

Dato: 2021-10-14

## DS4 – Flomvurdering Vågsbotn

### Sammendrag og oppsummering

Det er gjennomført flomvurdering av planlagt vogndepot på Vågsbotn, i forbindelse med utarbeidelse med reguleringsplan for bybane fra sentrum til Åsane. Vurderingen er utført for 200-årsflom i fremtidens klima.

Bekken i Vågsbotn har en feltstørrelse på 0.7 km<sup>2</sup>, og havner i kategorien mikrofelt. Flomberegninger er utført med flere metoder (NIFS, rasjonale formel, PQRout), og det er valgt å benytte er klimapåslag på 40%. Endelig estimat for dimensjonerende flomvannføring er  $Q_{200+40\%} = 5.3 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Det er utført hydraulisk analyse med en todimensjonal hydraulisk modell i programmet HEC-RAS. Analysen viser at vogndepotet er utsatt for oversvømmelse, hvor hovedproblemet er knyttet til manglende kapasitet i kulvert under rundkjøringen ved E16 og E39. Kulverten klarer ikke å videreføre flomtoppen, noe som fører til oppstuvning som strekker seg langt oppover i det slake bekkeløpet, med en tilnærmet horisontal vannflate på kote 91.2 til 91.3 moh. For å ta hensyn til usikkerheter i beregningene, og fare for tilstopping av kulverter, er det anbefalt å legge til en sikkerhetsmargin på 50 cm. Flomsikkert nivå ved vogndepotet tilsvarer dermed kt. 91.8 moh.

Det er anbefalt at byggegrunnen/SOK ved depotet heves for å ivareta sikkerheten mot flom. Det er ikke ønskelig at vann kommer over underkant sville da det kan påvirke funksjonaliteten til sporveksler og komme inn i hensettingshallen. Følgelig må SOK (SkinneOverKant) ligge på 92.2 moh. Det er også anbefalt at kulverten under Blindheimsvegen byttes ut ifm. etablering av ny gangveg til depotet, da denne er underdimensjonert og i dårlig stand. Hydraulisk analyse av situasjon med disse tiltakene, viser at de vil ha en minimal innvirkning på flomsituasjonen i bekken utover å sikre vogndepotet mot oversvømmelse.

For å håndtere avrenning fra sørøst, er det foreslått å etablere en avskjærende grøft og åpne en bekkelukking, hvor vannmengdene fra disse føres under depotet i en kulvert. Med disse tiltakene vil flomvannmengdene føres til hovedløpet i bekken på en trygg og stort sett åpen måte.

02J	Godkjent og for bruk	2022-04-08	HMK	IDB	AKv	IOV
01B	Nytt dokument	2021-10-14	HMK	IDB	AKv	IOV
Versjon	Beskrivelse	Dato	Utarb. av	Fagkontroll	Tverf.kontr.	Godkj. av

Dette dokumentet er utarbeidet av rådgiver som del av det oppdraget som dokumentet omhandler. Opphavsretten tilhører rådgiver. 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.

## Forord

Asplan Viak AS har utført flomvurdering av Vågsbotn, i forbindelse med reguleringsplan for Bybanen fra sentrum til Åsane. Dette notatet beskriver vurderingens grunnlag, forutsetninger og resultater, samt anbefalinger for håndtering av flomproblematikk.

Hege Merete Kalnes har utført flomvurderingen, og utarbeidet notatet. Ingri Dymbe Birkeland og Audun Kvam i Asplan Viak har utført henholdsvis fagkontroll og tverrfaglig kontroll, og notatet er godkjent av Ivar Øvretvedt fra Norconsult.

Bergen, 14.10.2021

## Innholdsliste

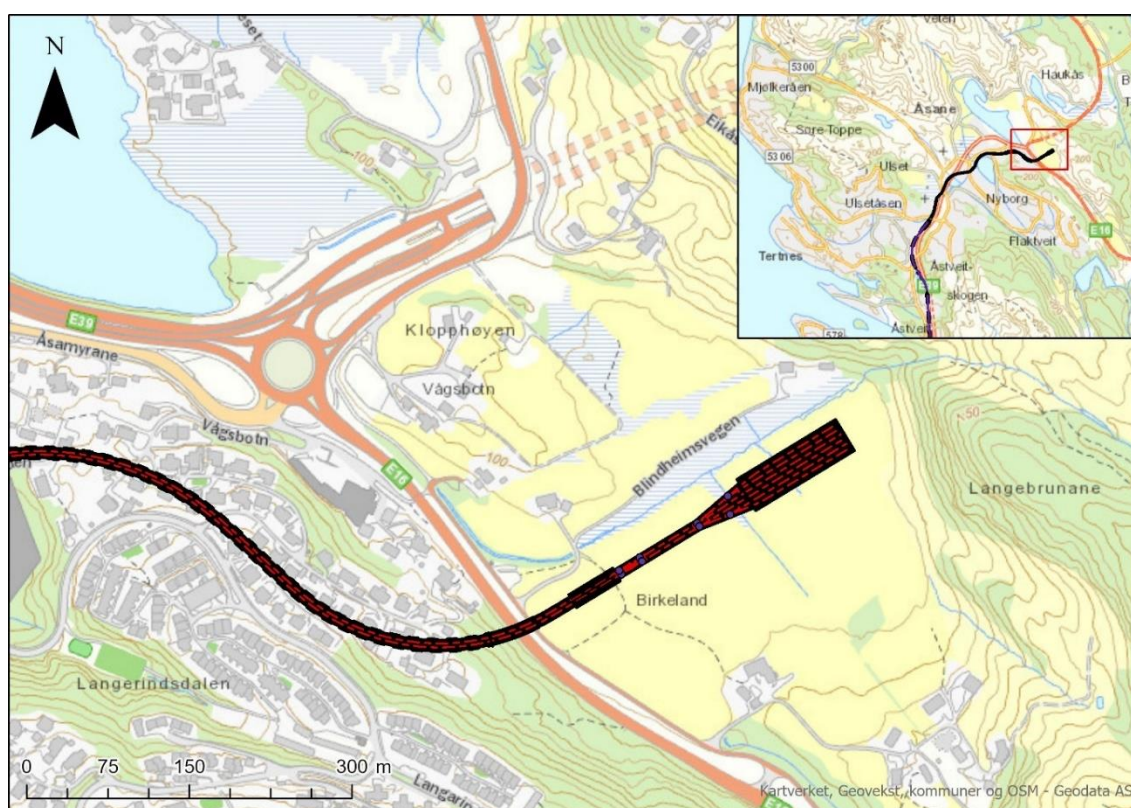
<b>1</b>	<b>Innledning</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Flomberegning</b> .....	<b>4</b>
2.1	Beskrivelse av nedbørfelt .....	4
2.2	Tilgjengelige observerte data .....	5
2.3	Beregning av 200-årsflom.....	7
2.4	Klimapåslag.....	9
2.5	Oppsummering og endelig estimat .....	9
<b>3</b>	<b>Hydraulisk analyse</b> .....	<b>10</b>
3.1	Oppsett av todimensjonal hydraulisk modell.....	10
3.2	Resultater hydraulisk analyse.....	14
3.3	Følsomhetsanalyser .....	15
3.4	Sikkerhetsmargin .....	17
<b>4</b>	<b>Vurdering av tiltak</b> .....	<b>18</b>
4.1	Heve byggegrunn.....	18
4.2	Ny gangveg og kulvert .....	18
4.3	Håndtering av avrenning fra sørøst.....	19
4.4	Hydraulisk analyse av fremtidig situasjon .....	21
<b>5</b>	<b>Konklusjon og anbefalinger</b> .....	<b>24</b>
	<b>Kilder</b> .....	<b>25</b>
	<b>Vedlegg</b> .....	<b>26</b>

## 1 Innledning

I forbindelse med utarbeidelse av reguleringsplan for bybane til Åsane i Bergen, er det utført flomvurdering av planlagt vogndepot i Vågsbotn (se Figur 1-1).

Nordvest for vogndepotet går en bekk, som strømmer gjennom en kulvert ut i Langavatnet som ligger helt øverst i Midtbygdavassdraget. For å avklare reell flomfare knyttet til bekken, er det gjort en detaljert flomsonekartlegging basert på flomberegninger og hydraulisk analyse. Det er også sett på aktuelle tiltak for å redusere flomfare, og konsekvensene av disse på flomsituasjonen.

Det er vurdert at tiltaket faller under sikkerhetsklasse F2 for flom, i henhold til TEK 17 §7-2 *Sikkerhet mot flom og stormflo*, med en dimensjonerende returperiode på 200 år. Følgelig er flomvurderingen utført for 200-årsflom i fremtidens klima.



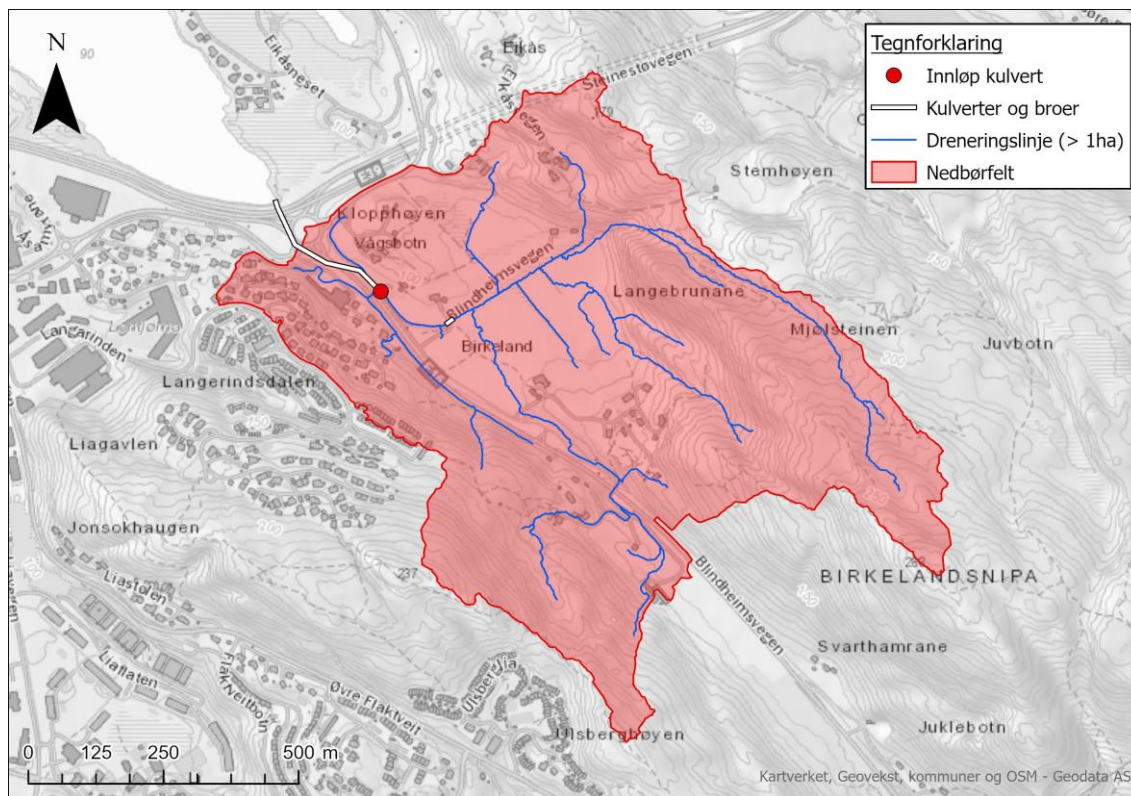
Figur 1-1 Kartutsnitt som viser plassering av planlagt vogndepot i Vågsbotn for bybane til Åsane.

Midtbygdavassdraget ble flomsonekartlagt i 2021 av Asplan Viak. Analyseområdet til denne kartleggingen dekker imidlertid ikke Vågsbotn, da den kun omfatter vassdraget fra Langavatnet ned til sjø, og det er derfor utført nye beregninger i forbindelse med dette arbeidet. Relevant grunnlag og resultater fra kartleggingen er imidlertid benyttet.

## 2 Flomberegning

### 2.1 Beskrivelse av nedbørfelt

Nedbørfeltet til bekken i Vågsbotn er generert i overflatemodellen SCALGO Live. Det avgrensede feltet, og genererte dreneringslinjer, er vist i Figur 2-1.



Figur 2-1 Dreneringslinjer og nedbørfelt til bekk i Vågsbotn, generert i SCALGO Live.

Et utvalgt av feltparametere generert i SCALGO Live og estimert fra kart er gitt i Tabell 2-1. Feltet faller under kategorien mikrofelt (< 1 km<sup>2</sup>). Det strekker seg også relativt høyt på kort lengde, noe som et høyt relieff forhold. De høyereliggende områdene i nedbørfeltet består hovedsakelig av skog, mens bunnen av feltet har mye dyrket mark.

Tabell 2-1 Feltparametere for bekk i Vågsbotn.

Felt	Areal	Eff. sjø	Felt-lengde	H <sub>min</sub>	H <sub>maks</sub>	Relieff forhold	Skog	Dyrket mark	Urban	q <sub>N</sub> *
	[km <sup>2</sup> ]	[%]	[km]	[moh]	[moh]	[m/km]	[%]	[%]	[%]	[l/s·km <sup>2</sup> ]
Vågsbotn	0.7	0.0	1.2	89	288	54.8	44.0	32.5	14.0	72.9

\* Spesifikk middelavrenning gitt av NVEs avrenningskart.

Feltet har egenskaper som indikerer at det vil ha høye spesifikke flommer (flom fordelt på areal). Lite areal, bratt helning og null effektiv sjøprosent er alle egenskaper som indikerer liten selvregulering/dempning. Skog i øvre delen av feltet vil imidlertid bidra til å redusere flomtoppen noe.

## 2.2 Tilgjengelige observerte data

Flere metoder benytter observerte data til grunnlag for beregning av flomvannføring. Det er derfor her gitt en kort beskrivelse av tilgjengelige observerte vannførings- og nedbørsdata.

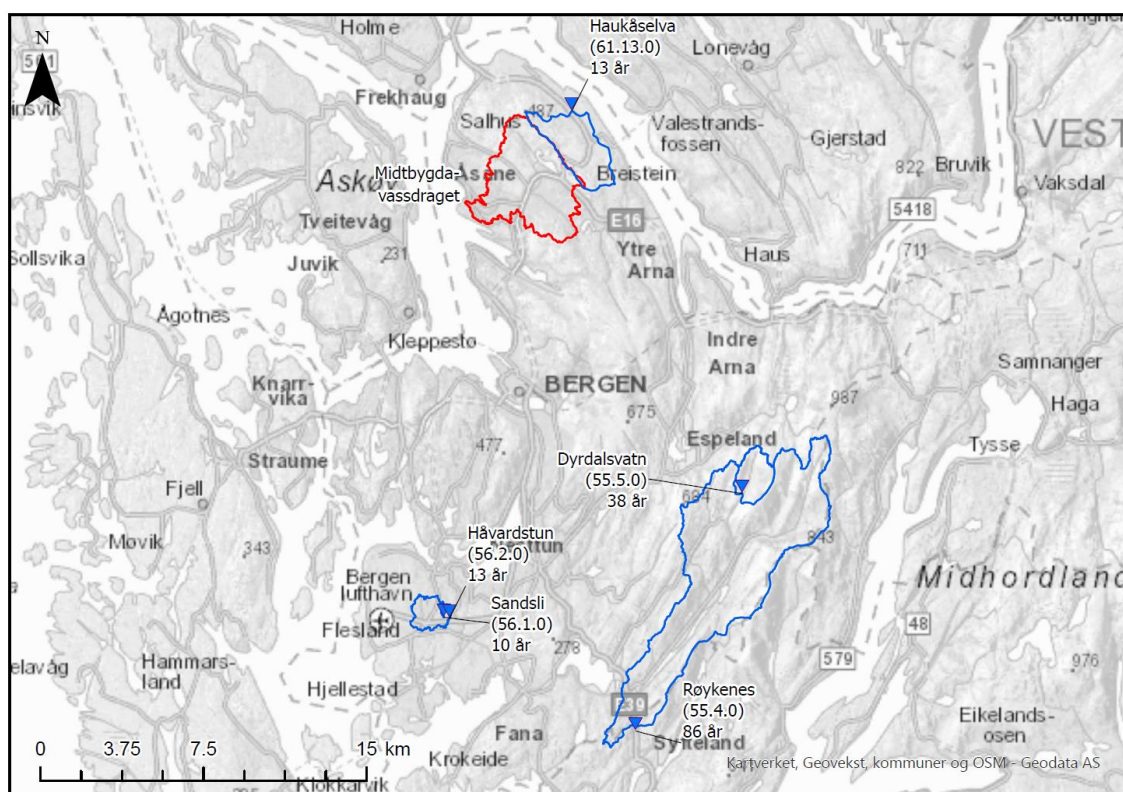
### 2.2.1 Tilgjengelige vannføringsdata

Det beste grunnlaget for hydrologiske analyser er vannføringsmålinger over en lang periode fra det aktuelle nedbørfeltet. Det foreligger ingen slike data for bekken i Vågsbotn.

