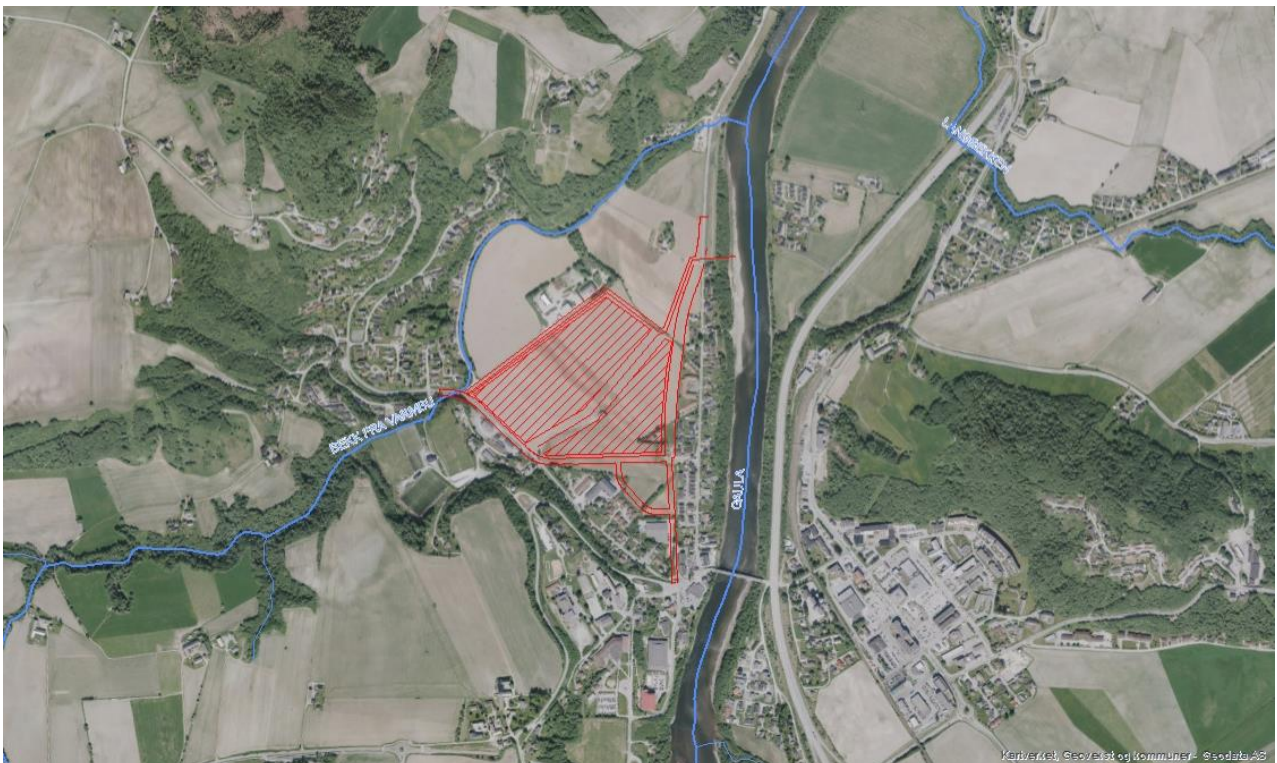


Beregnet til
TOBB

Dokument type
Rapport

Dato
Februar, 2018

FLOMVURDERING GIMSØYA MELHUS KOMMUNE



FLOMVURDERING MELHUS KOMMUNE

Revisjon **0**
Dato **02/02/2018**
Utført av **LASK**
Kontrollert av **SBSNOR**
Godkjent av
Beskrivelse **Vurdering av flomfare for planområde på Gimsøya,
Melhus kommune knyttet til Varmbubekken**

INNHOLDSFORTEGNELSE

1.	INNLEDNING	1
2.	MÅL OG METODE	1
2.1	Målsetting	1
2.2	Metode	1
3.	PLANOMRÅDET OG FLOMFARE	2
3.1	Planområde	2
3.2	Flomfare	3
3.2.1	Flomsonekart basert på 200-års flom i Gaula	5
4.	FLOMFREKVENSANALYSE OG DIMENSJONERENDE FLOM	7
4.1	Nedbørfelt	7
4.2	Flomfrekvensanalyse	8
4.2.1	Nasjonalt formelverk for små nedbørfelt	9
4.2.2	Flomverdi basert på nærliggende målestasjoner	9
4.2.3	PQRUT	13
4.2.4	Den rasjonelle formelen	13
4.2.5	Oppsummering av flomfrekvensanalyse	14
4.2.6	Valg av dimensjonerende flom og flomverdier for ulike gjentaksintervaller	14
5.	HYDRAULISKE BEREGNINGER	16
5.1	Topografiske data	16
5.2	Modelloppbygging, forutsetninger og grensebetingelser	16
5.3	Vannlinjeberegninger for eksisterende situasjon	18
5.4	Flomsonekart for eksisterende situasjon	20
5.5	Flomsonekart ved tiltenkt utbygging basert på flom i Gaula	22
6.	AVBØTENDE TILTAK	24
6.1	Tiltak og vannlinjeberegninger	24
6.2	Dimensjoner på nye tverrprofil over veier	24
6.2.1	Varmbuvegen	24
6.2.1.1	Alternativ 1: Platebru	24
6.2.1.2	Alternativ 2: Bokskulvert	25
6.2.2	Statsråd Nissens veg	25
6.2.2.1	Alternativ 1: Platebru	26
6.2.2.2	Alternativ 2: Bokskulvert	26
6.3	Vannlinjeberegning ved alternativ 1: platebru	27
6.4	Vannlinjeberegning ved alternativ 2: nye kulverter	30
6.5	Flomsonekart for tiltakssituasjon	32
7.	USIKKERHETER	34
8.	SAMMENDRAG OG KONKLUSJON	35
9.	REFERANSER OG KILDER	37

FIGURLISTE

Figur 1 Skissert oversiktskart over planområdet.	2
Figur 2 Nyeste planskisse/terrengmodell av boligområdet på Gimsøya som ble tilgjengelig etter hydraulisk modellering var gjennomført. Kilde: Rune Følstad, TAG Arkitekter.a	3
Figur 3 Temakartet «Aktsomhetskart for flom» fra NVE som viser utbredelse av en 200-års flom i Gaula.	4
Figur 4 Flomsonekart ved en 200-års flom inkludert en klimafaktor, basert på nye beregninger gjort av NVE. Flomsonekartet fra temakartet er lagt som underlag, slik at man ser konturene fra flomutbredelse ved en 200-års flom. .	6
Figur 5 Avrenningskart som viser hovedvannveiene, markert med lys til mørk blåfarge, og nedbørfelt for hele Varmbubekken (rød linje) og oppstrøms kulvert under Varmbuvegen (gul linje, som delvis ligger over den røde linjen).	7
Figur 6 Løsmassekart fra NGU over nedslagsfeltet. Feltet er dominert av tykt dekke av hav- og fjordavsetning. Planområdet ligger på elveavsetninger bestående av grus og sand.	8
Figur 7 Beregning av årsflom (kulminasjonsverdier) for Varmbubekken (oppstrøms kulvert under Varmbuvegen) med ulike gjentaksintervall basert på formler for små nedbørfelt (NVE, 7/2015).	9
Figur 8 Oversiktskart over geografisk plassering av de ulike målestasjonene som er valgt ut i sammenligning med nedbørfeltkarakteristikk for Varmbubekken.	10
Figur 9 Beregnede flomvannføringer for ulike gjentaksintervall basert på formel for små nedbørfelt, basert på årsflomverdi fra flomfrekvensanalyse.	11
Figur 10 Flomforløp beregnet i flommodellen PQRUT for en 200-års nedbørhendelse.	13
Figur 11 Innmålinger av elveløp benyttet til å generere terrengmodellen brukt i de hydrauliske beregningene.	16
Figur 12 Elvemodellens utstrekning med modellerte tverrprofil med nummerering (grønne linjer) og senterlinje på elven (blå linje). Skisse av planområde med omlegging av fylkesvei 6606 fra Strandvegen og ny fylkesvei 6604 i Drammens-/Varmbuvegen er vist i gult.	17
Figur 13 Lengdeprofil med vann- og energilinje for 200-års flom inkludert klimapåslag for eksisterende situasjon i Varmbubekken med samtidig årsflom i Gaula. Energilinje er vist med stiplet, grønn linje.	19
Figur 14 Lengdeprofil med vann- og energilinje for normal avrenning for eksisterende situasjon i Varmbubekken med samtidig årsflom i Gaula. Energilinje er vist med stiplet, grønn linje.	19
Figur 15 Lengdeprofil med vann- og energilinje for Varmbubekken ved årsflom, som viser kulvertene under Varmbuvegen (profil 1316 til 1293) og Statsråd Nissens veg (profil 1227 til 1207). Energilinje er vist med stiplet, grønn linje.	20
Figur 16 Lengdeprofil med vann- og energilinje for Varmbubekken ved 5-års flom, som viser kulvertene under Varmbuvegen (profil 1316 til 1293) og Statsråd Nissens veg (profil 1227 til 1207). Energilinje er vist med stiplet, grønn linje.	20
Figur 17 Vannstanden over flomvoll blir feilberegnet i endimensjonale modeller, hvor hele tverrsnittet får samme vannlinje. Her et utklipp fra tverrprofil 1233.653.	21
Figur 18 Flomsonekart ved dimensjonerende flom, 200-års flom inklusiv klimafaktor, i Varmbebekken for eksisterende situasjon.	22
Figur 19 Flomsonekart som viser områder som blir vanndekt ved en 200-års flom i Gaula. Her er skissert planområde lagt inn i terrengmodell, slik at boligområdene unngår oversvømmelse.	23
Figur 20 Skisse av bekkens tverrprofil under platebru Varmbuvegen.	25

Figur 21 Skisse av bekkens tverrprofil under platebru Statsråd Nissens veg. .	26
Figur 22 Beregnet vann- og energilinje ved Varmbuvegen og Statsråd Nissens veg ved dimensjonerende flom. Kulvertene har blitt skiftet ut med et konstruert bekkeløp, hvor platebru har blitt lagt over. Energilinje er vist med stiplet, grønn linje.....	27
Figur 23 Tverrprofil oppstrøms platebru over Varmbuvegen, som viser vannlinje beregnet for dimensjonerende flom for alternativ med platebru. Platebruen er illustrert her med en tykkelse på 50 cm. Energilinje er vist med stiplet, grønn linje.....	28
Figur 24 Tverrprofil nedstrøms platebru over Varmbuvegen, som viser vannlinje beregnet for dimensjonerende flom for alternativ med platebru. Platebruen er illustrert her med en tykkelse på 50 cm. Energilinje er vist med stiplet, grønn linje.....	29
Figur 25 Tverrprofil oppstrøms platebru over Statsråd Nissens veg, som viser vannlinje beregnet for dimensjonerende flom for alternativ med platebru. Platebruen er illustrert her med en tykkelse på 50 cm. Energilinje er vist med stiplet, grønn linje.....	29
Figur 26 Tverrprofil nedstrøms platebru over Statsråd Nissens veg, som viser vannlinje beregnet for dimensjonerende flom for alternativ med platebru. Platebruen er illustrert her med en tykkelse på 50 cm. Energilinje er vist med stiplet, grønn linje.....	30
Figur 27 Lengdesnitt som viser vann- og energilinje ved Varmbuvegen og Statsråd Nissens veg ved alternativ 2: nye kulverter. Energilinje er vist med stiplet, grønn linje.....	30
Figur 28 Tverrprofil oppstrøms platebru over Varmbuvegen, som viser vannlinje beregnet for dimensjonerende flom for alternativ med kulvert. Fylling mot vei er vist med grått. Energilinje er vist med stiplet, grønn linje.	31
Figur 29 Tverrprofil nedstrøms platebru over Varmbuvegen, som viser vannlinje beregnet for dimensjonerende flom for alternativ med kulvert. Fylling mot vei er vist med grått. Energilinje er vist med stiplet, grønn linje.	31
Figur 30 Tverrprofil oppstrøms platebru over Statsråd Nissens veg, som viser vannlinje beregnet for dimensjonerende flom for alternativ med kulvert. Fylling mot vei er vist med grått. Energilinje er vist med stiplet, grønn linje.	32
Figur 31 Tverrprofil nedstrøms platebru over Statsråd Nissens veg, som viser vannlinje beregnet for dimensjonerende flom for alternativ med kulvert. Fylling mot vei er vist med grått. Energilinje er vist med stiplet, grønn linje.	32
Figur 32 Flomsonekart etter gjennomførte tiltak for kulvertene under Varmbuvegen og Statsråd Nissens veg, ved dimensjonerende flom (200-års flom med klimafaktor), i Varmbubekken og samtidig årsflom i Gaula.	33

VEDLEGG

Vedlegg 1

Flomsonekart ved todimensjonal HEC-RAS-modell

Vedlegg 2

Tverrprofil – Resultat fra tiltaksberegninger

1. INNLEDNING

I forbindelse med planlegging av nytt boligutbyggingsprosjekt i regi av TOBB (Trondheim og omegn boligbyggelag) på Gimsøya i Melhus kommune, har Rambøll fått i oppdrag å gjennomføre flom- og vannlinjeberegninger og foreslå eventuelle avbøtende tiltak mht. eventuell kapasitetsøkning for vegbru/-kulvert.

NVE stiller krav til sikker byggegrunn iht. dimensjonerende flomhendelse (200-års flom) og krever at eventuelle avbøtende tiltak hjemles i det endelige planforslaget.

2. MÅL OG METODE

2.1 Målsetting

Hovedmålet med denne rapport har vært å dokumentere sikker byggegrunn iht. dimensjonerende flomhendelse (200-års flom) og gi forslag til eventuelle avbøtende tiltak for å sikre planområdet mot en 200-års flom.

2.2 Metode

Utredningen om flomfare følger retningslinjer gitt av NVE for arealplanlegging i flomutsatte områder («Flaum- og skredfare i arealplanar», NVE 2/2011), samt veiledning om flomfare langs bekker («Flaumfare langs bekker», NVE 3/2015).

I henhold til byggeteknisk forskrift, TEK 17 § 7-2, skal byggverk beregnet for personopphold (blant annet barnehage, bolig og næringsbygg), sikres i forhold til en 200-års flom (sikkerhetsklasse F2, med største nominelle årlige sannsynlighet lik 1/200).

For flomberegninger/flomfrekvensanalyser har vi brukt NVEs veileder for flomberegninger i små uregulerte felt (NVE, 7/2015), samt NVEs Retningslinjer for flomberegninger (NVE, 04/2011, oppdatert 2013).

For vannlinjeberegninger og flomsonekartlegging benytter Rambøll NVEs interne veileder for vannlinjeberegninger (NVE, intern veileder, mai 2013). Rambøll har som en del av sitt kvalitets-sikringssystem, laget en intern sjekkliste for internkontroll av flomberegninger og flomsikringstiltak.

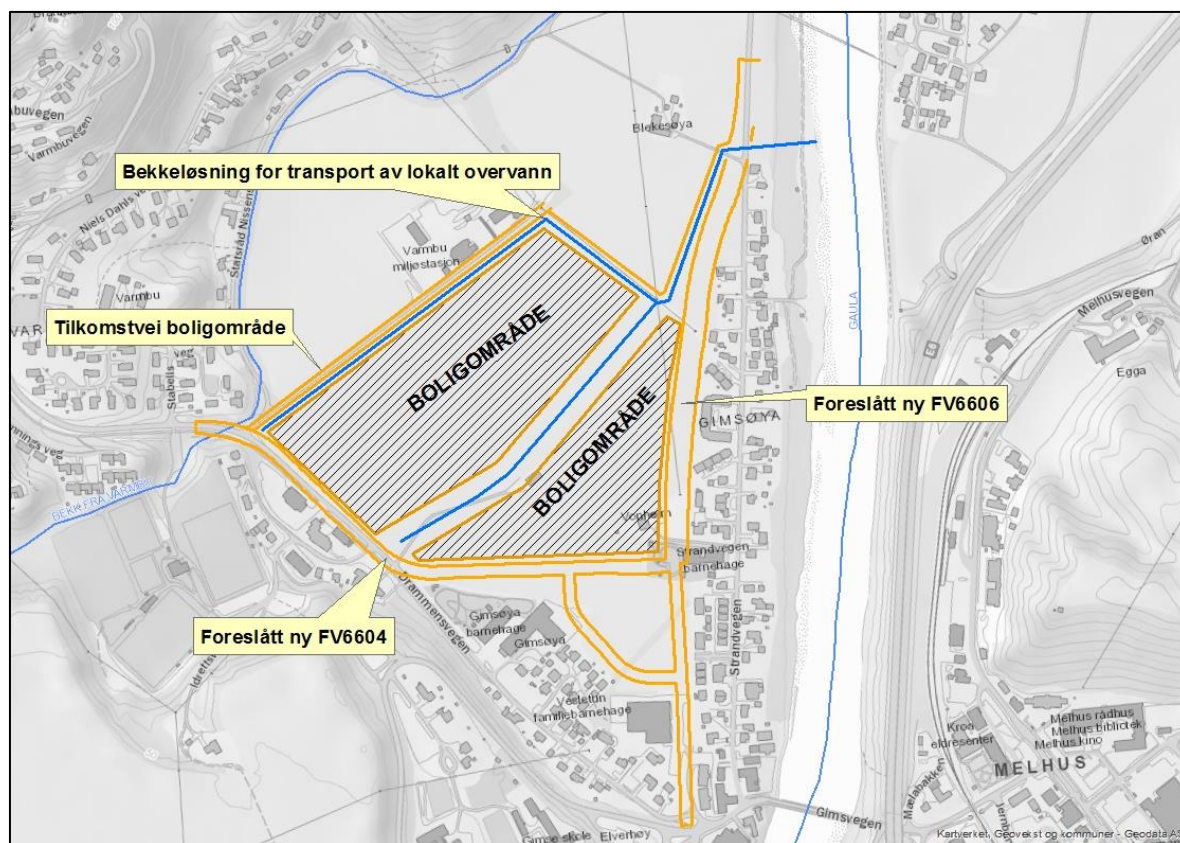
HEC-RAS programvare er benyttet ved hydraulisk beregning av vannlinjer i elveløp og kulverter. HEC-RAS 4.1.0 er en anerkjent 1D programvare som beregner vannlinjer under ulike hydrauliske forhold og har spesielle funksjoner for å beregne effekt av blant annet bruer og kulverter. I tillegg har HEC-RAS 5.0.3 blitt benyttet til å lage en enkel todimensjonal modell for å undersøke utbredelse av flomvannet, da planområdet i dag er meget flatt.

