for følgende scenarier (40 % klimatillegg er inkludert):

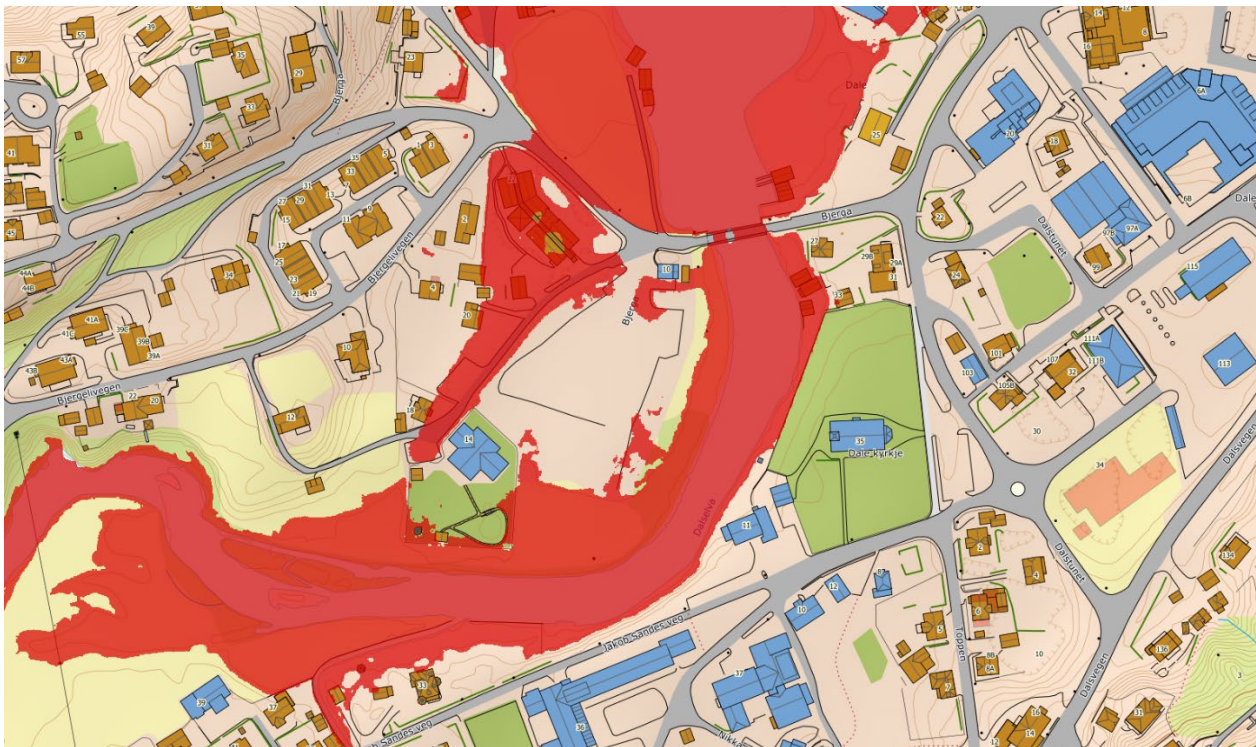
- 20-årsflom i elva og 1-års høyvann/stormflo i fjorden
- 200-årsflom i elva og 1-års høyvann/stormflo i fjorden

Det er også utført kontrollberegninger av middelflom i elva med 200-års stormflo i fjorden. Simuleringene viser lavere vannstander enn ved 200-årsflom i elva og 1-års stormflo i fjorden. Vannstandene er tilnærmet på nivå med en 20-årsflom på flomsletta, men noe høyere enn 20-årsflommen i hovedløpet ved utløpet (opp mot ca. 40 cm høyere). Den høyere vannstanden som skapes av høyere vannstand i fjorden avtar gradvis til om lag 150 m oppstrøms brua ved utløpet, der vannstandene ved middelflom og 200-års høyvann omtrentlig sammenfaller med 20-årsflommen. Videre oppstrøms gir 20-årsflommen høyere vannstand.

Større flommer i elva med mer moderate nivåer for høyvann/stormflo i fjorden er derfor lagt til grunn som dimensjonerende, og benyttes i videre presentasjon av resultatene. Det er i tillegg gjort en enkel GIS-analyse for å undersøke vanndekte arealer ved 200-års høyvann/stormflo alene.

4.1 200-års høyvann/stormflo i fjorden

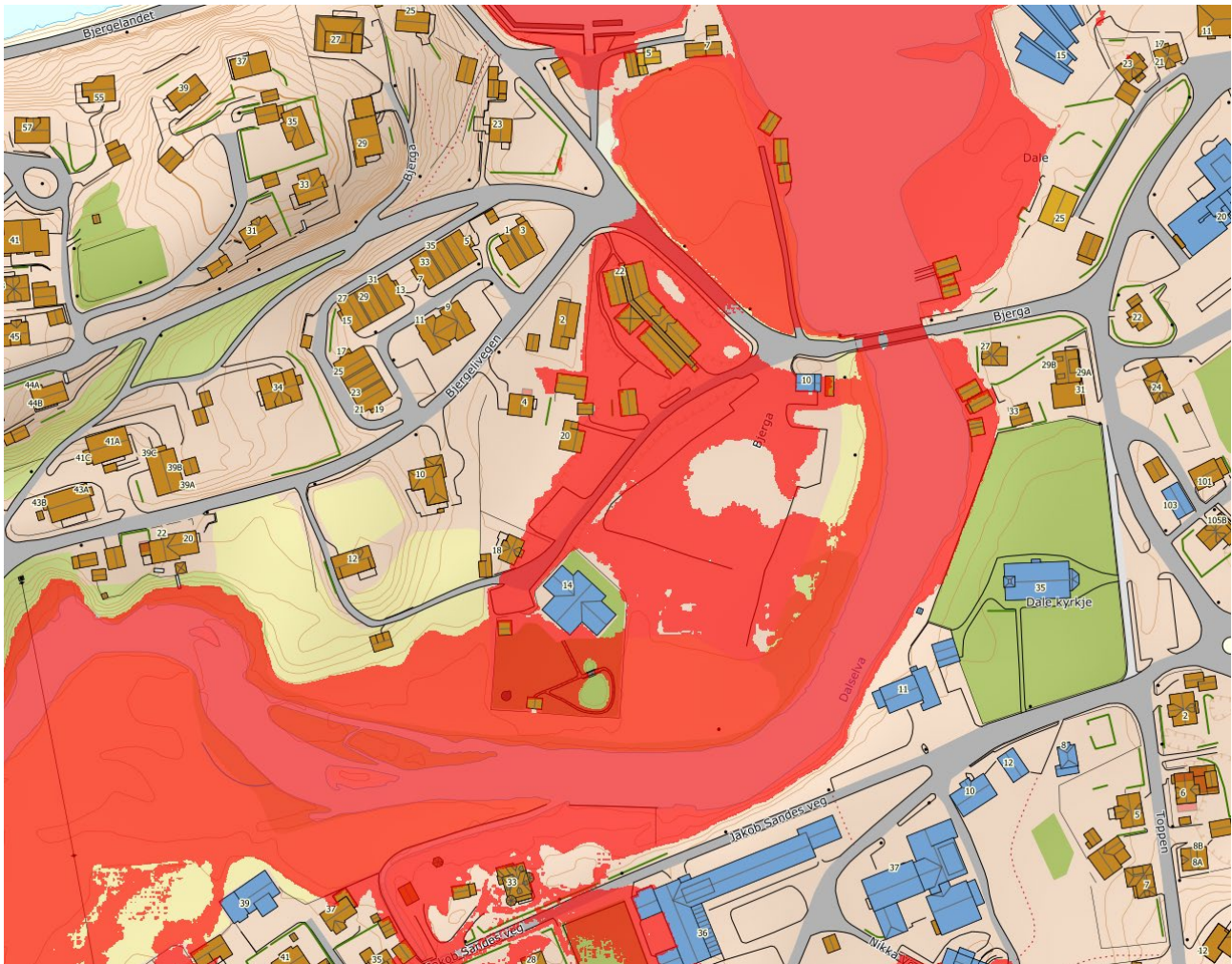
Ved 200-års høyvann/stormflo (uten vannføring i elva) på kt. 2,21 m.o.h. viser terrenganalysen av dagens terreng at flere bygg på vestre side av elva blir berørt av vannstanden, og at veien langs fjorden står under vann. Situasjonen er tilnærmet den samme med nytt terreng.



