



Hamar Kommune

Flomsonekartlegging Ingeberg

Utgave: 3

Dato: 01.10.2018

DOKUMENTINFORMASJON

---

Oppdragsgiver: Hamar Kommune  
Rapporttittel: Flomsonekartlegging\_Ingeberg  
Utgave/dato: 3/ 01.10.2018  
Filnavn: Flomsonekartlegging\_Ingeberg\_utkast.docx  
Arkiv ID  
Oppdrag: 615072-01–Ingeberg Flom- og overvannsplan  
Oppdragsleder: Jon Bergersen Zeigler  
Avdeling: Vann og miljø  
Fag: Hydrologi  
Skrevet av: Jon Bergersen Zeigler  
Kvalitetskontroll: Åsta Gurandsrud Hestad  
Asplan Viak AS [www.asplanviak.no](http://www.asplanviak.no)

---

## FORORD

Asplan Viak har som en del av «Rammeavtale for planleggingstjenester 2017» utført flomsonekartlegging i forbindelse med områderegulering av Ingeberg. Fokus har vært hovedvassdraget Dalbybekken/Tomterbekken innenfor reguleringsområdet.

Sandvika, 01.10.2018

Jon Bergersen Zeigler  
Oppdragsleder

Åsta Gurandsrud Hestad  
Kvalitetssikrer

## INNHOLDSFORTEGNELSE

1	Sammendrag .....	5
2	Innledning .....	6
2.1	Bakgrunn .....	6
3	Grunnlag/forutsetninger .....	8
3.1	Avgrensning .....	8
3.2	Hydrologiske data .....	8
3.3	Kart-/terrenggrunnlag .....	8
3.4	Innmålinger .....	8
4	Flomberegning .....	9
4.1	Nedslagsfelt .....	9
4.2	Referansestasjoner .....	11
4.3	Klimatillegg .....	13
4.4	Flomfrekvensanalyse .....	13
4.5	NIFS-formelverk .....	15
4.6	Den rasjonale formel .....	16
4.7	Hydrologisk flommodell – PQFLOM .....	17
4.8	Oppsummering .....	18
5	Vannlinjemodellering .....	19
5.1	Modelloppsett .....	19
5.2	Bruer/kryssinger .....	20
5.3	Kalibrering .....	23
5.4	Ruhetsverdier (Manningtall) .....	24
5.5	Følsomhetsanalyse .....	24
5.6	Resultater .....	25
5.7	Verifisering av beregningene .....	27
6	Usikkerhet i datamaterialet .....	30
7	Flomsonekart .....	31
8	Risikoreduserende tiltak .....	33
8.1	Byggehøyder .....	33
8.2	Bruer/kulverter/stikkrenner .....	39



8.3	Erosjon .....	39
8.4	Isgang.....	40
8.5	Fordrøyning.....	40
9	Referanser.....	41
10	Vedlegg.....	42

# 1 SAMMENDRAG

For Ingebergområdet er det beregnet følgende flomverdier (m<sup>3</sup>/s) inklusive 40 % klimafaktor for de forskjellige delene av vassdraget Dalbybekken/Tomterbekken:

Felt	Areal (km <sup>2</sup> )	Andel av totalareal	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100	Q200	Q500	Q1000
Totalfelt	11.43	100.0 %	7.33	8.61	9.91	11.75	13.27	14.92	17.36	19.42
Tomterbekken oppstr. samløp	5.44	47.6 %	3.49	4.10	4.72	5.60	6.32	7.11	8.27	9.25
Dalbybekken oppstr. samløp	5.60	49.0 %	3.59	4.22	4.86	5.76	6.50	7.31	8.51	9.52

Beregnet vannstand (moh) i de forskjellige tverrprofilene i hydraulisk 1D-modell ble som følger:

Profilnr	5 år	10 år	20 år	50 år	100 år	200 år	500 år	1000 år
11	174.7	174.8	174.9	175.0	175.1	<b>175.1</b>	175.2	175.3
52	175.1	175.2	175.3	175.4	175.5	<b>175.5</b>	175.6	175.7
155	178.8	178.8	178.9	178.9	178.9	<b>179.0</b>	179.0	179.1
201	179.4	179.5	179.5	179.6	179.6	<b>179.7</b>	179.8	179.8
221	180.5	180.5	180.6	180.6	180.7	<b>180.7</b>	180.8	180.8
247	182.0	182.0	182.1	182.1	182.1	<b>182.2</b>	182.2	182.2
261	183.1	183.2	183.3	183.4	183.4	<b>183.5</b>	182.9	183.0
357	186.4	186.5	186.6	186.6	186.7	<b>186.8</b>	187.3	187.3
434	150.1	150.2	150.3	150.3	150.4	<b>150.5</b>	150.6	150.6
589	156.9	156.9	157.0	157.1	157.1	<b>157.1</b>	157.2	157.2
604	157.7	157.7	157.8	157.8	157.9	<b>157.9</b>	158.0	158.0
615	158.8	158.8	158.8	158.9	158.9	<b>158.9</b>	158.9	158.9
639	158.9	159.0	159.0	159.1	159.2	<b>159.2</b>	159.3	159.4
776	165.5	165.6	165.6	165.7	165.7	<b>165.7</b>	165.8	165.9
802	166.8	166.8	166.9	167.0	167.1	<b>167.1</b>	167.2	167.3
843	169.0	169.0	169.1	169.1	169.2	<b>169.2</b>	169.3	169.3
851	169.4	169.5	169.5	169.6	169.6	<b>169.7</b>	169.7	169.8
886	170.1	170.2	170.3	170.4	170.7	<b>170.8</b>	170.9	170.9
900	171.1	171.2	171.3	171.3	171.4	<b>171.4</b>	171.5	171.5
908	171.4	171.5	171.6	171.7	171.8	<b>171.9</b>	172.0	172.0
920	172.5	172.5	172.6	172.6	172.6	<b>172.6</b>	172.7	172.7
931	172.5	172.5	172.6	172.6	172.6	<b>172.6</b>	172.7	172.7
939	172.5	172.6	172.6	172.6	172.7	<b>172.7</b>	172.8	172.9
1030	172.9	173.0	173.0	173.1	173.2	<b>173.3</b>	173.4	173.5
1156	173.0	173.1	173.2	173.3	173.4	<b>173.5</b>	173.6	173.7
1274	173.1	173.2	173.3	173.4	173.5	<b>173.6</b>	173.8	173.9
1284	173.9	173.9	174.0	174.0	174.1	<b>174.1</b>	174.2	174.2
1326	174.0	174.0	174.1	174.1	174.2	<b>174.2</b>	174.3	174.4
1396	174.0	174.1	174.2	174.2	174.3	<b>174.4</b>	174.4	174.5
1444	174.1	174.2	174.2	174.3	174.4	<b>174.5</b>	174.6	174.7
1456	175.3	175.3	175.4	175.5	175.5	<b>175.6</b>	175.7	175.8
1524	176.8	176.8	176.9	177.0	177.0	<b>177.1</b>	177.1	177.2
1665	185.2	185.3	185.3	185.4	185.4	<b>185.4</b>	185.5	185.6
1734	188.5	188.6	188.7	188.7	188.7	<b>188.8</b>	188.8	188.9