3. PLANOMRÅDET OG FLOMFARE

3.1 Planområde

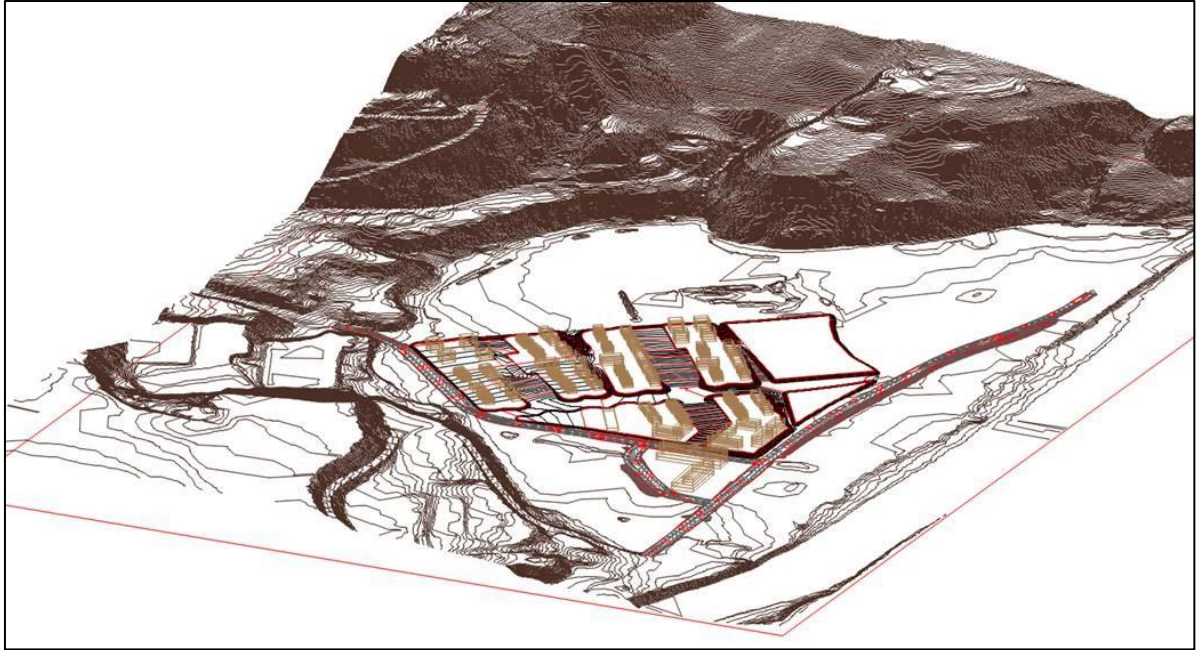
Figur 1, viser en skisse av planområdet med to store boligområder (skravert), hvor det er tiltenkt ulike typer private boliger og kommunale boliger. Det er denne skissen som er benyttet videre i vurdering av flomfare på planområdet. En nyere versjon av planområdet ble oversendt i ettertid av modelleringsarbeidet og er lagt ved for bedre å visualisere planområdet, se Figur 2. Elven Gaula renner på østsiden av planområdet, mens Varmubekken har sitt løp nordvest for planområdet. I planarbeidet er det foreslått omlegging av fylkesvei 6606 (Strandvegen) og 6604 (Drammensvegen/Varmbuvegen).

For å transportere bort overvann fra planområdet er det tenkt et blågrønt belte på 50 meter som kan benyttes til rekreasjon for beboere og lokal overvannshåndtering. I tillegg vil det være en grøft på nordøstsiden for å håndtere det lokale overvannet. Videre vil vannet ledes ut av området langs ny fylkesveg nordover og ut i Gaula.



Figur 1 Skissert oversiktskart over planområdet.

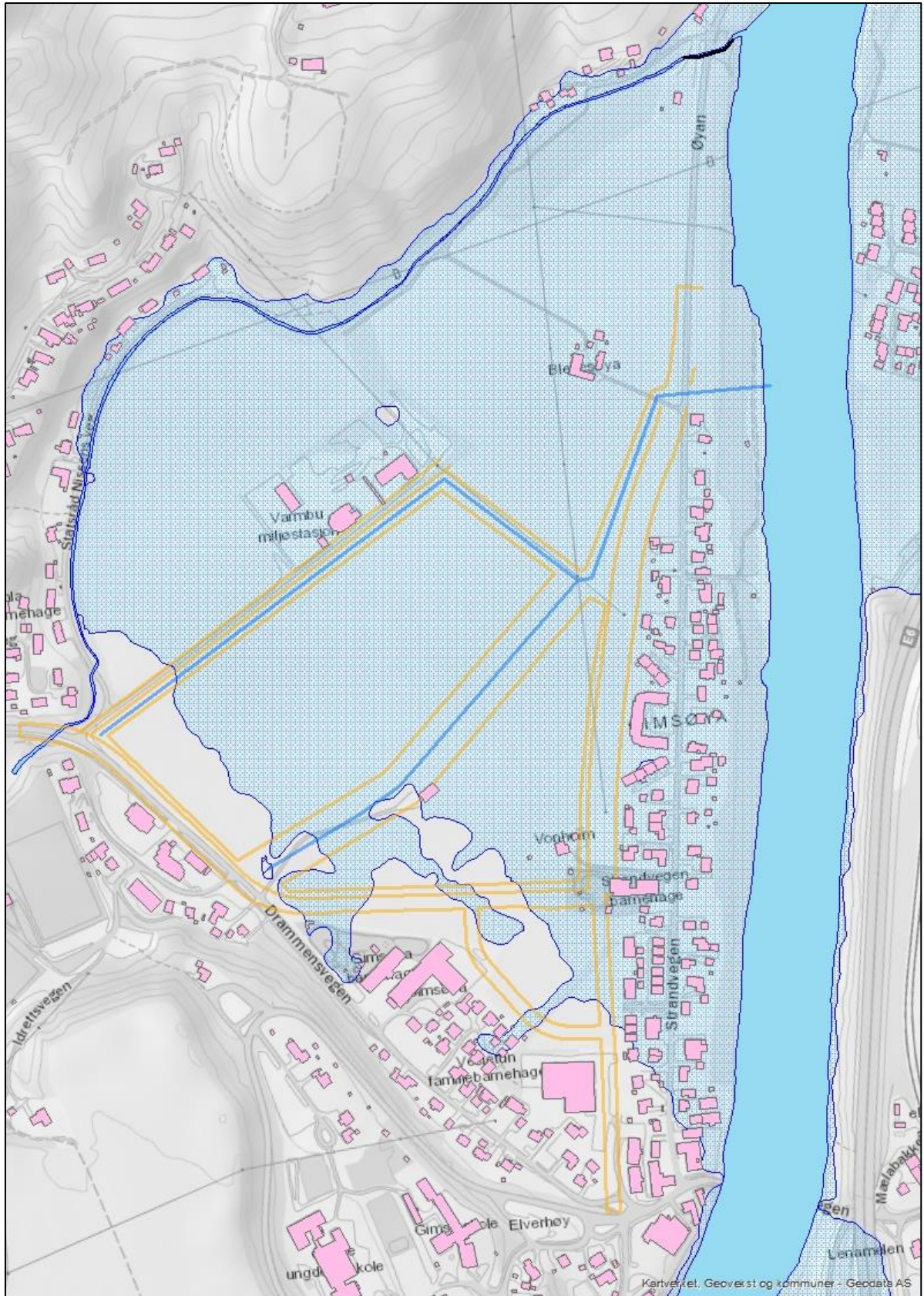
Normalt anbefales det å sette av soner med en avstandsgrense på 20 meter fra bekker og 50-100 meter langs hovedvassdrag (NVE, 2015). Utfra plankart er avstand fra eksisterende bekkekant til planlagte bygg ca. 50 meter eller mer, og da er det tenkt en veg og grøft i mellom bekk og boligområde.



Figur 2 Nyeste planskisse/terrengmodell av boligområdet på Gimsøya som ble tilgjengelig etter hydraulisk modellering var gjennomført. Kilde: Rune Følstad, TAG Arkitekter.a

3.2 Flomfare

Fra NVEs temakart «Aksomhetskart for flom» er flomutsatte områder på Gimsøya for en 200-års flomhendelse vist under i Figur 3. Temakartet viser utbredelsen av vanddekt areal, uten at informasjon om høyde på vannstand er oppgitt. Omtrent hele planområdet vil bli berørt av en flomhendelse med 200-års returperiode. Flomsonekartet ble beregnet i 2001.



Figur 3 Temakartet «Aksomhetskart for flom» fra NVE som viser utbredelse av en 200-års flom i Gaula.

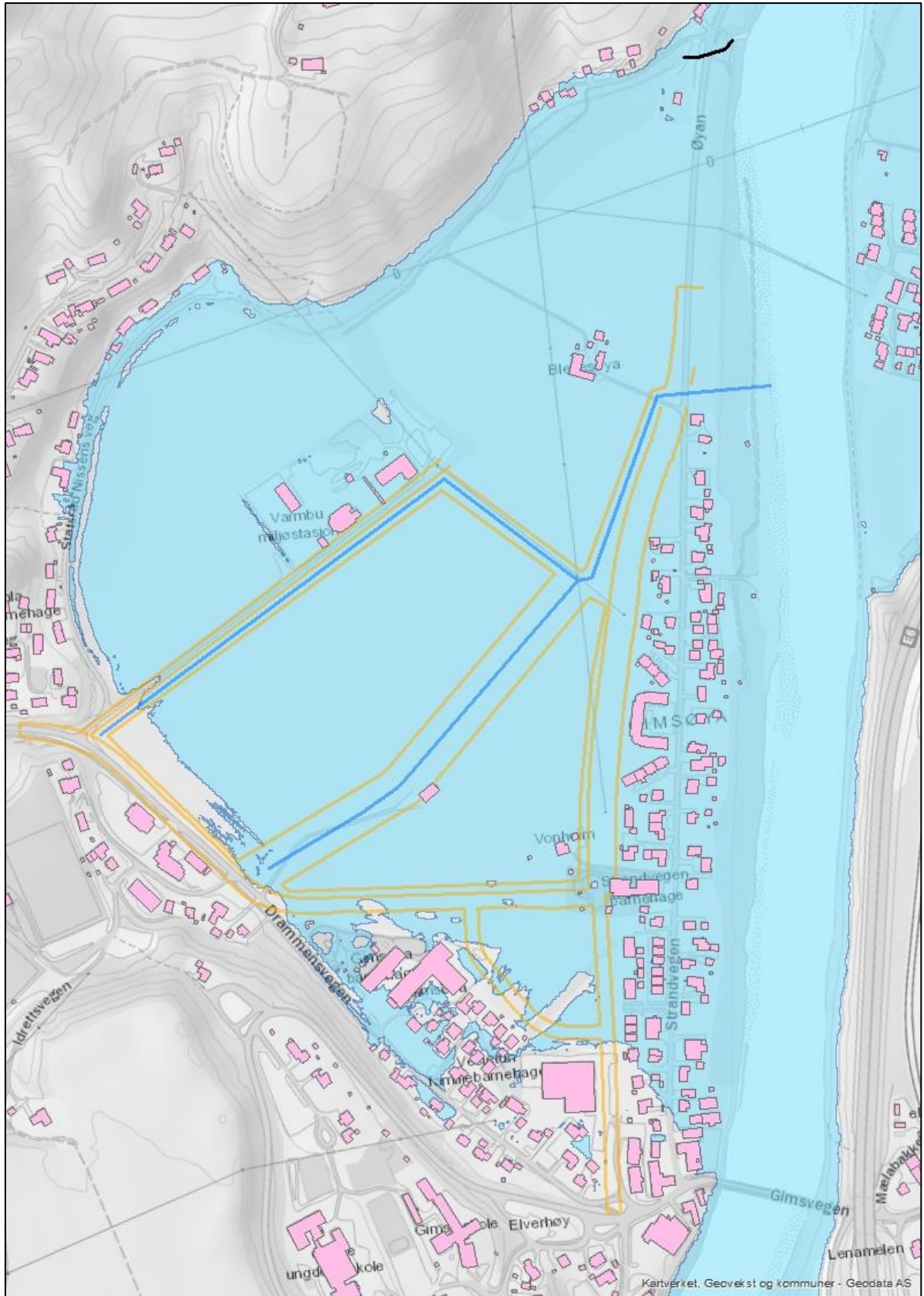
3.2.1 Flomsonekart basert på 200-års flom i Gaula

I NVEs oppdragsrapport B-9 2017 «Flomberegning og hydraulisk analyse for Gaula ved Melhus» ble det beregnet nye vannstander for Gaula ved oppdaterte flomverdier. Flomutbredelsen disse beregningene får for Gimsøya er per nå ikke inkludert i NVEs temakart «Aktsomhetskart for flom», slik som de tidligere beregningene er. Derfor har et flomsonekart for dimensjonerende flom, 200-års flom inkludert et klimapåslag, for Gimsøya blitt konstruert basert på nye beregnede flomvannstandene, vist under i Figur 4.

Flomsonekartet ble dannet ved lineær interpolasjon av vannstand mellom tverrprofilene med beregnet vannstand. Deretter ble vannstandshøyden interpolert trukket fra terreng høyden, slik at høyden på vannet ble beregnet og vanndekte områder ble korrekt. Dvs. at der terrenget lå høyere enn interpolert vannstand, vil områdene være tørrlagt.

Utbredelsen av flomvannet ved en 200-års flom inkludert klimapåslag er større enn ved 200-års flom, slik at planområdet blir enda mer påvirket. Høyeste vannstand på planområdet ligger på kote 8,2-8,6 m.o.h. I NVEs flomsonekartlegging av Melhus fra 2001 foreslås en sikkerhetsmargin på 40 cm.

På bakgrunn av flom i Gaula vil det anbefales at boliger i planområdet bygges på kote 8,6 m.o.h + 40 cm.



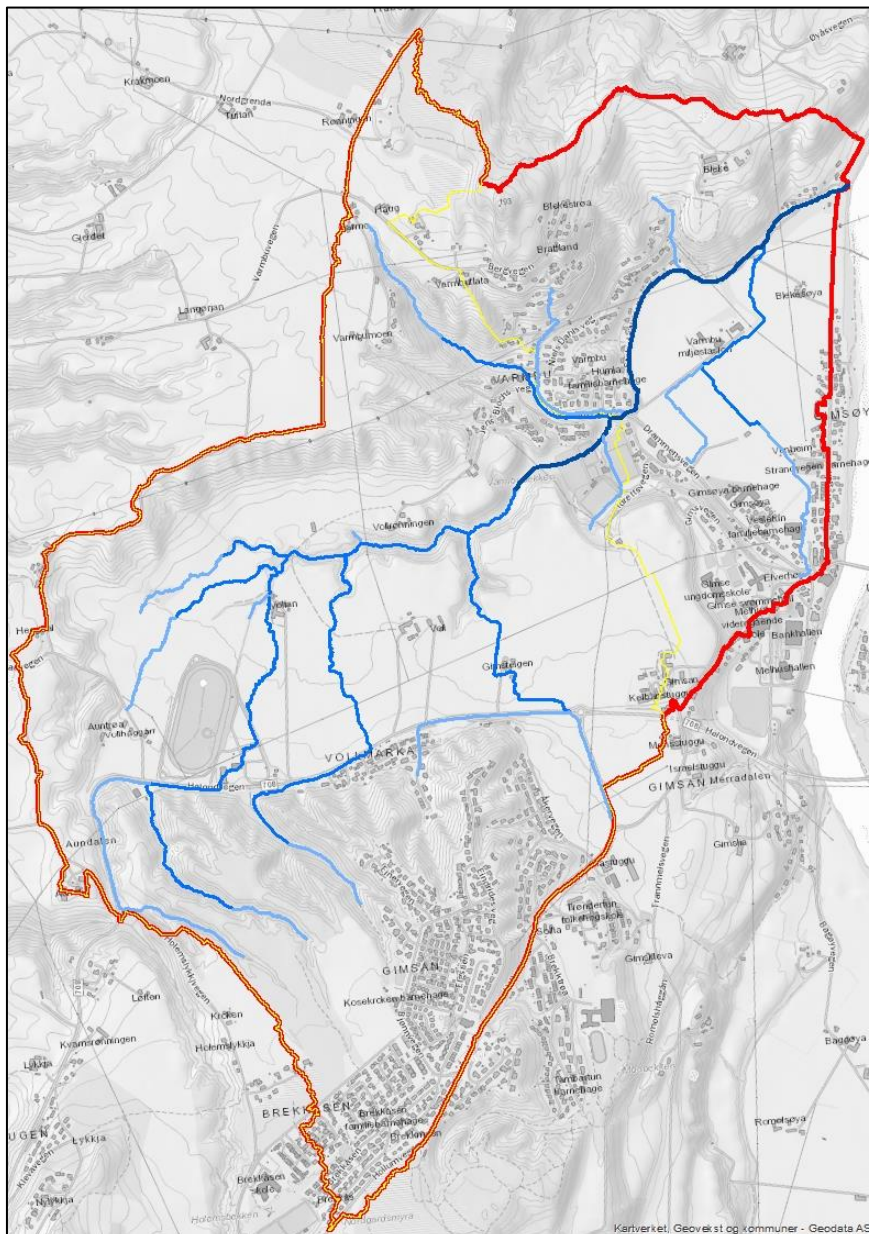
Figur 4 Flomsonekart ved en 200-års flom inkludert en klimafaktor, basert på nye beregninger gjort av NVE. Flomsonekartet fra temakartet er lagt som underlag, slik at man ser konturene fra flomutbredelse ved en 200-års flom.

4. FLOMFREKVENSANALYSE OG DIMENSJONERENDE FLOM

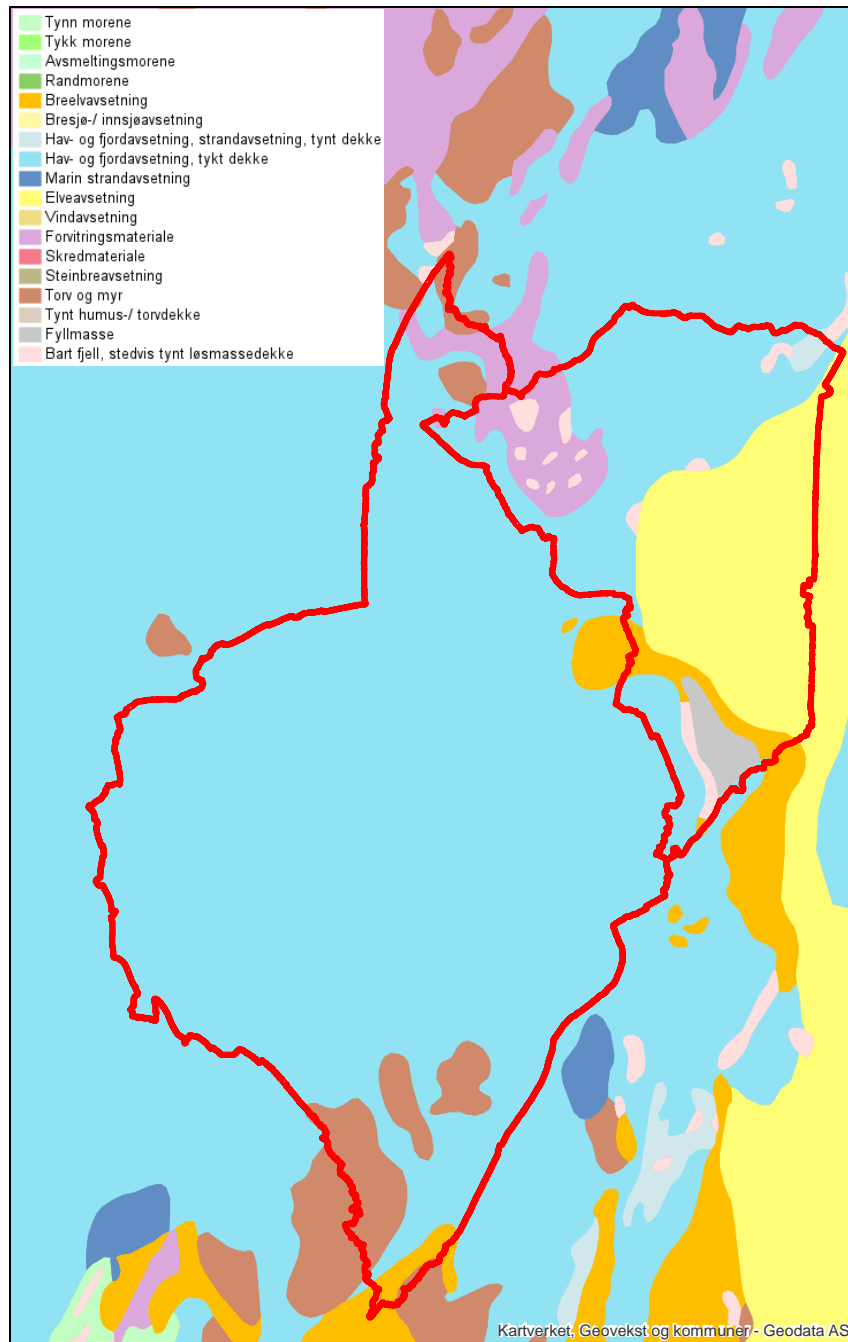
4.1 Nedbørfelt

Det har blitt laget nedbørfelt for Varmbubekken ved bruk av Arc Hydro (et GIS-verktøy som beregner vannveier basert på terrenggrunnlag). I tillegg har et nedbørfelt med tilhørende feltparametere blitt generert i Nevina (NVE, NEdbørfelt-Vannføring-INdeks-Analyse). Beregnet nedslagsfelt oppstrøms kulvert under FV734, Varmbuvegen, har et nedslagsfelt på 3,9 km², mens totalt nedslagsfelt for Varmbubekken, ved utløp til Gaula, tilsvarer et areal på 5,1 km².