Figur 7 GIS-analyse terrengnivå, rød markering viser områder som ligger lavere enn nivå 200-års høyvann/stormflo på kt. 2,21 m.o.h. (Sikkerhetsklasse 2 i TEK10/17, med klimapåslag)

4.2 Dagens situasjon

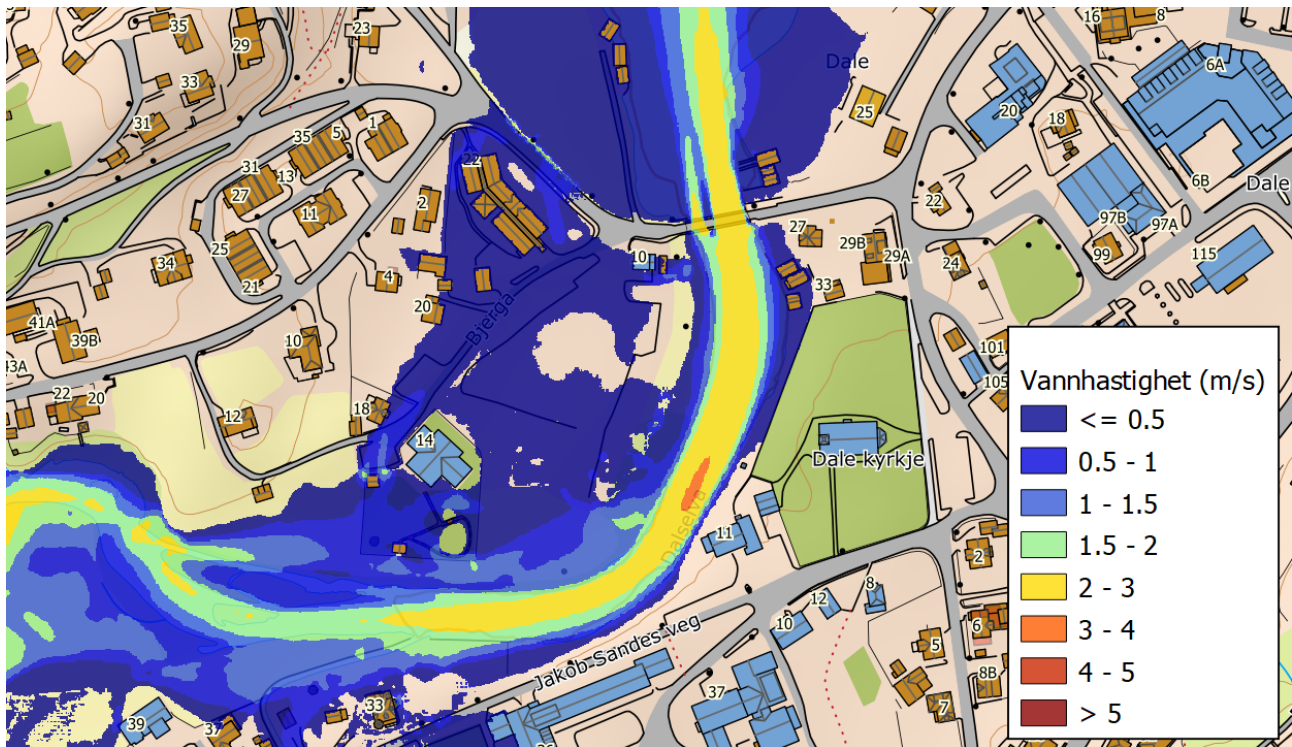
4.2.1 20-årsflom i elva og 1-års høyvann/stormflo i fjorden



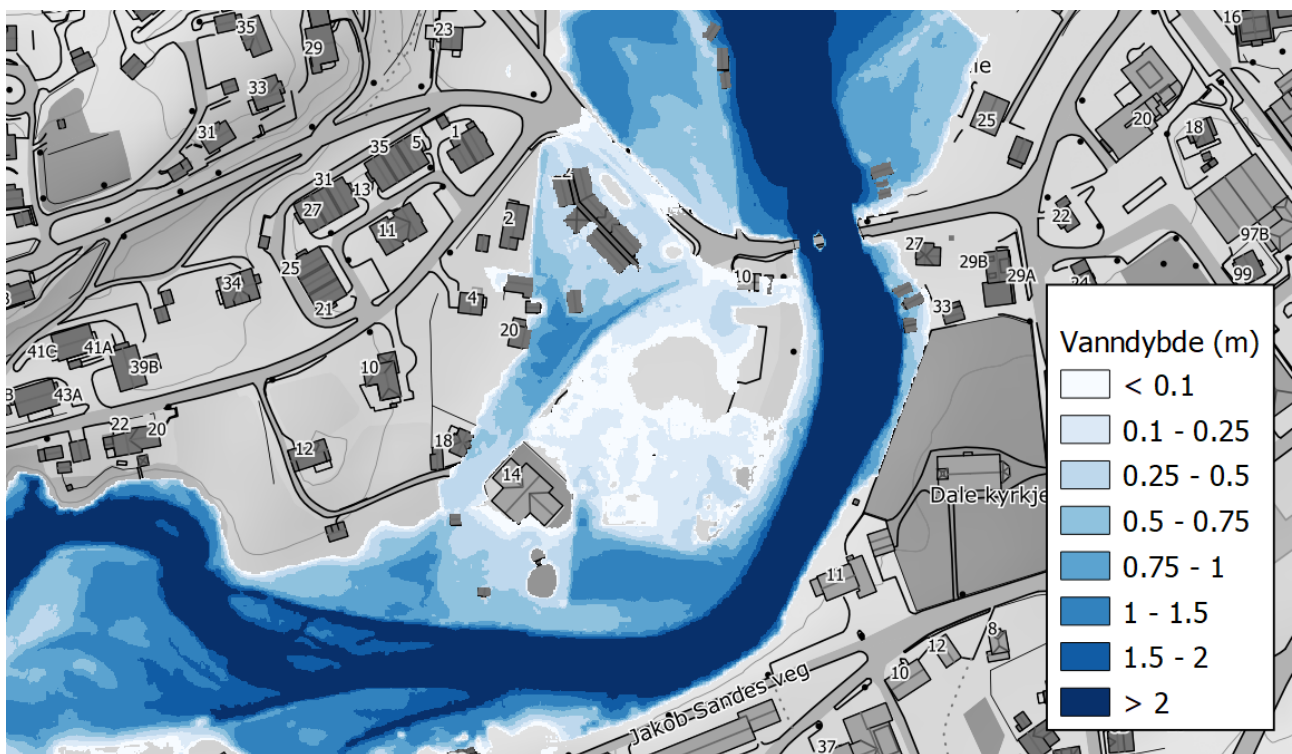
Figur 8 Flomutbredelse 20-årsflom, dagens situasjon

Med 20-årsflom i elva ($169 \text{ m}^3/\text{s}$) og 1-års stormflo i fjorden (kt. 1,65 m.o.h.) brer flommen seg utover flomsletta på vestre side av elva, som vist i Figur 8. Barnehagen (blått bygg nr. 14 i Figur 8) blir berørt, og omsorgssenteret (brunt bygg nr. 22 i Figur 8) blir berørt, i tillegg til enkelte eneboliger langs vestre kant av flomsletta. Vannet som renner over flomsletta flommer delvis tilbake i elva, og delvis over veien langs fjorden ved omsorgssenteret. Ved utløpet i fjorden går om lag $3,5\text{--}4 \text{ m}^3/\text{s}$ over veien og ca. $165 \text{ m}^3/\text{s}$ i elva ved brua.