Det kan alternativt benyttes vannføringsdata fra nærliggende målestasjoner (referansestasjoner), som skaleres til det aktuelle feltet. Dette forutsetter imidlertid at målestasjonene har sammenlignbare feltegenskaper og topografi som det aktuelle feltet, og en brukbar måleserie med kontrollerte data.

Det er sett på aktuelle målestasjoner i området, ved bruk av kartdata fra NVE, hvorav de nærmeste er vist i Figur 2-2. Ved bruk av referansestasjoner, er det generelt anbefalt at stasjonen har en serielengde på 30 år (NVE, 2015). Det er kun to stasjoner i området som har dette; Dyrdalsvatn og Røykenes. Disse to feltene er imidlertid betydelig større enn det til bekken i Vågsbotn, spesielt Røykenes. Videre strekker de seg en del høyere, og har en større effektiv sjøprosent.

Altså er det ingen målestasjoner i området som er spesielt egnet som referansestasjon.

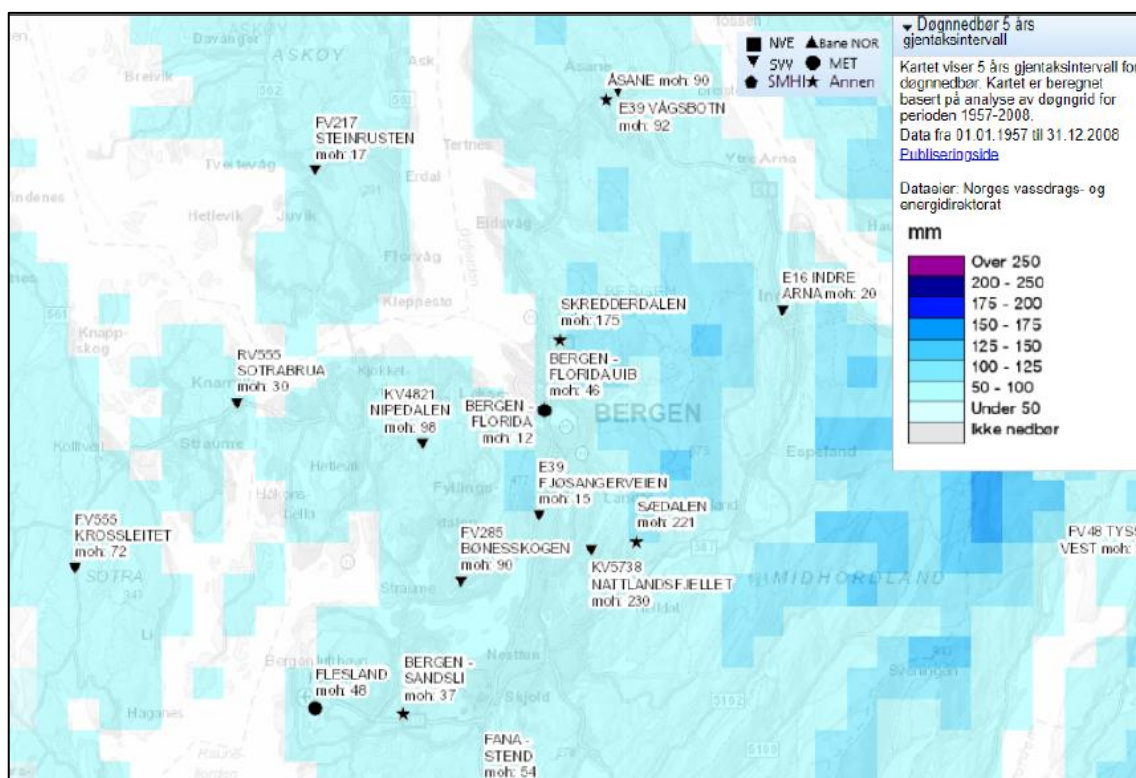


Figur 2-2 Kartutsnitt som viser målestasjoner for vannføring i området, med informasjon om antall år med komplette data (Kilde: NVE).

## 2.2.2 Tilgjengelige nedbørsdata

Karttjenesten seNorge viser at det er flere meteorologiske målestasjoner for nedbør i Bergensområdet, se Figur 2-3.

Både nærhet og serielengde er viktig i bruk av nedbørsdata for flomberegninger. Følgelig er det spesielt tre målestasjoner som peker seg ut som aktuelle; Bergen-Sandsli, Bergen-Florida og Åsane. Videre viser kart over døggnedbør med 5-års gjentaksintervall (Figur 2-3), at alle tre stasjonene ligger i samme nedbørsintervall som Vågsbotn. Følgelig kan det forventes at disse har noenlunde sammenfallende ekstremnedbørstatistikk.



Figur 2-3 Kartutsnitt fra tjenesten seNorge, som viser døggnedbør med 5 års gjentaksintervall og meteorologiske målestasjoner for nedbør.

Sandsli og Florida er stasjonene med lengst måleserie i området. Sandsli, og delvis Florida, ligger imidlertid et godt stykke unna. Stasjonen Åsane ligger tilnærmet midt i nedbørfeltet til Midtbydavassdraget, og vil derfor reflektere lokalklimaet svært godt, men den har en nokså kort serie.

Altså foreligger det nedbørsdata som kan benyttes, men datagrunnlaget er relativt sparsomt.

I forbindelse med flomsonekartlegging av Midtbydavassdraget (Asplan Viak, 2021), beregnet Meteorologisk Institutt (MET) ekstremnedbør-verdier for vassdraget. Altså foreligger det nedbørsverdier som er beregnet spesifikt for vassdraget som bekken i Vågsbotn tilhører.

## 2.3 Beregning av 200-årsflom

For beregning av 200-årsflom, er følgende metoder benyttet:

- Nasjonalt formelverk for små nedbørfelt (NIFS-formel)
- Den rasjonale formel
- Hydrologisk flommodell – PQRout

Det henvises til NVEs *Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt (7/2015)* for utdypende beskrivelse av metodene. For mer detaljert informasjon om beregningsgrunnlag bak resultater av flomberegningene, vises det til regnearket i Vedlegg 1.

Det er valgt å ikke benytte flomfrekvensanalyse på observerte data, i mangel på egnede referansestasjoner (se kapittel 2.2.1).

### 2.3.1 Nasjonalt formelverk (NIFS-formel)

Nasjonalt formelverk for små nedbørfelt (også kalt NIFS-formel) er utarbeidet for naturlige små felt, i størrelsesorden 0.2 til 53 km<sup>2</sup>. Feltet til Vågsbotn er innenfor dette gyldighetsintervallet, men det påpekes at usikkerheten knyttet til metoden kan være større i ytterkantene av intervallet. Formelverket består av to regresjonsligninger for beregning av flom, som bruker inngangsparameterne feltareal, spesifikk middelavrenning og effektiv sjøprosent. Den første ligningen er for estimat av kulminasjon av middelflom, som generelt har usikkerhet knyttet til seg. Den andre ligningen er for vekstkurven ( $Q_T/Q_M$ ) som ansees som svært robust for små felt (NVE, 2015).

Estimert middelflom, vekstkurveforhold og 200-årsflom med NIFS-formel er gitt i Tabell 2-2.

Tabell 2-2 Estimert av middelflom, vekstkurveforhold og 200-årsflom med NIFS-formel.

Felt	Middelflom [m <sup>3</sup> /s]	$Q_{200}/Q_M$ [-]	200-årsflom [m <sup>3</sup> /s]
Vågsbotn	1.50	2.520	3.78

### 2.3.2 Den rasjonale formel

Den rasjonale formel består av en ligning som beregner flomvannføring som en direkte funksjon av avrenningsfaktor og regnintensitet. I NVEs veileder, anbefales det å benytte metoden for felt som er mindre enn 2-5 km<sup>2</sup>, og med liten flomdemping. Følgelig kan dette være en passende metode for bekken i Vågsbotn.

Avrenningsfaktorer (C) er valgt basert på anbefalte verdier i NVEs veileder, og endelig verdi er arealvektet gjennomsnitt. Det er videre lagt til en økning på 30%, for å ta høyde for økt metningsgrad i bakken, i henhold til anbefaling for 200-års gjentaksintervall.

Regnintensitet er hentet fra verdier for ekstremnedbør beregnet ifm. flomsonekartlegging av Midtbygdavassdraget. Varigheten på regnet burde settes lik konsentrasjonstiden til feltet. Denne er estimert til å være ca. 50 min, ved bruk av formel gitt i NVEs veileder. Nedbørverdier beregnet av MET går imidlertid kun ned til en time varighet, og det følgelig valgt å benytte en varighet på 60 min.

Benyttet konsentrasjonstid, avrenningsfaktor og regnintensitet til beregning av 200 års flom, samt beregnet vannføring med den rasjonale formel, er vist i Tabell 2-3.

Tabell 2-3 Benyttede verdier og beregnet 200-årsflom med den rasjonale formel.

Felt	Konsentrasjonstid [min]	Avrenningsfaktor [-]	Regnintensitet [l/s·ha]	200-årsflom [m <sup>3</sup> /s]
Vågsbotn	60	0.53	107.8	4.17

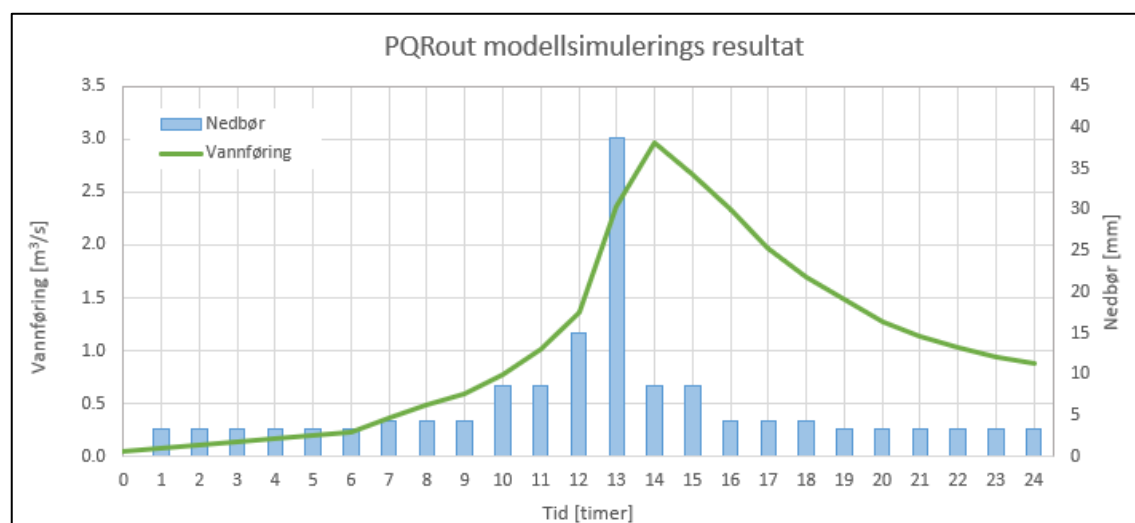
### 2.3.3 Hydrologisk flommodell (PQRout)

PQRout er en nedbør-avløpsmodell som beregner avrenning på grunnlag av nedbørdata, og ved hjelp av feltparametere for det aktuelle feltet. *Vassdragshåndboka* (2010) anbefaler å benytte denne metoden for felt i størrelsesorden 1-200 km<sup>2</sup>. Bekken i Vågsbotn er noe mindre enn hva som anbefales for anvendelse av metoden, men det er valgt å benytte PQRout til tross for dette. Dette er for å få et overslag i tillegg til de andre metodene, og for å generere et flomforløp som kan benyttes til den hydrauliske analysen. I disse beregningene er det benyttet NVEs nett-versjon av modellen.

Parameterne til den hydrologiske flommodellen bør helst bestemmes ved kalibrering mot observerte vannføringer. Siden det ikke finnes måleserier i bekken, er modellparameterne bestemt ut fra ligninger gitt i NVEs veileder. Disse bruker inngangsparameterne relieff forhold (beregnet fra høydeforskjell og feltlengde), og effektiv sjøprosent. Parameteren for øvre tømmekonstant (K1) er korrigert på grunn av høy andel bart fjell (økt med 0.045).

Det er valgt å benytte det samme nedbørforløpet som ble konstruert i forbindelse med flomsonekartleggingen av Midtbygdavassdraget (Asplan Viak, 2021). Dette forløpet er konstruert fra verdier for ekstremnedbør beregnet av MET, og følger generelle anbefalinger gitt i NVEs veileder.

Konstruert nedbørforløp og estimert flomforløp for 200-årsflom er vist i Figur 2-4. Beregningen gir en noe spiss topp etter 14 timer (en time etter maks nedbør), hvor kulminert vannføring er 2.96 m<sup>3</sup>/s.



Figur 2-4 Konstruert nedbørforløp og beregnet flomvannføring med PQRout ved 200-årsflom.



## 2.4 Klimapåslag

I *Klimaprofil for Hordaland* er det anbefalt å legge på 20 - 40 % i klimapåslag på beregnede flomstørrelser (Norsk klimaservicesenter, 2017). Det største endringene er forventet i områdene litt inn for kysten, men små, bratte felt som reagerer særlig raskt på kraftig og intens nedbør har den høyeste prognosen i økning som følge av klimaendringer. Dette støttes av nye resultater fra hydrologiske simuleringer av klimaframskrivninger for 3-timers nedbør, hvor det er foreslått å benytte et klimapåslag på minst 30% i nedbørfelt mindre enn 100 km<sup>2</sup> (Sortberg et. al., 2018).

Bekken i Vågsbotn er har egenskaper som indikerer at det vil reagere raskt på nedbør. Med bakgrunn i de overnevnte anbefalingene, og feltegenskapene til bekken, er det følgelig valgt å benytte klimapåslag på **40%**.

## 2.5 Oppsummering og endelig estimat

Beregnet flomvannføring med alle metoder er vist i Tabell 2-4. Det er noe sprik i resultatene, hvorav den rasjonale formel gir det høyeste estimatet og PQROUT det laveste.

Erfaringstall viser at spesifikk 200-årsflom i mikrofelt (< ca. 1 km<sup>2</sup>) burde ligge mellom 2000-5000 l/s·km<sup>2</sup>. NVEs veileder anbefaler at estimer utenfor dette intervallet burde vurderes nøye, og eventuelt endres slik at det havnet innenfor intervallet. På Sør- og Vestlandet finnes det imidlertid flomverdier over 6000 l/s·km<sup>2</sup>, hvor dette stort sett opptre i bratte felt med lav effektiv sjøprosent (NVE, 2015).

Alle metodene gir estimer som samstemmer med erfaringstallene. Med bakgrunn i at NIFS-formel gir et midlere estimat, som også er nokså konservativt sammenlignet med erfaringstall for mikrofelt, er det valgt å ta utgangspunkt i denne verdien.

Følgelig blir dimensjonerende flomvannføring, tilsvarende 200-årsflom inkl. 40% klimapåslag, lik **5.3 m<sup>3</sup>/s**.

Tabell 2-4 Beregnede flomverdier fra alle metoder, og endelig estimat av 200-årsflom.