Nedbørfeltet er dominert av dyrket mark (42 %), skog (37 %) og urbane områder (12 %). Terrenget har høydeintervallet 11-179 moh. Middelavrenningen tilsvarer 15,2 l/s*km². I Figur 5 under er nedbørfeltene for Varmbubekken vist. Løsmassekartet, se Figur 6, viser at nedbørfeltet er dominert av et tykt dekke av havavsetninger i de høyreliggende områdene, elveavsetninger ved Gimsøy og planområdet og noe forvitningsmateriale, breavsetninger, torv og myr.



Figur 5 Avrenningskart som viser hovedvannveiene, markert med lys til mørk blåfarge, og nedbørfelt for hele Varmbubekken (rød linje) og oppstrøms kulvert under Varmbuvegen (gul linje, som delvis ligger over den røde linjen).



Figur 6 Løsmassekart fra NGU over nedslagsfeltet. Feltet er dominert av tykt dekke av hav- og fjordavsetning. Planområdet ligger på elveavsetninger bestående av grus og sand.

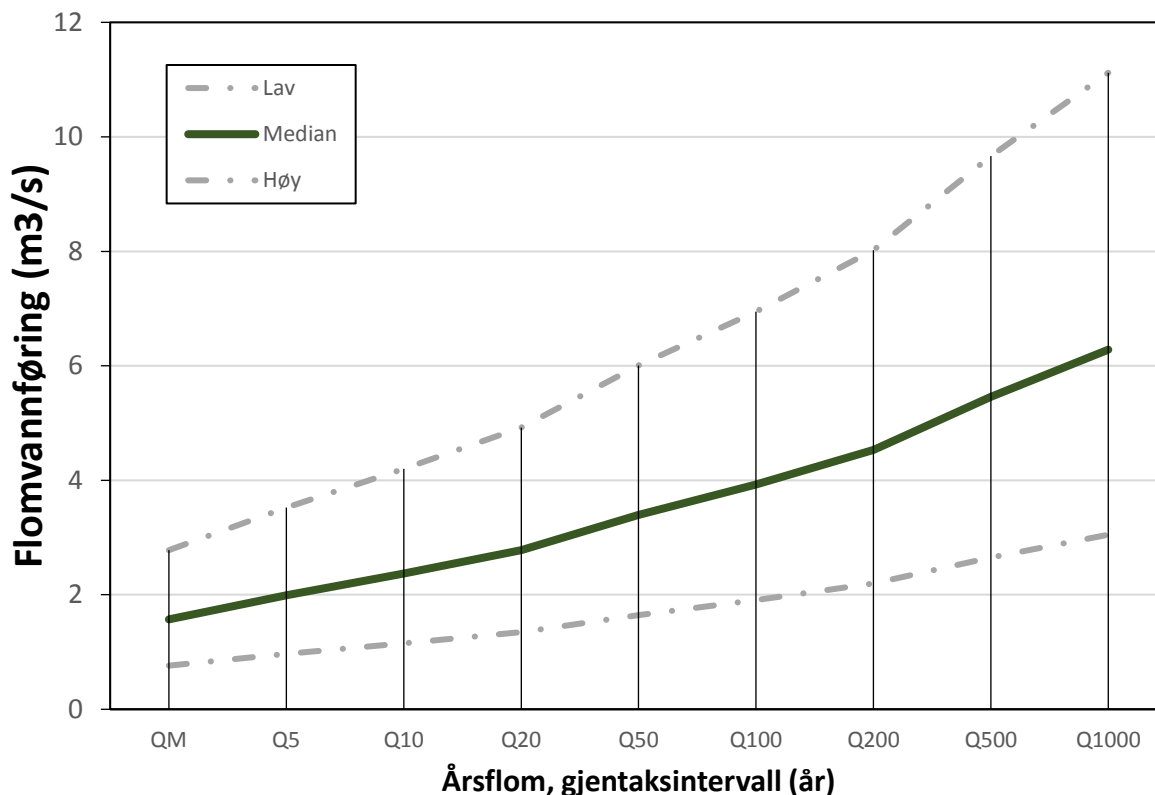
4.2 Flomfrekvensanalyse

Det måles ikke vannføring, og er heller ikke funnet noen korttidsmålinger i Varmubekken. Dimensjonerende flom må derfor beregnes baseres på NVEs veileder 7/2015, «Veileder for flombe- regninger i små uregulerte felt». Veilederen foreslår metodene flomfrekvensanalyse basert på nabofelt, nasjonalt formelverk for små nedbørfelt, flommodellen PQRUT og rasjonale formel.

Siden den rasjonale formel er beregnet for små nedbørfelt (<0,2-0,5 km² ifølge Lindholm m.fl. (2008) og <2-5km² ifølge SVV (2014)) vil formelverket være mindre egnet for nedbørfeltet til Varmubekken. Metoden er beregnet for sammenligningsgrunnlag, men må benyttes varsomt.

4.2.1 Nasjonalt formelverk for små nedbørfelt

Det er utført beregninger av vannføringer basert på formler for små nedbørfelt som inkluderer feltets størrelse, middelvannføring og andel sjø. Figur 7 viser intervallet for mulige flomvannføring i Varmbubekken (oppstrøms kulvert under Varmbuvegen) ved øvre og nedre estimat. Resultatene viser at vannføring ved årsflommen (Q_M) er beregnet til $1,57 \text{ m}^3/\text{s}$ (spesifikk flomverdi lik $427 \text{ l/s}\cdot\text{km}^2$), og en 200-års flom (Q_{200}) på $4,53 \text{ m}^3/\text{s}$ (spesifikk flomverdi lik $1231 \text{ l/s}\cdot\text{km}^2$). Det er benyttet faktorene 1,77 (høy) og 0,49 (lav) som representerer øvre og nedre grense, da formelverket inneholder en viss usikkerhet.

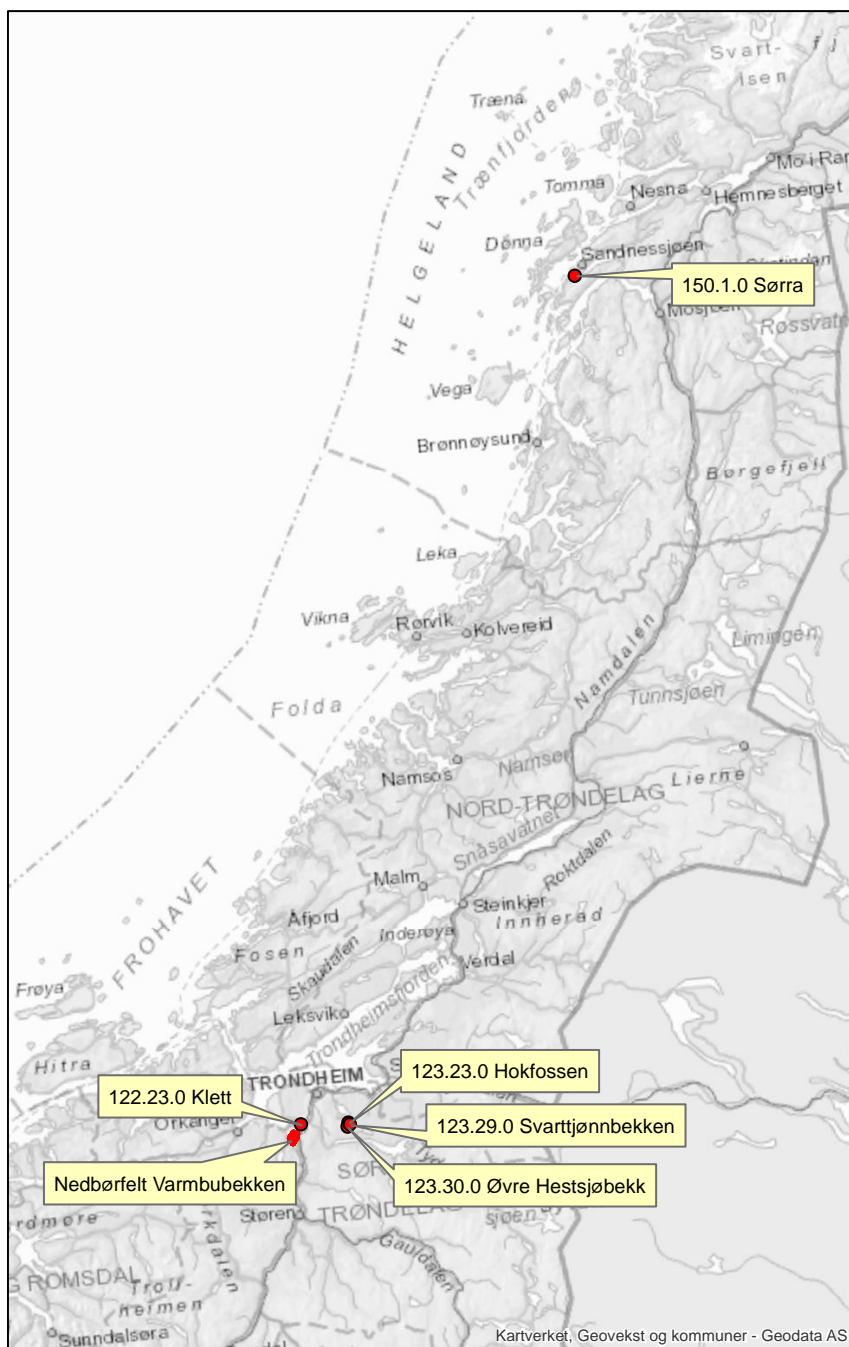


Figur 7 Beregning av årsflom (kulminasjonsverdier) for Varmbubekken (oppstrøms kulvert under Varmbuvegen) med ulike gjentakintervall basert på formler for små nedbørfelt (NVE, 7/2015).

4.2.2 Flomverdi basert på nærliggende målestasjoner

Ved bruk av flomfrekvensanalyse bestemmes flomfrekvensfordelingen av en eller flere flomserier, fra samme region og med sammenlignbare karakteristika. Ved estimering av sannsynligheten for større flommer enn de som er observert tilpasses dataene til en statistisk fordelingsfunksjon.

Det er foretatt et utvalg av målestasjoner med fokus på små felt i nærliggende område og med noenlunde sammenlignbare feltkarakteristika, se Figur 5. Hydra programvare (NVE) er anvendt for å undersøke feltkarakteristika. Vannføringer beregnet for de regionale målestasjonene er hentet fra NVE rapport 13/2015, tabell 6.1. På grunn av begrenset tid har ikke flomverdiene fra 2015 blitt regnet på nytt, men antatt som representative for områdene. En oversikt over nedbørfeltkarakteristika og vannføring (kulminasjon for årsflom (Q_M) og 200-års flom (Q_{200}) med spesifikke verdier) for nedbørfeltene for hele Varmbubekken og oppstrøms kulvert under Varmbuvegen, i tillegg til nærliggende målestasjoner er vist i Tabell 1.



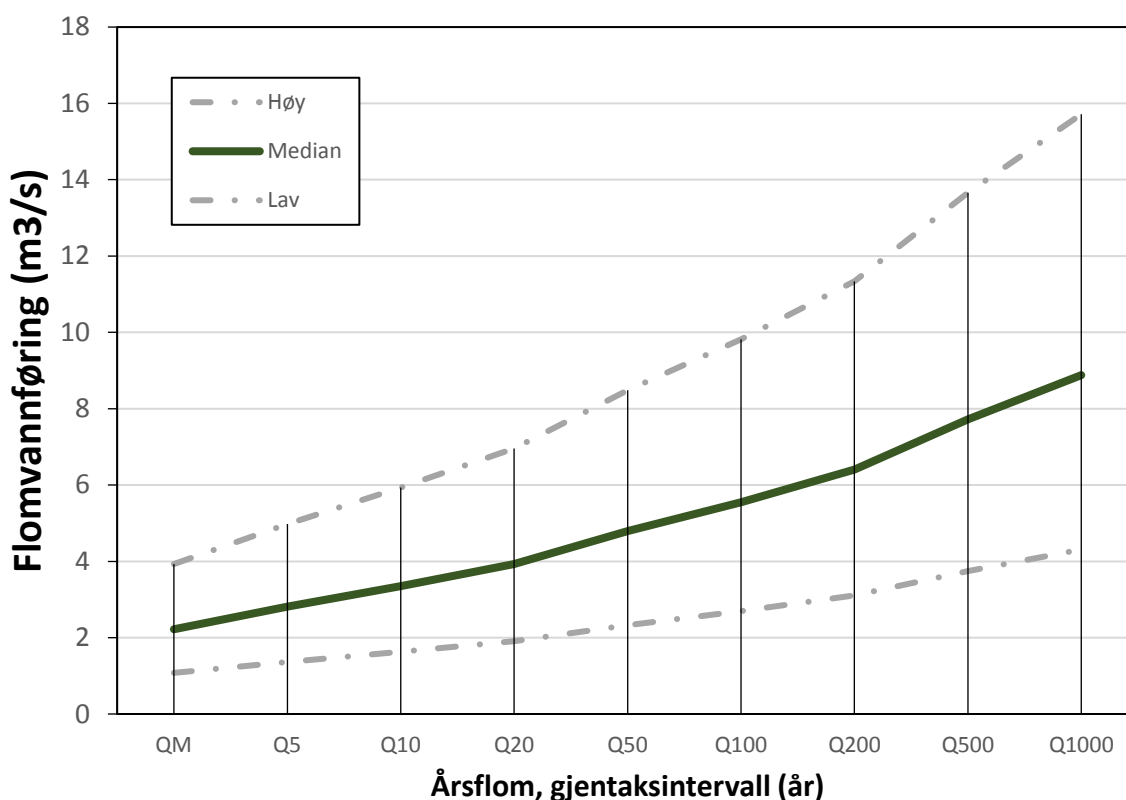
Figur 8 Oversiktskart over geografisk plassering av de ulike målestasjonene som er valgt ut i sammenligning med nedbørfeltkarakteristikk for Varmubekken.

Av de utvalgte nærliggende målestasjonene er det Klett som ligger geografisk nærmest. Klett har et større nedslagsfelt, ligger noe høyere i terrenget og er mer urbanisert. Ellers ligner de to feltene ganske godt. Et større nedslagsfelt vil generelt ha større dempningseffekt enn små, som tilsier en høyere spesifikk middelflom for Varmubekken. I tillegg har Varmubekken brattere terreng (høyere relief-forhold), som vil føre til raskere avrenning og større kulminasjonsverdier. Samtidig har Klett større andel harde flater (urbane områder) og ligger noe høyere i terrenget, noe som tilsvarer en økt avrenning.

Øvre Hestsjøbekk, Svarttjønnbekken og Hokfossen ligger alle noen hundre meter høyere i terrenget, samt har en høyere andel skog enn Varmubekken. Hokfossen og Svarttjønnbekken, sammenlignet mot Øvre Hestsjøbekk ser ut til å være preget av noe demping som følge av sjøareal. De tre feltene har omtrent dobbelt så høy spesifikk middelavrennings sammenlignet med.

Sørre sitt nedbørfelt bærer mye av de samme karakteristikene som Varmubekken, og skiller seg først og fremst ut ved å ha en større myrandel og lav andel urbant areal. Samtidig blir det feil å direkte sammenligne de to feltene, da Sørre ligger ved Sandnessjøen i Nordland, mens Varmubekken delvis innlands i Trøndelag. Den spesifikke middelavrenningen er omtrent tre ganger så stor som for Varmubekken.

Av de sammenlignbare feltene er det Klett som er mest lik i karakteristikken, med sin geografiske nærhet og lignende feltkarakteristikk. Basert på spesifikk middelflomsverdi for Klett velges en verdi for Varmubekken på $600 \text{ l/s}\cdot\text{km}^2$, som vil gi en årsflom på $2,22 \text{ m}^3/\text{s}$. Ved å benytte vekstkurver og usikkerhetsestimater fra kapittel 5.2 i NVE 7/2015, som for nasjonalt formelverk for små nedbørfelt i overstående kapittel, har flomsverdier blitt beregnet. Resultatet er vist under i Figur 9.



Figur 9 Beregnede flomvannføringer for ulike gjentakintervall basert på formel for små nedbørfelt, basert på årsflomsverdi fra flomsfrekvensanalyse.

Tabell 1 Feltkarakteristikk for Varmubekken og potensielle representative målte nedbørfelt i nærhet av Varmubekken.

Stasjonnr.	Navn	Antall måleår	Areal nedslagsfelt [km ²]	Self, effektivt sjøareal [%]	qn, Middelaavrenning [l/(s*km ²)]	Feltlengde [km]	Høyde (min-maks) [m.o.h.]	Relief forhold (H75-H25/Feltlengde) [m/km]	Andel areal [%]					Middelflom, kulminasjonsverdi (Q _M)		Forholdstall QT/QM (kulm.)						Kilde
									Sjø	Skog	Dyrket mark	Myr	Urban	[m ³ /s]	Spesifikk [l/(s*km ²)]	Q5/QM	Q10/QM	Q20/QM	Q50/QM	Q100/QM	Q200/QM	
	Varmubekken (RV)		3,7	0,0	15,2	2,7	11-179	23,7	0,0	37	42	0,1	12	1,57	427	1,26	1,53	1,79	2,16	2,53	2,89	1
	Varmubekken (Hele)		5,1	0,0	14,8	3,3	5-188	17,9	0,0	31	44	0,1	13	2,03	399	"	"	"	"	"	"	"
123.30	Øvre Hestsjøbekk	26	1,8	0	30	1,79	306-512	20,4	0,54	68	0	32	0	1,37	712	1,28	1,47	1,64	1,84	1,98	2,11	2, 3
150.1	Sørra	44	6,6	0	43,3	2,48	35-165	10,9	0,45	37	32	16	1	6,25	947	1,33	1,59	1,85	2,17	2,42	2,67	"
123.29	Svarttjørbekken	42	3,4	0,85	27,8	2,52	280-512	21,2	2,9	82	0	16	0	1,91	628	1,29	1,47	1,63	1,80	1,92	2,02	"
123.28	Hokfossen	28	8	1,24	27,56	3,26	246-512	18,1	4,0	76	0	20	0	3,53	423	1,24	1,36	1,45	1,55	1,60	1,65	"
122.23	Klett	12	10	0	14,85	5,31	29-262	13,4	0	31	30	3	24	6,11	639	1,24	1,39	1,53	1,69	1,80	1,90	"

1 – Datagrunnlag beregnet med NVEs kartverktøy NEVINA

2 – NVE rapport 13/2015, tabell 6.1

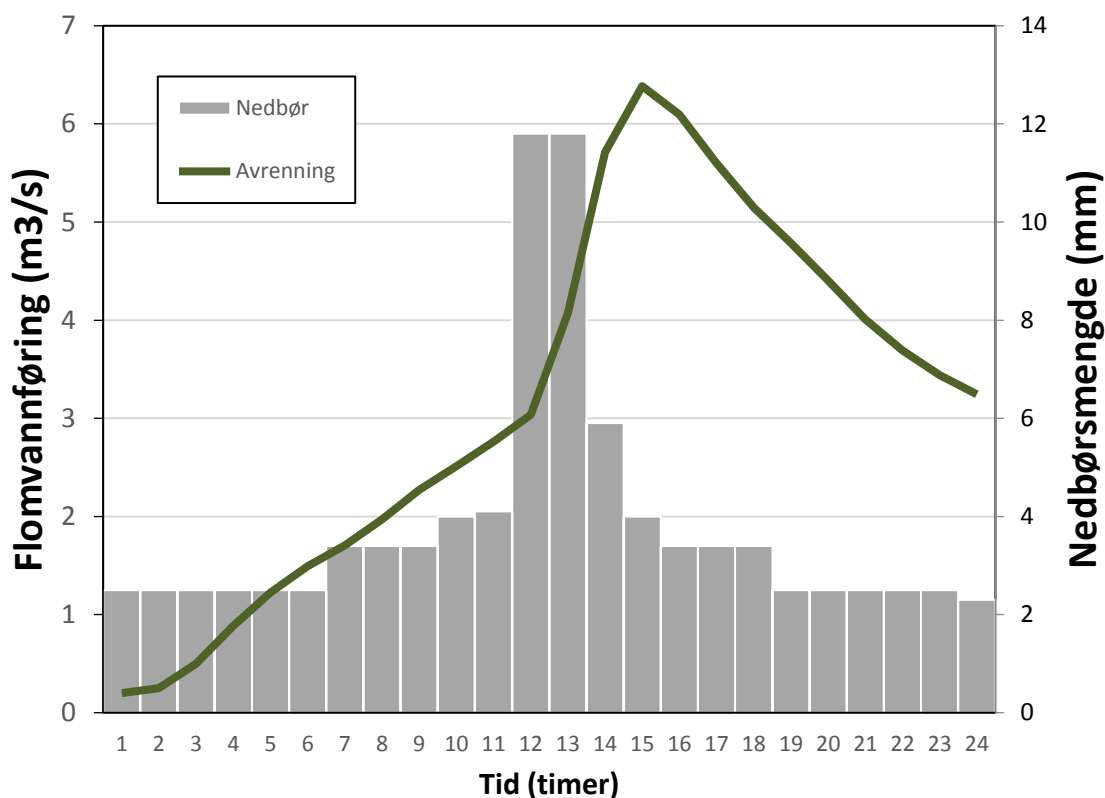
3 – HYDRA II – HYSOPP

4.2.3 PQRUT

Nedbør-avrenningsmodellen PQRUT er en forenkling av HBV-modellen, 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 K1, K2 og T1. I tillegg må det estimeres og legges inn en konsentrasjonstid og et nedbørsforløp. Konsentrasjonstiden ble beregnet til 2 timer basert på ligning 3.17 i NVE rapport 28/2016 som er foreslått som ny ligning for konsentrasjonstid.