Vannhastighetene ligger på om lag $0,5\text{--}1,5 \text{ m/s}$ på flomsletta sør for barnehagen, $< 0,5 \text{ m/s}$ nord for barnehagen, og mellom ca. $2\text{--}3 \text{ m/s}$ ute i elvas hovedløp. Vanndybden på flomsletta varierer fra 0 til om lag $1,5 \text{ m}$ på det dypeste. Dybder og hastigheter ved 20-årsflom er vist i Figur 9 og Figur 10.



Figur 9 Vannhastigheter ved 20-årsflom, dagens situasjon



Figur 10 Vanddybder ved 20-årsflom, dagens situasjon

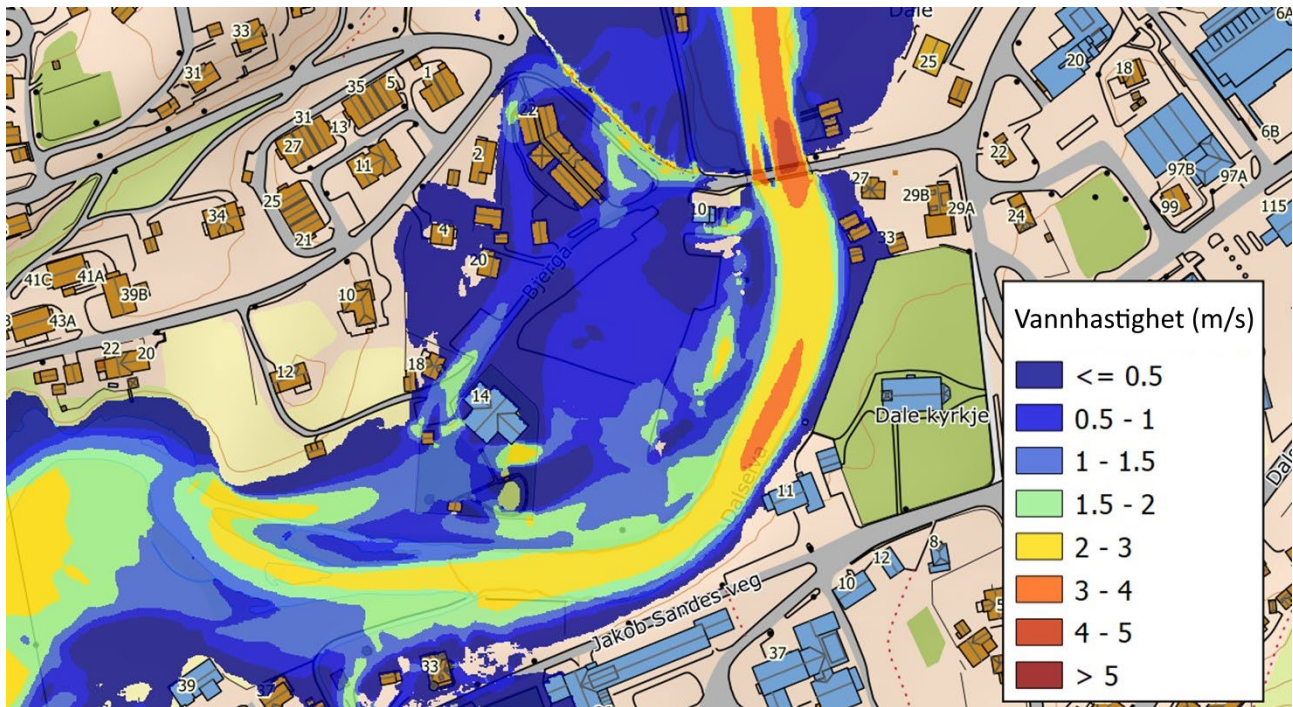
4.2.2 200-årsflom i elva og 1-års høyvann/stormflo i fjorden



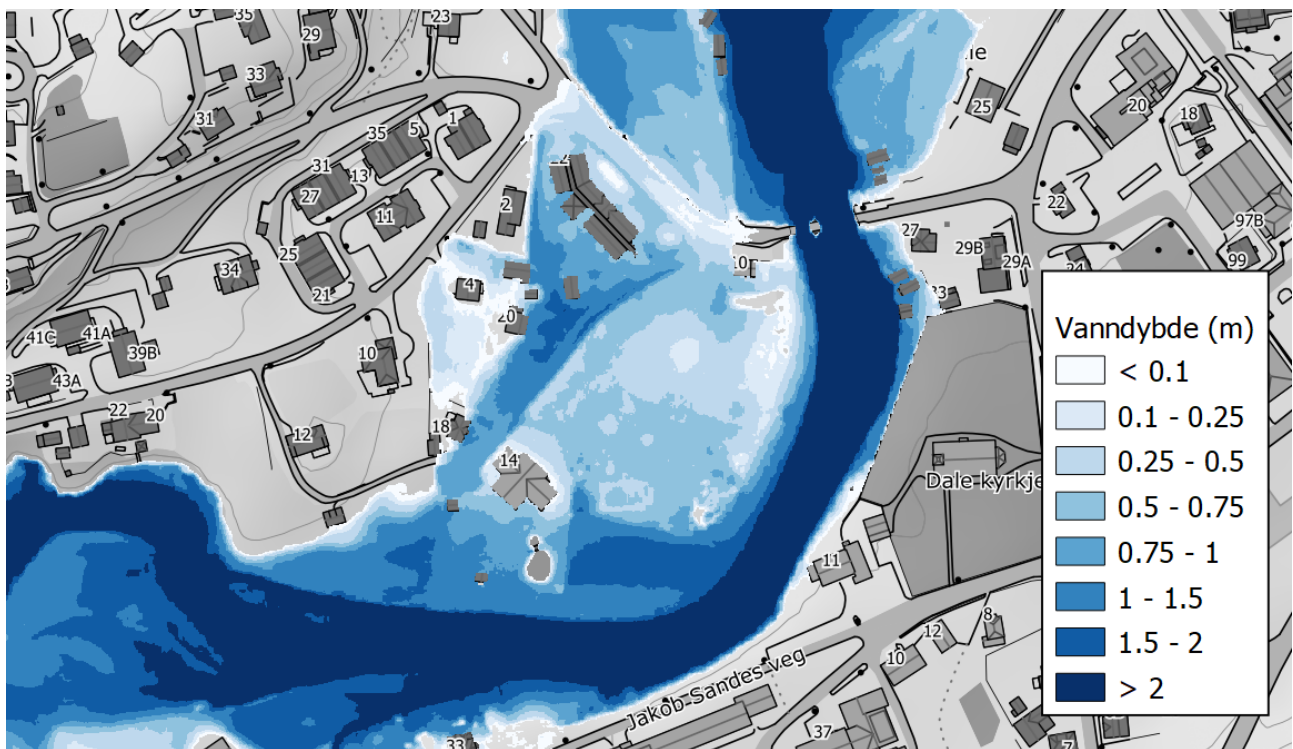
Figur 11 Flomutbredelse 200-årsflom, dagens situasjon

Med 200-årsflom i elva ($276 \text{ m}^3/\text{s}$) og 1-års stormflo i fjorden (kt. 1,65 m.o.h.) brer flommen seg utover flomsletta på vestre side av elva, som vist i Figur 11. I tillegg til byggene som allerede ble berørt ved 20-årsflommen, viser simuleringen med 200-årsflom en større utbredelse vestover, slik at flere bygg blir berørt. Arealet der ny gravplass planlegges, oversvømmes i dagens situasjon ved 200-årsflom. Ved utløpet i fjorden går om lag $251\text{--}252 \text{ m}^3/\text{s}$ i elva ved brua og ca. $24\text{--}25 \text{ m}^3/\text{s}$ renner over veien ved omsorgssenteret.