## 2 INNLEDNING

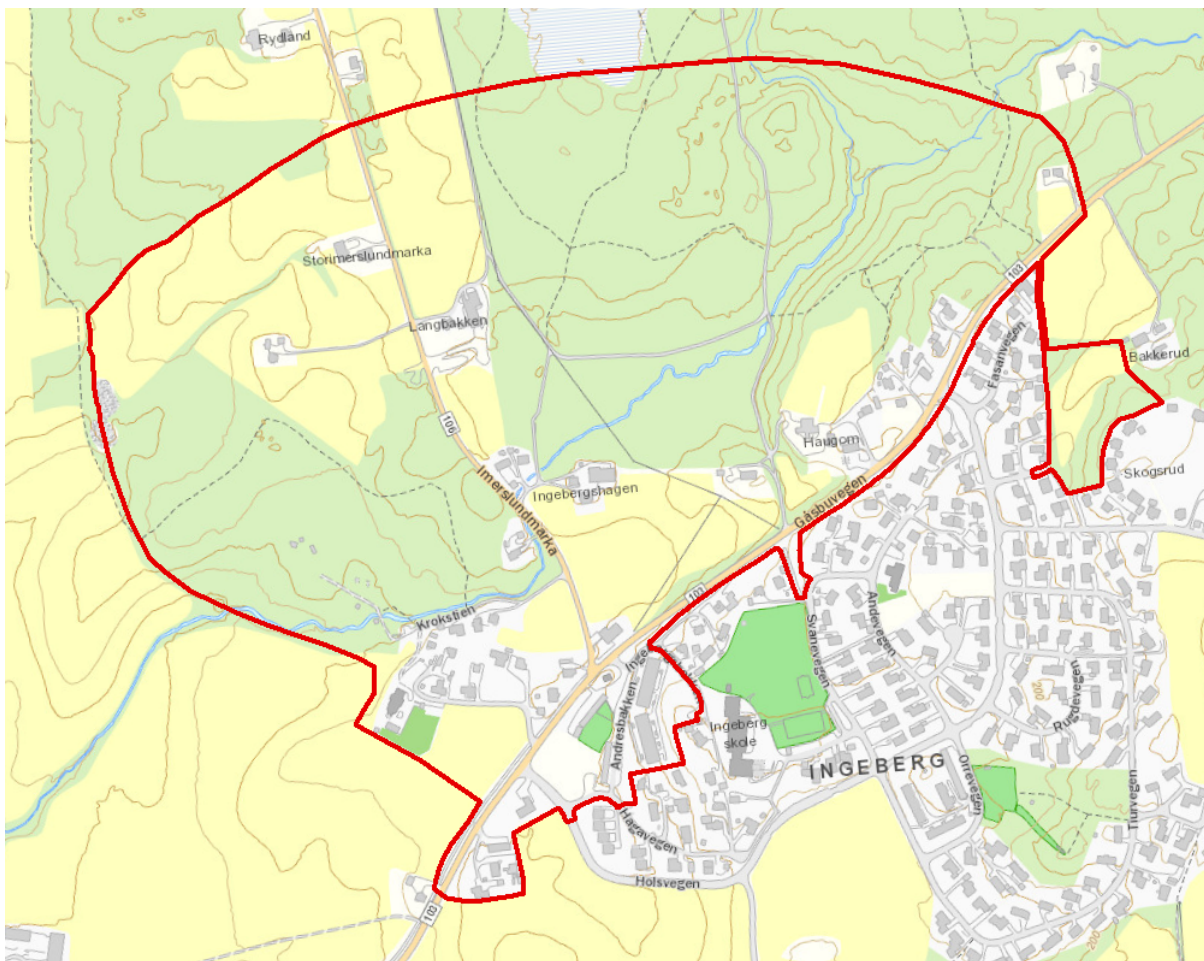
### 2.1 Bakgrunn

I forbindelse med områderegulering av Ingeberg (ca. 5 km nordøst for Hamar sentrum) har Asplan Viak utført flomsonekartlegging av hovedvassdraget i området. To bekker møtes rett sørvest for planområdets nordøstre avgrensning: Tomterbekken fra nord og Dalbybekken fra nordøst. Bekken som renner videre gjennom planområdet etter samtløpet omtales for ordens skyld heretter som Dalbybekken (jfr. NVE atlas). Planområdets avgrensning vises i Figur 1 og Figur 2. Det beregnes flomsoner for 5-, 10-, 20-, 50-, 100-, 200-, 500- og 1000-årsflom. Dette arbeidet danner grunnlag for utarbeidelse av overordnet overvannsplan for Ingeberg.



Figur 1. Lokalisering og planavgrensning for Ingeberg

Planområdet er i dag preget av skog- og landbruksområder med spredt bebyggelse.



Figur 2. Planområdet på Ingeberg. Samløpet mellom Dalbybekken (fra nordøst) og Tomterbekken (fra nord) ses nordøst i planområdet.

## **3 GRUNNLAG/FORUTSETNINGER**

### **3.1 Avgrensning**

Selve flomsonekartleggingen avgrenses av planområdet, og begrenser seg til kun hovedvassdraget Tomterbekken/Dalbybekken. Eventuelle «delstrømmer» og sidevassdrag uten årssikker vannføring vurderes ikke i denne kartleggingen. Disse er vurdert nærmere i forbindelse med den overordnede overvannsplanen.

### **3.2 Hydrologiske data**

Som utgangspunkt for flomberegningene benyttes data fra nærliggende målestasjoner for vannføring og nedbør, samt avrenningsdata generert fra NVEs kartapplikasjon Nevina.

### **3.3 Kart-/terrenggrunnlag**

Terrengmodeller er generert på grunnlag av data fra Kartverkets innsynsløsning for laserdata. Det er benyttet data fra «Nasjonal digital høydemodell» (NDH) med en meters oppløsning

### **3.4 Innmålinger**

Hamar kommune har utført oppmåling av tverrprofiler, bruer og stikkrenner i vassdraget. Det er også målt vannstand i hvert profil. Hoveddelen av innmålingene er utført i august 2017.

Flomsonekartleggingen følger i hovedsak prinsippene skissert i NVEs retningslinjer 03-2015 og 02-2011.