Metode	200-årsflom	
	[l/s·km <sup>2</sup> ]	[m <sup>3</sup> /s]
NIFS-formelverk	5195	3.8
Rasjonale formel	5727	4.2
PQRout	4067	3.0
<b>Endelig estimat:</b>	<b>5195</b>	<b>3.8</b>
<b>Inkludert klimapåslag (40%):</b>	<b>7273</b>	<b>5.3</b>

### 3 Hydraulisk analyse

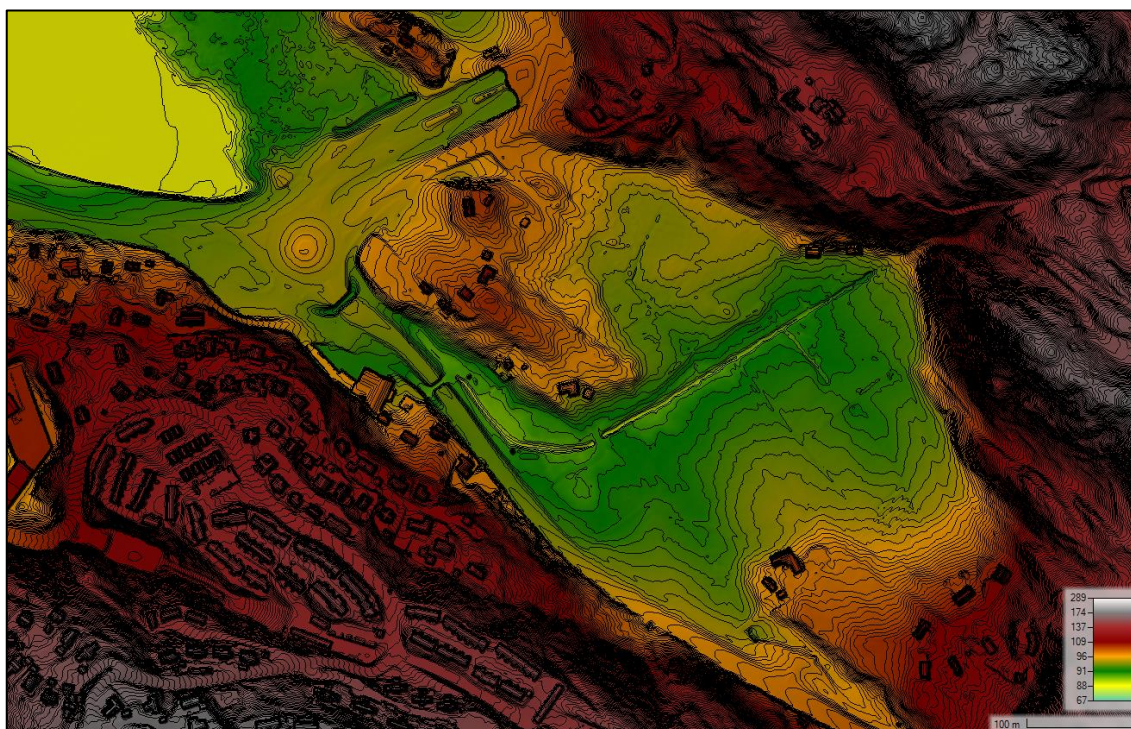
Det er benyttet en todimensjonal hydraulisk modell i programmet HEC-RAS versjon 6.0 for å simulere 200-årsflom i Vågsbotn. Oppsett av den hydrauliske modellen er først omtalt, så dens resultater.

#### 3.1 Oppsett av todimensjonal hydraulisk modell

##### 3.1.1 Terrengmodell

Det er satt opp en terrengmodell, som er hovedgrunnlaget for den hydrauliske analysen – se Figur 3-1.

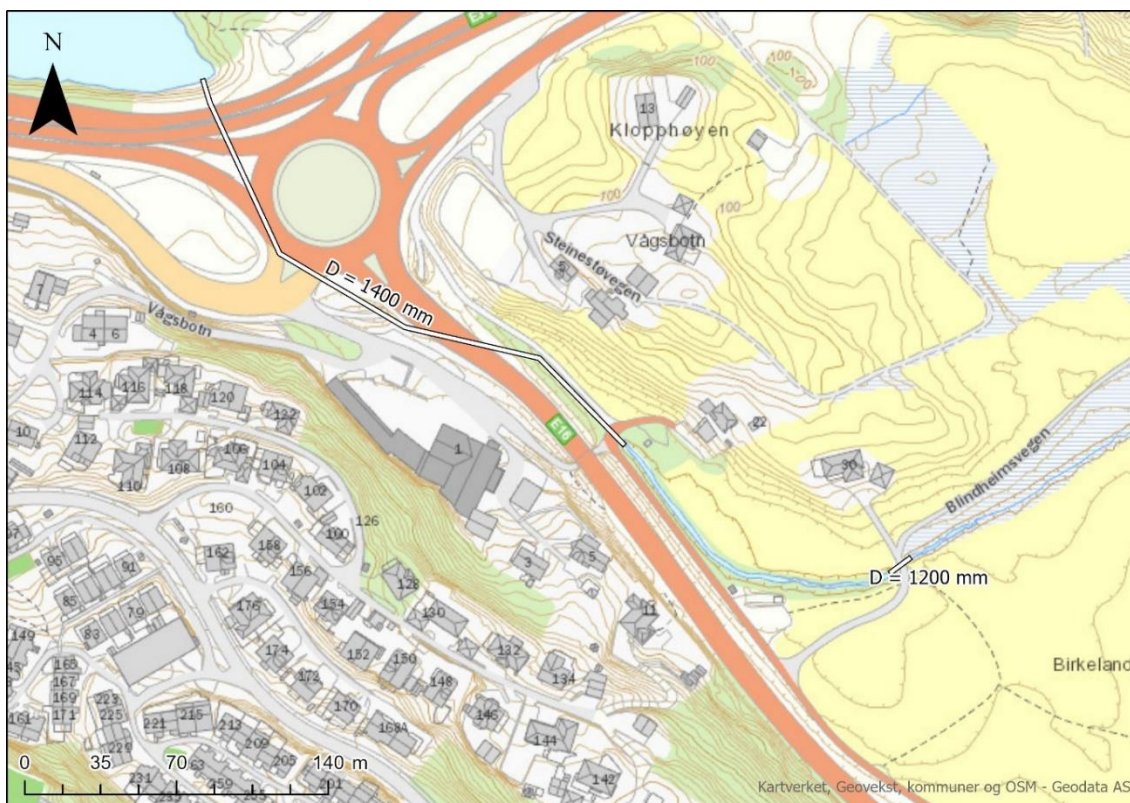
Terrengmodellen er primært basert på laserskanning av området foretatt i 2018 (prosjekt Bergen 5pkt 2018). Laserdata kan gi unøyaktige høyder for terreng under tett vegetasjon. Terrengmodellen er derfor supplert med laserdata fra 2015 (prosjekt Bergen 5pkt 2015), der disse gir mer nøyaktige data for bekkebunn. Laserdataene som er benyttet i modellen er lastet ned fra Kartverkets forvaltningsløsning Høydedata.



Figur 3-1 Terrengmodell som er benyttet i den hydrauliske analysen.

##### 3.1.2 Bekkelukkinger

Bekken i Vågsbotn går igjennom to kulverter; én ved krysning med Blindheimsvegen og én under rundkjøringen tilknyttet E16 og E39 – se Figur 3-2. Traséen til kulverten under rundkjøringen er hentet fra Gemini VA.



Figur 3-2 Kartutsnitt som viser bekkelukkinger (kulverter) tilknyttet bekken i Vågsbotn.

Utforming og dimensjoner på bekkelukkingene ble målt inn under befarings (13.08.2021), og er gitt i Tabell 3-1. Bilder av lukkingene er vist i Figur 3-3. Kulverten under Blindheimsvegen er i noe dårlig stand; rørene har forskjøvet seg litt i forhold til hverandre på midten, sannsynligvis som følge av setninger i omliggende fylling.

Tabell 3-1 Dimensjoner på bekkelukkinger tilknyttet bekken i Vågsbotn.

Bekkelukkinger	Materiale	Dimensjon	Lengde [m]
Kulvert under Blindheimsvegen	Betongrør	D = 1200 mm	10
Kulvert under rundkjøring (E16 og E39)	Betongrør	D = 1400 mm	272



Figur 3-3 Bilder av bekkelukkinger tilknyttet bekken i Vågsbotn (Foto: Asplan Viak, 13.08.2021).

### 3.1.3 Friksjonsforhold

Vannets hastighet påvirkes av friksjonsforhold, det vil si ruheten til overflaten det strømmer over. Dette varierer etter type underlag og utforming av bekkeløpet. Ruheten i modellen er gitt som Mannings tall ( $n$ ), hvor et høyt  $n$ -tall betyr høyere ruhet.

Friksjonsforhold er vurdert ut fra kart, flyfoto og observasjoner under befarings. Benyttede ruhetsverdier er gitt i Tabell 3-2, og er basert på standardverdier i *Vassdragshåndboka* (Fergus m.fl., 2010).

Tabell 3-2 Benyttede ruhetsverdier for ulike typer overflater.

Type overflate	Ruhetsverdi	
	n	M (=1/n)
Bekkeløp (ganske rett, til dels plantebevokst)	0.040	25
Åpen fastmark	0.050	20
Dyrket mark	0.055	18
Myrområder	0.065	15
Skog- og buskelandskap	0.100	10
Tette flater (veg/asfalt)	0.020	50

### 3.1.4 Grensebetingelser

Innløpet i modellen er plassert i et brattere parti oppstrøms det planlagte vogndepotet, slik at korrekte strømningsforhold blir modellert i dette området. Her er det benyttet antagelse om normalstrømning sammen med et konstruert flomforløp som øvre grensebetingelse.

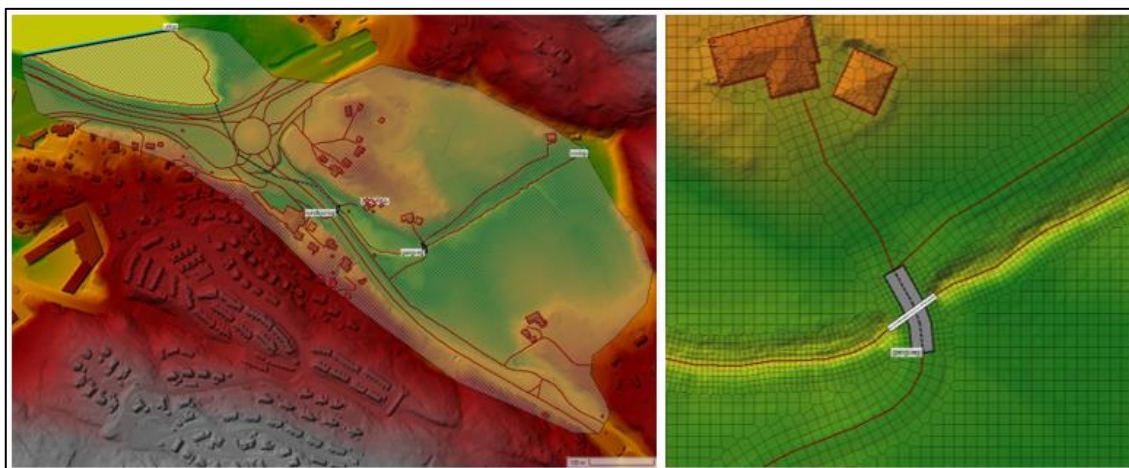
Flomforløpet er basert på modelleringsresultater fra PQRout (se kapittel 2.3.3). Resultatet fra PQRout er skalert med hensyn til endelig estimat av dimensjonerende flomvannføring (se kapittel 2.5), slik at «formen» på forløpet beholdes, men korrekt flomstørrelse benyttes.

Utløpet i modellen er plassert i Langavatnet, med kjent vannstand som nedre grensebetingelse. Her er det benyttet beregnet vannstandsforløp ved 200-årsflom inkl. klimapåslag fra Asplan Viaks flomsonekartlegging av Midtbygdavassdraget. Maksimal vannstand i Langavatnet (under forutsetningen at flomtunnelen i vassdraget er i drift) ligger på 89.7 moh. Det bemerkes at vannstanden i Langavatnet kulminerer etter flomtoppen i Vågsbotn, da innsjøen har et større felt og betraktelig mer flomdempning.

### 3.1.5 Struktur på strømningsområdet

Det todimensjonale strømningsområdet er romslig avgrenset mellom innløpet og utløpet, slik at eventuell strømning utenfor bekkeløpet blir modellert.

Avstanden mellom beregningspunkt er satt til 2 meter i sideterreng, og 1 meter i og rundt bekkeløpet. Bekkeløp, veier og omriss av bygninger er satt inn som såkalte «breaklines», slik at beregningsrutene blir orientert i riktig retning og strømmingen blir mer nøyaktig modellert.

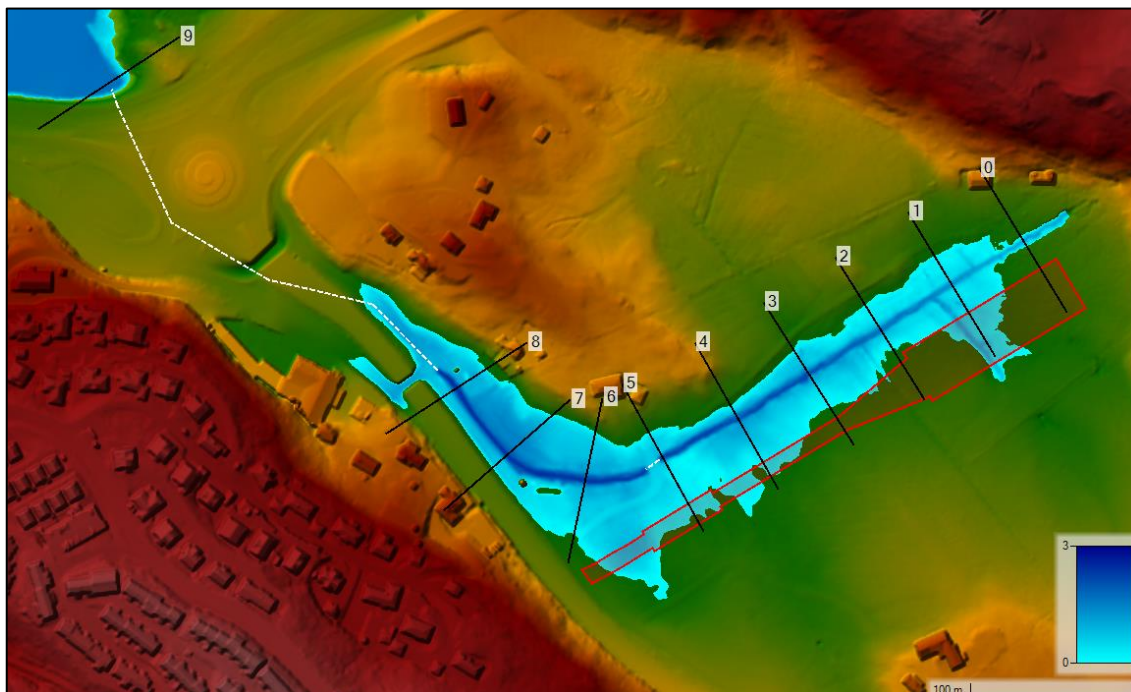


Figur 3-4 Oppsett av todimensjonal modell i HEC-RAS.

### 3.2 Resultater hydraulisk analyse

Den hydrauliske modellen kjøres med grensebetingelsene beskrevet i kapittel 3.1.4, og et beregningsintervall på 0.5 sekunder.

Figur 3-5 viser beregnede vanndybder og utbredelse av 200-årsflom inkl. klimapåslag fra den hydrauliske modellen. Det er tatt ut 10 tverrprofiler (0 til 9) av bekkeløpet med ca. 50 meters avstand. Modellerte vannstander, vanndybder og vannhastigheter i disse profilene er gitt i Tabell 3-3 (samt Vedlegg 3). Bekkeprofiler med inntegnende vannlinjer er gitt i Vedlegg 4.



Figur 3-5 Resultater fra hydraulisk analyse av 200-årsflom inkl. 40% klimapåslag (eksisterende situasjon). Fargeforklaring viser modellert vanndybde i meter. Vogndepot er markert i rødt.

Tabell 3-3 Resultater fra hydraulisk analyse av 200-årsflom inkl. 40% klimapåslag.

Profil nr.	Elvebunn [moh]	Vannstand [moh]	Vanndybde (maks) [m]	Hastighet (maks) [m/s]
0	90.38	91.70	1.32	1.59
1	89.90	91.27	1.37	0.96
2	89.54	91.25	1.71	0.73
3	89.09	91.24	2.15	0.55
4	89.07	91.23	2.16	0.51
5	89.10	91.22	2.12	0.77
6	88.84	91.22	2.38	0.77
7	88.80	91.22	2.42	0.58
8	88.77	91.22	2.45	0.76
9	88.00	89.67	1.67	0.49
<b>Minimum:</b>			<b>1.32</b>	<b>0.49</b>
<b>Gjennomsnitt:</b>			<b>1.98</b>	<b>0.77</b>
<b>Maksimal:</b>			<b>2.45</b>	<b>1.59</b>

En kan se at flommen brer seg utover i terrenget, og at det planlagte vogndepotet er utsatt for oversvømmelse. Kulverten under rundkjøringen ved E16 og E39 har for liten kapasitet til å ta unna flomvannmengdene. Videreført vannmengde til Langavatnet er på 4.2 m<sup>3</sup>/s, noe som tilsvarer rundt 80% av kulminasjonsvannføringen, og følgelig blir det oppstuvning. Da bekkeløpet er såpass slakt, strekker denne oppstuvningen seg langt oppstrøms (omtrentlig til profil 1), og brer seg godt utover terrenget med en tilnærmet horisontal vannflate på kote 91.2 til 91.3 moh.