Vannhastighetene ligger på opp mot ca. 1,5-2 m/s på flomsletta sør for barnehagen, ca. 0,5 -1 m/s nord for barnehagen (noe høyere langs vestsiden av barnehagen og der vannet flommer ned igjen til elvas hovedløp), og mellom om lag 2,5-3,5 m/s ute i elvas hovedløp. Vanndybden på flomsletta varierer fra 0 til om lag 2 m på det dypeste. Dybder og hastigheter ved 200-årsflom er vist i Figur 12 og Figur 13.



Figur 12 Vannhastigheter ved 200-årsflom, dagens situasjon



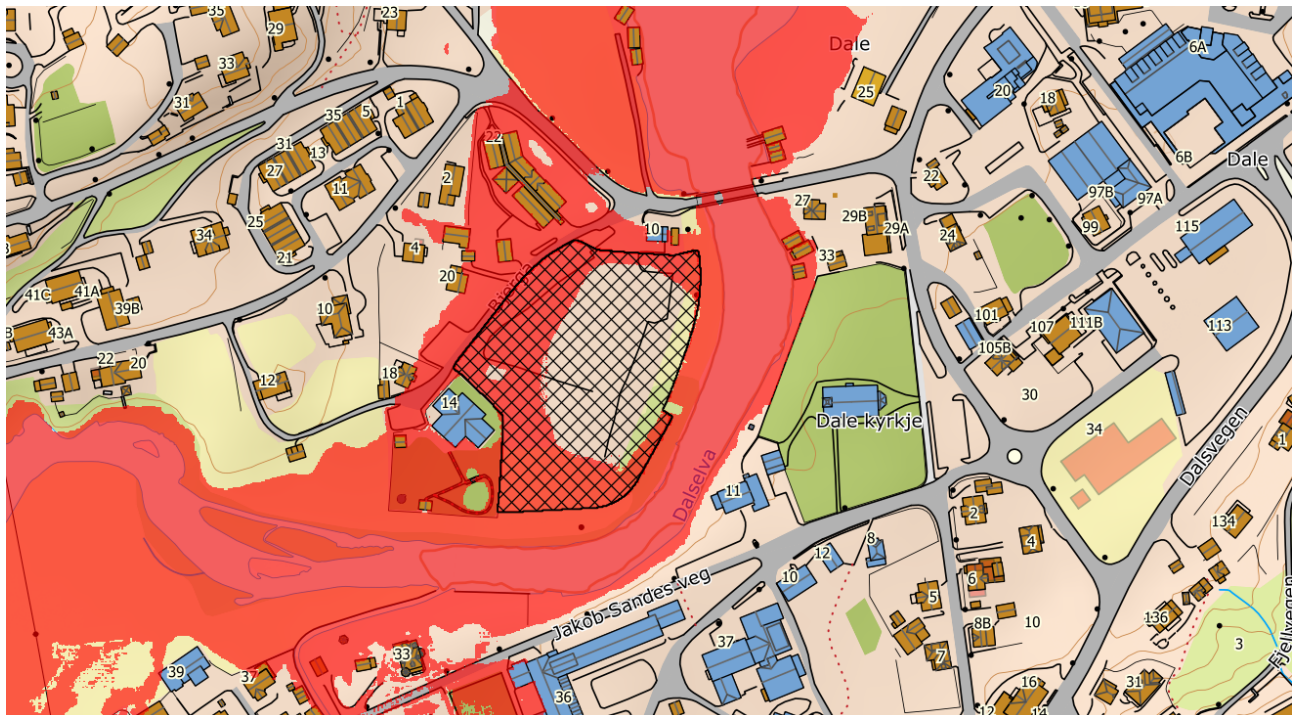
Figur 13 Vanndybder ved 200-årsflom, dagens situasjon

4.3 Situasjon med ny gravplass, og endringer sammenlignet med dagens situasjon

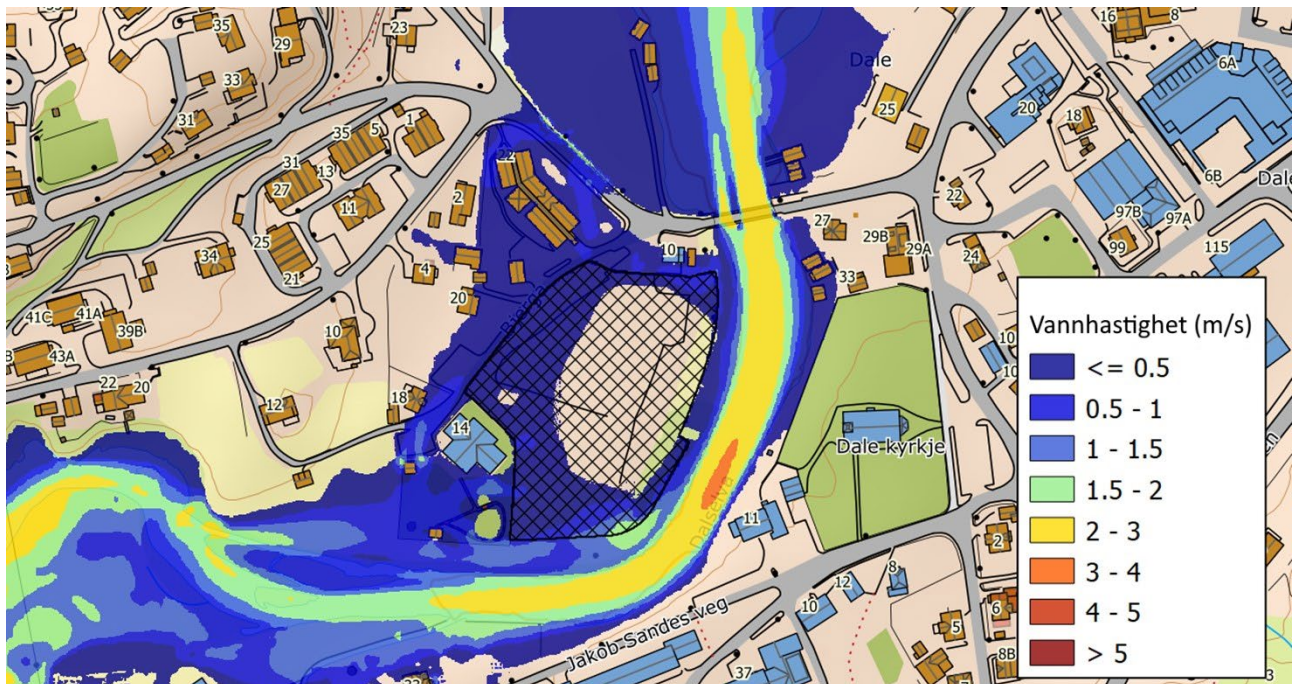
4.3.1 20-årsflom i elva og 1-års høyvann/stormflo i fjorden

Simuleringene av 20-årsflom der terrenget er endret for ny gravplass og nye brukar, gir en vannstandsøkning på ca. ± 3 cm på flomsletta på vestre side av elva. I sør-vestre hjørne av gravplassen, der dagens lavpunkt er tenkt gjenfylt vises en økning i vannstanden lokalt på ca. 5 cm. Vannhastighetene er tilnærmet like i dagens og ny situasjon på flomsletta. Ved sør-østre hjørne av gravplassen øker vannhastigheten med opp mot 0,5-0,75 m/s, og ut i elvas hovedløp er maksimal hastighetsøkning på ca. 0,25 m/s.