## 4 FLOMBEREGNING

### 4.1 Nedslagsfelt

Som grunnlag for flomberegningen er det først generert nedslagsfelt med NVEs kartapplikasjon Nevina. Tabell 1 viser feltstørrelse og feltparametere generert med denne applikasjonen. Beregningspunkt er der bekken krysser planområdet sørvestre avgrensning. Total feltstørrelse fra Nevina ble 11,2 km<sup>2</sup>. Nevina-utskriften vises i vedlegg 1. Det er deretter tatt ut høydedata fra Kartverkets laserinnsynstjeneste (NDH, 1 m oppløsning) og generert terrengmodell på grunnlag av disse. Nedslagsfelt er så beregnet på nytt med denne terrengmodellen. De genererte nedslagsfeltene (med avrenningslinjer) vises i Figur 1. Analysen indikerer at avrenningslinjene i de markerte feltene akkurat dreier klar av vassdraget, men det antas inntil videre at disse likevel bidrar med vann. Dette gir ekstra sikkerhet i beregningene. Feltparametere for totalfeltet (med justert feltstørrelse) er vist i Tabell 1

Tabell 1. Feltparametere for totalfeltet

Felt	Feltareal km <sup>2</sup>	Skog %	Dyrket mark %	Snaufjell %	Myr %	Eff. sjø %	q <sub>N</sub> <sup>*</sup> l/s/km <sup>2</sup>	H <sub>min</sub> /H <sub>max</sub> m.o.h	Median høyde m.o.h
Dalbybekken/ Tomterbekken	11.43	69,7	23,1	0	0,4	0	7,6	152/624	271

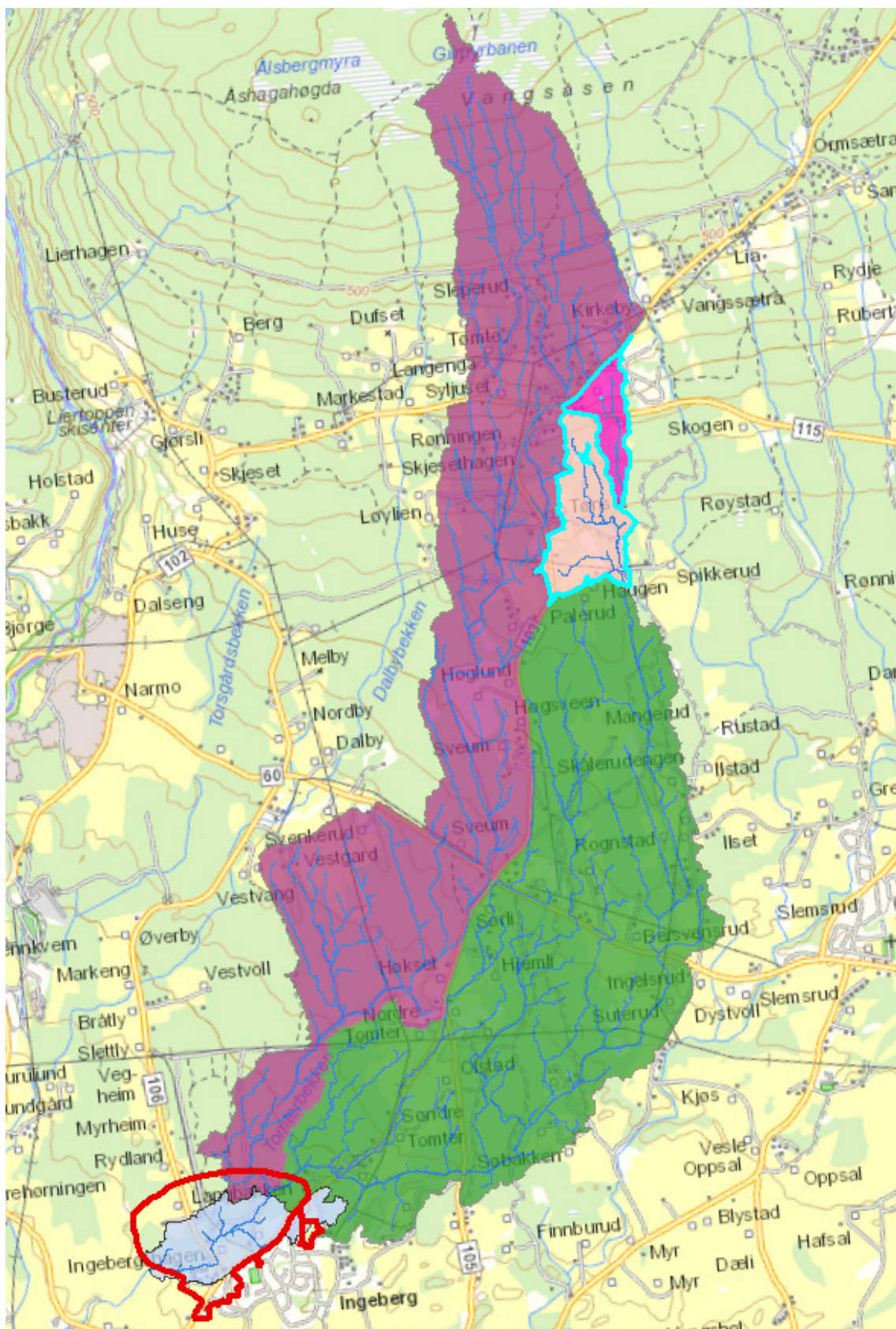
\*Spesifikk middelavrenning beregnet fra NVE sitt avrenningskart for normalperioden 1961-1990.

Arealfordelingen for de respektive bekkenes delfelt fremgår av Tabell 2.

Tabell 2. Arealfordeling for delfelt

Delfelt	Feltstørrelse (km <sup>2</sup> )
Tomterbekken oppstrøms samløp	5.44
Dalbybekken oppstrøms samløp	5.05
Markerte felt i Figur 3, tillegg til Dalbybekken	0.55
Sum Dalbybekken oppstrøms samløp	5.60
Restfelt nedstrøms samløp	0.38