Vannhastighetene i bekken langs vogndepotet er svært lave (under 1 m/s) – kun helt ved innløpet i modellen (hvor bekken er en del brattere) er vannhastigheten større. Altså er risikoen for erosjon i bekkeløpet langs vogndepotet svært lav.

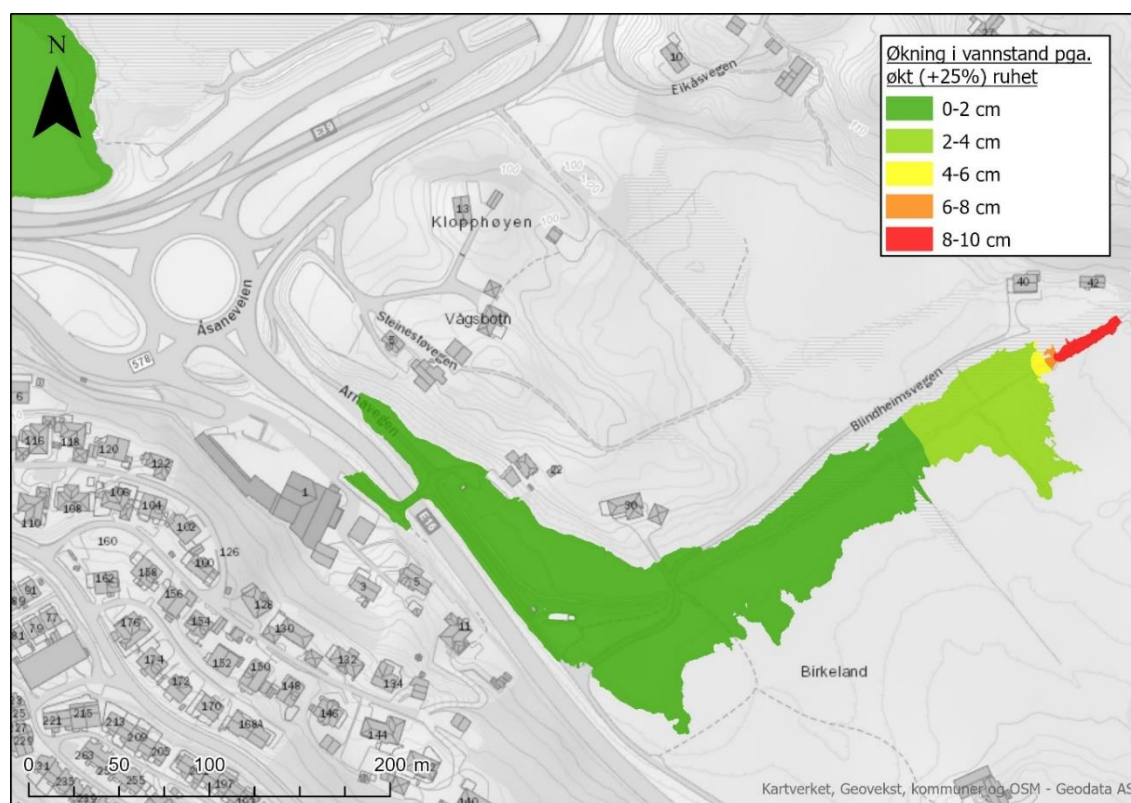
### 3.3 Følsomhetsanalyser

For å kunne kalibrere en hydraulisk modell, må det finnes samtidige målinger av vannstand og vannføring. Dette finnes ikke for bekken i Vågsbotn. Uten kalibrering vil det være usikkerhet knyttet til benyttede ruhetsverdier i den hydrauliske modellen. Bekkelukkinger utgjør også en usikkerhet, da disse kan bli tett og ha en redusert kapasitet.

For å kartlegge disse usikkerhetsmomentene, er det utført følsomhetsanalyser.

#### 3.3.1 Følsomhetsanalyse – ruhet

I følsomhetsanalyse av ruhet, er ruhetsverdier i modellen økt med 25%. Resultatene fra analysen er vist i Figur 3-6.



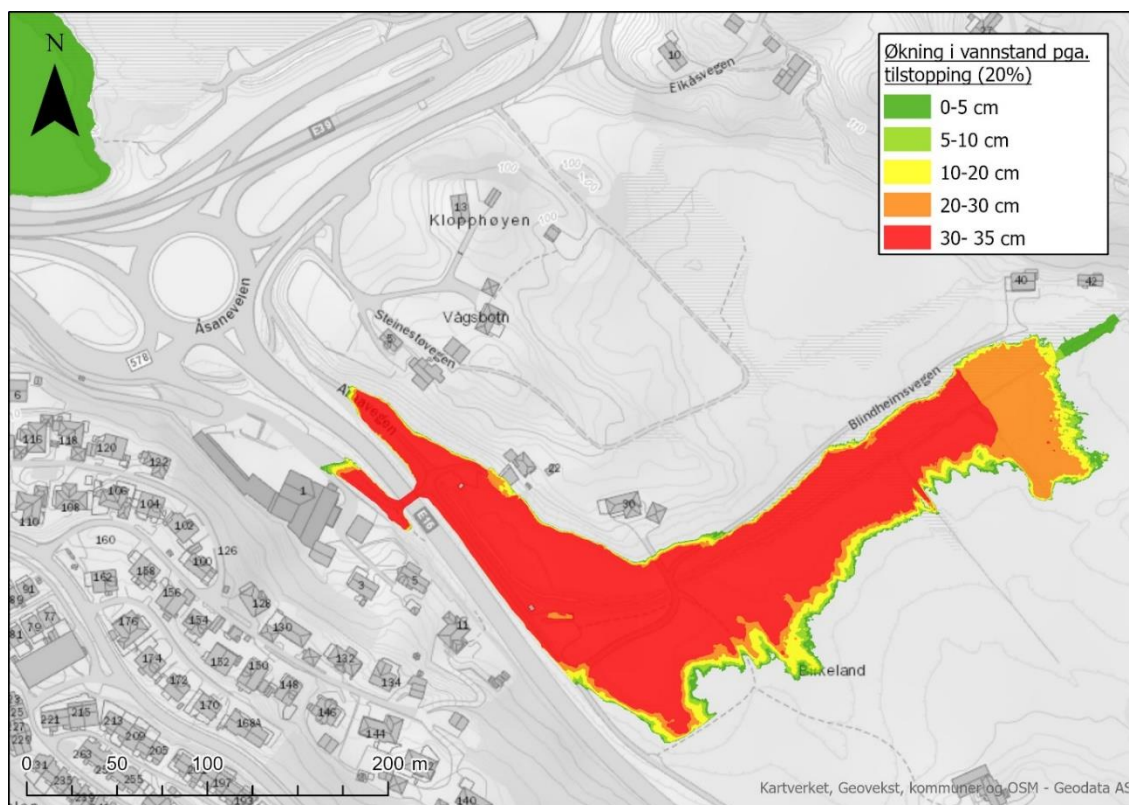
Figur 3-6 Resultater fra følsomhetsanalyse av ruhet, som viser modellert endring i vannstand som følge av at ruheten i modellen er økt med 25%.

En kan se at vannstandsøkningen er svært liten. Den største økningen skjer i den øvre delen av bekkeløpet (ca. 10 cm), hvor bekken er brattere og vannhastighetene noe høyere. I den nedre delen av bekken har ruhestandsringen tilnærmet ingen innvirkning (0-2 cm), som følge av at vannstrømningen er svært saktegående.

### 3.3.2 Følsomhetsanalyse – tilstopping av kulverter

Bekkelukkingene har relativt store dimensjoner (diameter på 1.2 og 1.4 m), og det kan følgelig forventes at drivgods vil stort sett kunne strømme igjennom disse uten å blokkere innløpet. Videre er vannhastighetene i bekken svært lavt, slik at det begrenset hvor mye bekken klarer å føre med seg. Av samme grunn, er det forventet at det vil være lite erosjon, og at avlagring av sedimenter skjer lengre oppstrøms i bekken. Det er følgelig vurdert at bekkelukkingene kan ha en forventet tilstoppingsgrad på 20%.

Resultater fra følsomhetsanalyse der bekkelukkingene i modellen er 20 % tilstoppet, er vist i Figur 3-7. En kan se at tilstopping har en relativt stor betydning for vannstanden i bekken; i den nedre delen av bekkeløpet ligger økningen på rundt 35 cm. Tilstoppingen av kulverten under rundkjøringen ved E16/E39 har størst betydning for flomsituasjonen, da reduksjonen i kapasitet fører til ytterligere oppstuvning.



Figur 3-7 Resultater fra følsomhetsanalyse av tilstopping, som viser modellert endring i vannstand som følge av at bekkelukkingene i modellen er 20 % blokkert.



### 3.4 Sikkerhetsmargin

I flomsonekartlegginger vil det være usikkerheter knyttet til flomverdi, ruhet og terrengdata. For å ta hensyn til slike usikkerheter, er det anbefalt å legge til en sikkerhetsmargin for vannstandsstigning i planlegging.

**Følsomhetsanalyser** (se kapittel 3.3) viste at den hydrauliske modellen er lite sensitiv for økninger i ruhet (2-10 cm). Tilstopping av kulverter vil derimot påvirke flomsituasjonen, med en maksimal økning på ca. 35 cm.

**Flomberegningene** (se kapittel 2) er ikke basert på vannføringsdata fra det aktuelle vassdraget, og vil følgelig være beheftet med usikkerhet. Det er imidlertid benyttet et nokså konservativt flomtall, så usikkerheten knyttet til dette ansees som liten.

**Terrengmodellen** som er benyttet i den hydrauliske modellen (se kapittel 3.1.1) er basert på laserdata. Laserdata kan gi unøyaktige høyder for terreng under tett vegetasjon. Det er relativt åpent i det øvre delen av bekkeløpet, og det kan forventes at laserdata gir et godt grunnlag her. Det er en del busker og trær langs den nedre delen av bekkeløpet, men laserdataene gir tilsynelatende gode registreringer. Eventuell mangel på registrering av bekkebunn vil også gi konservative effekter i den hydrauliske modelleringen. Usikkerheten knyttet til terreng er derfor ansett som relativt lav.

I NVEs retningslinje *Flaum- og skredfare i arealplanar* (2014) er det anbefalt å bruke en sikkerhetsmargin for vannstigning på 30-50 cm i flomsonekart. Med bakgrunn i at tilstopping av kulverter kan gi en relativt stor vannstandsøkning i bekken, og for å dekke øvrige usikre moment i beregningene, er det anbefalt å benytte en sikkerhetsmargin på **50 cm**.

Flomsikkert nivå tilsvarer beregnet vannstand pluss anbefalt sikkerhetsmargin. I området hvor vogndepotet er flomutsatt, blir dermed flomsikkert nivå på kt. **91.8 moh**.

## 4 Vurdering av tiltak

Flomvurdering av eksisterende situasjon viser at vogndepotet på Vågsbotn er utsatt for flom. Det må følgelig utføres tiltak for å beskytte depotet og tilhørende infrastruktur mot oversvømmelse.

Hovedproblemet er knyttet til manglende kapasitet i kulverten under E16 og E39. Det er imidlertid ikke ansett som et aktuelt tiltak å utbedre denne ifm. bybaneprojektet. Det er kompleks infrastruktur som går over kulverten, og en eventuell utbygging eller gjennomføring av et nytt løp vil medføre store tiltak i rundkjøringen. Det er mulig at en eventuell utbedring kan tas inn i Statens vegvesens prosjekt «Kommunedelplan med konsekvensutredning for strekningen E16 Arna - Vågsbotn og E39 Vågsbotn – Klauvaneset». Dette er imidlertid usikkert, og det er derfor forutsatt at flomproblematikken må håndteres lokalt innenfor bybanes planområde.

### 4.1 Heve byggegrunn

Vannet er svært saktegående, og har tilnærmet en horisontal flate. Det kan derfor forventes at grunnvannnivået ligger på en tilsvarende kote som flomnivået i bekken under en flomsituasjon. Følgelig er det ikke ansett som gunstig å anlegge flomvoller langs depotet, da det er en mulighet for at vannet strømmer opp fra grunnen. For å sikre vogndepotet mot oversvømmelse, er det derfor anbefalt å heve byggegrunnen.

Det er valgt å ta utgangspunkt i et flomsikkert nivå på 91.8 moh (modellert vannstand på 91.3 moh + sikkerhetsmargin på 50 cm). Vannstanden i den helt øvre delen av bekkeløpet er noe høyere, men her har bekken et større fall og det er ikke forventet at grunnvannsnivået vil være like høyt.

Det er ikke ønskelig at vann kommer over underkant sville da det kan påvirke funksjonaliteten til sporveksler og komme inn i hensettingshallen. Det er derfor forutsatt at skinneoverkant (SOK) legges 40 cm over flomsikkert nivå, altså på kt. **92.2 moh**.

### 4.2 Ny gangveg og kulvert

Kulverten under Blindheimsveien er i dårlig stand, og har en liten dimensjon. Det er derfor anbefalt å bytte denne ut, ifm. etablering av ny gangveg inn til depotet.

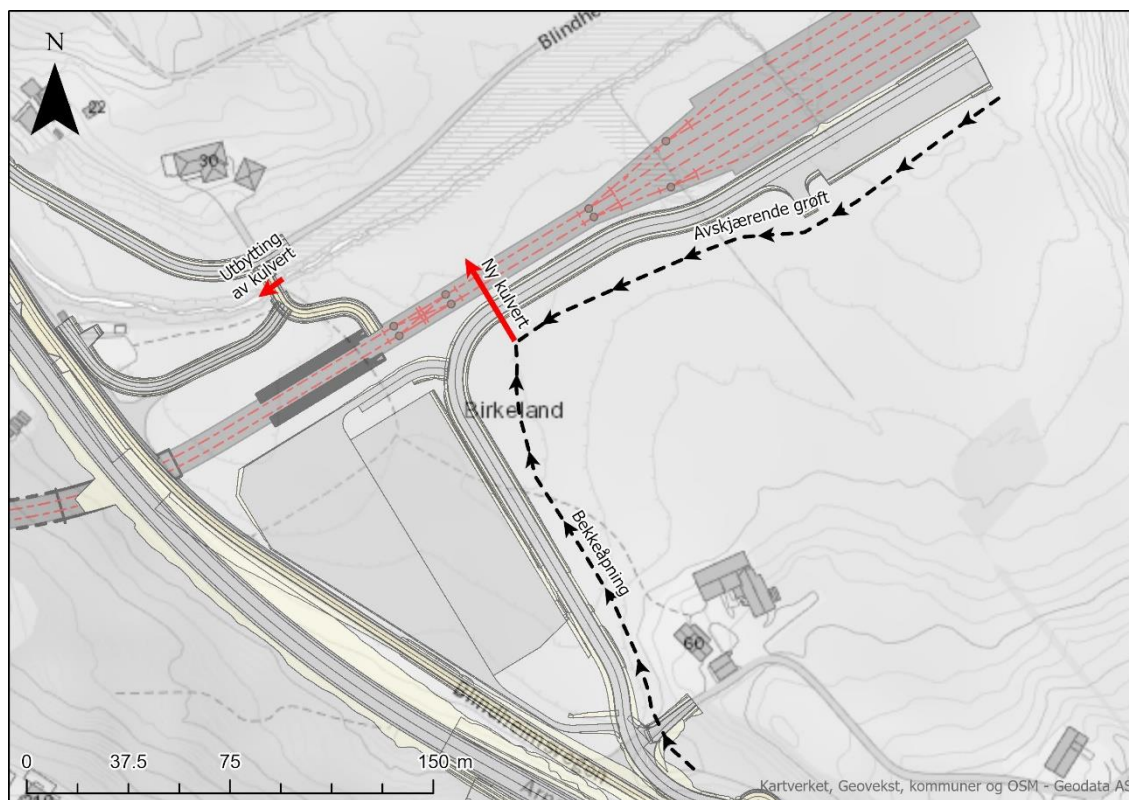
Det er valgt å ta utgangspunkt i at kulverten byttes ut til en rektangulær betongkulvert. Videre antas det at høyden på ny gangveg vil være rundt 91.5 moh, for å ivare ta krav til maks stigning opp til depotet på 92.2 moh.