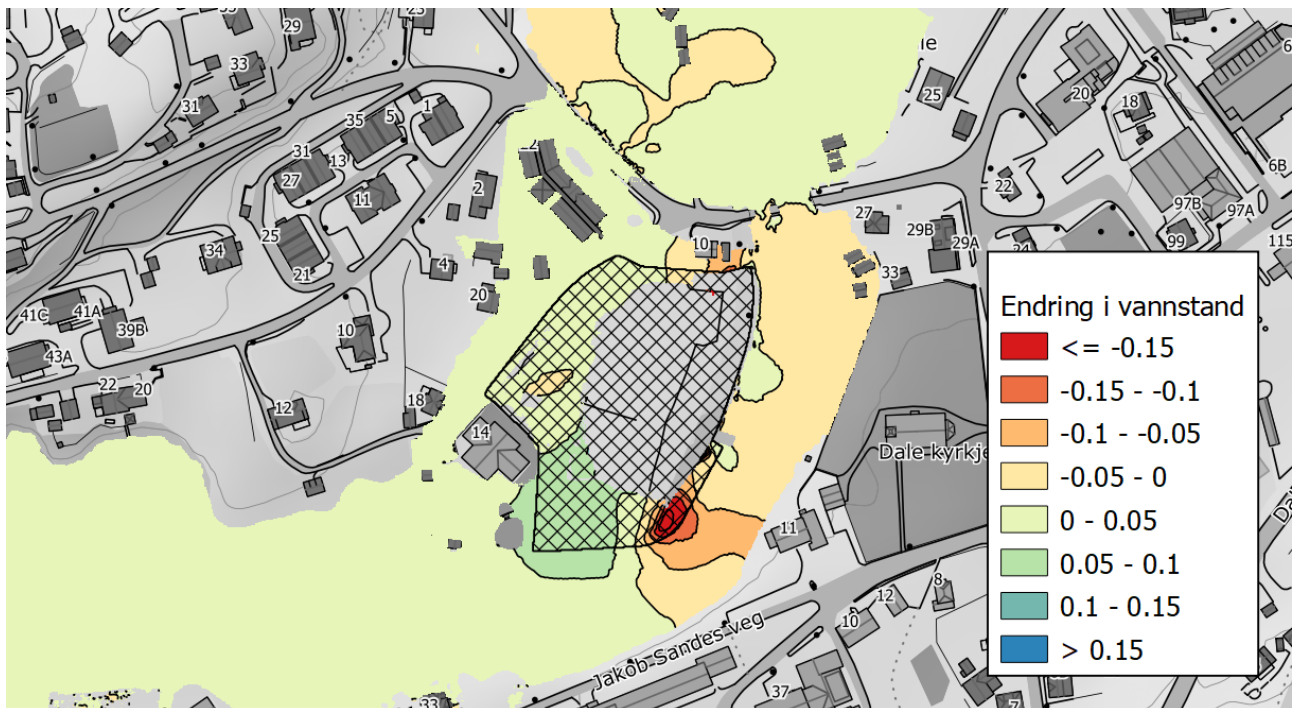
Fordeling av vannføring ved utløpet i fjorden er tilnærmet like, ca. 165 m³/s går i elva ved brua, ca. 4 m³/s renner over veien ved omsorgssenteret. Figur 14 til Figur 17 viser flomutbredelse og vannhastigheter etter etablering av planlagt gravplass, og endringer i vannstand og hastigheter mellom planlagt situasjon og dagens situasjon.



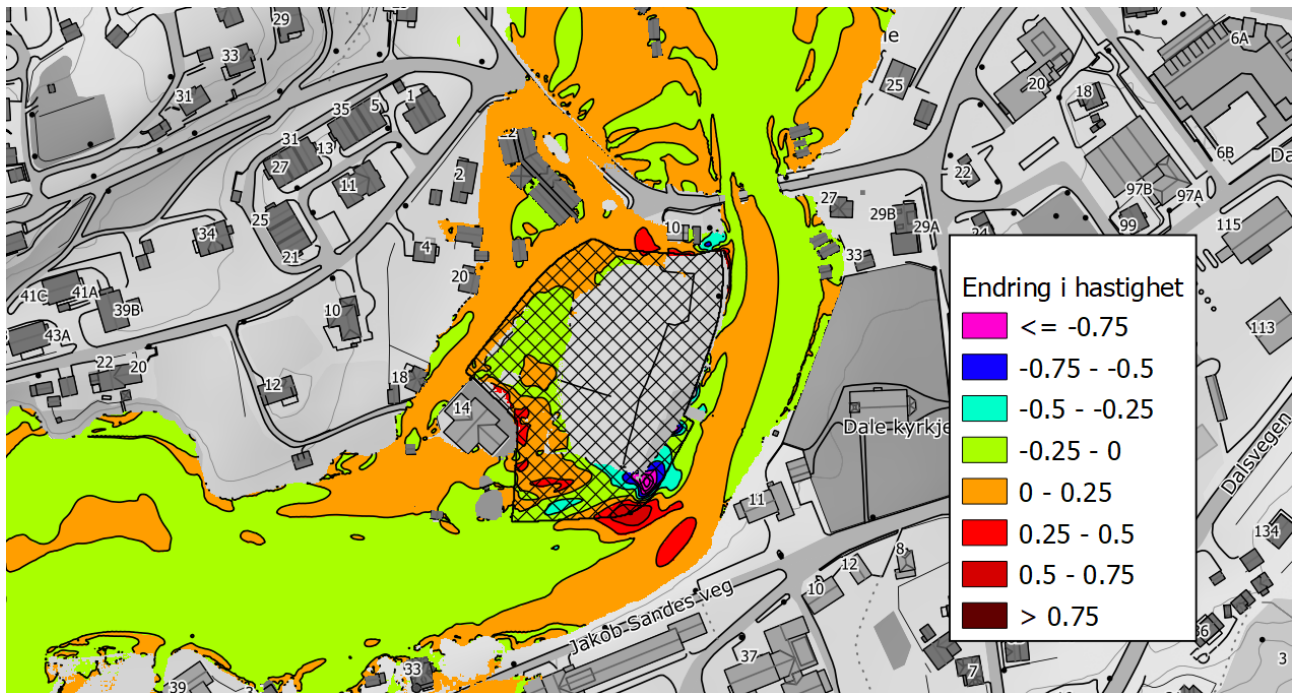
Figur 14 Flomutbredelse 20-årsflom, ny situasjon med gravplass. Sort skravur markerer området der ny gravplass planlegges.



Figur 15 Vannhastigheter ved 20-årsflom, ny situasjon med gravplass. Sort skravur markerer området der ny gravplass planlegges.