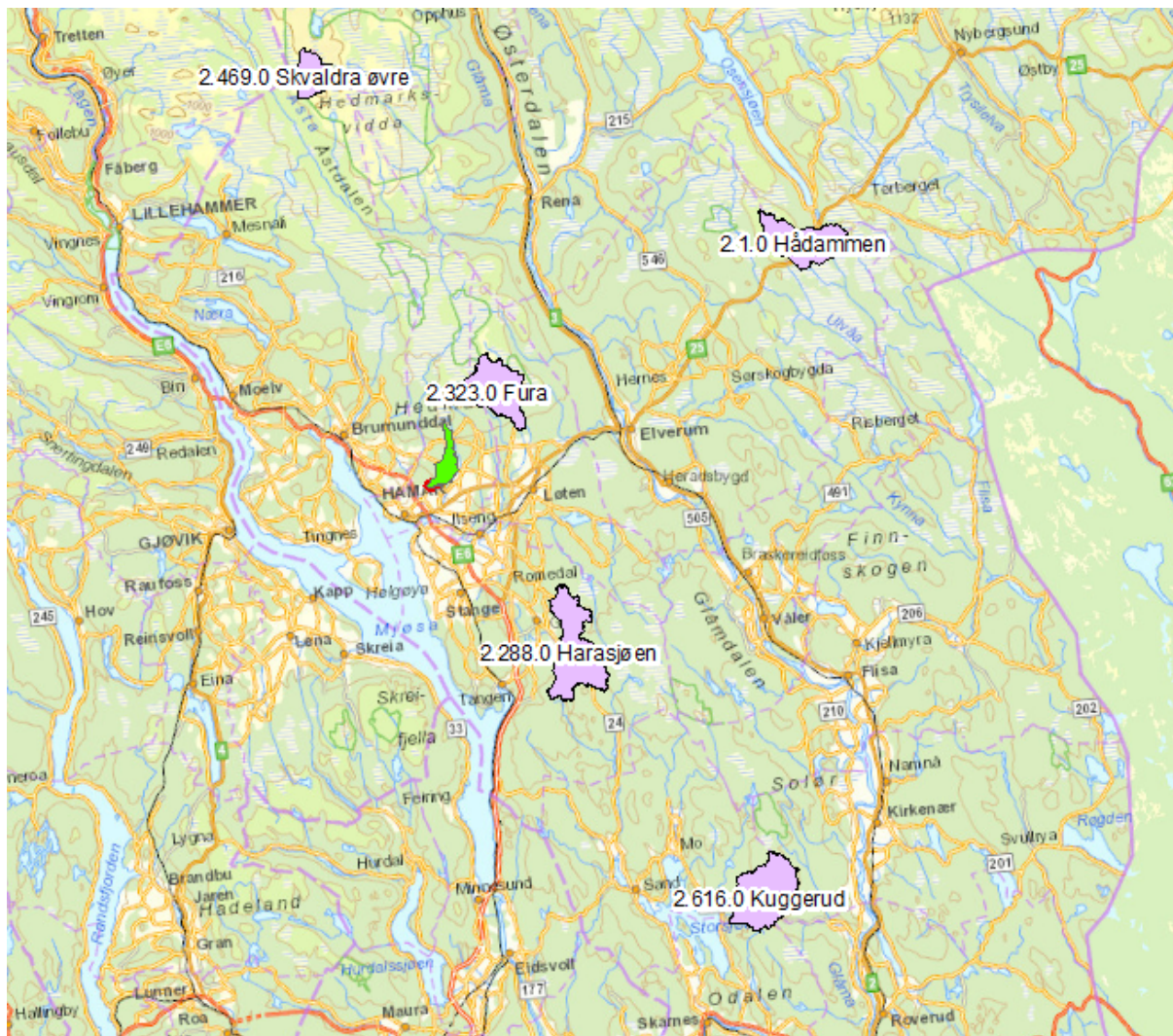


Figur 3. Nedslagsfelt med avrenningslinjer generert fra egen terrengmodell. Tomterbakkens felt på vestsiden (lilla) og Dalbybakkens felt på østsiden (grønt). Restfelt i lyseblått lengst i sør. Det antas inntil videre at de markerte feltene i nord bidrar med vann til vassdraget, selv om analysen indikerer noe annet. Reguleringsområdet markert med rødt.



## 4.2 Referansestasjoner

Det foreligger ingen kjente måleserier for vannføring i vassdraget. Flomberegningen er derfor basert på dataserier fra målestasjoner i nærliggende vassdrag. Figur 4 viser beliggenhet til relevante nærliggende målestasjoner. Karakteristiske felldata for utvalgte referansestasjoner er vist i Tabell 3



Figur 4. Nærliggende målestasjoner for vannføring. Totalfeltet for Ingeberg markert med grønt.



Tabell 3. Referansestasjoner

Målestasjon	Feltareal km <sup>2</sup>	Skog %	Dyrket mark %	Snau- fjell %	Myr %	Urban %	Eff. sjø %	q <sub>N</sub> <sup>*</sup> l/s/km <sup>2</sup>	H <sub>min</sub> / H <sub>max</sub> m.o.h
2.288.0 Harasjøen	51.4	88	0	0	3.75	0	3.54	7.9	280/520
2.616.0 Kuggerud	48.4	85	0	0	10.4	0	1.15	14.8	171/510
2.323.0 Fura	42.5	77	0	0	13.7	0	0	11.2	349/758
2.469.0 Skvaldra øvre	16.2	6.4	0	56,36	32	0	0.01	36.9	872/108 8
2.1.0 Hådammen	38.1	70	0,85	0	27	0	0.81	20.8	449/744

\*Spesifikk middelavrenning beregnet fra NVEs avrenningskart for normalperioden 1961-1990.

2.288.0 Harasjøen ligger ca. 20 km sørøst for Ingeberg og har større feltareal og effektiv sjøprosent. Stasjonen er nedlagt, men har en vannføringsserie på 34 år (t.o.m 2001)

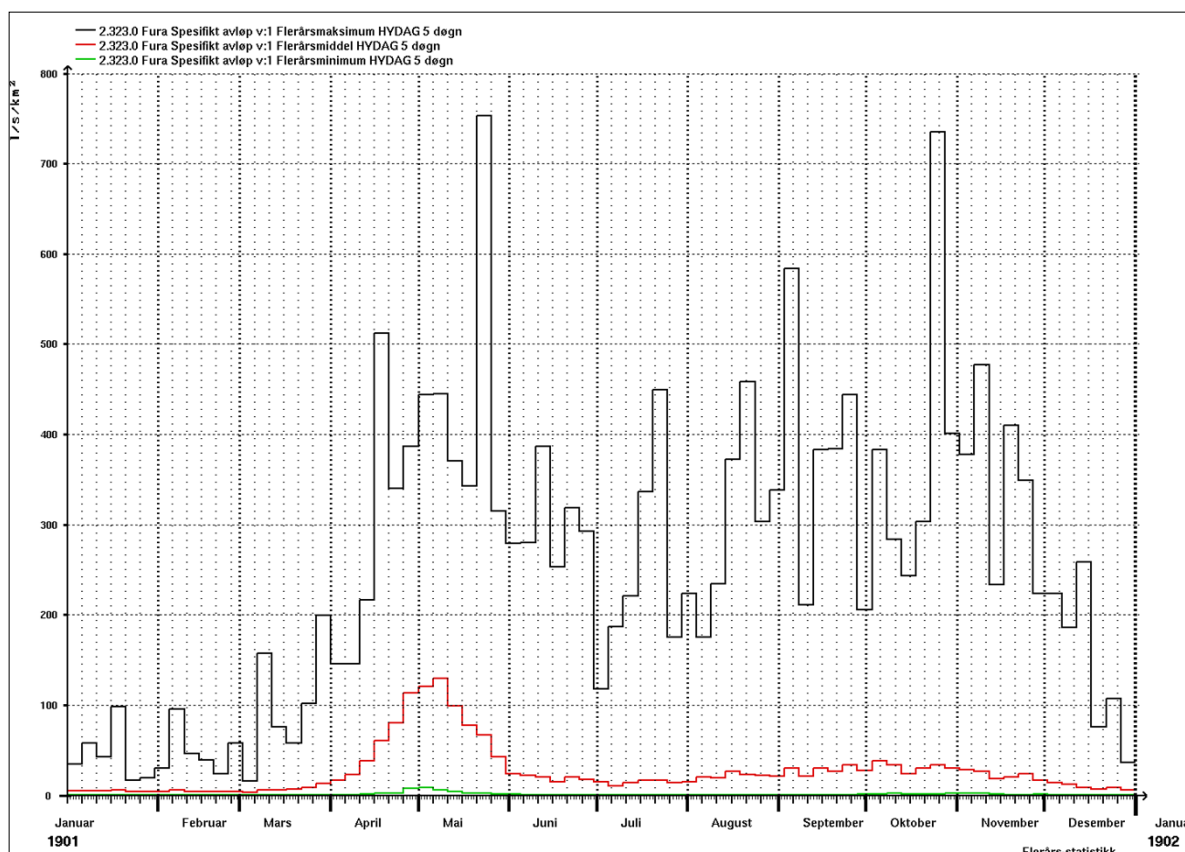
2.616.0 Kuggerud ligger ca. 60 km sørøst for Ingeberg og har større feltareal og litt større effektiv sjøprosent. Stasjonen er i drift og har også en vannføringsserie på 34 år