I dag er vannivået ved bekketrysningen hovedsakelig bestemt av oppstuvende effekter fra kulverten under E16 og E39, og dimensjonene på ny kulvert ved Blindheimsveien/gangveg vil følgelig ikke påvirke flomnivået i stor grad. Det er imidlertid valgt å dimensjonere ny kulvert under forutsetningen at nedstrøms kulvert kan bli byttet ut på et tidspunkt i fremtiden. Altså at den skal håndtere en 200-årsflom i fremtidens klima ( $Q_{200+40\%} = 5.3 \text{ m}^3/\text{s}$ ), uten at det opptrer dykket innløp hvis flomvannmengdene kan strømme uhindret ut i Langavatnet.

Basert på beregninger i det hydrauliske programmet HY-8, og overnevnte forutsetninger, må ny kulvert ha en minimumsdimensjon på **BxH = 2.2 x 1.5 m**.

### 4.3 Håndtering av avrenning fra sørøst

Det er en relativt stor vannmengde som drenerer mot sørøstsiden av vogndepotet. For å hindre at dette vannet strømmer ukontrollert over depotet, er det behov for avskjærende grøft som samler vannet og fører det trygt under depotet i en ny kulvert. I dag kommer det en sidebekk inn fra sør, som er lagt i rør frem til hovedbekken. Det foreslås å åpne denne, fremfor å bytte den ut, og føre flomvannet herfra til ny kulvert under vogndepotet. Med disse tiltakene, vil flomvannmengdene som kommer fra sørøst ivaretas på en trygg og stort sett åpen måte. Tiltakene er grovt illustrert i Figur 4-1.

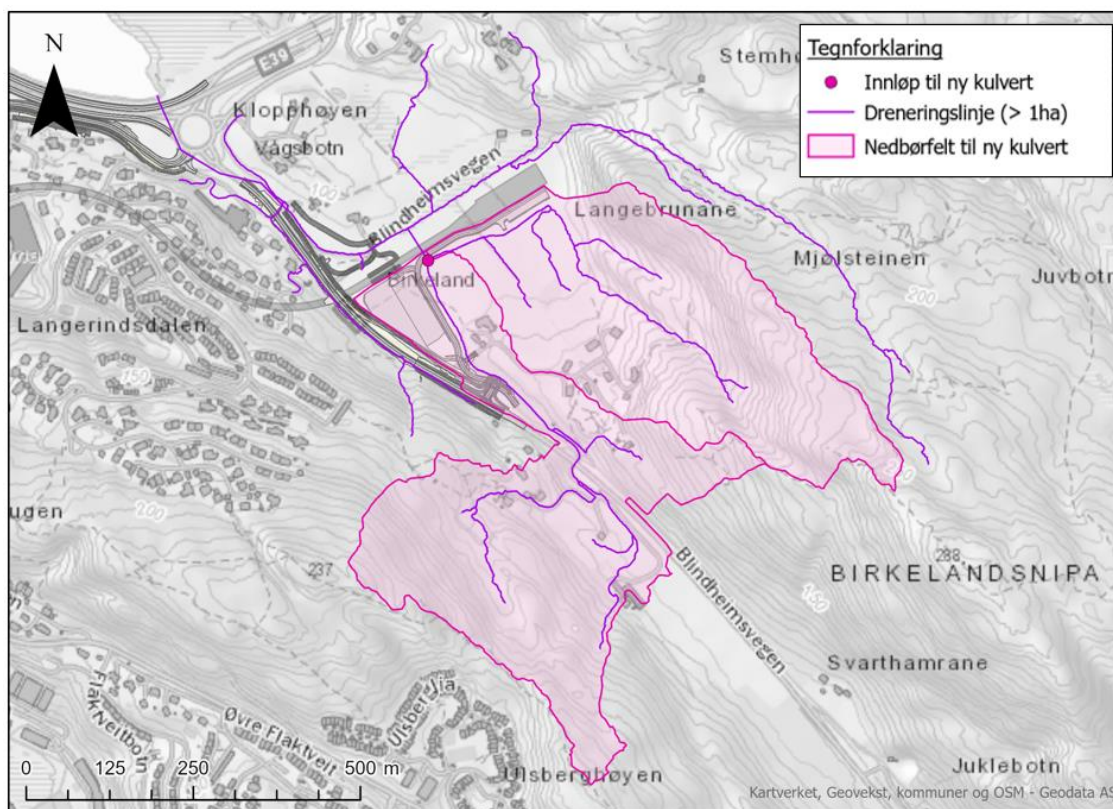


Figur 4-1 Kartutsnitt som viser foreløpige planer for vogndepot og tilhørende veg-infrastruktur, samt foreslåtte tiltak for å håndtere avrenning fra sørøst.

#### 4.3.1 Endring i avrenningsmønster

Tiltakene i sørøst vil endre avrenningsmønsteret ved vogndepotet. Figur 4-2 illustrerer ny dreneringssituasjon med tiltak, generert i overflatemodellen SCALGO Live.

Delfeltene i sørøst har nokså like egenskaper som det totale feltet til Vågsbotn. Det er derfor valgt å estimere flomvannføringer fra delfeltene ved bruk av beregnet spesifikk 200-årsflom i fremtidens klima for det totale feltet – se Tabell 4-1.



Figur 4-2 Dreneringslinjer og delfelt i sørøst for situasjon med tiltak, generert i SCALGO Live.

Tabell 4-1 Beregning av vannmengder fra sørøst.

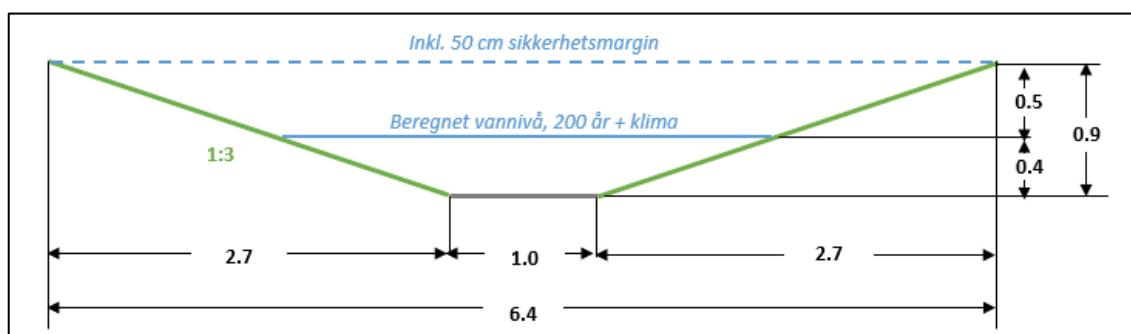
Felt	$q_{200} + 40\% \text{ klima}$ [l/s·km <sup>2</sup> ]	Areal [km <sup>2</sup> ]	$Q_{200} + 40\% \text{ klima}$ [m <sup>3</sup> /s]
Avskjærende grøft	7273	0.15	1.09
Bekkeåpning		0.18	1.31
Ny kulvert		0.33	2.40

#### 4.3.2 Dimensjonering av tiltak

Det er gjort en grov beregning av nødvendige dimensjoner på tiltakene for å håndtere avrenningene fra sørøst. Dette er primært for å kunne sette av nok arealer til tiltakene.

Dimensjoner for ny kulvert er beregnet i det hydrauliske programmet HY-8, med samme forutsetninger som for utbedret kulvert under gangveg (se kapittel 4.2). Det er tatt utgangspunkt i at det benyttes betongrør, og at det graves noe ned i terrenget ved innløpet for å skape tilstrekkelig overdekning. Under disse forutsetningene, må den nye kulverten ha en minimumsdimensjon på **Ø1400 mm**.

Dimensjoner for bekkeåpning og grøft er basert på beregninger i programmet Hydraulic Toolbox, og hvor det er lagt til en sikkerhetsmargin på 50 cm på beregnet vannivå. Det er tatt utgangspunkt i at de har en bunnbredde på 1 meter, og sidehelninger på 1:3. Lengdehelningen til bekken og grøften er estimert fra eksisterende terreng. Resulterende tverrsnitt er vist i Figur 4-3. Grøften og bekken vil ha omtrentlig like dimensjoner. Dette er på grunn av at lengdehelningen til grøften er slakere enn til bekken, noe som resulterer i et likt tverrsnitt til tross for en mindre vannmengde.



Figur 4-3 Grov illustrasjon av tverrsnitt for bekkeåpning og avskjærende grøft, med innregnede minimumsdimensjoner.

Nøyaktig løsning for tiltakene må bestemmes gjennom detaljprosjektering i en senere fase.

#### 4.4 Hydraulisk analyse av fremtidig situasjon

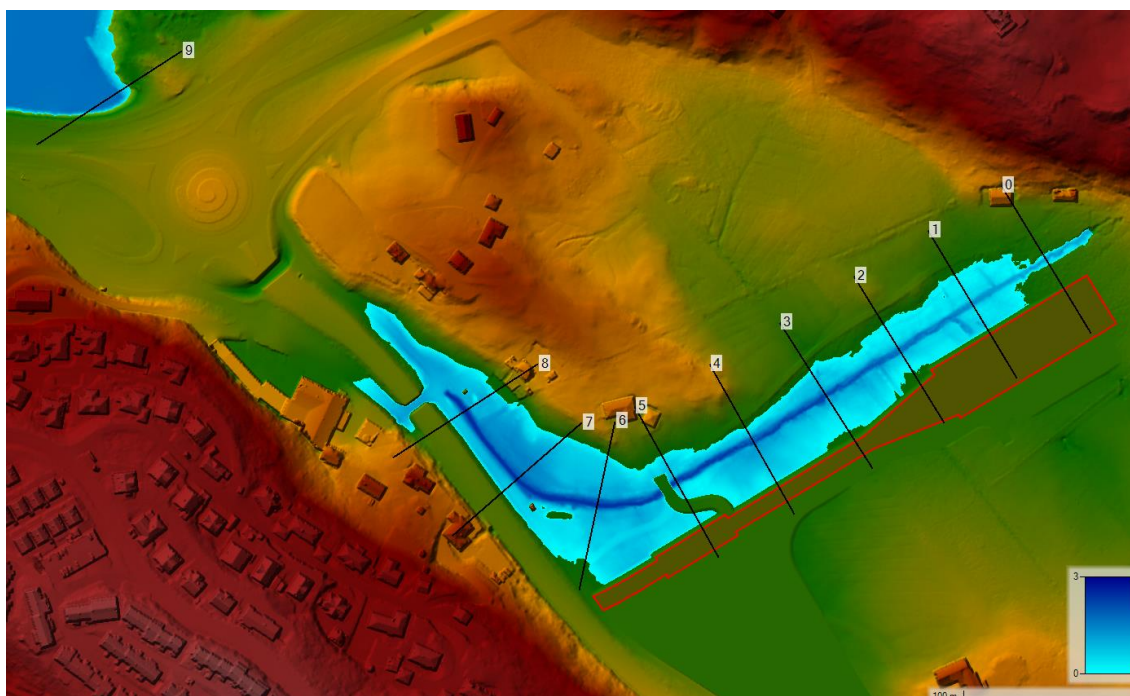
For å kartlegge konsekvenser av tiltak på flomsituasjonen i bekken, er det gjort en hydraulisk analyse av fremtidig situasjon. I denne analysen er kun heving av vogndepotet, samt ny gangveg med utbyttet kulvert, hensyntatt. Det er ikke forventet at tiltak for å håndtere avrenningen fra sørøst vil ha en nevneverdig påvirkning på flomsituasjonen i hovedløpet, og da nøyaktig løsning for disse ikke er bestemt, er det valgt å se bort i fra disse i analysen.

I den hydrauliske modellen for fremtidig situasjon, er terrenget ved depotet hevet til 92.2 moh. (se kapittel 4.1). Det er forutsatt at fyllingen har en helning på 1:3 i overgangen til eksisterende terreng. Ny gangveg og tilhørende kulvert (se kapittel 4.2) er også lagt inn, med en høyde på 91.5 moh. ved bekkekryssningen, og en stigende høyde til 92.2 moh. ved depotet.

Resultater for fremtidig situasjon er vist i Figur 4-4, og gitt for tverrprofiler i Tabell 4-2 (samt Vedlegg 3 og Vedlegg 4).

En kan se at vogndepotet ikke lengre er utsatt for oversvømmelse, men at flomsituasjonen forøvrig er ganske lik som i eksisterende situasjon. Endringer i vannstand er illustrert i Figur 4-5, og en kan se at tiltaket har størst innvirkning omtrentlig midt på depotet. Endringen i vannstand er imidlertid minimal (+2 til 3 cm), og endrer ikke anbefalingen for flomsikkert nivå. Tiltaket fører til en liten økning i vannhastighet (+ ca. 0.15 m/s) ved den midtre delen av depotet, som følge av at flomsletten er noe innsnevret. I den nedre delen av bekken er flomsituasjonen uendret.

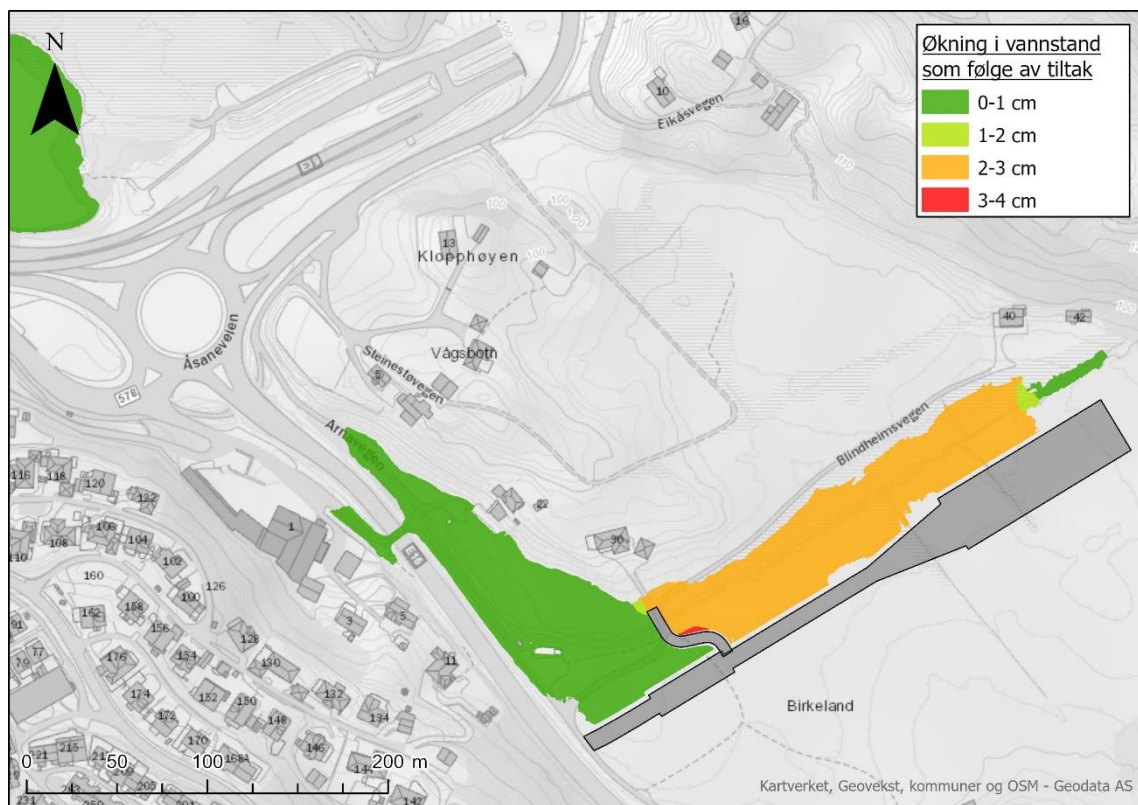
Altså vil ikke tiltaket medføre en nevneverdig endring på flomforholdene lokalt, utover at depotet sikres mot oversvømmelse.



Figur 4-4 Resultater fra hydraulisk analyse av 200-årsflom inkl. 40% klimapåslag for fremtidig situasjon (terrengheving). Fargeforklaring viser modellert vanndybde i meter. Vogndepotet er markert i rødt.

Tabell 4-2 Resultater fra hydraulisk analyse av 200-årsflom inkl. 40% klimapåslag for fremtidig situasjon ved utvalgte tverrsnitt.