Nedbørsforløpet ble konstruert basert på medianverdien for nedbørmengde for en 200-års flom med returperiode 120 minutter, tabell 4 (NVE 7/2015), og verdi for total døgnet nedbør med 200 års gjentakintervall, figur 9 (NVE 7/2015). Det konstruerte nedbørsforløpet ble lagt inn sammen med resten av inputverdiene i den nettbaserte versjonen av PQRUT. På grunn av andel urbant område har K1-verdien blitt økt med 0,04 fra den «kalibrerte» verdien.

Resultatet fra PQRUT-modellen er vist under i Figur 10, hvor høyeste kulminasjonsverdi for Varmbubekken blir beregnet til 6,39 m³/s, som tilsvarer en spesifikk flomverdi på 1731 l/s*km².



Figur 10 Flomforløp beregnet i flommodellen PQRUT for en 200-års nedbørhendelse.

4.2.4 Den rasjonelle formelen

Den rasjonelle formelen er i utgangspunktet egnet for veldig små nedbørfelt opp mot 200 ha (0,2 km²), men kan med varsomhet benyttes for felt opp mot 2-5 km² (SVV, 2014), slik at det vil være stor usikkerhet knyttet opp mot resultatene for Varmbubekken som har et feltareal lik 3,7 km².

Nedbørmengde er basert på IVF-kurve for Trondheim (et gjennomsnitt av IVF-kurvene for målestasjonene på Tyholt, Blakli og Risvollan). Konsentrasjonstiden som ble beregnet i PQRUT på 2 timer ble benyttet her til å velge ut nedbørintensitet. Avrenningsfaktoren ble valgt for ulike typer areal, slik at en gjennomsnittlig avrenningsfaktor endte på 0,38. Ved å justere

avrenningsfaktoren med et tillegg på 30% tas hensyn til metning av jord ved en 200-års hendelse. Justert avrenningsfaktor blir da 0,49.

Ved å sette inn valgte verdier blir 200-års flommen i Varmbubekken 6,89 m³/s, eller 1867 l/s*km², basert på den rasjonelle formelen.

4.2.5 Oppsummering av flomfrekvensanalyse

En oppsummering av resultatene fra de ulike metodene for å beregnede flomverdier er vist under i Tabell 2 og Tabell 3. Ved sammenligning av flomverdi basert på formelverk for små nedbørfelt mot de andre metodene, så ligger flomverdiene (årsflom og 200-års flom) en del lavere, hvor verdiene fra de andre metodene ligger innenfor usikkerhetsområdet for formelverk for små nedbørfelt.

Tabell 2 Flomverdier beregnet for årsflom (Q_M), hvor medianverdi med lave- og høye verdier er vist i parentes.

Metode	QM, kulm. [m ³ /s]	QM, kulm. spesifikk [l/s*km ²]
	Median (lav-høy)	
Formelverk for små nedbørfelt	1,57 (0,76-2,78)	427 (207-755)
Flomverdi basert på nærliggende målestasjoner	2,21 (1,07-3,91)	600 (291-1062)

Tabell 3 Flomverdier beregnet for 200-års flom (Q₂₀₀), hvor medianverdi med lave- og høye verdier er vist i parentes.

Metode	Q ₂₀₀ kulm. [m ³ /s]	Q ₂₀₀ kulm. Spesifikk [l/s*km ²]
	Median (lav-høy)	
Formelverk for små nedbørfelt	4,53 (2,20-8,02)	1231 (598-2179)
Flomverdi basert på nærliggende målestasjoner	6,40 (3,11-11,3)	1734 (842-3070)
PQRUT	6,39	1731
Rasjonelle formel	6,89	1867

I NVE 7/2015, vedlegg 9, står det at for Trøndelag, Møre og Romsdal varierer den spesifikke kulminasjonsverdier for en 200-års flom mellom 800-3000 l/s*km², hvor de høyeste verdiene er målt i Møre og Romsdal. Basert på erfaringstall vil en beregnet spesifikk kulminasjonsverdi for en 200-års flom i område 1200-1800 l/s*km² være rimelig å anta.

4.2.6 Valg av dimensjonerende flom og flomverdier for ulike gjentakintervaller

Nabostasjonen Klett hadde rimelig lik feltkarakteristikk og den spesifikke årsflomverdien som ble valgt, gir beregnet 200-års flom omtrent identisk verdi som beregnet med PQRUT. Likheter med de to metodene gir grunnlag for å mistenke at formelverket for små nedbørfelt underestimerer flomverdiene for Varmbubekken. Samtidig ligger de beregnede verdiene fra de andre metodene innenfor intervallet til formelverk for små nedbørfelt (lav-høy verdi). Den rasjonelle formelen beregner noe høyere verdier enn de to andre metodene.

På bakgrunn av rimelig godt samsvar mellom beregnede 200-års flomverdier ved bruk av PQRUT og flomverdier fra nabofelt, settes det spesifikke årsflommen for Varmbubekken lik 600 l/s*km². Beregnet flomfrekvens for Varmbubekken basert på valgt spesifikk flomverdi er vist under i Tabell 4, og lagt til grunn i den hydrauliske modellen.

Den mest ekstreme vannføringen som er beregnet i denne rapport er 200-års flom, hvor et tillegg på 35 % skal ta hensyn til klimaendringer. Et tillegg på 35 % er benyttet etter NVEs anbefalinger (NVE 134/2015, tabell 7.6) for felt som har konsentrasjonstid lik eller lavere enn 3 timer.

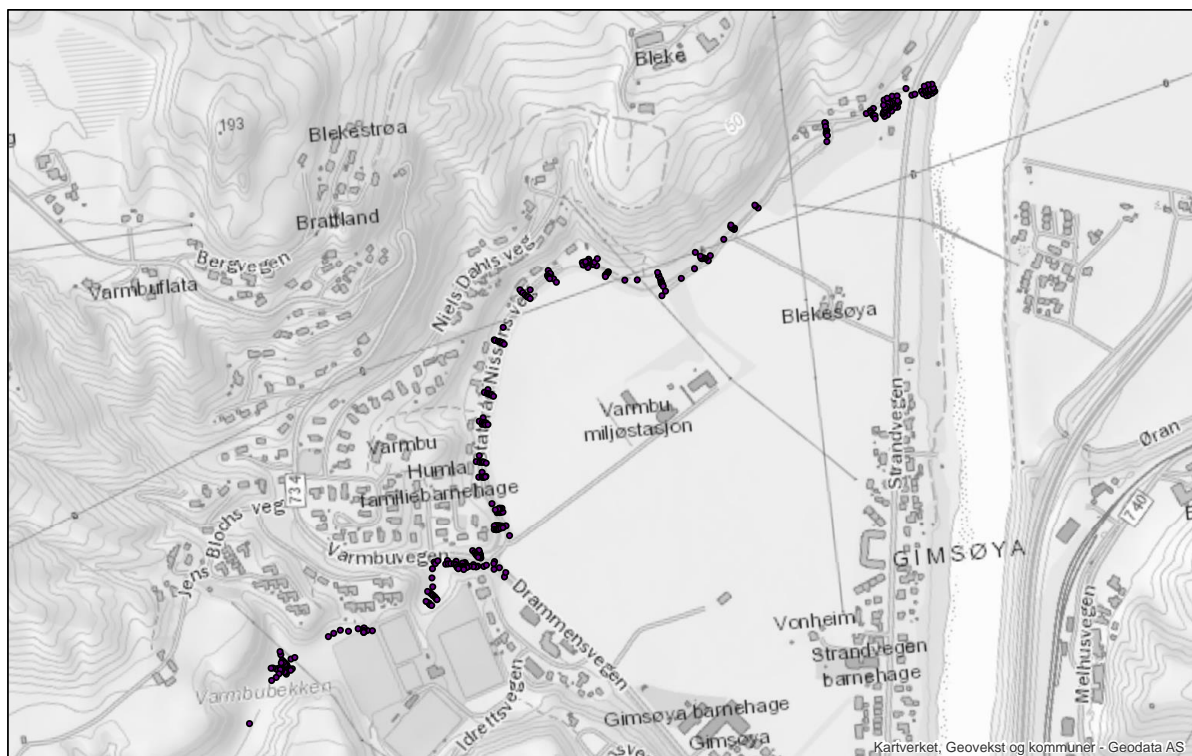
Tabell 4 Tabell som viser beregnede og valgte kulminasjonsverder for Varmubekken, oppstrøms kulvert under Varmbuvegen. Forholdstallet QT/QM er også inkludert.

Gjentaksintervall	QT/QM	Kulminasjonsvannføring (m ³ /s)	Kulminasjonsspesifikk avrenning (l/s*km ²)
Qn		0,056	15,2
QM		2,2	600
Q5	1,27	2,8	760
Q10	1,51	3,3	906
Q20	1,77	3,9	1062
Q50	2,16	4,8	1296
Q100	2,50	5,5	1499
Q200	2,88	6,4	1730
Q200+klimapåslag		8,6	2336

5. HYDRAULISKE BEREGNINGER

5.1 Topografiske data

Datagrunnlaget for terrenngmodellen er basert på høydedata lastet ned fra hoydedata.no, hvor data bestod av cellestørrelser à 0,5x0,5 m, skannet i 2015 for innmåling av Melhus kommune. I tillegg ble det gjort egne innmålinger (elveløp, terskler, lysåpning av bru og kulverter). Befaring ble gjennomført 07.11.2017, mens innmåling ble gjort over to dager i slutten av november/ starten av desember. Koordinatsystem «ETRS 1989 UTM sone 32N» og vertikalt datum «NN2000» er benyttet i databehandlingen. Innmåling av tverrprofiler og målinger i elveløp er vist under i Figur 11.



Figur 11 Innmålinger av elveløp benyttet til å generere terrenngmodellen brukt i de hydrauliske beregningene.

5.2 Modelloppbygging, forutsetninger og grensebetingelser

Modellen i HEC-RAS er bygget opp av tverrprofil som strekker seg fra elveleiet ved Vollrønningen i sørvest til utløpet i Gaula i nordøst. En strekning på omtrent 2 km. Lengden på tverrprofilene er lagt til antatt flomsikkert nivå. Selve oppbyggingen ble gjort i HEC-GeoRAS (et tilleggsværktøy til ArcGIS som gjør det mulig å lage lengde- og tverrprofil basert på terrenngmodell). Figur 12 viser modellens utstrekning og tverrprofil.



Figur 12 Elvemodellens utstrekning med modellerte tverrprofil med nummerering (grønne linjer) og senterlinje på elven (blå linje). Skisse av planområde med omlegging av fylkesvei 6606 fra Strandvegen og ny fylkesvei 6604 i Drammens-/Varmbuvegen er vist i gult.

Modellen består av fire kulverter og to bruer. Kulvertene er modellert basert på oppmålinger fra befaring, hvor Mannings ruhekskoeffisient og innløpskoeffisientene er tilpasset for hver enkelt kulvert. Fylling rundt kulvertene er modellert ved bruk av brudekke, hvor terrenghøyder på fyllingene er hentet fra terrengmodellen. Bruene ble lagt inn som brudekke basert på innmålte verdier. Standard modellverdier er benyttet for ekspansjon/kontraksjon og overløpskoeffisient over fylling/bruer.

Mannings ruhekskoeffisient (n -verdi) i tverrprofilene som er benyttet er 0,035 i bunn av elv og opp til breddekant. På breddekantene varierer Mannings ruhekskoeffisient mellom 0,04-0,06 avhengig av vegetasjonstype.

Vannføringen i modellen har blitt distribuert i tverrprofil nedover bekken basert på avrenningslinjer og tilsigsareal, se Tabell 5.

Tabell 5 Viser vannføringene som er lagt til grunn for de ulike tverrprofilene og gjentaksintervallene.

Tverrprofil	Vannføring ved ulike gjentaksintervaller (m ³ /s)							
	Q200+Klima	Q200	Q100	Q50	Q20	Q10	QM	Qn
2191.502	7,12	5,28	4,57	3,95	3,24	2,76	2,32	1,83
1411.352	7,85	5,81	5,04	4,35	3,57	3,04	2,55	2,02
1353.788	8,62	6,39	5,53	4,78	3,92	3,34	2,80	2,21
1293.033	9,06	6,71	5,82	5,03	4,12	3,52	2,95	2,33
712.8015	10,00	7,41	6,42	5,55	4,55	3,88	3,25	2,57
546.4933	10,23	7,58	6,57	5,68	4,65	3,97	3,33	2,63
479.2773	11,66	8,63	7,48	6,47	5,30	4,52	3,79	2,99
187.9797	12,08	8,95	7,75	6,70	5,49	4,68	3,93	3,10

Beregningene i HEC-RAS er gjort med stasjonære betingelser, som vil si at vannføringen vil være uendret med tiden.

Oppstrøms grensebetingelse ble satt til normaldybde ved fall på 0,03, som tilsvarer gjennomsnittlig terrenghelning noen hundre meter oppstrøms modellens start. Nedstrøms grensebetingelse ble satt til fast vannstand lik 1,5 og 4,79 m.o.h., tilsvarende vannstand i Gaula ved henholdsvis normal vannføring og årsflom.

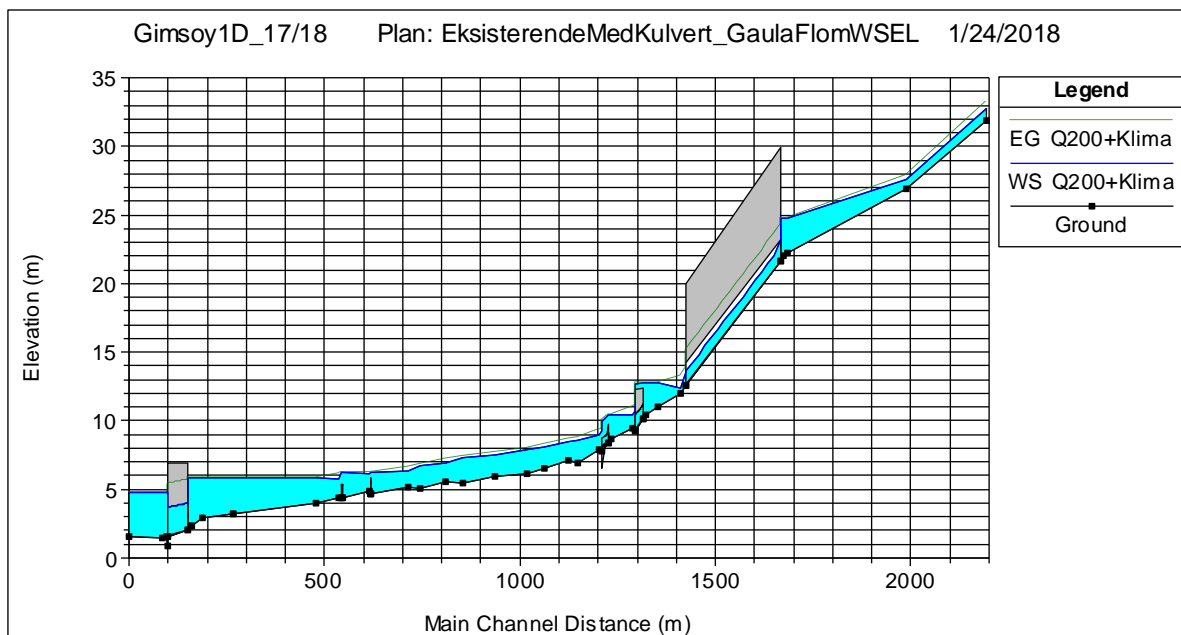
5.3 Vannlinjeberegninger for eksisterende situasjon

Det er foretatt vannlinjeberegning for Varmbubekken for vannføringer med ulike gjentaksintervall og ulik nedstrøms grensebetingelse (ulike vannstander i Gaula ved middelvannføring og årsflom).

Figur 13 viser lengdeprofil av Varmbubekken ved dimensjonerende flom (Q200+klimapåslag), med samtidig årsflom i Gaula. Kulverten lengst oppstrøms (profil 1666 til 1425) vil ha tilstrekkelig kapasitet. Det er beregnet en vannoppstuvning opp til kote 24,7 m.o.h. ved innløpet (1,5 meter over toppen av kulverten).

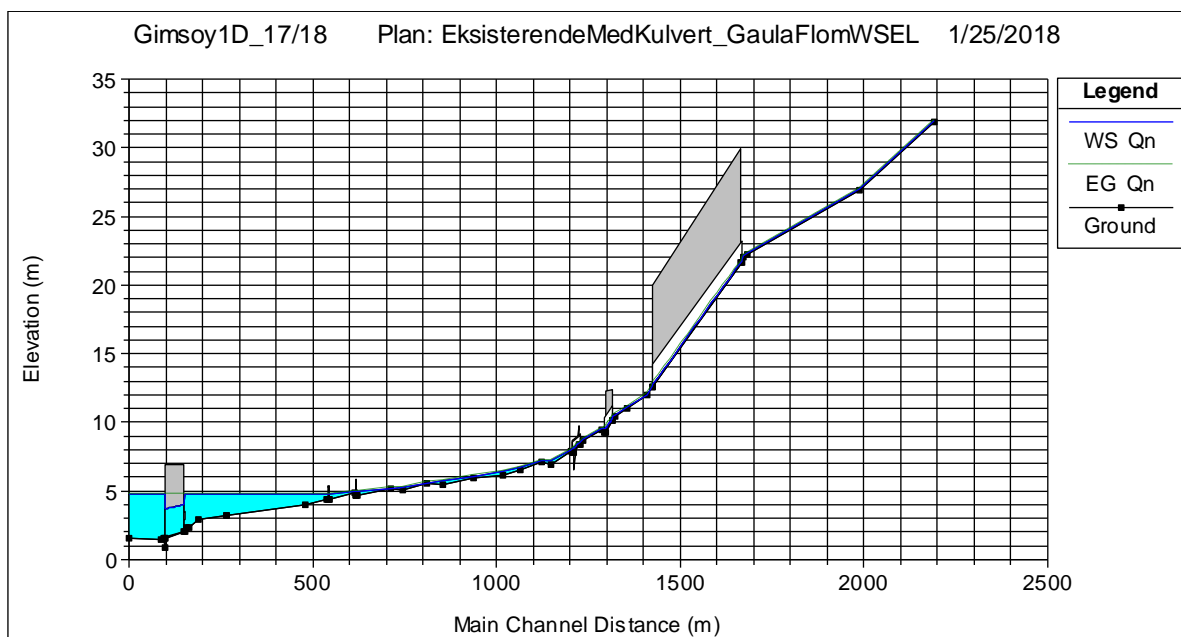
De to neste kulvertene har derimot ikke tilstrekkelig kapasitet til den dimensjonerende flommen. Kulvert under Varmbuvegen (profil 1316 til 1293) vil ha en oppstuvning av vann til kote 12,8 m.o.h., hvor vannoverflaten ligger på det meste 60 cm over vegdekket. Ved kulverten under Statsråd Nissens veg (profil 1227 til 1207) vil vannoverflaten ligge på kote 10,4 m.o.h., tilsvarende en vannhøyde 70 cm over veggen.