2.323.0 Fura er den nærmeste av stasjonene, 12 km øst for Ingeberg. Måleserien er på 40 år, og selv om feltarealet er vesentlig større er effektiv sjøprosent lik.

2.469.0 Skvaldra øvre ligger 50 km nord for Ingeberg. Stasjonen er nedlagt og hadde en 7 år lang dataserie. Selv om stasjonen har noenlunde riktig areal og effektiv sjøprosent blir serien for kort og snaufjellprosenten for høy.

2.1.0 Hådammen ligger 55 km øst for Ingeberg og har noe større feltstørrelse og effektiv sjøprosent. Stasjonen har 14 år med data.

På bakgrunn av feltegenskaper og beliggenhet antas det at stasjon 2.323.0 Fura er representativ for avrenningsmønsteret på Ingeberg. Dette er også stasjonen med lengst vannføringsserie, og vil dermed være det naturlige førstevalget for flomfrekvensanalyse. Flerårsstatistikk for stasjonen vises i Figur 5. Figuren viser femdagers flerårsmaksimum, minimum og median av alle registreringsår i serien. Fra statistikken fremgår det at hovedflomperioden er på våren i forbindelse med snøsmelting, men at store flommer like gjerne kan inntreffe på høsten.



Figur 5. Flerårsstatistikk for stasjon 2.323.0 Fura, som antas å best representere avrenningsforholdene i prosjektfeltet. Kurvene viser at flommer hovedsakelig forekommer på våren i forbindelse med snøsmelting, men kan også forekomme utover høsten.

### 4.3 Klimatillegg

Det pågår forskning på hvordan klimaendringer vil påvirke beregnede dimensjonerende flommer. NVE har estimert forventet endring i 200-års- og 1000-årsflom mot slutten av dette århundret basert på tilgjengelige klimafremskrivninger og kalibrerte hydrologiske modeller (HBV-modeller) (NVE, 2011). Generelt er det forventet at flommer forårsaket av regn vil øke, mens snøsmelteflommer i større vassdrag vil avta. Ekstremnedbøren er forventet å øke i hele landet. Lawrence (2016) anbefaler et klimatillegg på *minst* 20 % for nedbørfelt på med areal under 100 km<sup>2</sup> på Østlandet. I «Klimaprofil Hedmark» (2017) anbefales et klimapåslag på minst 40 % på *regnskyll* med kortere varighet enn tre timer. Det anbefales også *minst* 20 % påslag på flomvannføring i mindre elver, i trår med anbefalingene i Lawrence (2016). Da det antas at nedslagsfeltene i Ingebergområdet kan reagere raskt på regn velges et endelig klimapåslag på **40 %**. Merk for øvrig at det i henhold til Håndbok N200 (SVV, 2014) skal benyttes 50% klimapåslag på 200-årsflom for Vegvesen-konstruksjoner med forventet levetid på 100 år.

### 4.4 Flomfrekvensanalyse

Ut fra feltegenskapene til nærliggende målestasjoner estimeres en døgnmiddelflom for Ingeberg. Beregnet døgnmiddelflom ( $q_M$ ) for nærliggende målestasjoner vises i Tabell 4

Tabell 4. Middelflom og normalavrenning for nærliggende målestasjoner

Stasjon	Serie- lengde år	Areal km <sup>2</sup>	q <sub>M,døgn</sub> l/s/km <sup>2</sup>	q <sub>N</sub> <sup>*</sup> l/s/km <sup>2</sup>	q <sub>N</sub> <sup>**</sup> målt l/s/km <sup>2</sup>	Avvik q <sub>N</sub> målt- q <sub>N</sub> avrenningskart
2.288.0 Harasjøen	34	51.4	153	7.9	17.0	9.1
2.616.0 Kuggerud	34	48.4	122	14.8	15.9	1.1
2.323.0 Fura	40	42.5	370	11.2	25.4	14.3
2.469.0 Skvaldra øvre	7	16.2	634	36.9	41.6	4.7
2.1.0 Hådammen	14	38.1	246	20.8	22.3	1.5

\*Spesifikk middelavrenning beregnet fra NVEs avrenningskart for normalperioden 1961-1990.

\*\*Målt spesifikk middelavrenning fra stasjonens måleserie

Det ble gjort en innledende beregning av døgnmiddelflom q<sub>M</sub> ved hjelp av de regionale flomformlene i Midtømme m.fl. (2011), men disse ga urealistisk lave verdier (q<sub>M</sub> = 74 l/s/km<sup>2</sup> for vårflomregion 4, og 70 l/s/km<sup>2</sup> for høstflomregion 3).

Gjennomsnittlig middelflom for stasjon 2.288.0, 2.616.0 og 2.323.0 (de nærmeste og mest representative stasjonene) er **215** l/s/km<sup>2</sup>. Da Harasjøen ble nedlagt i 2001 velges det å se bort fra denne. Av de to gjenværende stasjonene er spriket stort. Fura anses som best, men har en relativt høy middelflom sammenlignet med Kuggerud. Det antas at middelflommen for Ingebergområdet bør ligge et sted mellom disse to. Gjennomsnittet av disse to stasjonene blir **246** l/s/km<sup>2</sup>. Da Furas middelflom er såpass mye høyere enn de andre stasjonene velges det å heller gå litt ned fra snittet. Døgnmiddelflom for Ingeberg settes derfor til **240** l/s/km<sup>2</sup>.

For å regne om fra døgnmiddelflom til kulminert flom (momentanflom) er det først sett på faktisk forholdstall (Q<sub>mom</sub>/Q<sub>døgn</sub>) mellom målte flommer for målestasjon 12.212 og 2.323. Snitt for de største flommene ved 12.212 ble **1.51**, og for 2.323 ble forholdstallet **1.55**. Snitt av disse blir **1.53**.