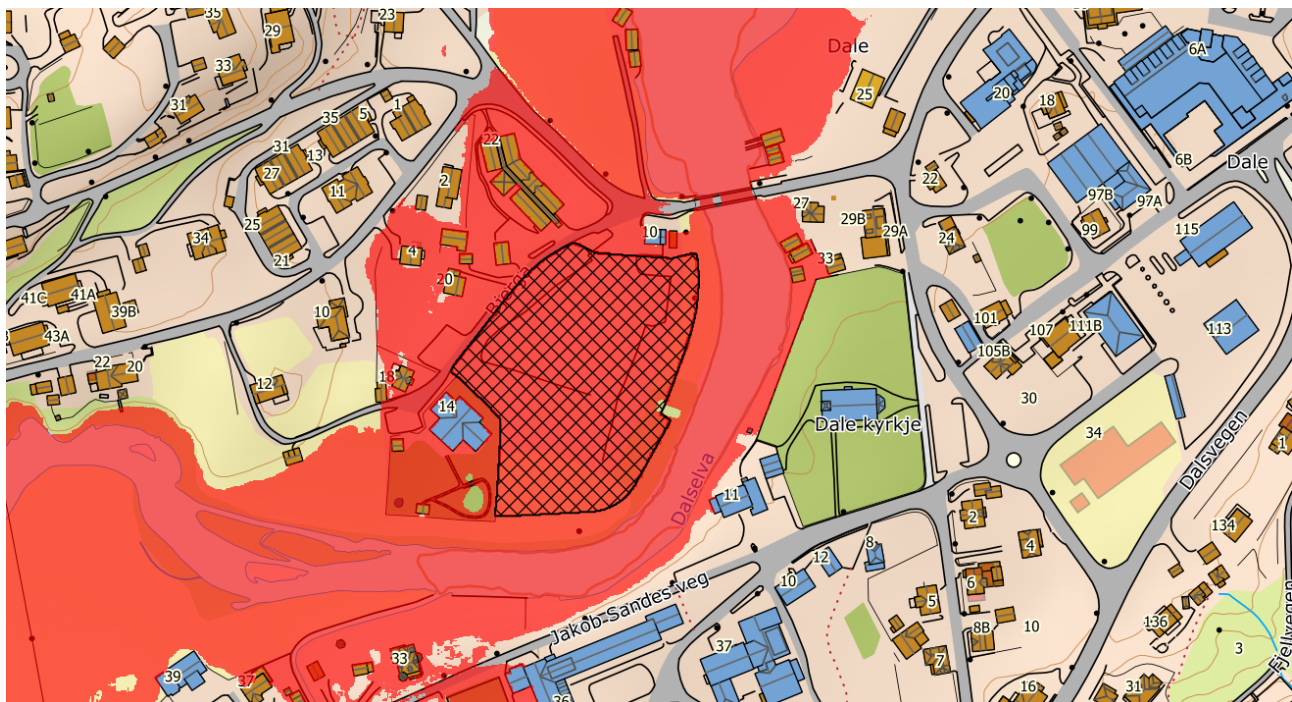


Figur 16 Endring i vannstand/vanndybde ved 20-årsflom, ny situasjon vs dagens situasjon



Figur 17 **Endring** i vannhastighet ved 20-årsflom, ny situasjon vs dagens situasjon

4.3.2 200-årsflom i elva og 1-års høyvann/stormflo i fjorden

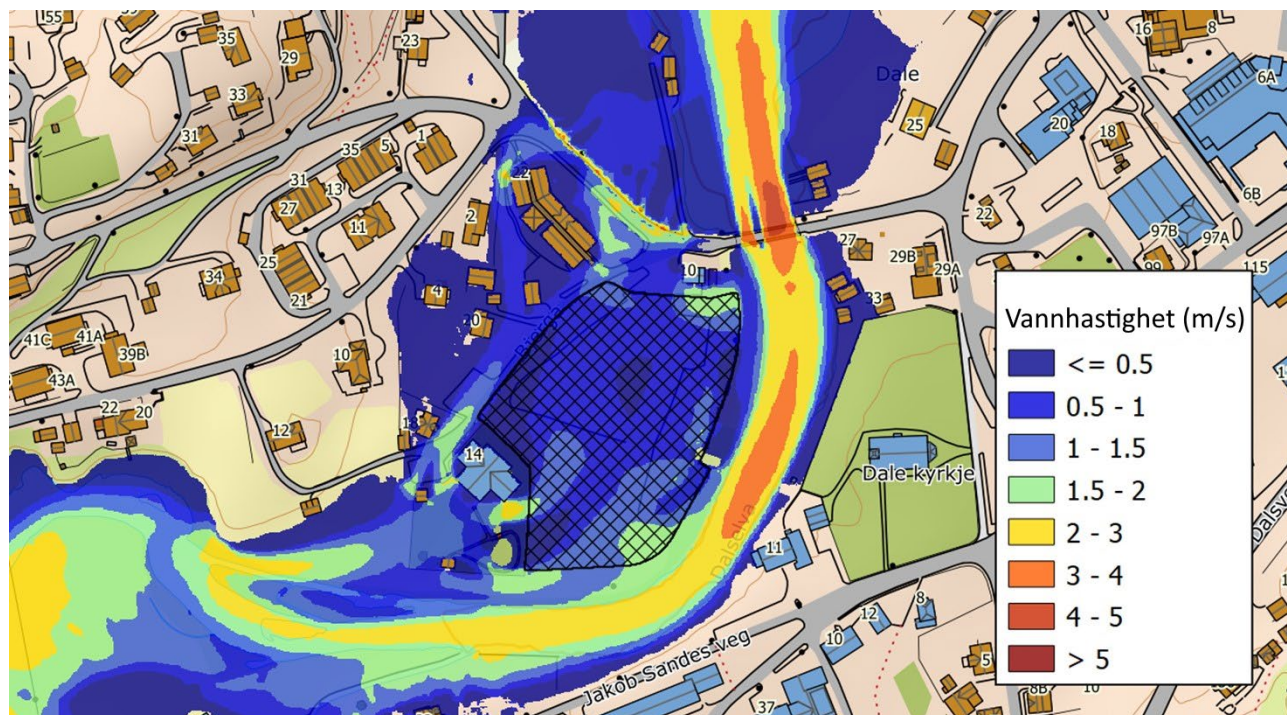


Figur 18 Flomutbredelse 200-årsflom, ny situasjon med gravplass. Sort skravur markerer området der ny gravplass planlegges.