Siste kulvert, under Strandvegen, som renner ut i Gaula har også tilstrekkelig kapasitet ved dimensjonerende flom. Vannstanden på oppstrøms side av kulverten ble beregnet til 5,8 m.o.h., tilsvarende 1,8 m over topp kulvert.



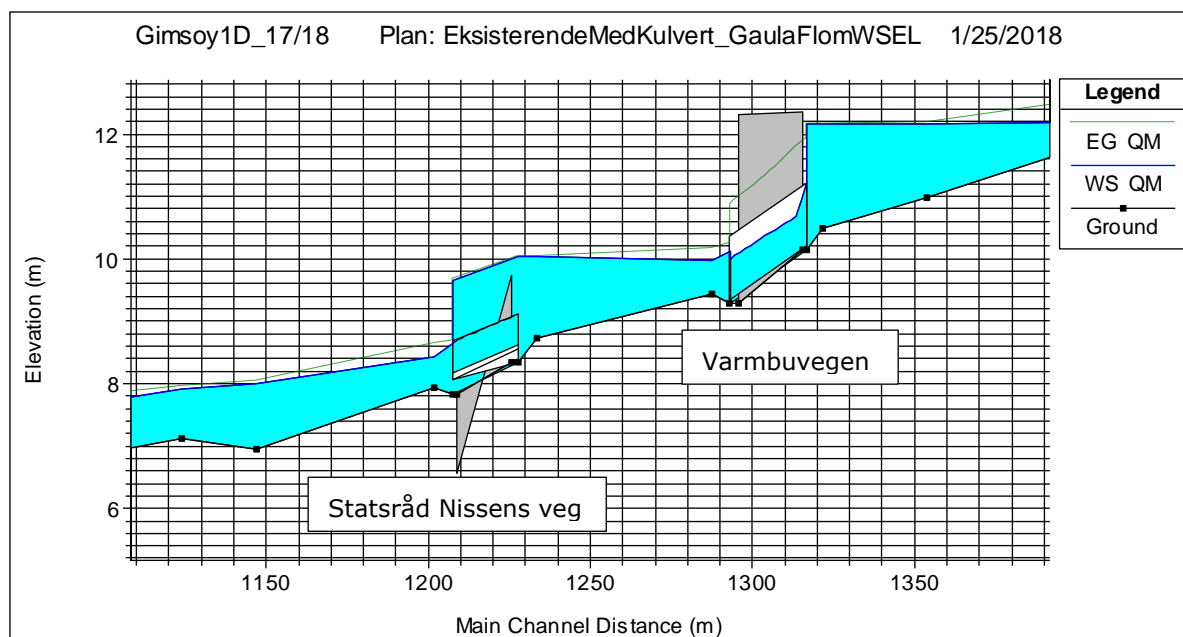
Figur 13 Lengdeprofil med vann- og energilinje for 200-års flom inkludert klimapåslag for eksisterende situasjon i Varmubekken med samtidig årsflom i Gaula. Energilinje er vist med stiplet, grønn linje.

I Figur 14 under er det vist et lengdeprofil med vann- og energilinje for normal vannføring (mid-delvannføring) i Varmubekken, med samtidig årsflom i Gaula. Alle kulvertene har god kapasitet, noe som samsvarer med hva situasjonen var på befaring.

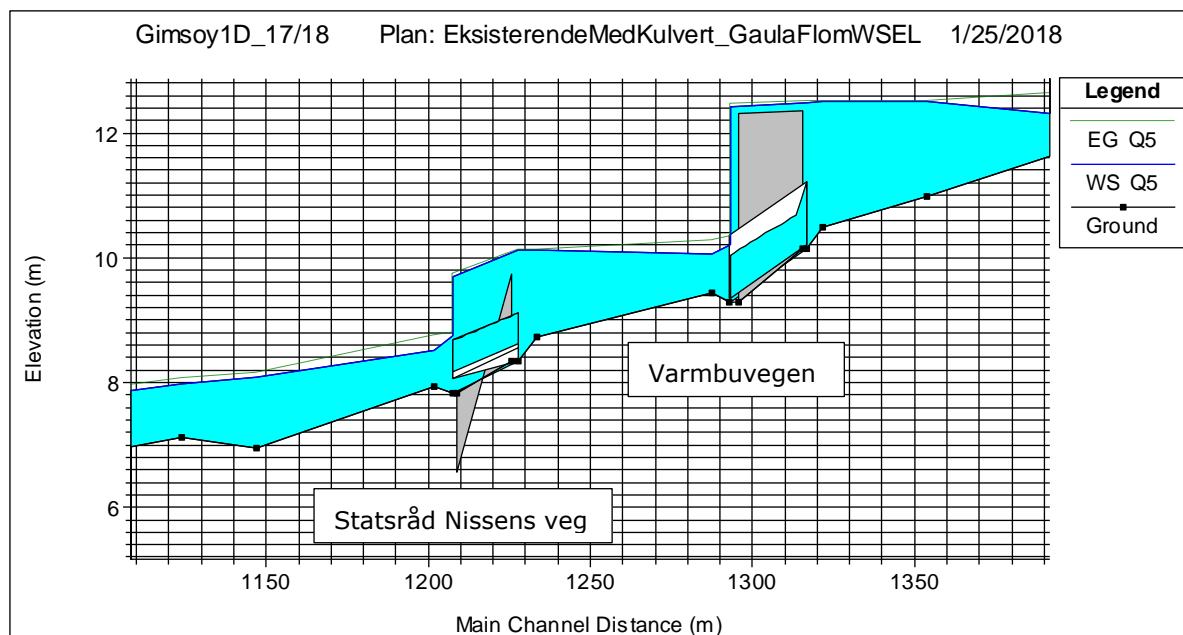


Figur 14 Lengdeprofil med vann- og energilinje for normal avrenning for eksisterende situasjon i Varmubekken med samtidig årsflom i Gaula. Energilinje er vist med stiplet, grønn linje.

Figur 15 og Figur 16 under viser at kulverten under Statsråd Nissens veg ikke har tilstrekkelig kapasitet ved årsflom ($Q_M = 2,3 \text{ m}^3/\text{s}$), men det har kulvert under Varmbuvegen. Derimot ved en flomhendelse med 5-års returperiode ($Q_5 = 3 \text{ m}^3/\text{s}$) vil heller ikke kulvert under Varmubekken ha tilstrekkelig kapasitet.



Figur 15 Lengdeprofil med vann- og energilinje for Varmubekken ved årsflom, som viser kulvertene under Varmbuvegen (profil 1316 til 1293) og Statsråd Nissens veg (profil 1227 til 1207). Energilinje er vist med stiplet, grønn linje.



Figur 16 Lengdeprofil med vann- og energilinje for Varmubekken ved 5-års flom, som viser kulvertene under Varmbuvegen (profil 1316 til 1293) og Statsråd Nissens veg (profil 1227 til 1207). Energilinje er vist med stiplet, grønn linje.

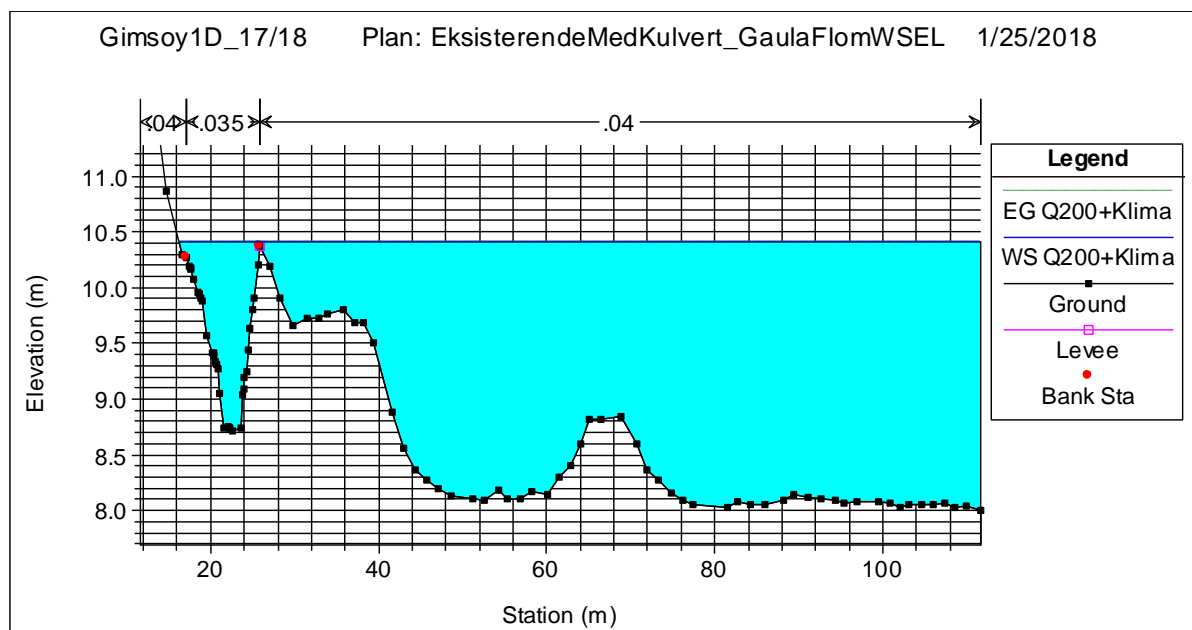
5.4 Flomsonekart for eksisterende situasjon

Det er laget et flomsonekart, se Figur 18 under, som viser utbredelsen av dimensjonerende flom. Flomsonekartet er basert på vannlinjeberegningene i HEC-RAS, en forenklet todimensjonal hydraulisk modell laget i HEC-RAS og avrenningskart.

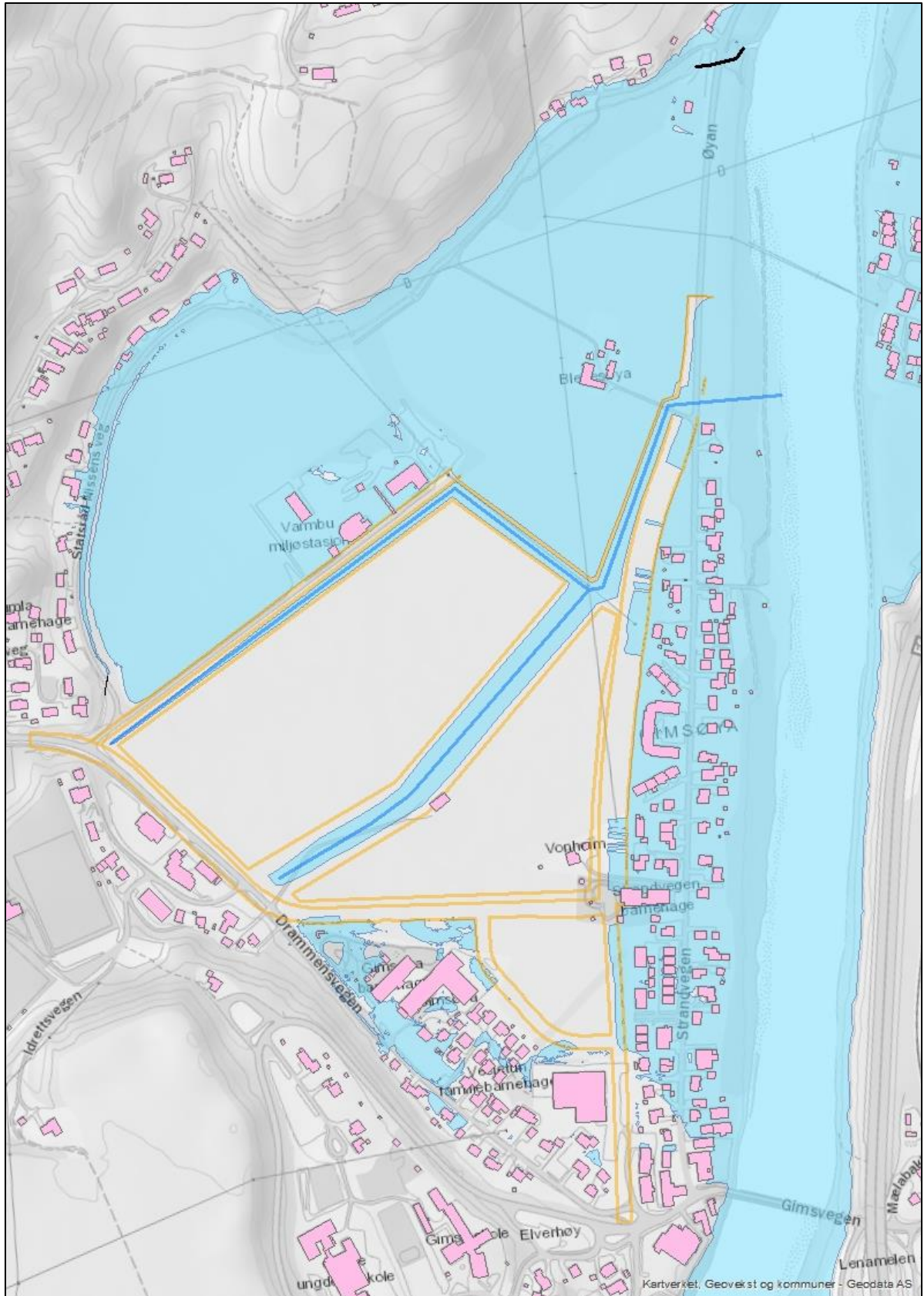
Årsaken til at den todimensjonale hydraulisk modellen og avrenningskartet ble benyttet i tillegg til resultatet fra den endimensjonale HEC-RAS-modellen kommer av svakheter i den endimensjonale modellen. HEC-RAS 1D beregner én vannstand for hele tverrsnittet, noe som blir veldig feil når vannet stiger over flomvoller og ned på lavereliggende områder, som vist i Figur

17. For å mer korrekt kunne si noe om flombredelser når vannet stiger over flomvollene, har en todimensjonal HEC-RAS-modell blitt benyttet.

Den todimensjonale HEC-RAS-modellen (5.0.3) ble bygd opp ved bruk av samme terrengfil som benyttet i HEC-GeoRAS til å lage geometrien til den endimensjonale modellen. Det ble så tegnet inn to todimensjonale strømningsområder, et som startet oppstrøms kulvert over Varmbuvegen og et som startet oppstrøms kulvert over Statsråd Nissens veg. Grunnen til at to stykk strømningsområder ble benyttet var for å se på forskjell ved flombredelse for de to kulvertene. Begge strømningsområdene dekket hele Gimsøya og ut i Gaula, og bestod av celler à 5x5 meter. Lik vannføring i hvert tidssteg ble satt inn som oppstrøms grensebetingelse, og normalhelning lik 0,005 som nedre grensebetingelse. Mannings ruhekkoeffisient for hele området ble satt til standardverdi, lik 0,06, som er litt høyere enn hva som ble benyttet i den endimensjonale modellen. Resultatene fra den todimensjonale modellen kan sees i vedlegg 1.



Figur 17 Vannstanden over flomvoll blir feilberegnet i endimensjonale modeller, hvor hele tverrsnittet får samme vannlinje. Her et utklipp fra tverrprofil 1233.653.



Figur 19 Flomsonekart som viser områder som blir vanddekt ved en 200-års flom i Gaula. Her er skissert planområde lagt inn i terrengmodell, slik at boligområdene unngår oversvømmelse.

6. AVBØTENDE TILTAK

6.1 Tiltak og vannlinjeberegninger

Ved å fjerne/skifte ut kulvertene under Varmbuvegen og Statsråd Nissens veg, vil flomfaren i Varmbubekken reduseres kraftig, da disse to er flaskehalsene i dagens system. Et nytt scenario har blitt simulert, hvor kulvertene er fjernet, slik at vannet vil strømme som om bekken fortsatte der det er veier i dag.

6.2 Dimensjoner på nye tverrprofil over veier

På generelt grunnlag vil platebru være det gunstige alternativet, da man ikke har noen innsnevring av bekeleiet, som gir en reduksjon av vannavledningskapasitet i systemet og fare for oppstuvning.

Ved valg av kulvert som løsning, vil en bokskulvert anbefales med tanke på at de har mulighet til å ha mye større bredde enn høyde, i motsetning til rør. Det vil si at man ikke trenger å heve terrenget like mye for å få tilstrekkelig kapasitet, som ved rør med en fast diameter.

Dimensjonene for kulverter, tverrprofil og bruer som er foreslått vil kunne klare å avlede dimensjonerende flom. Ved avvik fra foreslåtte dimensjoner i senere prosesser, f.eks. for å tilpasse kulverter/bruer bedre til terrenget, vil det være behov for å vurdere kapasitet på nytt. Det er forbehold om at kun foreslåtte løsninger vil ha tilstrekkelig avledningskapasitet.

6.2.1 Varmbuvegen

Varmbuvegen er en fylkesveg som må behandles etter Statens Vegvesens krav. I Statens Vegvesens håndbok «N400 Bruprosjektering» er krav til fribord satt til 0,5 m ved beregnet vannstand for 200-års flom. Kravet gjelder for bruer, hvor kulverter med spenn/bredde på 2,5 m blir definert som bruer. Med fribord menes høyden mellom beregnet vannoverflate ved dimensjonerende flom opp til underkant på bru/bokskulvert.

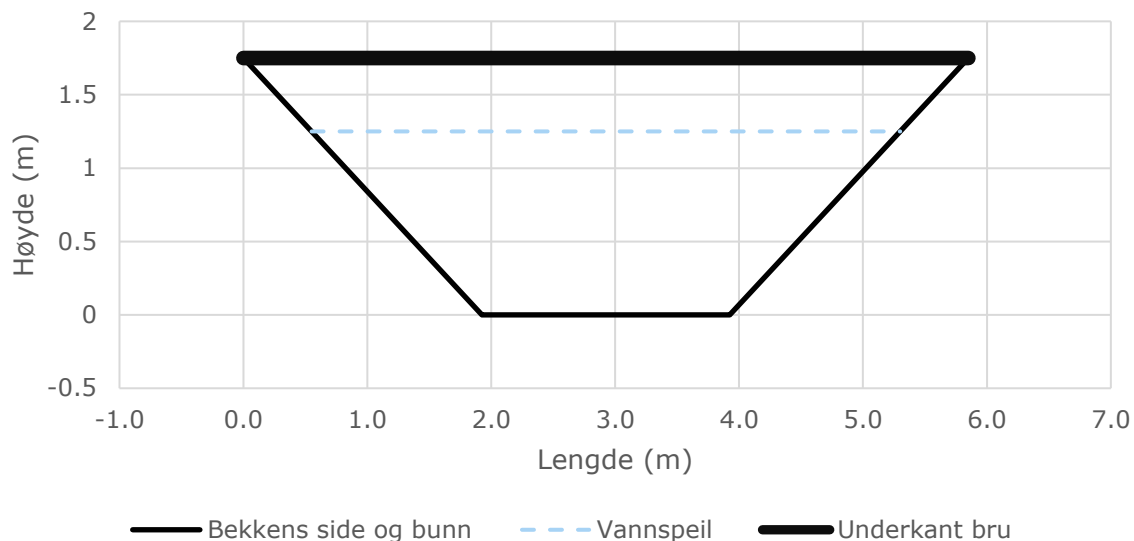
I Statens Vegvesens håndbok «N200 Vegbygging» i figur 403.1 settes krav til returperiode til 100 år hvis vei har omkjøringsmuligheter, og 200 år hvis ikke. Etersom at Varmbuvegen/fylkesvegen går i en sirkel, det det være mulighet for omkjøring om det skulle flomme over veien. Dermed er det mulig å sette krav til kulvertdimensjon basert på en 100-års flomhendelse. Hva som er dimensjonerende returperiode bør diskuteres med NVE, som SVV skriver i håndboka.