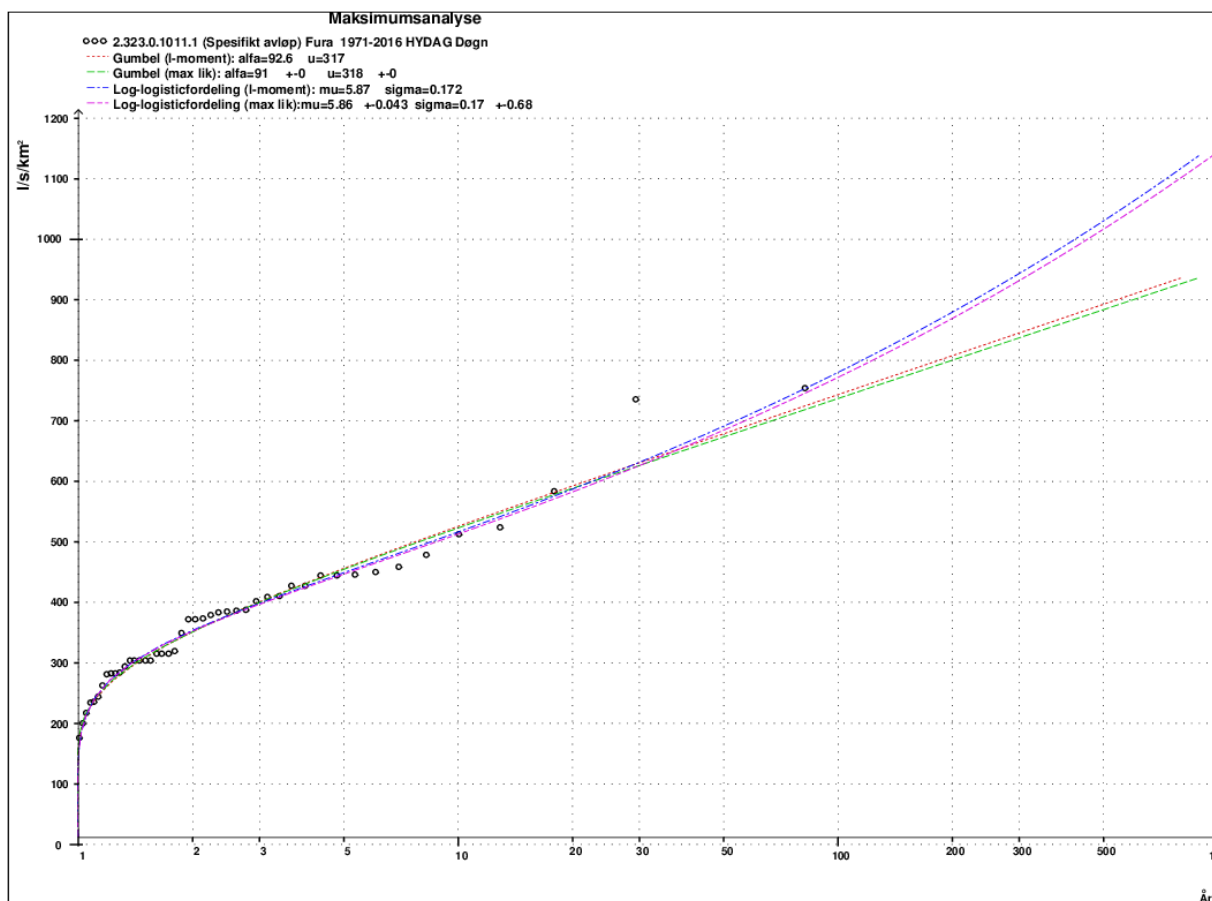
I Midtømme m.fl. (2011) presenteres regresjonsligninger for forholdet Q<sub>mom</sub>/Q<sub>døgn</sub>, beregnet med utgangspunkt i feltkarakteristika (feltareal og effektiv sjøprosent) for vår- og høstsesong. Formlene er:

$$\text{Vårflom: } Q_{\text{mom}}/Q_{\text{døgn}} = 1.72 - 0.17 \cdot \log A - 0.125 \cdot A_{\text{SE}}^{0.5}$$

$$\text{Høstflom: } Q_{\text{mom}}/Q_{\text{døgn}} = 2.29 - 0.29 \cdot \log A - 0.270 \cdot A_{\text{SE}}^{0.5}$$

For vårflom gir formelen Q<sub>mom</sub>/Q<sub>døgn</sub> = 1.54, og for høstflom fås 1.98. Da vårflomfaktoren sammenfaller bra med gjennomsnittet fra stasjon 12.212 og 2.323 beholdes gjennomsnittet for de videre beregningene.

Da det skal beregnes til og med 1000-årsflom for Ingeberg tas det utgangspunkt i målestasjon Fura for beregning av vekstfaktorer for Q<sub>M</sub>/Q<sub>T</sub>. Stasjonen har den lengste måleserien, best flomkurve, og kortest avstand fra prosjektfeltet. Det tas utgangspunkt i Gumbel og Log-logisticfordeling (i tråd med Midtømme m.fl. 2011), fordi den benyttede måleserien er kortere enn 50 år, og ikke fra samme vassdrag som prosjektfeltet. Resultat fra frekvensanalysen er vist i Figur 6.



Figur 6. Frekvensanalyse av stasjon 2.323.0 Fura med Gumbel- og Log-logisticsfordeling (døgnverdier)

Kombinert med estimert middelflom og døgn/momentanfaktor ga analysen ga følgende flomverdier (Tabell 5. Flomstørrelser beregnet med frekvensmetoden):

Tabell 5. Flomstørrelser beregnet med frekvensmetoden

Metode/gjentaksintervall	Kulminert flom (l/s/km <sub>2</sub> )							
	q <sub>5</sub>	q <sub>10</sub>	q <sub>20</sub>	q <sub>50</sub>	q <sub>100</sub>	q <sub>200</sub>	q <sub>500</sub>	q <sub>1000</sub>
Frekvensmetoden, Gumbel (l/s/km <sub>2</sub> )	451	520	586	671	735	799	883	946
Frekvensmetoden, Log-logistic (l/s/km <sub>2</sub> )	444	511	581	683	771	870	1019	1148

## 4.5 NIFS-formelverk

NVE har utviklet et nasjonalt formelverk for beregning av middelflom og vekstkurver for felt < 50 km<sup>2</sup> (Glad m.fl. 2015). Formelverket er basert på regresjonsanalyser og er testet på over 4000 nedbørfelt. Inngangsparameterne til formelen er feltareal, spesifikk middelvannføring og effektiv sjøprosent. Det henvises til Glad mfl. (2015) for nærmere beskrivelse av formelverket.

Ved beregning av middelflom med formelverket er den spesifikke middelvannføringen ( $q_N$ ) og dermed middelvannføringen i  $m^3/s$  en stor kilde til usikkerhet. Vekstkurven som fås fra formelverket vurderes derimot som robust og lite sensitiv for lokale variasjoner. Den anbefales derfor som et generelt førstevalg (Glad m.fl. 2015).