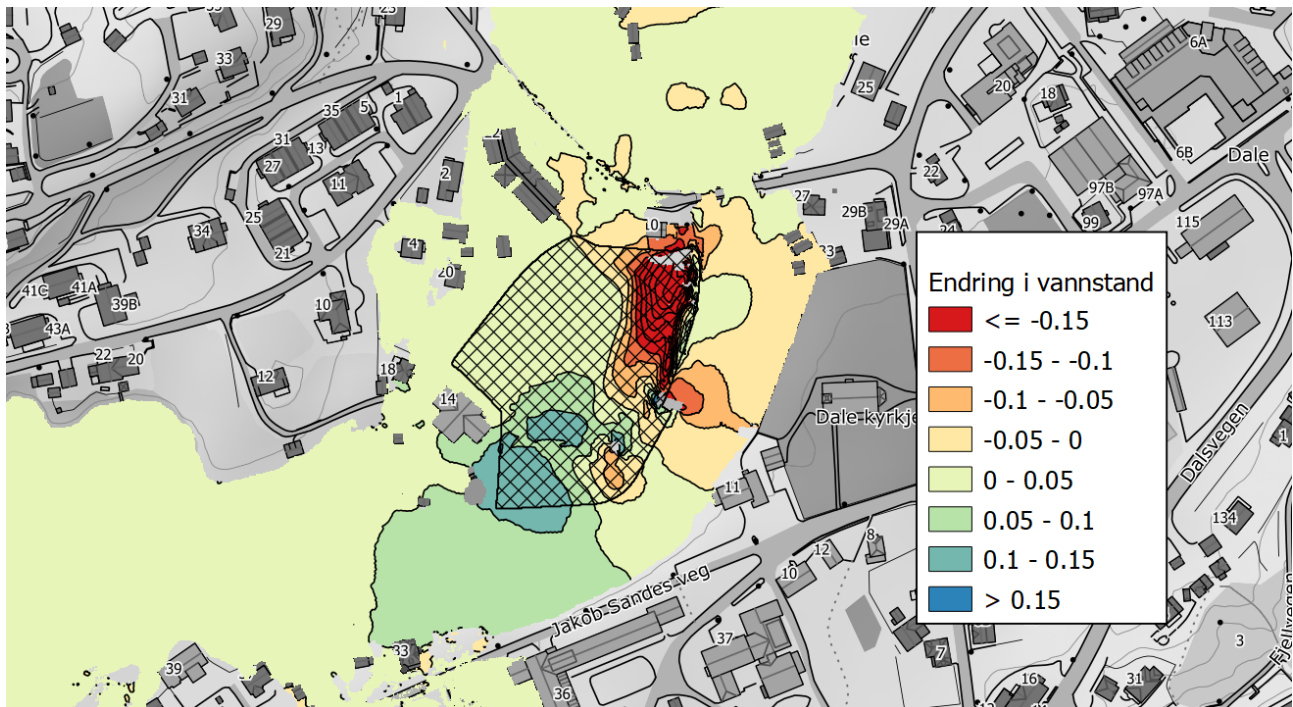
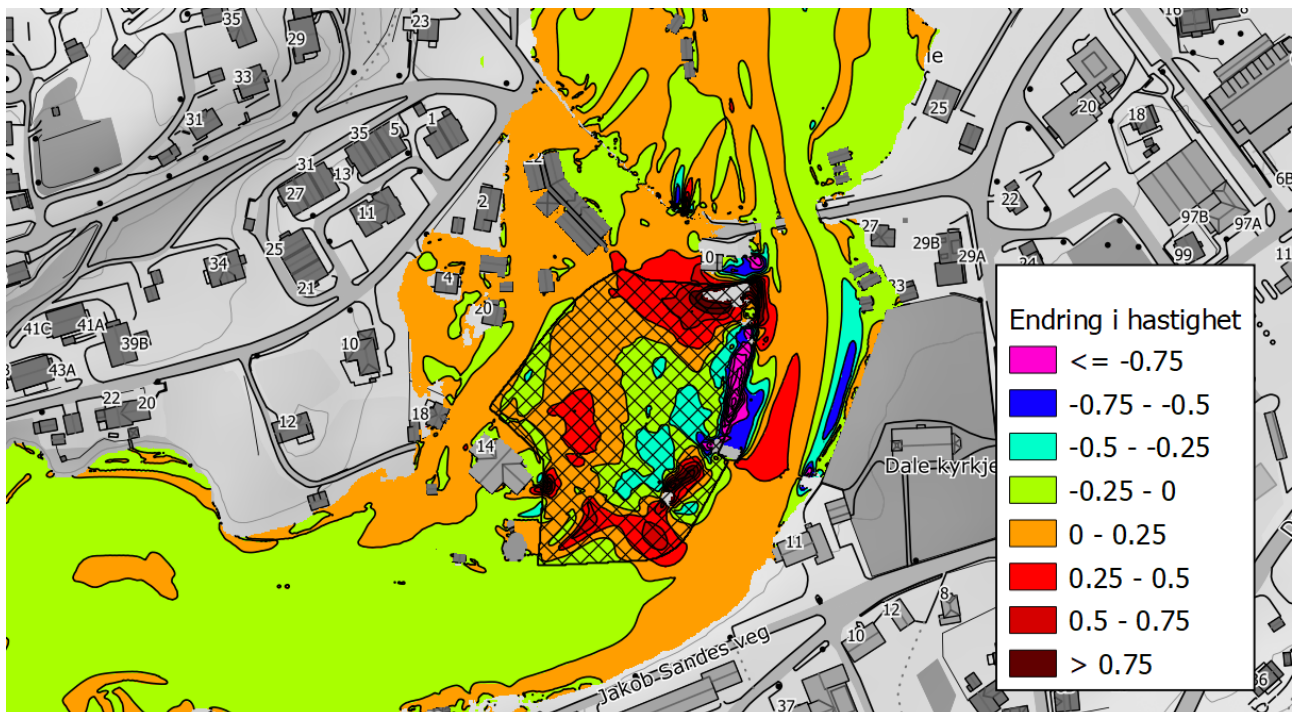
Simuleringene av 200-årsflom der terrenget er endret for ny gravplass og nye brukar, gir en vannstandsøkning på ca. 4-5 cm på flomsletta på vestre side av elva, ved barnehagen og i områdene langs søndre elvebredd der det finnes bebyggelse. Ved barnehagen er dagens vanndyp ved 200-årsflom på om lag 60 cm, og langs søndre elvebredd der det finnes bebyggelse på om lag 1,2-1,4 m. I sør-vestre hjørne av gravplassen, der dagens lavpunkt er tenkt gjenfylt vises en økning lokalt på ca. 10 cm.

Vannhastighetene er tilnærmet like i dagens og ny situasjon på flomsletta. Innenfor området der ny gravplass planlegges endres hastighetene lokalt noe. Enkelte områder viser høyere hastigheter, mens andre områder viser lavere hastigheter. Ute i elvas hovedløp er maksimal hastighetsøkning på ca. 0,3-0,4 m/s lokalt der ny bru er tenkt anlagt, ellers mindre enn ca. 0,2 m/s.

Fordeling av vannføring ved utløpet i fjorden er tilnærmet like som i dag, ca. 251 m³/s går i elva ved brua og ca. 25 m³/s renner over veien ved omsorgssenteret. Figur 14 viser flomutbredelse og vannhastigheter etter etablering av planlagt gravplass, og endringer i vannstand og hastigheter mellom planlagt situasjon og dagens situasjon.



Figur 19 Vannhastigheter ved 200-årsflom, ny situasjon med gravplass. Sort skravur markerer området der ny gravplass planlegges.

Figur 20 **Endring** i vannstand/vanndybde ved 200-årsflom, ny situasjon vs dagens situasjonFigur 21 **Endring** i vannhastighet ved 200-årsflom, ny situasjon vs dagens situasjon

5 Kommentarer

5.1 Generelt

De hydrauliske simuleringene viser at en både i dagens situasjon og en fremtidig situasjon med gravplass på flomsletta, må forvente at områdene oversvømmes ved stor flom i elva. Terrengjusteringene som er lagt inn i den hydrauliske modellen medfører liten endring av dagens flomsituasjon. En forbedrer altså ikke flomforholdene, men gjør heller ikke situasjonen i nevneverdig grad verre. Simuleringene viser at ingen bygg som ikke allerede er berørt i dag, vil bli berørt av flom etter etableringen av ny gravplass.

Simuleringene viser at en ved 20-årsflom oversvømmer deler av gravplassen, men at de høyestliggende arealene ikke vil bli oversvømt. Vannhastighetene på flomsletta og gravplassen er moderate, og det antas at det er liten fare for skader pga. erosjon. Ved større flommer øker både vannføringer, vannstander og vannhastigheter, slik at faren for eventuelle skader er til stede (noe som også er situasjonen i dag). Det antas dog at det vil være mulig å sikre området mot erosjon for å redusere skadepotensial ved de største flommene.

Det planlagte terrenget ved gravplassen viser at gravplassen først blir berørt, i nedre/laveste del, ved en vannføring på ca. 130 m³/s. Områdene der kistegravene er tenkt anlagt (ca. kt. 2,4 m.o.h.) blir berørt ved ca. 150 m³/s, og hele gravplassen står under vann ved ca. 250 m³/s. Et anslag for gjentakintervall for disse vannføringene (basert på vekstkurven i NIFS ligning) er hhv. om lag en 5- til 10-årsflom, 10- til 20-årsflom, og en 100- til 200-årsflom.