I vurderingene av krysning over Varmbuvegen er krav til returperiode satt lik som for planområde, en flomhendelse med 200 års returperiode, inkludert en klimafaktor på 35 %.

6.2.1.1 Alternativ 1: Platebru

Ved å benytte dagens tverrprofil og legge platebru over, vil det oppstrøms tverrprofil (1316) være behov for at underkant av bru ligger minimum på kote $11,4 + 0,5 = 11,9$ m.o.h. På nedstrøms tverrprofil (1293) vil underkant bru minst ligge på kote $10,9 + 0,5 = 11,4$ m.o.h.

Bekkens løp under en platebru bør etter beste evne gjenskape dagens tverrprofil opp- og nedstrøms. En skisse av forslag til geometri på et tverrprofil under platebru er gitt under, i Figur 20 og Tabell 6.



Figur 20 Skisse av bekkens tverrprofil under platebru Varmbuvegen.

Tabell 6 Dimensjoner på bekkens tverrprofil under platebru Varmbuvegen.

Geometri	Mengde	Enhet
Bredde, underkant bru	5,9	m
Bredde, bunn	2	m
Helning, side	1:1,1	-
Fall, strømningsretning	3,5	%
Lengde/spenn, bru	7	m
Bredde, bru	20	m

6.2.1.2 Alternativ 2: Bokskulvert

Dimensjoner for bokskulvert under Varmbuvegen som tilfredsstiller krav til 0,5 m fribord ved 200-års flom inkludert et klimapåslag er gitt i Tabell 7.

Tabell 7 Dimensjoner til kulvert under Varmbuvegen. Dimensjonene er indre verdier.

Geometri	Mengde	Enhet
Bredde	3	m
Høyde	2	m
Lengde	24	m
Fall, strømningsretning	3,3	%
Innvending bunn, oppstrøms	10,2	m.o.h.
Innvending bunn, nedstrøms	9,4	m.o.h.

6.2.2 Statsråd Nissens veg

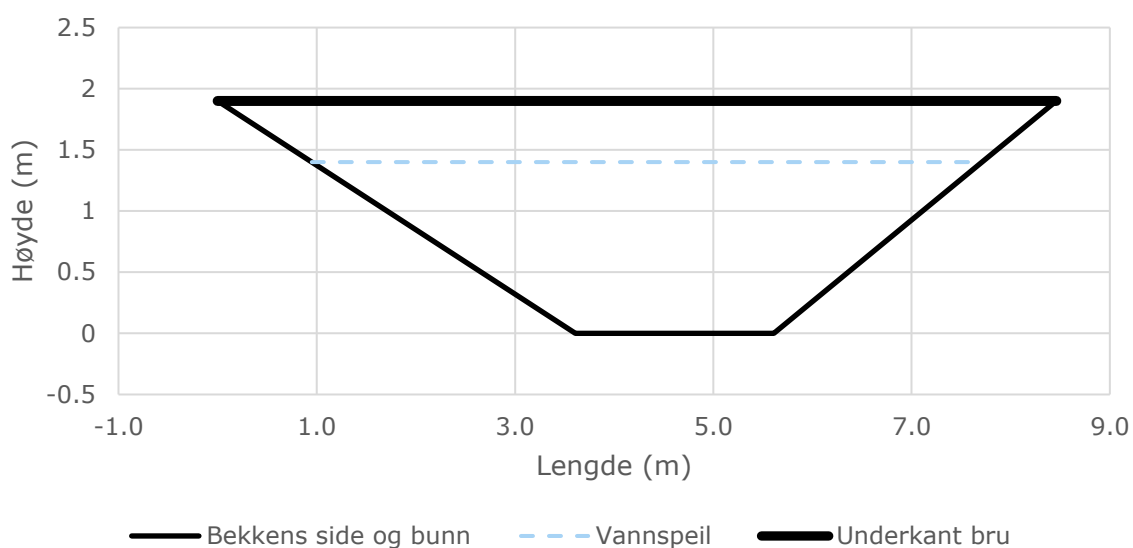
Statsråd Nissens veg er en kommunal veg, slik at krav til 0,5 m fribord og sikkerhetshøyde ikke er gitt etter krav fra Statens Vegvesen, som for riks- og fylkesveger. Det anbefales fortsatt å ha en viss sikkerhetshøyde/fribord for å ta hensyn til usikkerhet i beregningene. For kulverten under Statsråd Nissens veg anbefaler vi et fribord på 0,3 m.

Flomhendelse tilsvarende dimensjonerende flom, 200-års flom med 35% klimatillegg, er her benyttet til vurdering av behov for tilstrekkelig tverrsnitt/kulvert.

6.2.2.1 Alternativ 1: Platebru

Ved å benytte dagens tverrprofil og legge platebru over, vil det oppstrøms tverrprofil (1316) være behov for at underkant av bru ligger minimum på kote $9,5 + 0,3 = 9,8$ m.o.h. På nedstrøms tverrprofil (1293) vil underkant bru minst ligge på kote $9,5 + 0,3 = 9,8$ m.o.h., tilsvarende for oppstrøms kote.

Bekkens løp under en platebru bør etter beste evne gjenskape dagens tverrprofil opp- og nedstrøms. En skisse av forslag til geometri på et tverrprofil under platebru er gitt under, i Figur 21 og Tabell 8. Topp bredde vil variere, da det vil være behov for et større vannareal nedstrøms enn oppstrøms.



Figur 21 Skisse av bekkens tverrprofil under platebru Statsråd Nissens veg.

Tabell 8 Dimensjoner på bekkens tverrprofil under platebru Statsråd Nissens veg.

Geometri	Mengde	Enhet
Bredde, underkant bru	7,8 - 8,5 (fra oppstrøms til nedstrøms tverrprofil)	m
Bredde, bunn	2	m
Helning, venstre side	1:1,9	
Helning, høyre side	1:1,5	
Fall, strømningsretning	2,5	%
Lengde/spenn, bru	8	m
Bredde, bru	9	m

6.2.2.2 Alternativ 2: Bokskulvert

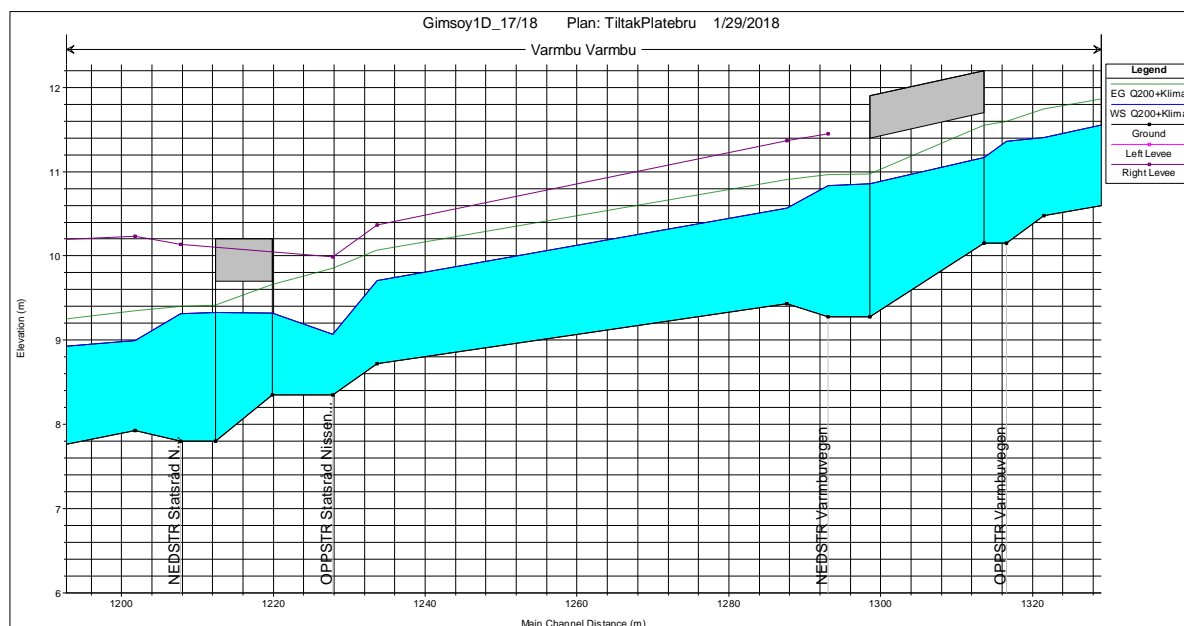
Dimensjoner for bokskulvert under Statsråd Nissens veg som tilfredsstillere krav til 0,3 m fribord ved 200-års flom inkludert et klimapåslag er gitt i Tabell 9.

Tabell 9 Dimensjoner på kulvert under Statsråd Nissens veg. Dimensjonene er indre verdier.

Geometri	Mengde	Enhet
Bredde	4	m
Høyde	1,8	m
Lengde	20	M
Fall, strømningsretning	3	%
Innvending bunn, oppstrøms	8,4	m.o.h.
Innvending bunn, nedstrøms	7,8	m.o.h.

6.3 Vannlinjeberegning ved alternativ 1: platebru

Figur 22 viser lengdeprofil ved Varmbuvegen og Statsråd Nissens veg med beregnede vann- og energilinjer. Ved omgjøring av kulverter til naturlig bekkeprofil med platebru over, vil Varmbubekken ha tilstrekkelig kapasitet ved kryssing av de to veiene, uten at det flommer over bredene og videre ut på planområdet.



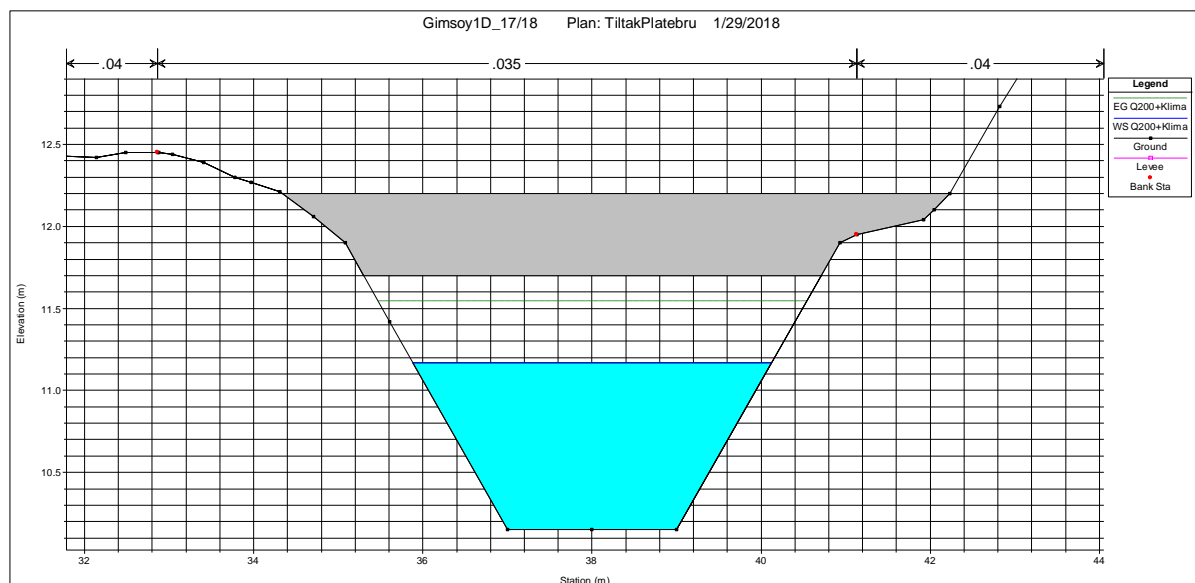
Figur 22 Beregnet vann- og energilinje ved Varmbuvegen og Statsråd Nissens veg ved dimensjonerende flom. Kulvertene har blitt skiftet ut med et konstruert bekkeleie, hvor platebru har blitt lagt over. Energi-linje er vist med stiplet, grønn linje.

Tabell 10 viser vanns- og energinivå, samt vannhastigheter i tverrprofilene ved kulvertene for alternativ med platebru. En fullstendig tabell for alle tverrprofil i Varmbubekken er oppsummert i vedlegg 2.

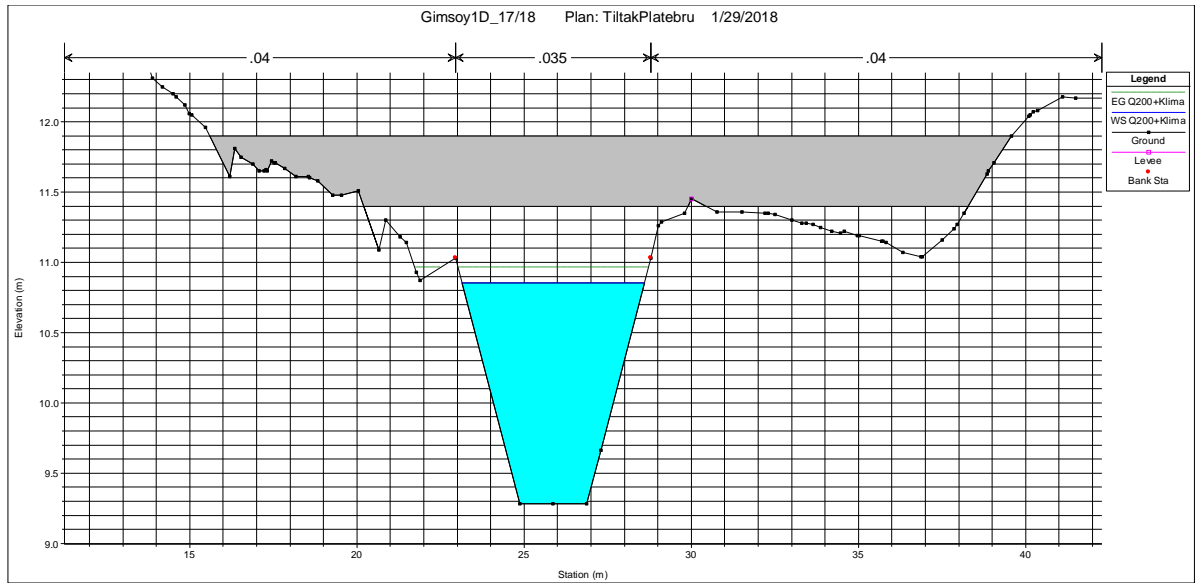
Tabell 10 Vann- og energilinje ved tverrprofilene i område ved kulvertene over Varmbuvegen og Statsråd Nissens veg.

Tverr-profil	Eksisterende		Tiltak: Alternativ platebru			Kommentar
	Vann-stand (m.o.h.)	Energi-høyde (m.o.h.)	Vann-stand (m.o.h.)	Energi-høyde (m.o.h.)	Vannhas-tighet (m/s)	
1321.486	12,8	12,8	12,17	12,22	1,05	
1316.59	12,8	12,8	11,82	12,17	2,84	Oppstrøms kulvert over Varmbuvegen
1293.033	10,68	11,09	10,26	11,42	4,78	Nedstrøms kulvert over Varmbuvegen
1287.637	10,4	10,97	10,36	11,02	3,62	
1233.653	10,41	10,41	9,74	10,06	2,49	
1227.85	10,41	10,41	8,98	9,84	4,09	Oppstrøms kulvert over Statsråd Nissens veg
1207.742	9,29	9,41	9,29	9,41	1,51	Nedstrøms kulvert over Statsråd Nissens veg
1201.757	9,01	9,34	9,01	9,34	2,54	

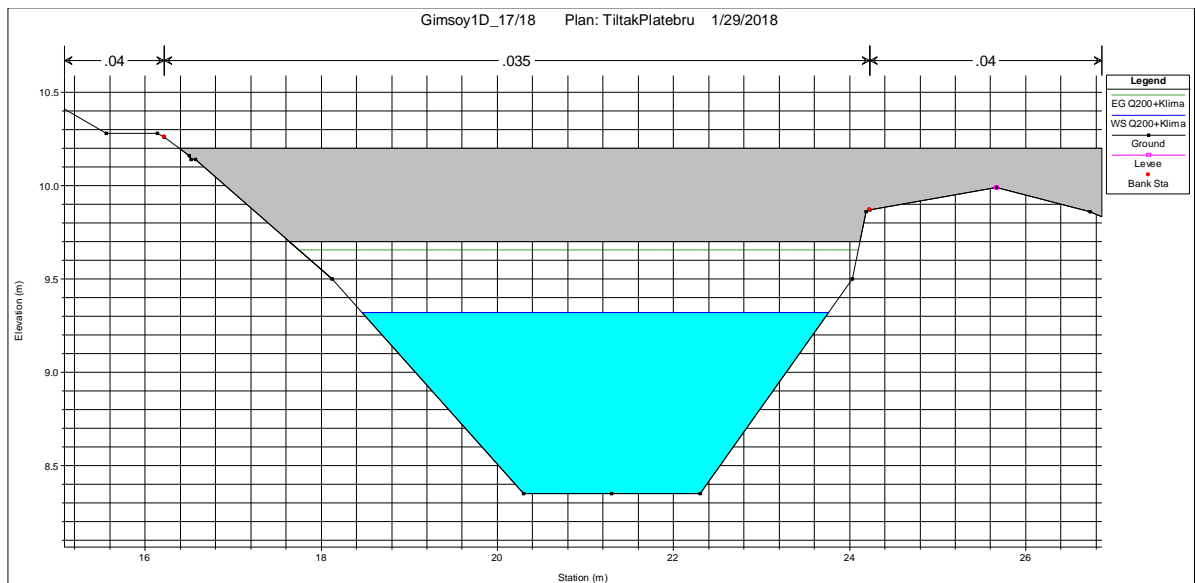
Tverrprofilene som ble foreslått over ble lagt inn i tverrprofilene opp- og nedstrøms eksisterende kulverter, og kan sees under i Figur 23, Figur 24, Figur 25 og Figur 26. Figurene inneholder vann- og energilinje, samt foreslått høyde på underkant bru og en antatt 0,5 m tykkelse på brudekket. Ved foreslått terrengprofil vil krav til fribord imøtekommes.