Da den største usikkerheten i formelverket er knyttet til middelflommen/spesifikk middelvannføring er det gjort en sammenligning av verdien for  $q_N$  fra avrenningskartet kontra målt verdi fra vannføringsserien for hver av referansestasjonene. I gjennomsnitt gir måleseriene  $6.14 \text{ l/s/km}^2$  større normalavrenning enn avrenningskartet i dette området. Avviket er størst for Fura, der målt normalavrenning er  $14.3 \text{ l/s/km}^2$  høyere enn den fra avrenningskartet. Som følge av dette oppjusteres normalavrenningen for Ingeberg fra  $7.6$  til  **$13.74 \text{ l/s/km}^2$**  for bruk i NIFS-formelen.

Resultatene gitt av NIFS-formelverket er vist i Tabell 6. Flomverdiene (medianverdi) er gitt som kulminasjonsverdier. Da vekstkurven for formelverket anses som robust er det også gjort en beregning med middelflommen estimert fra frekvensanalysen kombinert med vekstfaktorene fra formelverket.

Tabell 6. Resultat fra flomberegning med NIFS-formelverk

Metode/gjentaksintervall	Kulminert flom ( $\text{l/s/km}^2$ )							
	$q_5$	$q_{10}$	$q_{20}$	$q_{50}$	$q_{100}$	$q_{200}$	$q_{500}$	$q_{1000}$
NIFS-formel, median ( $\text{l/s/km}^2$ )	426	509	597	730	845	975	1177	1355
Estimert middelflom med vekstfaktorer fra NIFS ( $\text{l/s/km}^2$ )	466	556	653	798	924	1067	1287	1481

## 4.6 Den rasjonale formel

Den rasjonelle formelen baserer seg på målt nedbør. Avrenningen ( $Q$ ) er gitt ved:

$$Q = C i A$$

Hvor:

$Q$  = avrenning ( $\text{l/s}$ )

$C$  = avrenningsfaktor, ubenevnt

$i$  = dimensjonerende nedbørintensitet ( $\text{l/s.ha}$ )

$A$  = feltareal ( $\text{ha}$ )

Metoden er opprinnelig ikke anbefalt for felt over  $0.5 \text{ km}^2$  (Fergus m.fl. 2008). I henhold til vegvesenets håndbøker kan metoden derimot benyttes som et supplement til andre metoder for nedbørsfelt opp til  $5 \text{ km}^2$ . Da totalfeltet for Ingeberg er dobbelt så stort som dette benyttes metoden kun som en kontroll på øvrige metoder, og da kun for 200-årsflom.

For beregning av 200-årsflom, legges det til grunn en konsentrasjonstid på  $320 \text{ min}/5.3 \text{ t}$ , en nedbørintensitet på  $21 \text{ l/s/ha}$  fra nedbørstasjon Hamar II. C-faktor settes til  **$0.36$** . Resultatet blir en kulminert 200-årsflom på  **$756 \text{ l/s/km}^2$** . Denne verdien er noe lavere enn tilsvarende beregnet med flomfrekvensmetoden og NIFS.

## 4.7 Hydrologisk flommodell – PQFLOM

Dette er en nedbør/avløpsmodell som beregner avrenning på grunnlag av nedbørdata og ved hjelp av feltparametere for det aktuelle feltet. Modellen er bl.a. beskrevet nærmere i Midtømme m.fl. (2011). I denne beregningen er det benyttet modellen PQFLOM som er en regnearkversjon av modellen PQRUT som beskrives i «Retningslinjer for flomberegninger» (NVE, 2011).

Parameterne til den hydrologiske flommodellen skal helst bestemmes ved kalibrering mot observerte vannføringer. Siden det ikke finnes observerte vannføringer fra nedbørfeltet, er modellparameterne bestemt ut fra formler beskrevet i Midtømme m.fl. (2011). Beregnede modellparameterne er vist i Tabell 7.

De tre modellparameterne bestemmes ut fra følgende ligninger (Midtømme m.fl. (2011):

$$\text{Øvre tømmekonstant} \quad K_1 = 0,0135 + 0,00268 H_L - 0,01665 \ln(A_{SE})$$

$$\text{Nedre tømmekonstant} \quad K_2 = 0,009 + 0,21 K_1 - 0,00021 H_L$$

$$\text{Terskelverdi} \quad T = -9,0 + 4,4 K_1^{-0,6} + 0,28 Q_N$$

Modellligningene inneholder kun to feltparametere:

- Helningsparameteren  $H_L$  (m/km)
- Effektivt sjøprosent  $A_{SE}$  (%)

Når effektiv sjøprosent er null, settes  $A_{SE} = 0,001$ .

Tabell 7. Modellparametere for flommodellen PQRUT

Nedbørfelt	$K_1$ (time <sup>-1</sup> )	$K_2$ (time <sup>-1</sup> )	T (mm)
Totalfelt Dalbybekken/Tomterbekken	0.15972	0.04010	8.07325

Nedbørforløp konstrueres ut fra anbefalingene i Glad m.fl. (2015) med 28 mm som dimensjonerende timesnedbør med 200 års gjentakintervall. Det legges til 3.3 mm/t snøsmeltebidrag. Dette gir en spesifikk 200-årsflom på 2503 l/s/km<sup>2</sup>, hvilket er over dobbelt så stort som resultatet fra frekvensmetoden. Det velges derfor å ikke prioritere videre flomberegninger med PQRUT for dette feltet.

## 4.8 Oppsummering

Beregnete spesifikke flommer for alle metoder er vist i Tabell 8. For endelige flomverdier velges et gjennomsnitt av flomfrekvensmetoden med henholdsvis vekstfaktorer beregnet med NIFS-formel, og flomfrekvensmetoden med vekstfaktorer basert på Gumbel-fordeling. Dette fordi disse metodene anses som robuste og velprøvde, samtidig som de gir nøkterne flomverdier. Vedlegg 3 i Midtømme m.fl. (2011) oppgir at døgnverdi for 1000-årsflom normalt bør ligge mellom 600 og 1200 l/s/km<sup>2</sup> for vassdrag på Østlandet med feltstørrelse < 50 km<sup>2</sup>. Ved å bruke det estimerte forholdstallet for  $Q_{\text{mom}}/Q_{\text{døgn}}$  på den valgte 1000-årsflomverdien får en 795 l/s/km<sup>2</sup>, altså innenfor det forventede intervallet.

Det benyttes et klimatillegg på 40 % på beregnede flomverdier, jfr. kapittel 4.3.