Profil nr.	Fremtidig situasjon		Endring grunnet tiltak	
	Vannstand [moh]	Hastighet (maks) [m/s]	Vannstand [m]	Hastighet (maks) [m/s]
0	91.70	1.59	0.00	0.00
1	91.29	1.11	+0.02	+0.15
2	91.27	0.90	+0.02	+0.17
3	91.26	0.73	+0.02	+0.18
4	91.26	0.58	+0.03	+0.07
5	91.25	0.77	+0.03	0.00
6	91.22	0.77	0.00	0.00
7	91.22	0.58	0.00	0.00
8	91.22	0.76	0.00	0.00
9	89.67	0.49	0.00	0.00
<b>Gjennomsnitt:</b>		<b>0.83</b>	<b>+0.01</b>	<b>+0.06</b>
<b>Maksimal:</b>		<b>1.59</b>	<b>+0.03</b>	<b>+0.18</b>
<b>Min:</b>		<b>0.49</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>



Figur 4-5 Kart som viser endring i vannstand som følge av tiltak (terrengheving).

## 5 Konklusjon og anbefalinger

Flomvurderingen av Vågsbotn, viser at planlagt vogndepot er utsatt for oversvømmelse.

Hovedproblemet er knyttet til manglende kapasitet i kulvert/betongrør under rundkjøringen ved E16 og E39; denne klarer ikke å videreføre flomtømmen noe som fører til oppstuvning. Siden bekken har en svært liten lengdehelling, strekker denne oppstuvningen seg langt opp i bekkeløpet med en tilnærmet horisontal vannflate på kote 91.2 til 91.3 moh. På grunn av oppstuvningen, og slakt terreng, er vannhastighetene lave og faren for erosjon liten. Av samme grunn, er det forventet at grunnvannsnivået ligger på et tilsvarende nivå som vannstanden i bekken.

Det er ikke ansett som et aktuelt tiltak å utbedre kulverten under E16 og E39 som en del av bybaneprosjektet; det er såpass mye kompleks infrastruktur knyttet til rundkjøringen og en eventuell utbygging eller gjennomføring av et nytt løp vil medføre store tiltak. Flomproblematikken må derfor håndteres lokalt innenfor bybanens planområde.

Det er anbefalt å heve byggegrunnen/SOK ved depotet for å ivareta sikkerheten mot flom. For å ta hensyn til usikkerhet i beregningen, og ivareta risiko for tilstopping av kulverter, skal det legges til en sikkerhetsmargin på **50 cm** til beregnet vannnivå, slik at flomsikkert nivå tilsvarer 91.8 moh. Det er ikke ønskelig med vann de øverste 40 cm av sporoverbygningen, og følgelig er anbefalt byggehøyde **92.2 moh**.

Det er anbefalt at kulvert under Blindheimsvegen byttes ut ifm. etablering av ny gangveg inn til depotet, da denne er underdimensjonert og er i dårlig stand. Anbefalt minimumsdimensjon for ny kulvert er **BxH = 2.2 x 1.5 m**.

Analyse av situasjon med tiltak (terrengheving) viser at dette vil ha en minimal innvirkning på flomsituasjonen i bekken.

For å håndtere avrenning fra sørøst, er det foreslått å etablere en avskjærende grøft og åpne en bekkelukking, hvor vannmengdene fra disse føres under depotet i en kulvert. Med disse tiltakene vil flomvannmengdene føres til hovedløpet i bekken på en trygg og stort sett åpen måte. Nøyaktig løsning for tiltakene må bestemmes gjennom detaljprosjektering i en senere fase.



## Kilder

- **Asplan Viak** (2021). Midtbydavassdraget flomsonekartlegging. Versjon 02.
- **Direktoratet for byggkvalitet** (2017). Byggteknisk forskrift. TEK17.
- **Fergus, T., Hoseth K.A., Sæterbø, E.** (2010). Vassdragshåndboka. Tapir akademisk forlag.
- **Norsk Klimaservicesenter** (2017). Klimaprofil Hordaland.
- **NVE** (2014). Flaum- og skredfare i arealplanar. Revidert 22. mai 2014. NVE retningslinje 2/2011
- **NVE** (2015). Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt. NVE-veileder 7/2015.
- **Sorteberg, A., Lawrence, D., Dyrddal, A.V., Mayer, S., and Engeland, K.** (2018). Climatic changes in short duration extreme precipitation and rapid onset flooding - implications for design values. NCCS report 1/2018.

## Databaser og verktøy:

- **Høydedata** (august, 2021). Kartverket. Hentet fra <https://hoydedata.no/LaserInnsyn/>
- **NVE karttjenester** (august, 2021). NVE. Hentet fra <https://kartkatalog.nve.no/#kart>
- **PQRout** (august, 2021). NVE. Hentet fra <http://pqrout.nve.no/#/T/1>
- **seNorge** (august, 2021). NVE. Hentet fra <http://www.senorge.no/>

## Vedlegg

- |                  |                                     |
|------------------|-------------------------------------|
| <b>Vedlegg 1</b> | Flomberegninger i Excel             |
| <b>Vedlegg 2</b> | Oversiktskart                       |
| <b>Vedlegg 3</b> | Resultater hydraulisk analyse       |
| <b>Vedlegg 4</b> | Bekkeprofiler                       |
| <b>Vedlegg 5</b> | Flomsonekart eksisterende situasjon |
| <b>Vedlegg 6</b> | Flomsonekart fremtidig situasjon    |

# Vedlegg 1 - Flomberegninger

## Flomberegninger

### Input til flomberegninger

#### Feltdata

Navn på felt		Vågsbotn
Areal	km <sup>2</sup>	0.73
Effektiv sjøprosent	%	0.00
Midlere avrenning	l/s·km <sup>2</sup>	72.9

Lengde	km	1.15
Relieff forhold	m/km	54.8
Hmin	moh	89
H50	moh	126
Hmaks	moh	288

Bre	%	0.0
Dyrket mark	%	32.5
Myr	%	1.8
Leire	%	0.0
Skog	%	44.0
Sjø	%	0.0
Åpen fastmark	%	7.1
Urban	%	14.0
Uklassifisert	%	0.6

Morenemateriale	%	51.8
Bart fjell/tynt dekke	%	31.3
Blokkhav	%	16.9

### Resultater av flomberegninger

#### Bestemmelse av dimensjonerende flom

Dim returperiode	200 år
Klimapåslag	40 %

#### Estimat av dimensjonerende flom

Metode	200-årsflom	
	[l/s·km <sup>2</sup> ]	[m <sup>3</sup> /s]
NIFS-formelverk	5195	3.8
Rasjonale formel	5727	4.2
PQRout	4067	3.0

Endelig estimat:	5195	3.8
Inkludert klimapåslag:		5.3

#### Gjennomsnitt, median og relativt standardavvik metoder

Gjennomsnitt:	3.64
Relativt standardavvik i %:	14

# Vedlegg 1 - Flomberegninger

## Beregning av flom med NIFS-formelverket

### Nødvendige felldata:

Felt	Areal [km <sup>2</sup> ]	Eff. Sjø [%]	q <sub>N</sub> [l/s·km <sup>2</sup> ]	Gjentaksintervall, T [år]
Vågsbotn	0.73	0.00	72.9	200

### Estimat av verdier i NIFS-formelverket

Felt	Konstant k [-]	Middelflom [m <sup>3</sup> /s]	QT/QM [-]
Vågsbotn	-0.193	1.50	2.520

### Endelig estimat - kulminasjonsverdi

Felt	Middelflom		200 årsflom	
	[l/s·km <sup>2</sup> ]	[m <sup>3</sup> /s]	[l/s·km <sup>2</sup> ]	[m <sup>3</sup> /s]
Vågsbotn	2062	1.50	5195	3.78

### Ligninger fra NIFS-formelverket (NVE, 2015)

Middelflom	$Q_M = 18.97 Q_N^{0.864} e^{-0.251 \sqrt{A_{SE}}}$
Konstant	$k = -1 + 2/[1 + e^{0.391 + 1.54 \cdot A_{SE}/100}]$
Vekstkurve	$\frac{Q_T}{Q_M} = 1 + 0.308 \cdot q_N^{-0.137} [\Gamma(1+k)\Gamma(1-k) - (T-1)^{-k}]/k$

# Vedlegg 1 - Flomberegninger

## Beregning av flom med den Rasjonale formel

### Nødvendige feltdata:

Felt	Areal [ha]	Eff.sjø [%]	Høyde [m]	Lengde [m]
Vågsbotn	73	0.00	199	1150

### Nødvendige nedbørdata (beregnet av MET)

		Regnvarighet [time]				
		1	2	6	12	24
P200	[mm]	38.8	53.9	88.2	113.9	153.5
	[l/s·ha]	107.8	74.9	40.8	26.4	17.8

### Bestemmelse av avrenningsfaktor

Arealtype	C basis [-]	C påslag [%]	C inkl. påslag [-]	Areal	
				[%]	[ha]
Skog	0.30	30	0.39	44.0	32.0
Fastmark	0.65	30	0.85	7.1	5.2
Myr og ferskvann	0.60	30	0.78	1.8	1.3
Dyrket mark	0.40	30	0.52	32.5	23.6
Urban/bebygde	0.80	0	0.80	14.6	10.6

### Endelig avrenningsfaktor:

**0.53**

### Benyttede verdier og estimat av flomvannføring

Felt	Konsentrasjonstid [min]			C-verdi [-]	Regnintensitet [l/s·ha]	200-årsflom [m <sup>3</sup> /s]
	Naturlig	Urbant	Valgt			
Vågsbotn	49	8	60	0.53	107.8	4.17

### Ligninger brukt i den Rasjonale formel (NVE, 2015)

Rasjonale formel	$Q = C \cdot i \cdot A$
<b>Konsentrasjonstid</b>	
Naturlig felt	$T_c = 0,6 \cdot L \cdot H^{-0,5} + 3000 \cdot A_{SE}$
Urbane felt	$T_c = 0,02 \cdot L^{1,15} \cdot H^{-0,39}$

## Vedlegg 1 - Flomberegninger

### Beregning av flom med PQRoute

#### Nødvendige felt data:

Felt	Areal [km <sup>2</sup> ]	q <sub>N</sub> [l/s·km <sup>2</sup> ]	Eff.sjø [%]	Relieff [m/km]	Myr [%]	Bart fjell [%]
Vågsbotn	0.73	72.9	0.01	55	1.8	31.3

#### Nødvendige nedbørdata (beregnet av MET)

P200 [mm]	Regnvarighet [time]				
	1	2	6	12	24
	38.8	53.9	88.2	113.9	153.5

#### Beregning av modellparametere

Felt	K1 <sup>1)</sup> [1/h]	K2 [1/h]	T [mm]	H <sup>2)</sup> [mm]
Vågsbotn	0.2820	0.0567	20.816	20.816

<sup>1)</sup> Korrigert grunnet høy andel bart fjell (> 20-40%) - K1 økt med 0.045

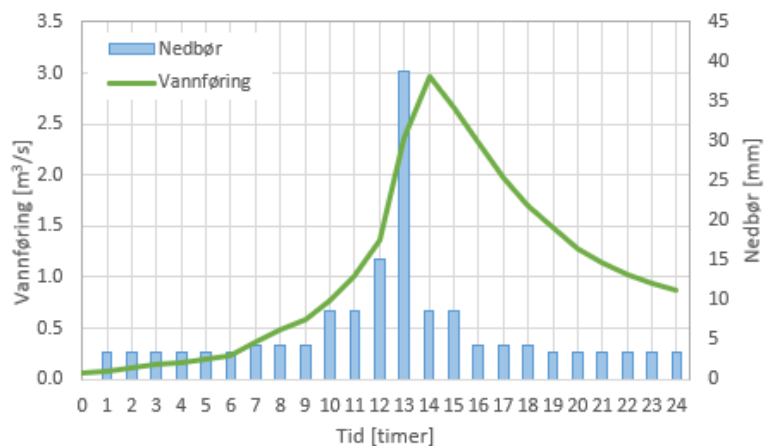
<sup>2)</sup> Full metning som initialtilstand

#### Flomberegning med PQRoute

Tid [t]	P [mm]	Q [m <sup>3</sup> /s]
0	0.00	0.05
1	3.30	0.08
2	3.30	0.11
3	3.30	0.14
4	3.30	0.17
5	3.30	0.20
6	3.30	0.23
7	4.30	0.36
8	4.30	0.49
9	4.30	0.59
10	8.60	0.77
11	8.60	1.01
12	15.10	1.36
13	38.80	2.36
14	8.60	2.96
15	8.60	2.66
16	4.30	2.33
17	4.30	1.97
18	4.30	1.70
19	3.30	1.48
20	3.30	1.28
21	3.30	1.14
22	3.30	1.03
23	3.30	0.94
24	3.30	0.88