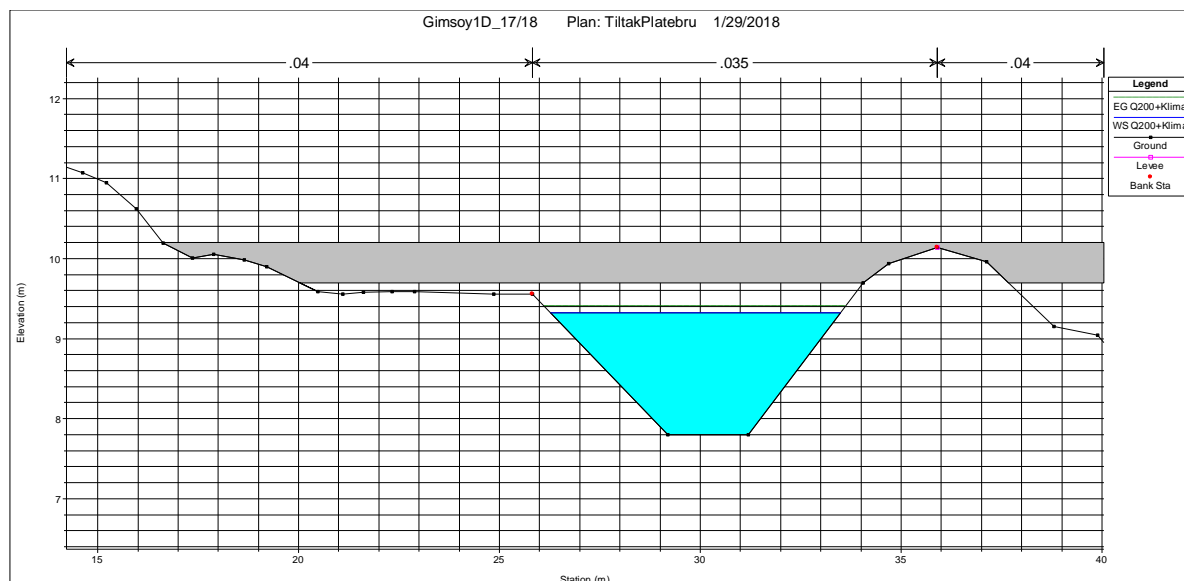
Figur 23 Tverrprofil oppstrøms platebru over Varmbuvegen, som viser vannlinje beregnet for dimensjonerende flom for alternativ med platebru. Platebruen er illustrert her med en tykkelse på 50 cm. Energi-linje er vist med stiplet, grønn linje.



Figur 24 Tverrprofil nedstrøms platebru over Varmbuvegen, som viser vannlinje beregnet for dimensjonerende flom for alternativ med platebru. Platebruen er illustrert her med en tykkelse på 50 cm. Energi-linje er vist med stiplet, grønn linje.



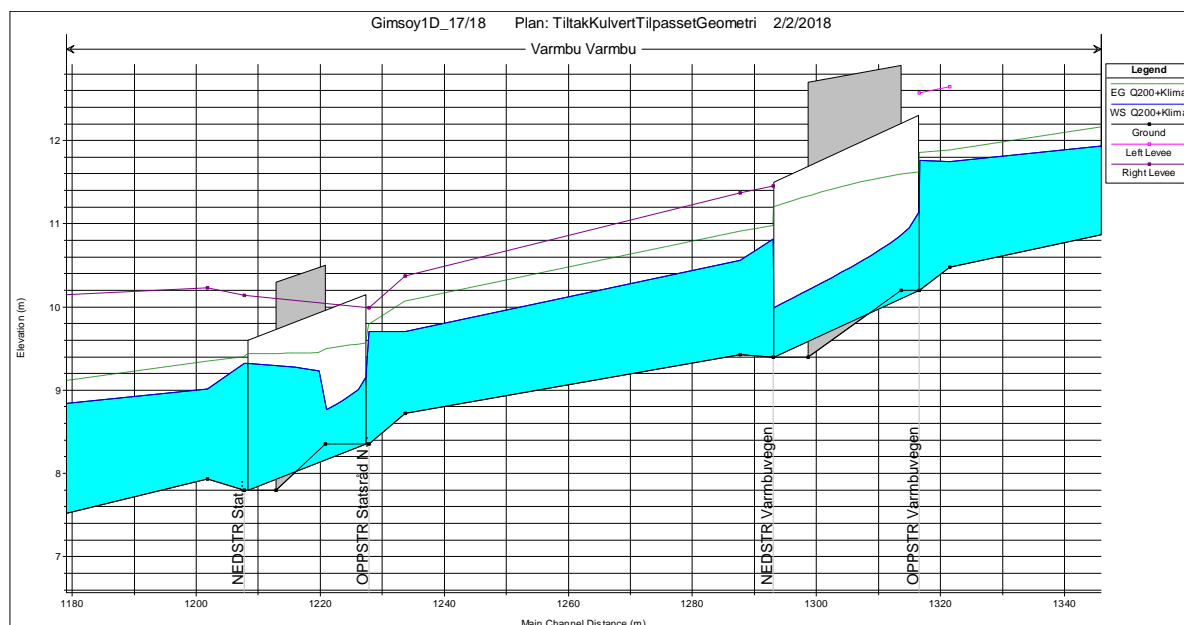
Figur 25 Tverrprofil oppstrøms platebru over Statsråd Nissens veg, som viser vannlinje beregnet for dimensjonerende flom for alternativ med platebru. Platebruen er illustrert her med en tykkelse på 50 cm. Energi-linje er vist med stiplet, grønn linje.



Figur 26 Tverrprofil nedstrøms platebru over Statsråd Nissens veg, som viser vannlinje beregnet for dimensjonerende flom for alternativ med platebru. Platebruen er illustrert her med en tykkelse på 50 cm. Energilinje er vist med stiplet, grønn linje.

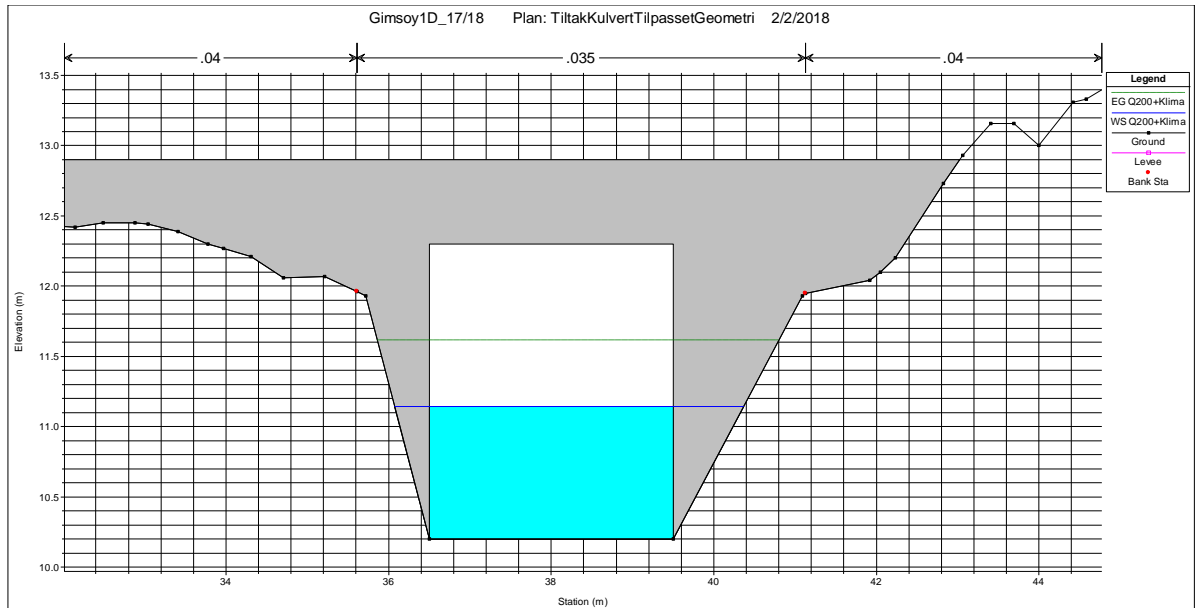
6.4 Vannlinjeberegning ved alternativ 2: nye kulverter

Ved bruk av foreslåtte bokskulverter blir den beregnede vann- og energilinjen ved Varmbuvegen og Statsråd Nissens veg som vist i Figur 27. I begge kulvertene oppstår det et vannstandssprang. Vannstandssprangene er noe, på grunn av modells evne til å beregne korrekt vannlinje inni kulvertene. Ved å ta hensyn til vannstandene i utløpet til kulvert under Varmbuvegen, ivaretas satt krav til fribord på 0,5 m.

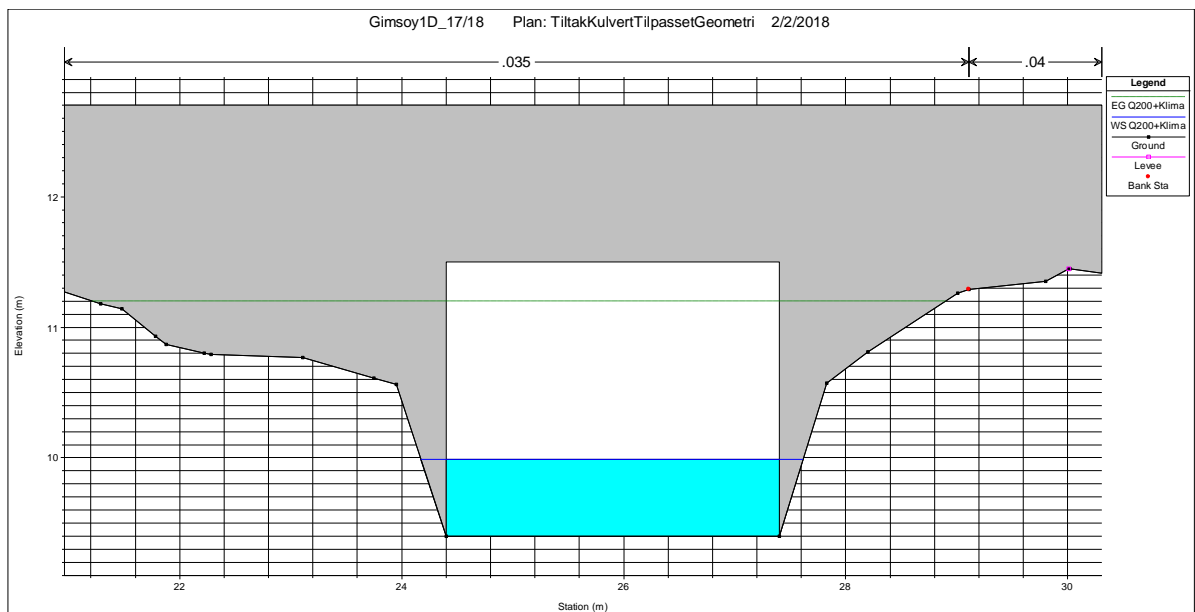


Figur 27 Lengdesnitt som viser vann- og energilinje ved Varmbuvegen og Statsråd Nissens veg ved alternativ 2: nye kulverter. Energilinje er vist med stiplet, grønn linje.

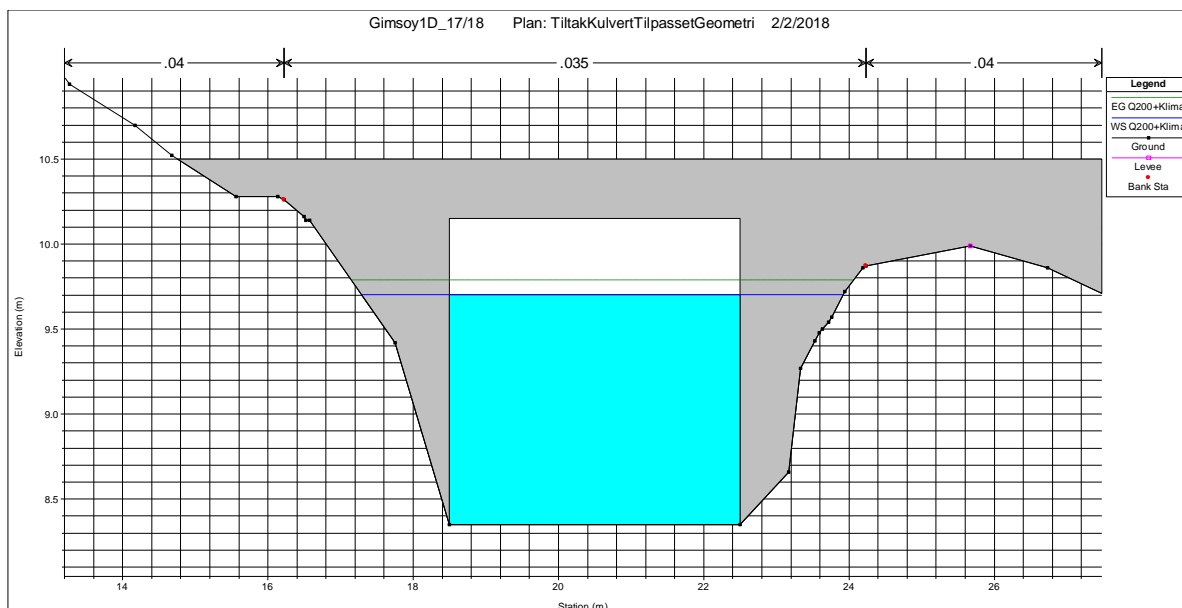
Tverrprofilene opp- og nedstrøms kulvertene i Figur 28, Figur 29, Figur 30 og Figur 31 viser vann- og energilinje, samt fylling mot terreng (gråfarge). På grunn av oppstuvning av vann ved utløp av begge kulvertene, vil det være i utløpet man må passe på å imøtekomme krav til fribord.



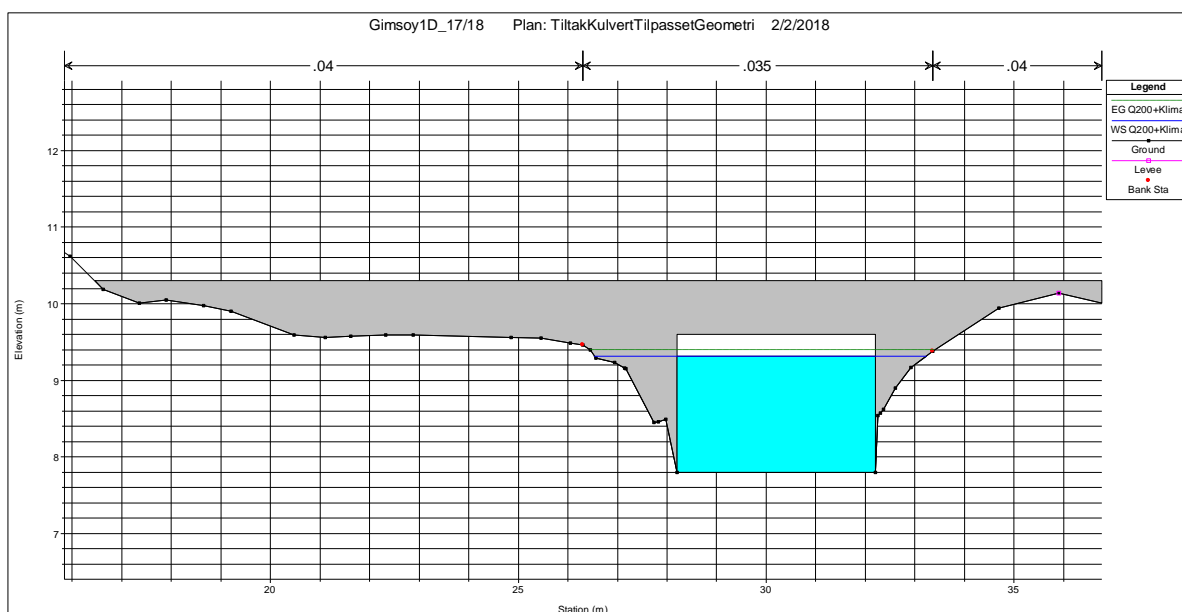
Figur 28 Tverrprofil oppstrøms platebru over Varmbuvegen, som viser vannlinje beregnet for dimensjonerende flom for alternativ med kulvert. Fylling mot vei er vist med grått. Energilinje er vist med stiplet, grønn linje.



Figur 29 Tverrprofil nedstrøms platebru over Varmbuvegen, som viser vannlinje beregnet for dimensjonerende flom for alternativ med kulvert. Fylling mot vei er vist med grått. Energilinje er vist med stiplet, grønn linje.



Figur 30 Tverrprofil oppstrøms platebru over Statsråd Nissens veg, som viser vannlinje beregnet for dimensjonerende flom for alternativ med kulvert. Fylling mot vei er vist med grått. Energilinje er vist med stiplet, grønn linje.



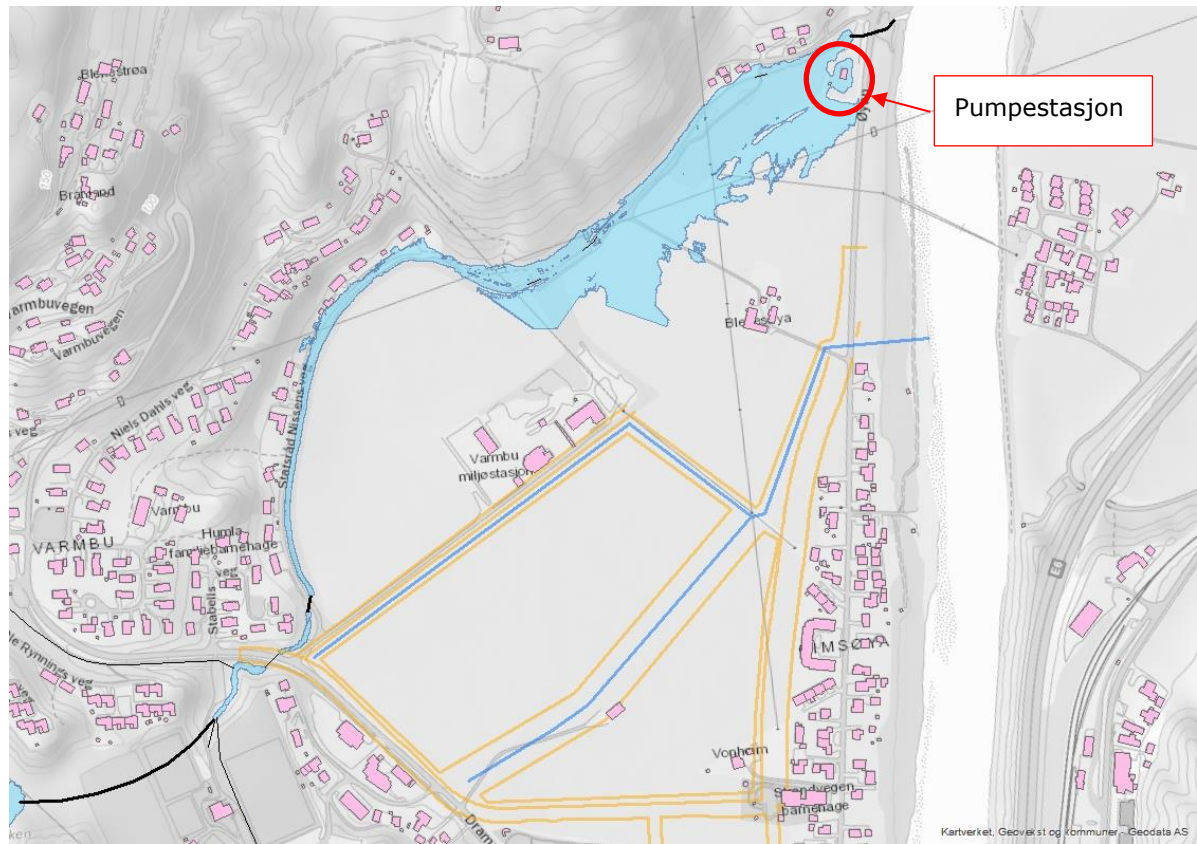
Figur 31 Tverrprofil nedstrøms platebru over Statsråd Nissens veg, som viser vannlinje beregnet for dimensjonerende flom for alternativ med kulvert. Fylling mot vei er vist med grått. Energilinje er vist med stiplet, grønn linje.

6.5 Flomsonekart for tiltakssituasjon

Ved å gjennomføre et av de to forespeilede tiltakene for kulvertene under Varmbuvegen og Statsråd Nissens veg vil flomsituasjonen endre seg. Under i Figur 32 er flomsonekartet som ble beregnet for dimensjonerende flom i Varmbubekken, med samtidig årsflom i Gaula. Flomsonen har blitt betraktelig mindre sammenlignet med eksisterende situasjon (Figur 18). Det vanddekte arealet i nedre del av bekken kommer i stor grad av oppstuvning oppstrøms kulvert over Strandvegen, og bygger seg opp til omtrentlig kote 5,9 m.o.h.