5.2 Vannhastigheter og erosjon

Et godt etablert gressdekke oppgis i litteraturen å kunne tåle opp mot 1,2-1,5 m/s i lett eroderbare jordmasser, og opp mot 1,8-2 m/s i erosjonsbestandige jordmasser. Videre anbefales det ikke å benytte gress som erosjonsdekke i skråninger som er brattere enn 10%. I brattere skråninger, eller i områder der vannhastigheten er større enn det et gressdekke vil tåle bør det sikres med stein el. annet dekke som tåler høyere hastigheter.

Eventuelle steinsikringer kan dekkes til med jord og tilsås, ved en eventuell flom vil da jord- og gressdekke kunne bli vasket bort, mens erosjonen stopper ved den underliggende steinsikringen.

Ved å anta at vannhastigheter mindre enn ca. 1 m/s ikke vil gi skader på den planlagte gravplassen (da med forutsetning om at det etableres gressdekke, eller dekke med tilsvarende erosjonsbestandighet), viser de hydrauliske simuleringene at vannhastighetene holder seg lavere enn dette for det meste av gravplassen ved vannføring inntil ca. 190-200 m³/s. Gjentakintervallet for en slik hendelse er (basert på vekstkurven fra NIFS ligningen) i underkant av en 50-årsflom. I områdene ved sør-østre og nord-østre hjørne av den planlagte gravplassen vises høyere hastigheter (opp mot 2 m/s) for vannføringer mellom ca. 125 m³/s og 276 m³/s. Det samme gjelder områdene på hver side av barnehagen. Disse områdene bør sikres mer omhyggelig.

Ved detaljprosjektering av eventuelle sikringstiltak bør hele gravplassen vurderes helhetlig, da sårbare punkt og begynnende erosjon kan forplante seg til et større område (eksempelvis dersom gressdekket undergraves/rives bort, og underliggende masser som er lettere å erodere eksponeres).

Den største vannhastigheten som vises i simuleringene på flomsletta er like i overkant av 2 m/s, lokalt ved barnehagen. I det øvrige er vannhastighetene stort sett lavere enn 1,5 m/s. De maksimale hastighetene oppnås ved 200-årsflom i vassdraget. Flommer med lavere gjentakintervall gir lavere hastigheter. Vannhastighetene er av en slik størrelse at en må kunne forvente noe skader ved de største flommene,

samtidig ligger flomsletta i elvas innerkurve, og vegen ved fjorden «demmer opp» flomsletta, slik at strømmingen er «underkritisk» på store deler av flomsletta for alle simulerte vannføringer.

5.3 Nivå for ny bru

Den planlagte brua er modellert med 30 m lysåpning. Dette gir vannstander ved 200-årsflom på ca. 2,58 m.o.h. under/like oppstrøms brua. Vannstanden ved 200-års stormflo i fjorden og middelflom i elva ligger lavere enn dette ved brua. Ved etablering av bruer legges det normalt på minst 0,5 m fribord/sikkerhetsmargin over høyeste beregnede vannstand ved dimensjonerende flom.

5.4 Nivå for utstyrslager/driftsbygg

Ved gravplassen skal det etableres et driftsbygg/utstyrslager som ikke er tenkt å ha personopphold over tid. Det forutsettes derfor sikkerhetsklasse F1 (20-årsflom) som dimensjonerende for bygget iht. TEK17. Sikkerhetskravet i TEK17 er for dette bygget tenkt oppnådd ved å heve grunnen lokalt der bygget er tenkt plassert til et nivå som ligger høyere enn flomvannstanden. De hydrauliske simuleringene viser høyeste vannstand på kt. 2,49 m.o.h. der bygget er foreslått plassert. Nytt driftsbygg, og terrengnivået under bygget må ligge høyere enn dette, det legges også normalt til et fribord/sikkerhetsmargin slik at en har noe å gå på med tanke på usikkerheter i vannstandene ved flom.

Eventuelt kan bygget konstrueres slik at det tåler oversvømmelser, og dermed ikke fører til fare for mennesker eller større materielle skader. Om bygget konstrueres for å tåle oversvømmelser kan det plasseres lavere i terrenget enn angitt over.

5.5 Usikkerheter og sensitivitet

Det vil alltid være usikkerheter knyttet til beregning av flomvannføringer og flomvannstander. Registrering av vannføringsdata og nedbørdata ved målestasjonene innehar en usikkerhet, og disse dataene benyttes også som grunnlag for å estimere resultater for andre steder enn der målingene er utført. Hydrauliske modeller vil også alltid være beheftet med usikkerhet. Selv om usikkerheten normalt er mindre i de hydrauliske analysene (beregning av vannstander og vannhastigheter) enn i de hydrologiske (beregning av flomvannføringen), vil det også være usikkerhet knyttet til resultatene fra hydrauliske simuleringer. Ved kalibrering av hydrauliske modeller mot målte samhoørende verdier av vannføring og vannstander vil en kunne redusere usikkerhetene, men slike data har vi ikke hatt tilgang til ved Dale.

Det er dog i hovedsak gjort vurderinger knyttet til endringer av flomsituasjonen mellom dagens situasjon og en ny situasjon i området som betraktes. Endringen mellom dagens situasjon og en ny situasjon forventes å kunne bestemmes med større nøyaktighet, da usikkerhetene knyttet til geometri og ruhet/friksjonsforhold vil være de samme i begge tilfeller.

Det er utført kontroll av hvor sensitive resultatene er med tanke på vannstanden i fjorden. Ved 200-årsflom er det utført en kontroll der vannstanden i fjorden er senket til kote 0. Ved å senke vannstanden i fjorden er vannstandene tilnærmet uendret på flomsletta (ca. 0-3 cm lavere). Den nedre delen av hovedløpet har en jevnt synkende differanse i vannstand (sammenlignet med scenariet med 1-års stormflo i fjorden) fra utløpet ved brua, der vannstanden er om lag 30-35 cm lavere og om lag 150-200 m oppstrøms der vannstandene er omtrent de samme (< 4-5 cm differanse). Ved å øke vannstanden i fjorden med 20 cm (til kt. 1,85 m.o.h.) gir 200-årsflommen mindre enn ca. 2 cm vannstandsøkning på flomsletta sammenlignet med 1-års stormflo i fjorden. Simuleringen viser en gradvis synkende differanse fra ca. 15 cm økning ved brua ved utløpet i fjorden til mindre enn 4-5 cm differanse om lag 130-140 m oppstrøms brua ved utløpet i fjorden. Ved 20-årsflommen er differansene noe høyere (om lag 5-6 cm på flomsletta, og ca. 20 cm ved utløpet)

Brua ved utløpet antas basert på laserdata og oppmåling å ha en underkant på ca. kt. 1,9 m.o.h. Dette er også vannstanden vi får ved brua. Det er således usikkert om brua blir berørt eller ikke. I de hydrauliske simuleringene er antatt fri strømming under brua. En eventuell oppstuvning fra brua vil kunne påvirke resulterende vannstander. Som sensitivitetsanalysen for økt vannstand i fjorden viser, vil en økt vannstand ved brua ha en viss påvirkning et stykke oppover i hovedløpet, mens effekten er mindre på flomsletta.

Videre forutsetter de hydrauliske simuleringene at terrenget ikke endrer form som resultat av tilstoppinger, erosjon, massetransport, ras/utglidinger osv. Ved flom er dette ofte ikke tilfelle, og ved slike prosesser kan flommen danne nye flomveier som ikke på enkel måte lar seg fange opp i de hydrauliske simuleringene.

Det er i forbindelse med denne rapporten knyttet enkelte kommentarer til erosjon og erosjonshastigheter i forbindelse med flomsletta og ny gravplass. Øvrige forhold vedrørende erosjon og massetransport, ras/utglidninger, tilstoppinger, evt. isproblematikk etc. er ikke blitt vurdert i denne rapporten.