Døgnmiddel	3.75	1.09
Kulminasjon	38.80	2.96

PQRoute modellsimulerings resultat



#### Ligninger brukt for PQFLOM (NVE,2015)

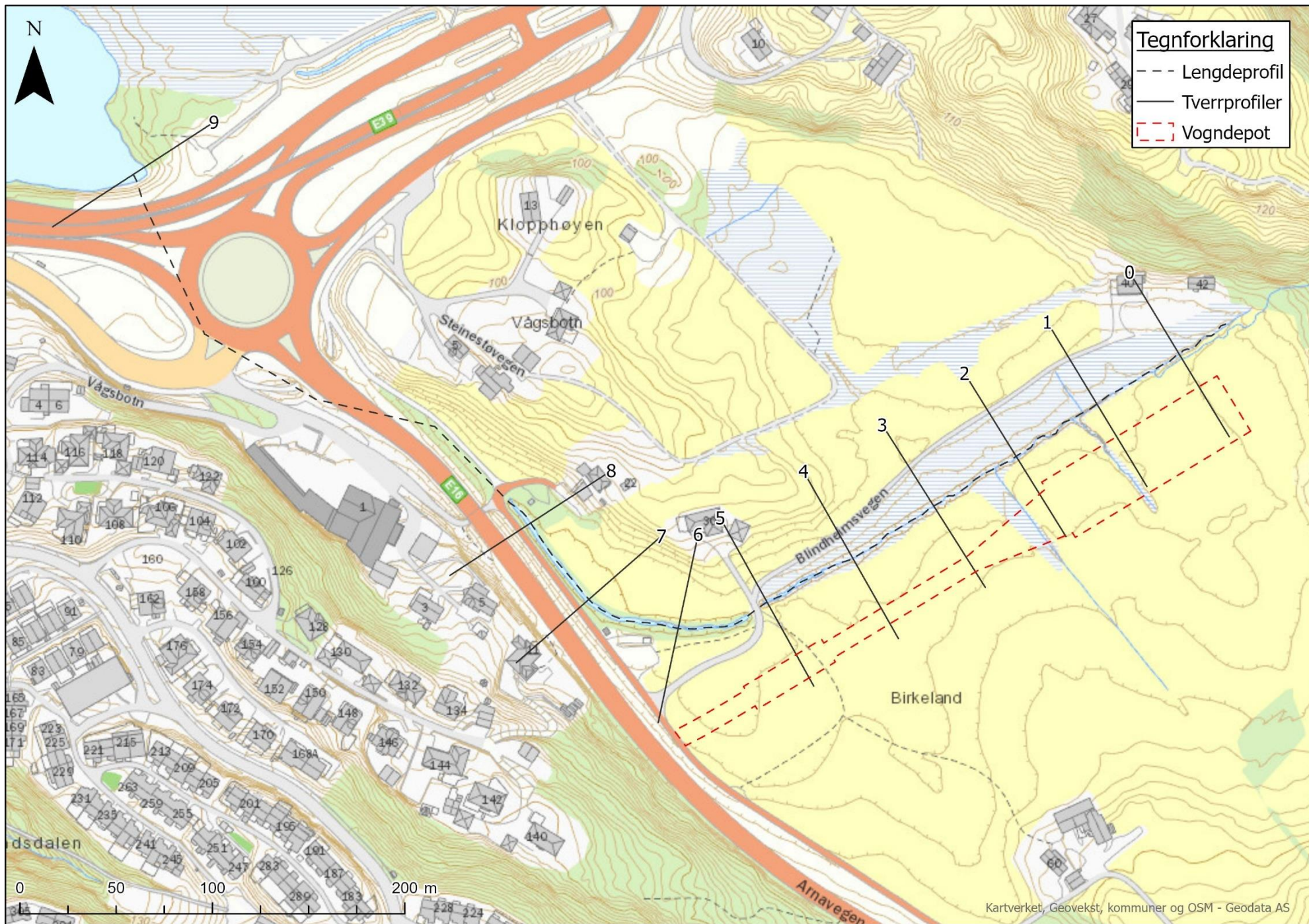
##### Modellparametere

$$K1 = 0,0135 + 0,00268 \cdot H_L - 0,01665 \cdot \ln(A_{SE})$$

$$K2 = 0,009 + 0,21 \cdot K1 - 0,00021 \cdot H_L$$

$$T = -9,0 + 4,4 \cdot K1^{-0,6} + 0,28 \cdot q_N$$

## Vedlegg 2 - Oversiktskart



### Vedlegg 3 – Resultater fra hydraulisk analyse

#### Resultater fra vannlinjeberegning - 200-årsflom inkl. 40% klimapåslag

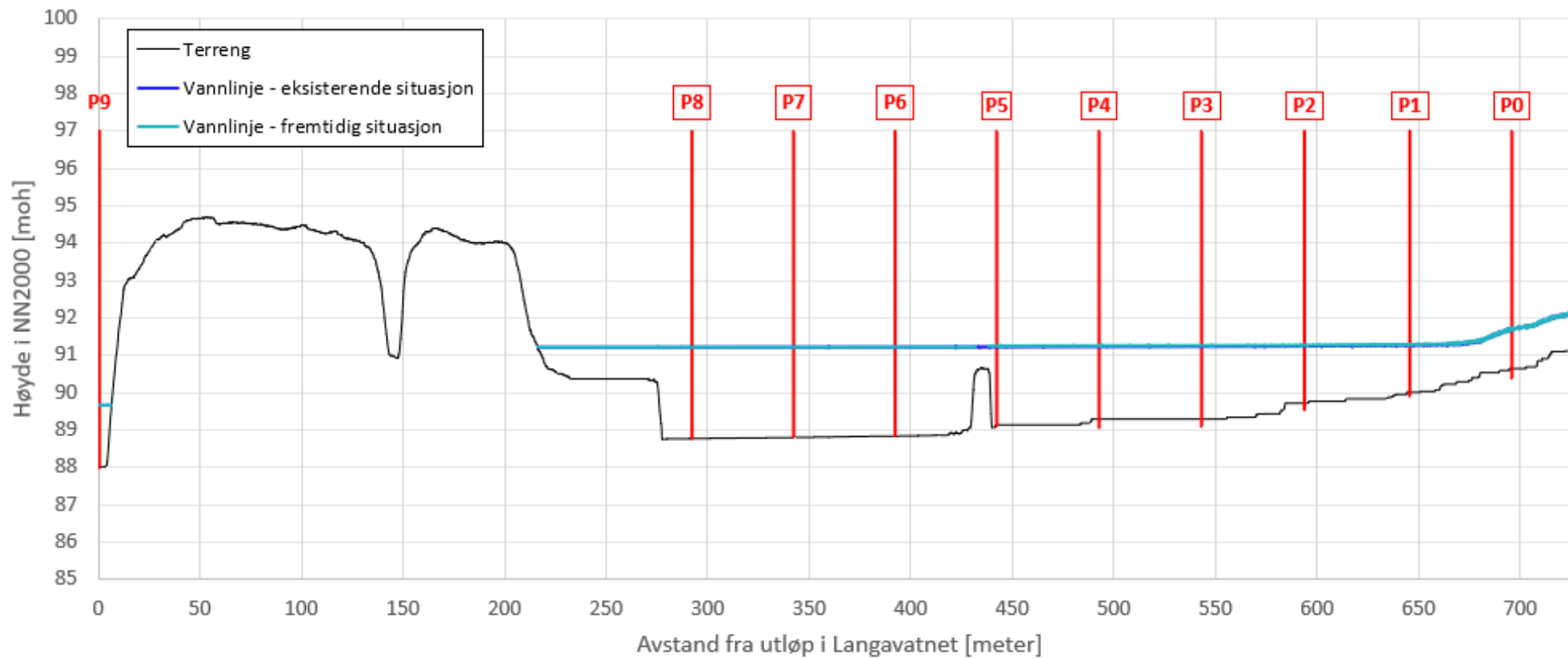
Profil nr.	Elvebunn [moh]	Eksisterende situasjon			Fremtidig situasjon			Endring grunnet tiltak	
		Vannstand [moh]	Vanndybde [m]	Hastighet [m/s]	Vannstand [moh]	Vanndybde [m]	Hastighet [m/s]	Vannstand [m]	Hastighet [m/s]
0	90.38	91.70	1.32	1.59	91.70	1.32	1.59	0.00	0.00
1	89.90	91.27	1.37	0.96	91.29	1.39	1.11	+0.02	+0.15
2	89.54	91.25	1.71	0.73	91.27	1.73	0.90	+0.02	+0.17
3	89.09	91.24	2.15	0.55	91.26	2.17	0.73	+0.02	+0.18
4	89.07	91.23	2.16	0.51	91.26	2.19	0.58	+0.03	+0.07
5	89.10	91.22	2.12	0.77	91.25	2.15	0.77	+0.03	0.00
6	88.84	91.22	2.38	0.77	91.22	2.38	0.77	0.00	0.00
7	88.80	91.22	2.42	0.58	91.22	2.42	0.58	0.00	0.00
8	88.77	91.22	2.45	0.76	91.22	2.45	0.76	0.00	0.00
9	88.00	89.67	1.67	0.49	89.67	1.67	0.49	0.00	0.00

<b>Gjennomsnitt:</b>		<b>1.98</b>	<b>0.77</b>		<b>1.99</b>	<b>0.83</b>	<b>+0.01</b>	<b>+0.06</b>
<b>Maksimal:</b>		<b>2.45</b>	<b>1.59</b>		<b>2.45</b>	<b>1.59</b>	<b>+0.03</b>	<b>+0.18</b>
<b>Min:</b>		<b>1.32</b>	<b>0.49</b>		<b>1.32</b>	<b>0.49</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>



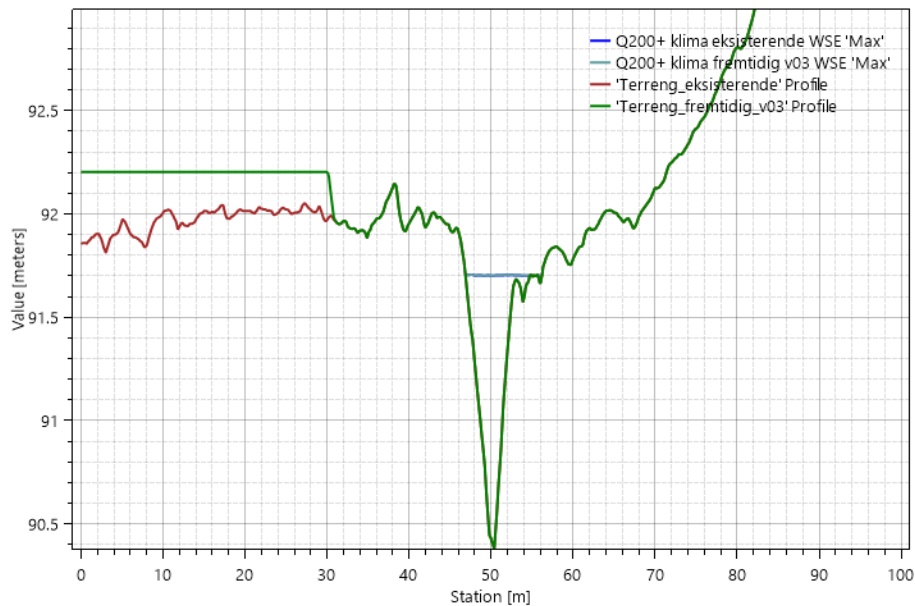
## Vedlegg 4 – Bekkeprofiler

### Lengdeprofil - Bekk i Vågsbotn

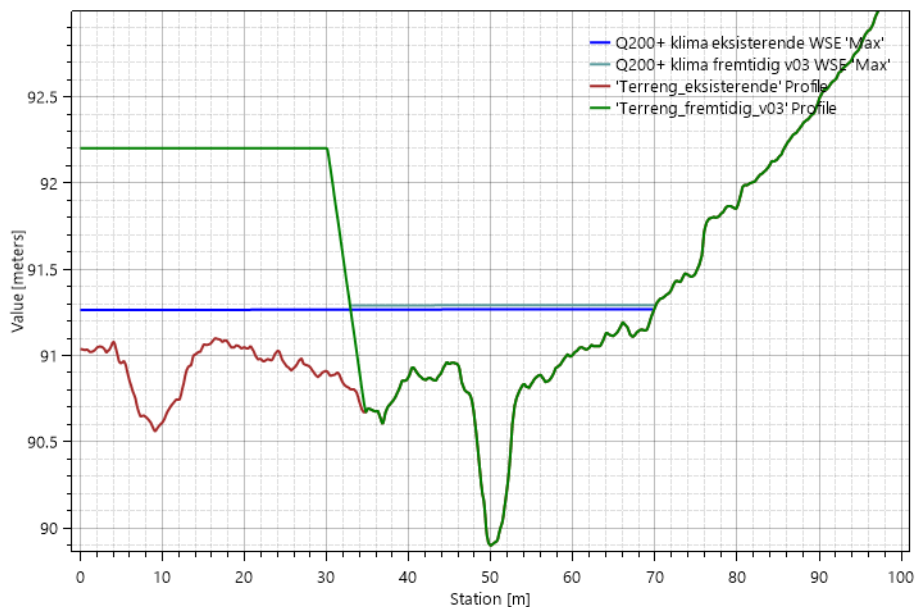


# Vedlegg 4 – Bekkeprofiler

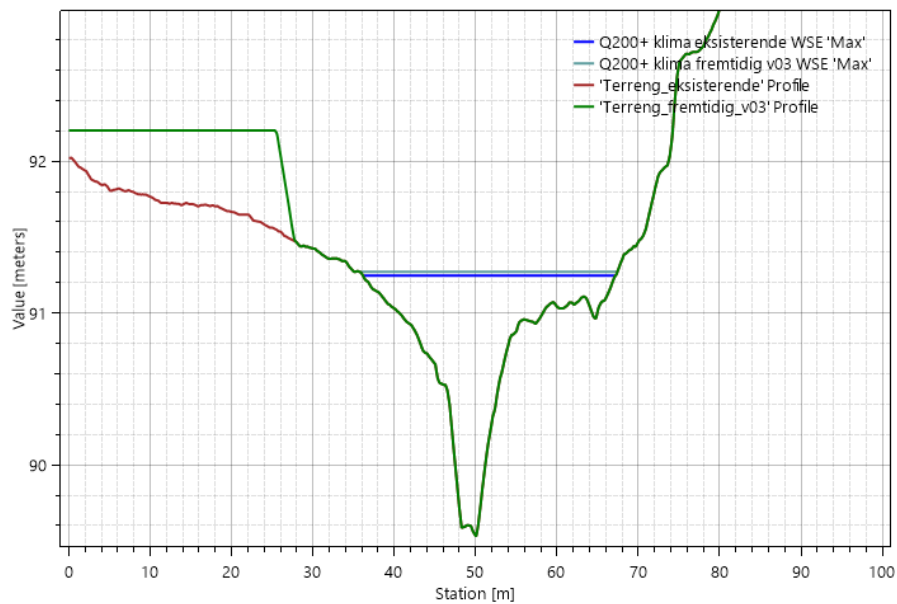
## Water Surface Elevation on 'Line: 0'



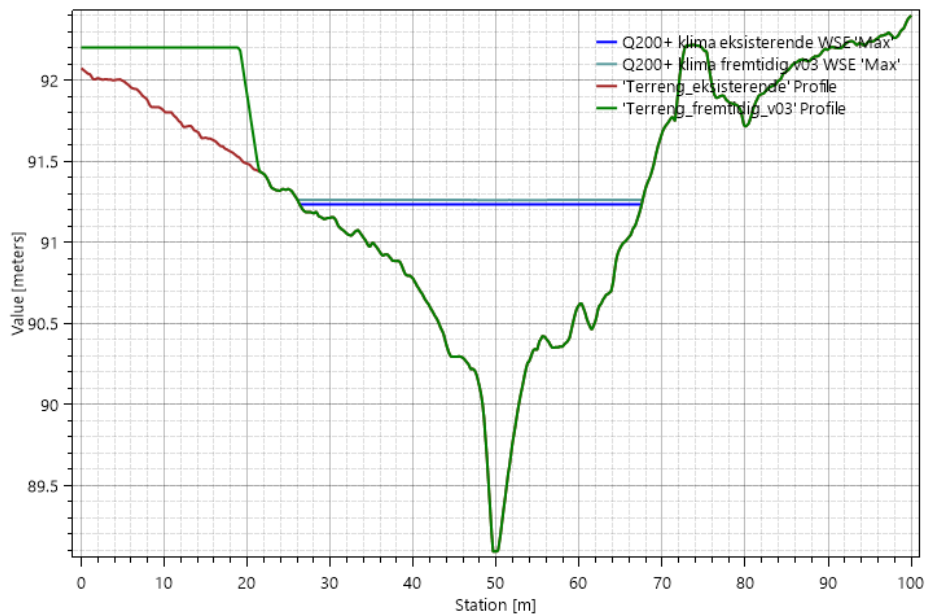
## Water Surface Elevation on 'Line: 1'



## Water Surface Elevation on 'Line: 2'

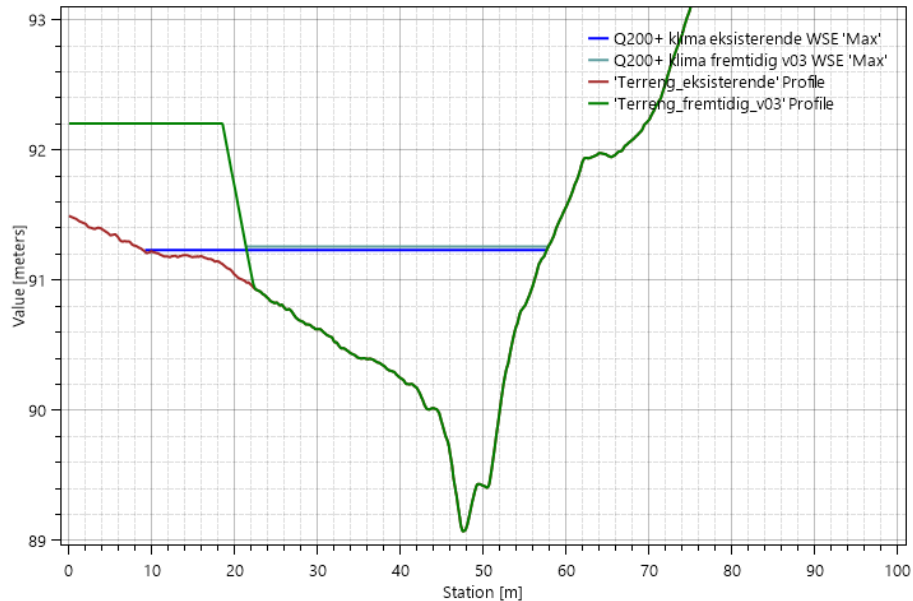


## Water Surface Elevation on 'Line: 3'

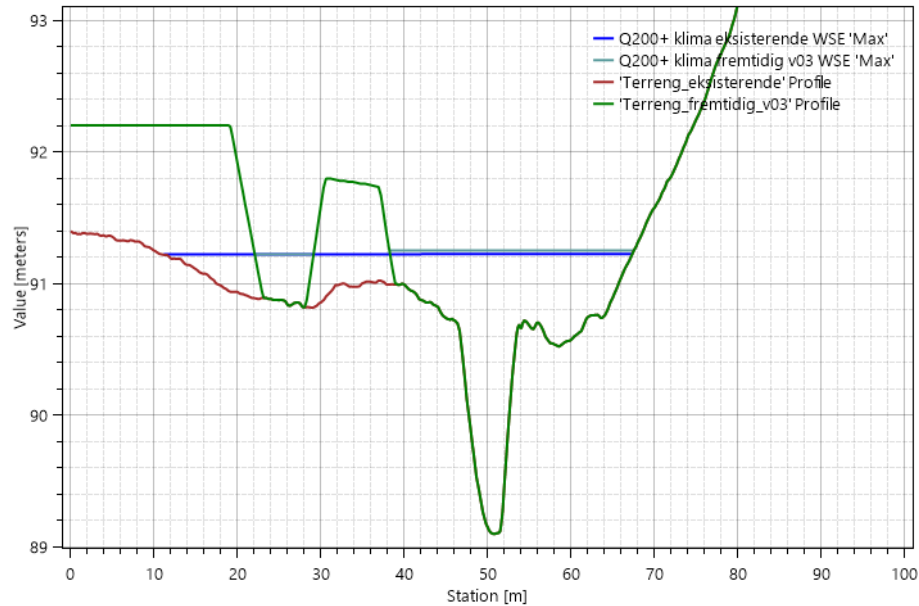


# Vedlegg 4 – Bekkeprofiler

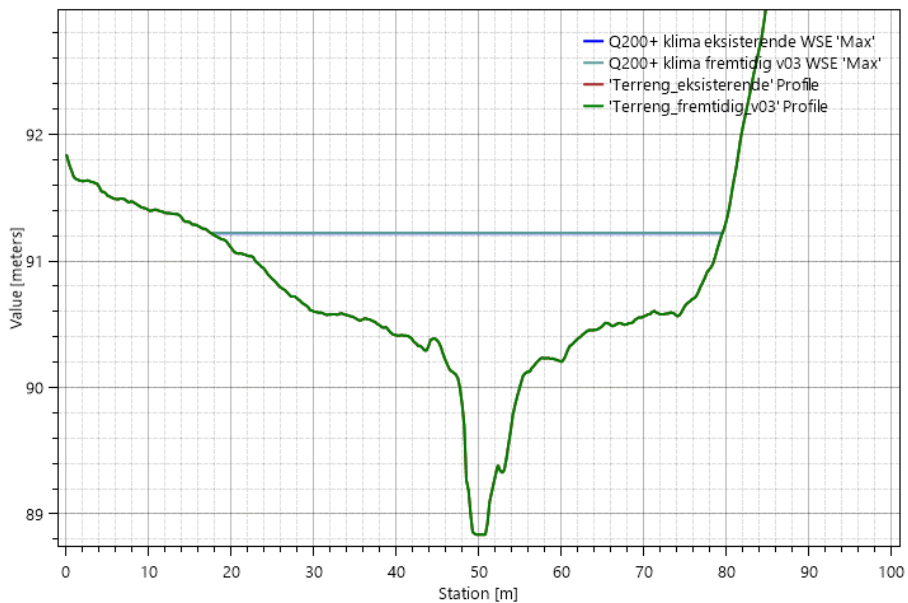
### Water Surface Elevation on 'Line: 4'