Det er noe usikkerhet knyttet til vanddekning på område rundt pumpestasjon, der det mistenkes at terrenggrunnlaget ikke er oppdatert etter bygging, slik at området blir feil representert i

flomsonekartet. Med tanke på at pumpestasjonen ikke er en del av planområdet, vil det ikke bety noe for utbyggingen.



Figur 32 Flomsonekart etter gjennomførte tiltak for kulvertene under Varmbuvegen og Statsråd Nissens veg, ved dimensjonerende flom (200-års flom med klimafaktor), i Varmbubekken og samtidig årsflom i Gaula.

7. USIKKERHETER

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 vist i temakart.

Flomfrekvensanalyse

Estimater basert på formler for små nedbørfelt har en usikkerhetsfaktor på ca. 0,5–2 (nedre estimat = median/2,06 og øvre estimat = median x 1,77).

I tillegg er det noe usikkerhet knyttet til de hydrologiske data ved målestasjonene, da sammenlignet målestasjon 122.23 Klett har kort måleperiode (12 år), noe som gjør at verdiene for stasjonene i seg selv er noe usikre. Ved kun å benytte årsflomverdien, er usikkerheten til dataene noe mindre.

Samlet vurderes usikkerheten i det hydrologiske grunnlaget benyttet i flomfrekvensanalysen til stor, dvs. «Brukbar hydrologisk grunnlag i kombinasjon med store gradienter i spesifikke floms-tørrelser i området alternativt begrenset hydrologisk datagrunnlag» (NVE, veileder 7, 2015). Ved bruk av klassifisering til Midttømme m.fl. (2011), tilsvarer usikkerheten klasse 3 (hvor klasse 1 er best hydrologisk datagrunnlag, mens 5 er dårligst).

Datagrunnlag

Datagrunnlaget for vassdraget kan karakteriseres som middels til godt da det er anvendt innmålinger supplert med filtrert laserdata. Likevel er det noe usikkerhet knyttet til beregnede flomutbredelser som følge av støy som ikke har blitt filtrert ut eller områder med få laserpunkter (filtrert ut) i tillegg til konservative dybder i selve elveløpet, nevnt i delkapittel 2.2.

Vannlinjeberegninger

En svakhet ved beregningene er at det ikke har vært tilgjengelige kalibreringsdata for Varmbukken (samtidig måling av flomvannføring og flomvannstand). Det er derfor valgt relativt konservative modellparametere for ruhet, kulverter, innsnevring- og utvidelseskoeffisienter.

Det er gjennomført en sensitivitetsvurdering hvor Mannings ruhetskoeffisienten ble økt med 20 % for tverrprofil og kulverter. Situasjon etter tiltak (med alternativ platebru) ble benyttet. Vannlinjen etter økning av ruhetskoeffisient lå i snitt 6 cm over tidligere beregnet vannlinje, og differansen i vannlinje varierte mellom ± 15 cm.

Flomutbredelse

Nøyaktigheten til de beregnede flomsonene er avhengig av usikkerhet i hydrologiske data, flomberegninger og vannlinjeberegninger. I tillegg kommer usikkerheten i terrengmodellen. Disse usikkerhetene er diskutert over.

Som følge av usikkerheter i beregningene foreslås en sikkerhetsmargin på 0,3 meter for Varmbukken, og tillegg benytte 0,4 m for beregningene gjort i Gaula som NVE foreslo i sin flomrapport (2001). Kravet til fribord og sikkerhetsmarginen for avstand mellom beregnet vannhøyde og underkant bru/kulvert har ikke blitt addert. Det vil si at de blir sett på som to krav/anbefalinger som ikke direkte skal blandes. Årsaken til valget kommer av uklarhet i hvordan man skal forholde seg til fribord og sikkerhetsmargin i Statens Vegvesens håndbøker eller annen litteratur.

8. SAMMENDRAG OG KONKLUSJON

Bakgrunn

I forbindelse med planlegging av boligutbygging på Gimsøya, Melhus har Rambøll fått i oppdrag å gjennomføre flom- og vannlinjeberegninger for Varmbubekken og foreslå eventuelle avbøtende tiltak mht. kapasitetsbegrensninger for veibru/-kulvert eller bekkens.

Mål

Hovedmålet med denne rapport har vært å dokumentere sikker byggegrunn iht. dimensjonerende flomhendelse (200-års flom) og gi forslag til eventuelle avbøtende tiltak for å sikre planområdet mot en 200-års flom.

Krav

I henhold til byggeteknisk forskrift, TEK 17 § 7-2, skal byggverk beregnet for personopphold (blant annet barnehage, bolig og næringsbygg), sikres i forhold til en 200-års flom (sikkerhetsklasse F2, med største nominelle årlige sannsynlighet lik 1/200).

NVE stiller krav til sikker byggegrunn iht. dimensjonerende flomhendelse (200-års flom) og krever at eventuelle avbøtende tiltak hjemles i det endelige planforslaget.

Basert på ovennevnte krav er det blant annet foretatt vannlinjeberegninger for 200-års flom (inkludert 35 % klimapåslag) og utarbeidet tilhørende flomsonekart både for eksisterende situasjon og for planlagt situasjon med foreslåtte avbøtende tiltak.

Planområde

Planlagt boligfelt på Gimsøya, Melhus kommune er plassert på en flomsone for Gaula, som i dag er et landbruksareal. Boligfeltet vil bestå av en titalls boliger med både leiligheter, næringslokaler, barnehage og kommunale boliger. Planlagt boligområde må vurderes i forhold til flomfare både fra Gaula og Varmbubekken.

Resultater for eksisterende situasjon

Resultatene fra vannlinjeberegningene viser at ved dimensjonerende 200-års flom (inkl. klimapåslag) vil både Gaula og Varmbubekken flomme utover planområdet flere steder. Vannstand på planområdet ved dimensjonerende vannføring i Gaula er beregnet til å variere mellom kote 8,2-8,6 m.o.h.

Sikker byggehøyde for planområdet er basert på vannstand på planområdet ved dimensjonerende flom i Gaula, og er satt til kote 8,6 m.o.h. + 40 cm sikkerhetsmargin.

Ved dimensjonerende vannføring i Varmbubekken, med samtidig årsflom i Gaula, vil det flomme over i kulvertene under Varmbuvegen og Statsråd Nissens veg. Deler av vannet vil flomme ut over planområdet, og det vil trolig dekke til og med hvor tiltenkt blågrønt belte i planområdet er skissert. Med andre ord vil sørøstlig boligområde ikke være berørt av dimensjonerende flom i Varmbubekken for eksisterende situasjon.

Beregning av vannlinjer viser at kulvertene under Varmbuvegen og Statsråd Nissens veg overtoppes ved henholdsvis en 5-års flom og årsflom. De to kulvertene er svakheten i systemet, og fører til at planområdet dekkes av flomvann.

Som følge av usikkerheter i beregningene foreslås en sikkerhetsmargin på 0,3 meter for Varmbuvegen.

Avbøtende tiltak

For å sikre planområdet mot en 200-års flom i Gaula foreslås en heving av boligområde på planområdet til sikker byggehøyde som er satt til kote 9,0 m.o.h.

For å unngå flomvann på planområdet ved dimensjonerende flom i Varmbubekken anbefales det at kulvertene under Varmbubekken og Statsråd Nissens veg fjernes og erstattes av platebru. Platebru med et gjensvart naturlig bekkeløp under vil gi tilstrekkelig kapasitet til å avlede en 200-års flom (inkludert et klimatillegg på 35 %). Ved krav til fribord på 50 cm ved Varmbuvegen vil underkant av bru ligge på kote 11,4 og 11,9 m.o.h. (ned- og oppstrøms tverrprofil). For Statsråd Nissens veg er krav til fribord satt til 30 cm, og underkant bru vil ligge på kote 9,8 m.o.h. For begge veikryssningene vil tiltak føre til heving av veiene i forhold til dagens situasjon.

Et alternativ til å skifte dagens kulverter til platebru-løsning er større kulverter. Større kulverter vil føre til at veiene må heves noe mer enn alternativ med platebruer. I tillegg fører det til et mer komplisert strømningsbilde, med vannstandssprang i utløpet til kulvertene.

Uavhengig av valg av løsning vil det være viktig å vurdere erosjonssikringstiltak, da vannhastigheten på strekningen kan bli så høy som 4 m/s. Se tabell med vannhastigheter i ulike tverrprofil i vedlegg 2.

Flomsonkart etter tiltak viser at planområdet blir uberørt ved en dimensjonerende vannføring i Varmbubekken, men at nedre del av bekken fortsatt er utsatt for oversvømmelse som følge av vannstand i Gaula ved årsflom og kapasiteten til kulverten under Strandvegen, i likhet med hva eksisterende situasjon viser.

Som følge av usikkerheter i beregningene foreslås en sikkerhetsmargin på 0,3 meter for Varmbuvegen.

Trinnvis utbygging

I prosjektarbeidet har det blitt diskutert å bygge ut boligområdet i sørøst som første trinn. På bakgrunn av beregnet flomsonkart for eksisterende situasjon, hvor dette boligområdet i neglisjerbar grad berøres, vil det være mulig å bygge ut området uten at flombredden til Varmbubekken berøres. Derimot ved utbygging av boligområde i nordvest vil det være viktig at tiltak er gjort i kulvertene under Varmbuvegen og Statsråd Nissens veg, slik at boligutbyggingen ikke skjer på flomsonen til Varmbubekken og muligens forverrer forholdene for annen bebyggelse.

9. REFERANSER OG KILDER

HEC-RAS. US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center.

Lenke: <http://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/>

Byggteknisk forskrift (TEK17). Kapittel 7 Sikkerhet mot naturpåkjenninger. §7-2. Sikkerhet mot flom og stormflo.

Lenke: <https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/7/7-2/>

Lindholm, O., Endresen, S., Thorolfsson, S., Sægrov, S., Jakobsen, G. og Aaby L. (2008): Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering. Norsk Vann rapport 162-2008.

NVE Hydra II programvare (lisensbelagt).

NVE (2001). Flomsonekart nr 5 / 2001. Delprosjekt Melhus.

NVE (2011). Retningslinjer nr 2/2011. Flaum- og skredfare i arealplanar.

NVE (2015). Rapport nr 13-2015. Nasjonalt formelverk for flomberegning i små nedbørfelt.

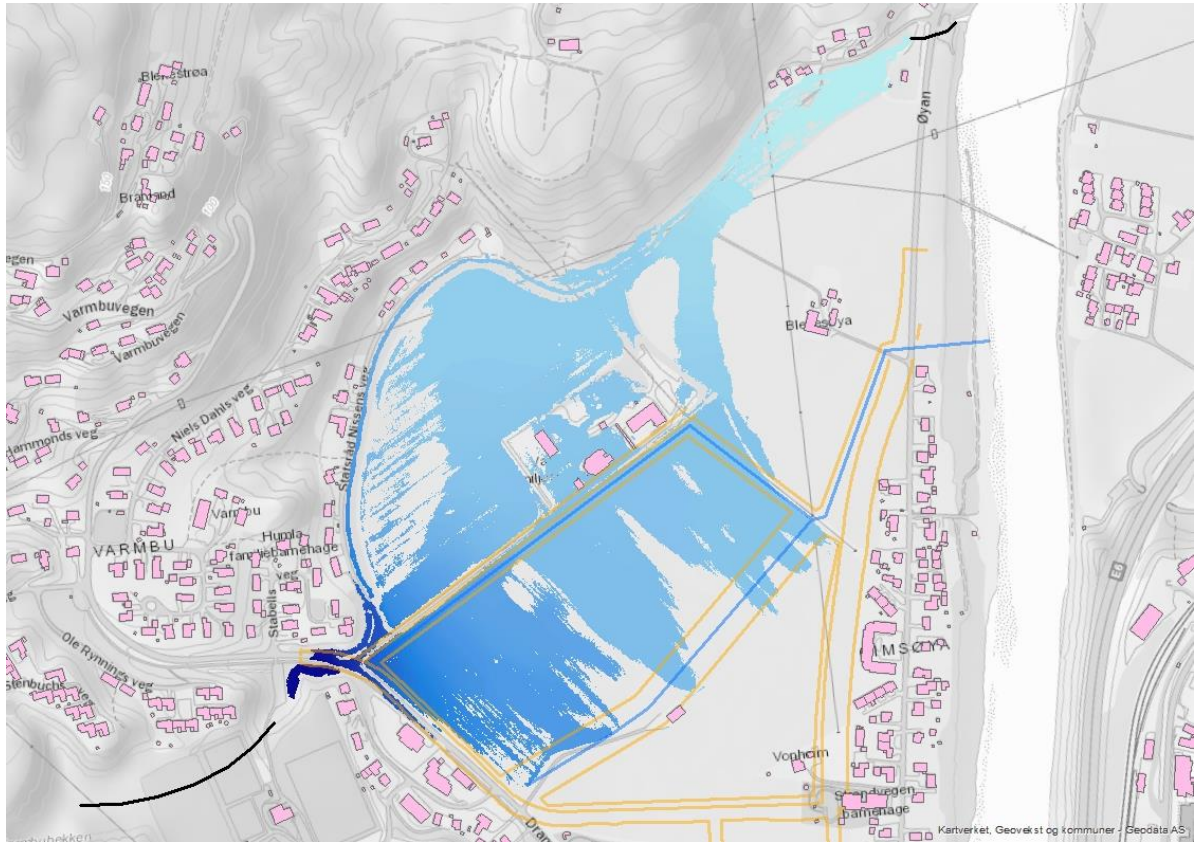
NVE (2015). Veileder nr 7-2015. Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt.

NVE (2015). Sjekkliste for reguleringsplan - vurdering av tema innenfor NVEs forvaltningsområder (pr. 11.06.2015).

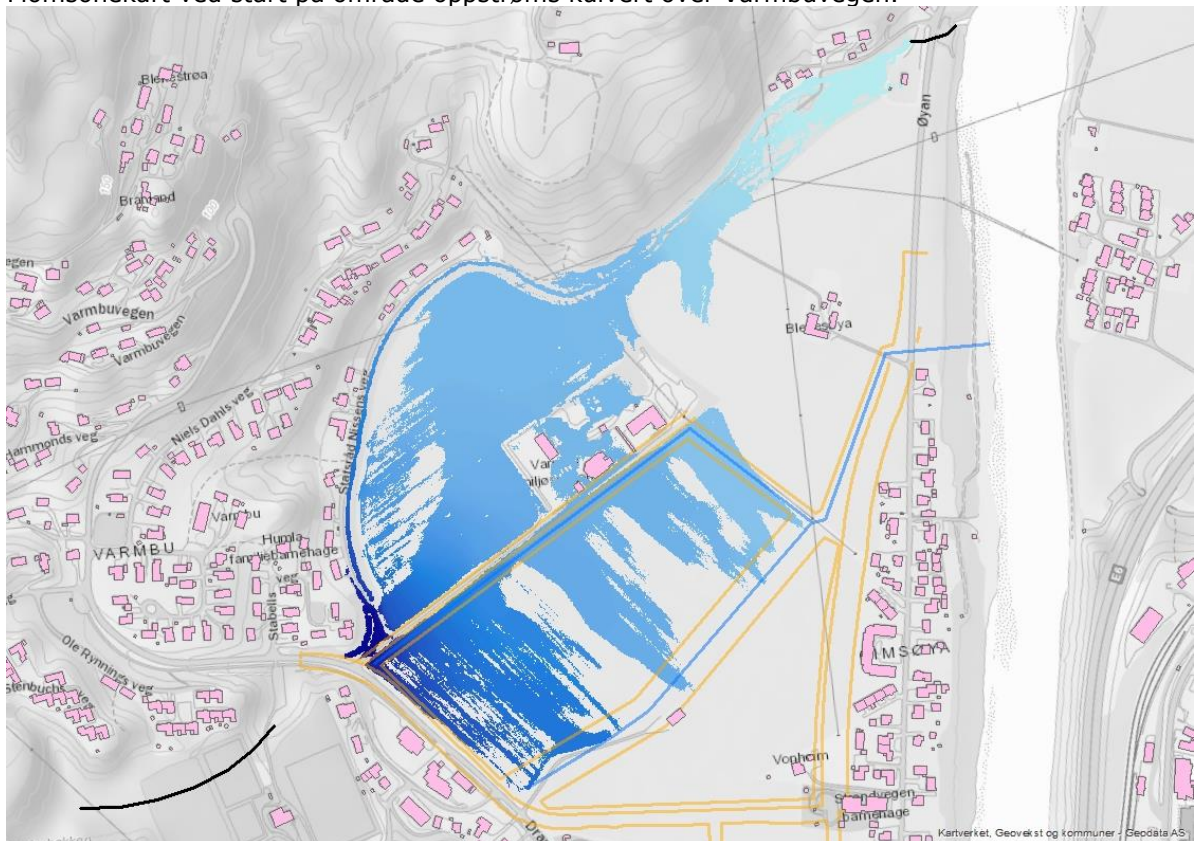
NVEs (2017). Oppdragsrapport B-9 2017. Flomberegning og hydraulisk analyse for Gaula ved Melhus.

SVV: Statens vegvesen 2014, Håndbok N200 Vegbygging, 109-202. Kapittel 4 – Grøfter, kummer og rør. Vegdirektoratet 2014, www.vegvesen.no/handboker.

VEDLEGG 1 FLOMSONEKART VED TODIMENSJONAL HEC-RAS-MODELL



Flomsonekart ved start på område oppstrøms kulvert over Varmbuvegen.



Flomsonekart ved start på området oppstrøms kulvert over Statsråd Nissens veg.

VEDLEGG 2

TVERRPROFIL – RESULTAT FRA TILTAKSBEREGNINGER

Tabell som viser vann- og energilinje, samt vannhastighet for tverrprofil i modell med tiltak (alternativ med platebru), ved dimensjonerende flom i Varmbubekken og samtidig årsflom i Gaula.

Tverrprofil	Vannivå (m.o.h.)	Energi høyde (m.o.h.)	Vannhastighet (m/s)
2191.502	32,78	33,26	3,08
1989.375	27,55	27,85	2,57
1682.565	24,74	24,74	0,26
1672.461	24,74	24,74	0,21
1666.234	24,73	24,74	0,54
1666			
1425.339	13,54	13,84	2,42
1411.352	12,43	13,26	4,06
1353.788	12,02	12,25	2,11
1321.486	11,41	11,74	2,55
1316.59	11,36	11,59	2,14
1316			
1293.033	10,83	10,96	1,58
1287.637	10,56	10,9	2,64
1233.653	9,71	10,06	2,65
1227.85	9,07	9,85	3,92
1227			
1207.742	9,31	9,4	1,31
1201.757	9	9,34	2,6
1146.933	8,59	8,78	1,95
1123.847	8,5	8,66	1,83
1063.09	8,11	8,3	1,93
1017.983	7,85	8,02	1,93
936.0869	7,55	7,66	1,46
853.8719	7,3	7,41	1,56
810.0015	6,97	7,21	2,21
744.738	6,72	6,83	1,48
712.8015	6,37	6,64	2,42
619.9827	6,24	6,24	0,32
619.1931	6,23	6,24	0,35
619			
617.4042	6,2	6,23	0,96
614.724	6,18	6,23	1,14
546.4933	6,2	6,2	0,24
546			
542.5602	6,2	6,2	0,21
537.8417	5,75	6,16	2,84
479.2773	5,88	5,89	0,52

266.3417	5,87	5,87	0,22
265.2879	5,87	5,87	0,23
187.9797	5,85	5,86	0,56
161.9962	5,84	5,86	0,57
157.8179	5,84	5,85	0,5
151.7108	5,83	5,85	0,61
151			
98.54472	4,75	4,81	1,05
98.25233	4,78	4,8	0,57
94.4657	4,78	4,79	0,51
85.84608	4,79	4,79	0,35
0	4,79	4,79	0,03