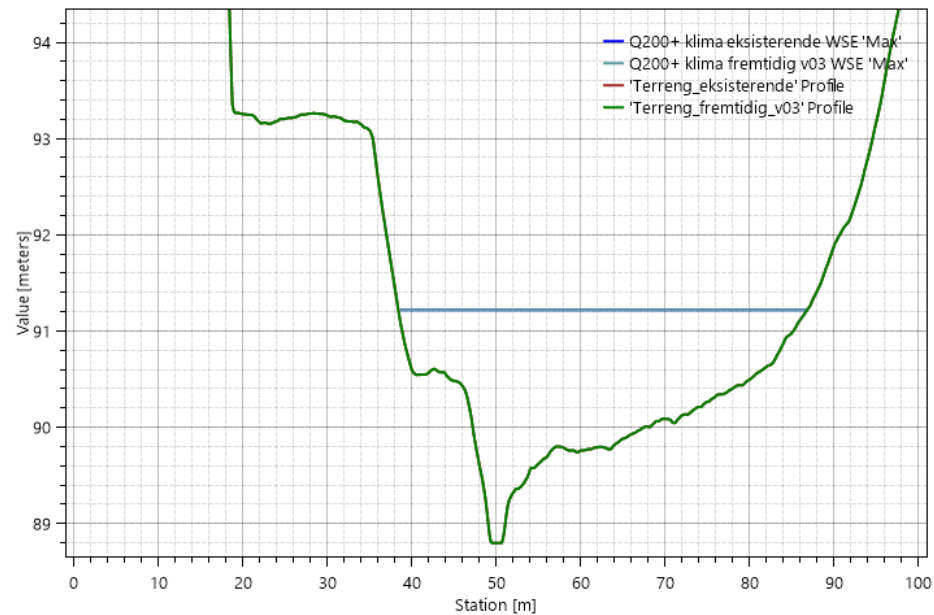
### Water Surface Elevation on 'Line: 5'



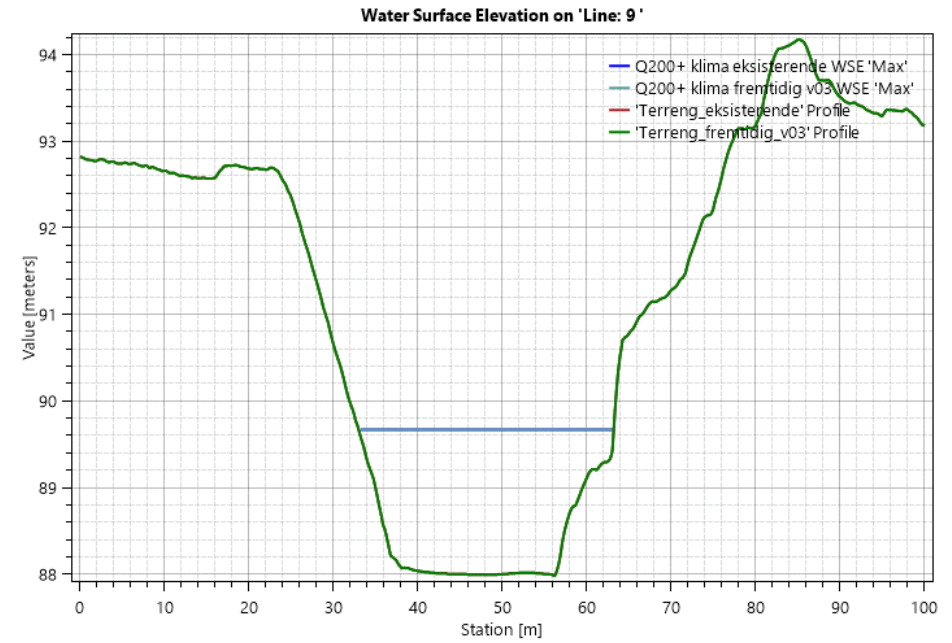
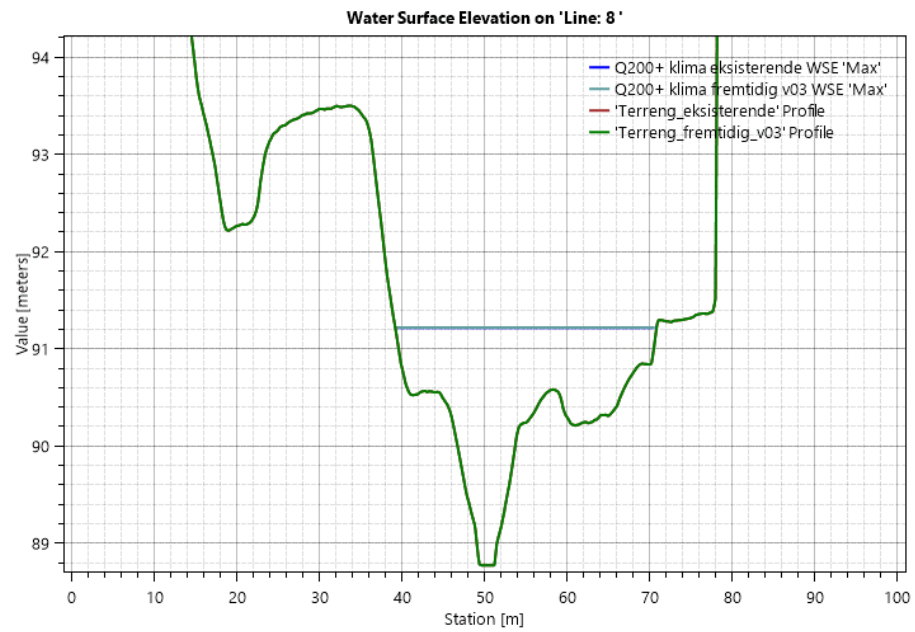
### Water Surface Elevation on 'Line: 6'



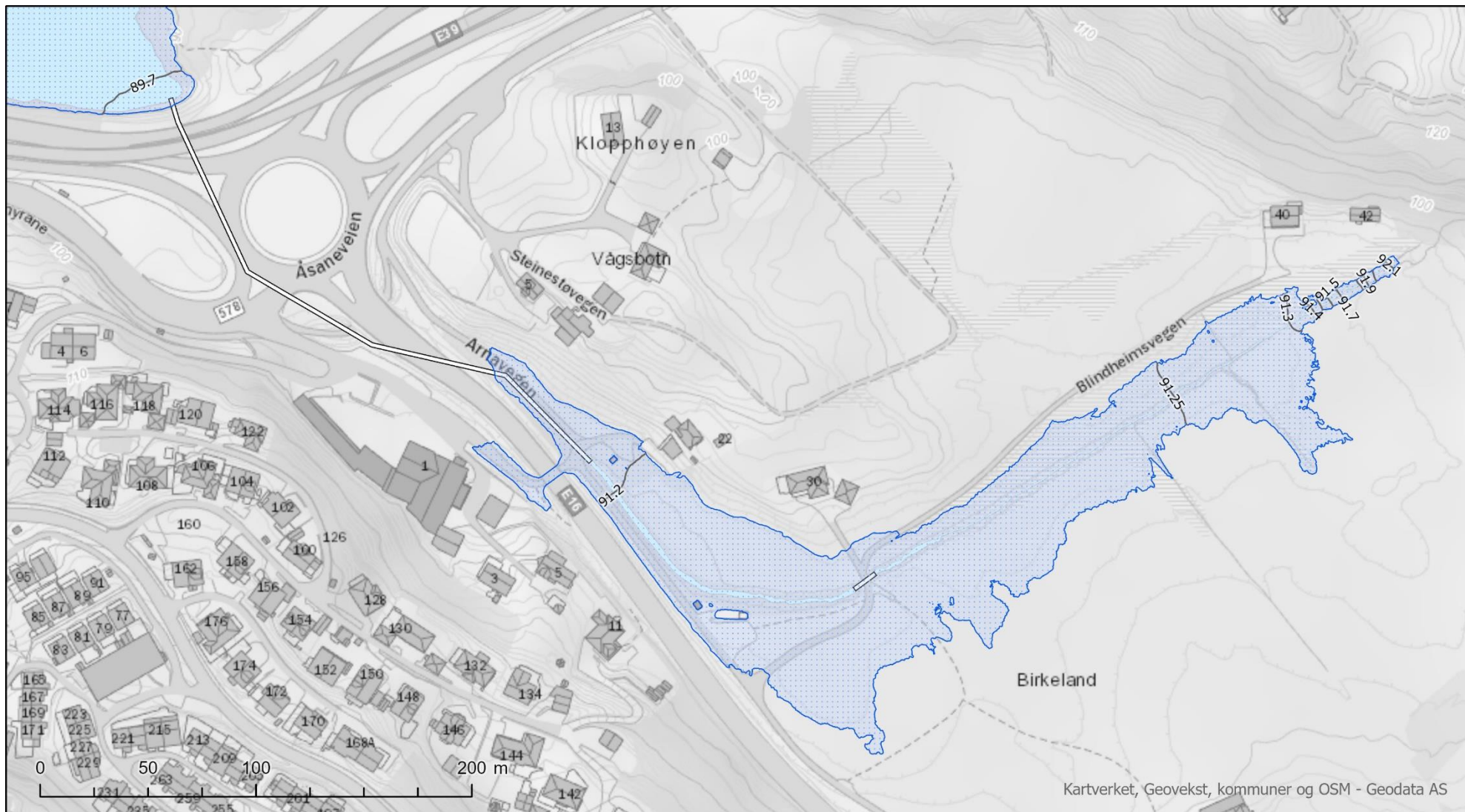
### Water Surface Elevation on 'Line: 7'



## Vedlegg 4 – Bekkeprofiler



## Vedlegg 5 – Flomsonekart eksisterende situasjon



### Flomsonekart Vågsbotn Eksisterende situasjon

Kartleggingen er utført for 200-årsflom inkludert 40% klimapåslag

NB: Verdier kart viser modellert flomvannstand i moh (NN2000), og inkluderer ikke anbefalt sikkerhetsmargin på 50 cm.

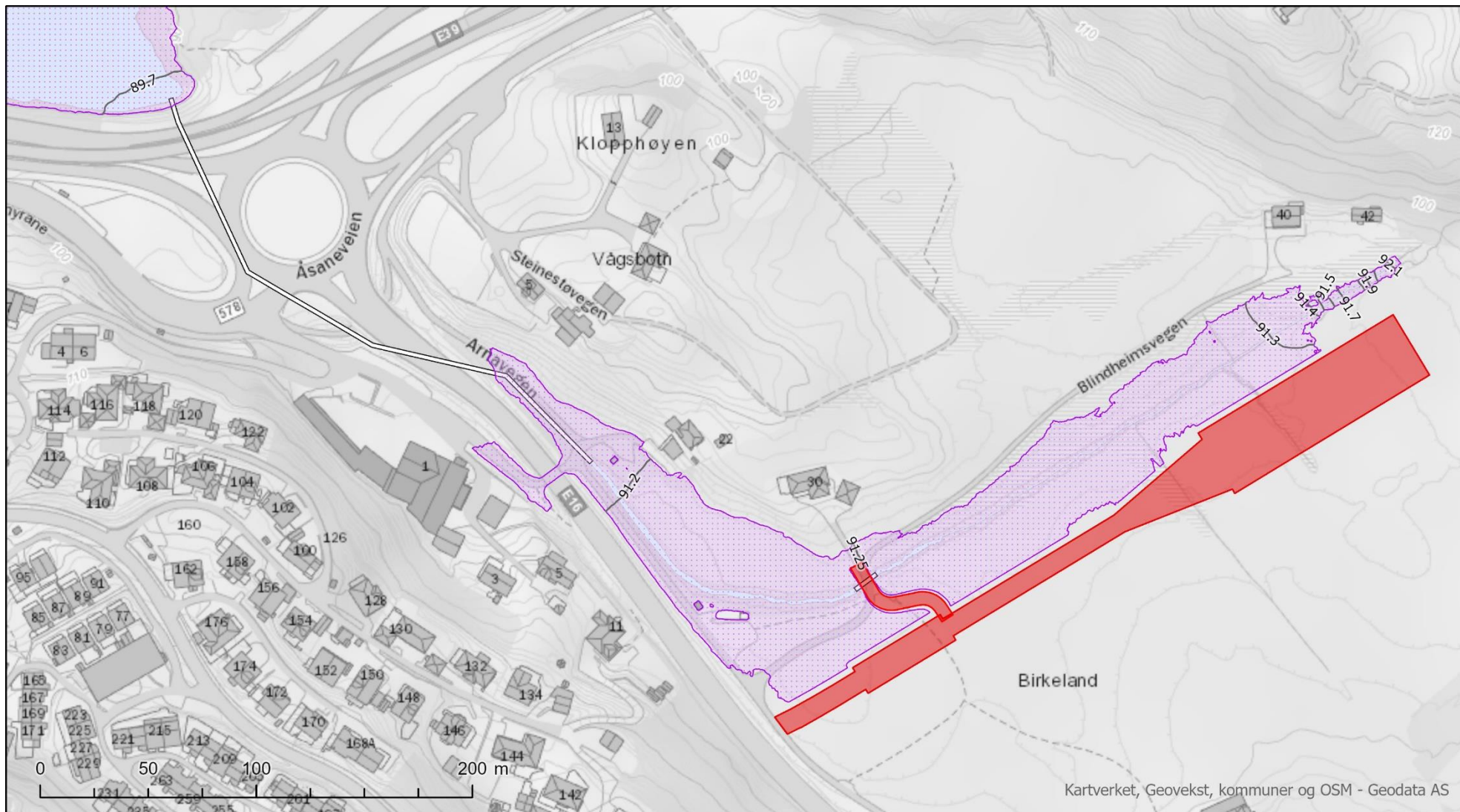
#### Tegnforklaring

- Flomvannstand - kontur
- Oversvømt areal
- Kulverter
- Elv og vann

Utarbeidet av: HMK  
Dato: 06.10.2021

**asplan  
viak**

## Vedlegg 6 – Flomsonekart fremtidig situasjon



### Flomsonekart Vågsbotn Fremtidig situasjon

Kartleggingen er utført for 200-årsflom inkludert 40% klimapåslag

NB: Verdier kart viser modellert flomvannstand i moh (NN2000), og inkluderer ikke anbefalt sikkerhetsmargin på 50 cm.

#### Tegnforklaring

- Flomvannstand - kontur
- Oversvømt areal
- Kulverter
- Elv og vann

Utarbeidet av: HMK  
Dato: 06.10.2021

**asplan  
viak**