Tabell 8. Beregnede spesifikke flomverdier for Ingeberg

Metode/gjentaksintervall	Kulminert flom (l/s/km <sup>2</sup> )							
	Q <sub>5</sub>	Q <sub>10</sub>	Q <sub>20</sub>	Q <sub>50</sub>	Q <sub>100</sub>	Q <sub>200</sub>	Q <sub>500</sub>	Q <sub>1000</sub>
NIFS-formel, median (l/s/km <sup>2</sup> )	426	509	597	730	845	975	1177	1355
Frekvensmetoden, Gumbel (l/s/km <sup>2</sup> )	451	520	586	671	735	799	883	946
Frekvensmetoden, Log-logistisk (l/s/km <sup>2</sup> )	444	511	581	683	771	870	1019	1148
Frekvensmetode med vekstfaktor fra NIFS (l/s/km <sup>2</sup> )*	466	556	653	798	924	1067	1287	1481
PQRUT (l/s/km <sup>2</sup> )						2503		
Rasjonale metode (l/s/km <sup>2</sup> )						756		
Regionale formler (l/s/km <sup>2</sup> )	146	168	202	236	258	292	326	348
Valgt verdi (l/s/km <sup>2</sup> )	458	538	619	734	829	933	1085	1214
<b>Med klimapåslag 40 % (l/s/km<sup>2</sup>)</b>	<b>642</b>	<b>753</b>	<b>867</b>	<b>1028</b>	<b>1161</b>	<b>1306</b>	<b>1519</b>	<b>1700</b>

(\*Middelflom estimert ut fra nærliggende målestasjoner, vekstfaktorer fra NIFS-formel, samt beregnet  $Q_{\text{mom}}/Q_{\text{døgn}}$  fra kap. 4.4)

For Dalbybekken/Tomterbekken blir vannføringsverdiene (m<sup>3</sup>/s) som vist i Tabell 8 (inkludert klimapåslag):

Tabell 9. Endelige kulminerte flomverdier (m<sup>3</sup>/s) inkl. klimapåslag for bruk i hydraulisk modell

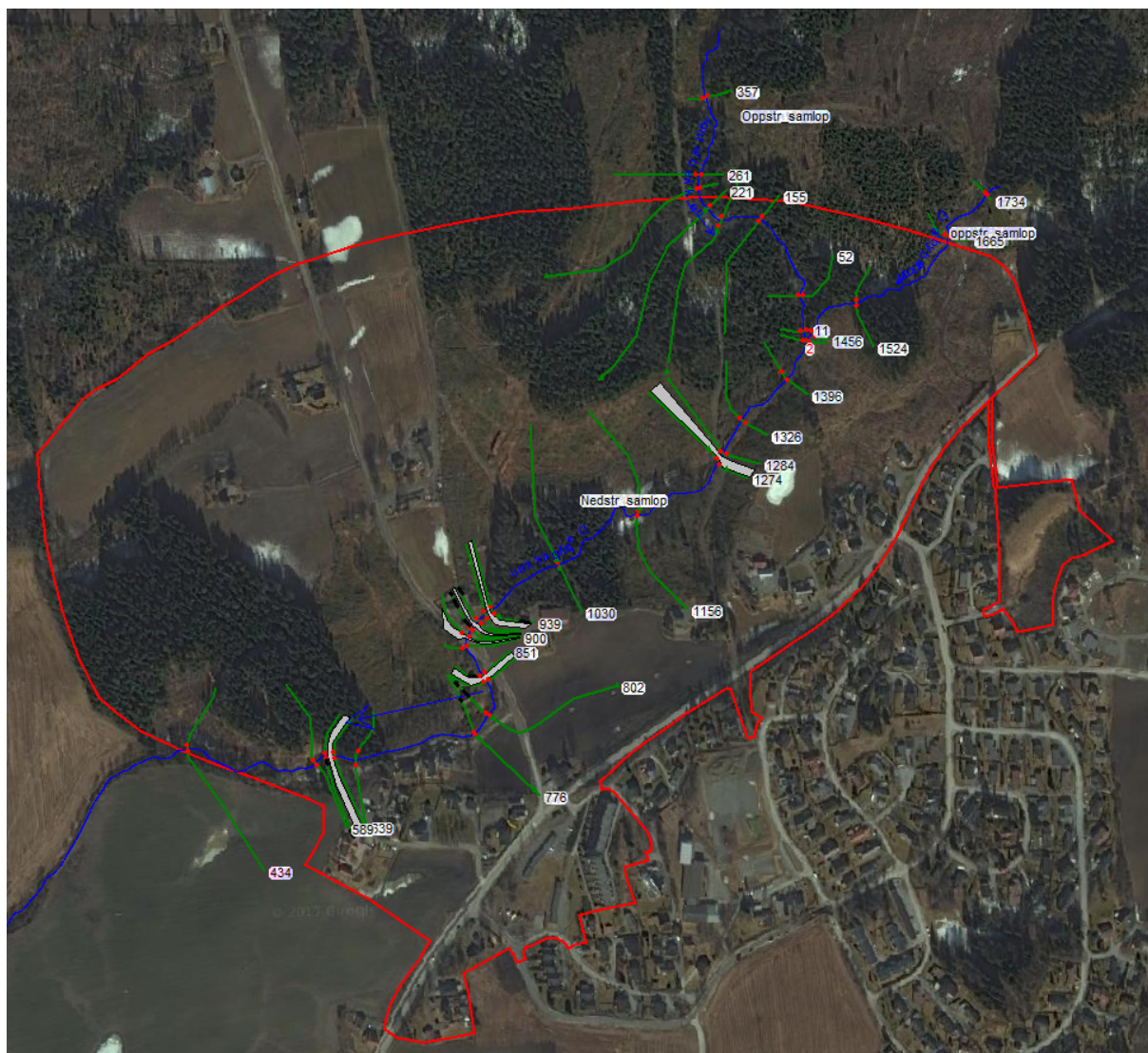
Felt	Areal (km <sup>2</sup> )	Andel av totalareal	Q <sub>5</sub>	Q <sub>10</sub>	Q <sub>20</sub>	Q <sub>50</sub>	Q <sub>100</sub>	Q <sub>200</sub>	Q <sub>500</sub>	Q <sub>1000</sub>
Totalfelt	11.43	100.0 %	7.33	8.61	9.91	11.75	13.27	14.92	17.36	19.42
Tomterbekken oppstr. samløp	5.44	47.6 %	3.49	4.10	4.72	5.60	6.32	7.11	8.27	9.25
Dalbybekken oppstr. samløp	5.60	49.0 %	3.59	4.22	4.86	5.76	6.50	7.31	8.51	9.52



## 5 VANNLINJEMODELLERING

### 5.1 Modelloppsett

Det er satt opp endimensjonal modell i HEC-RAS 5.0.3 på grunnlag av terrengmodell fra laserdata, samt innmålte tverrprofiler. Figur 7 viser plassering av tverrprofiler og bruer/kulverter. Modellen er tredelt: Det er laget separate elvestrekk for Dalbybekken og Tomterbekken oppstrøms kryssingspunktet, hver med inputvannføring fra Tabell 9. Nedstrøms samløpet brukes totalvannføringen for hele feltet som input i øverste tverrsnitt. Det kjøres scenarioer for 5-, 10-, 20-, 50-, 100-, 200-, 500- og 1000-årsflom, jfr. Tabell 9. Som øvre og nedre grenebetingelse antas normalstrømning. Modellen kjøres for underkritisk strømning.



Figur 7. HEC-RAS modell av Tomterbekken/Dalbybekken. Grønne linjer er tverrprofiler (både innmålte og interpolerte), blå linje er vassdragenes midtlinje, rød heltrukket linje er plangrense, og grå linjer/polygoner er bruer/kulverter



## 5.2 Bruer/kryssinger

Følgende bruer/kulvertkryssinger befinner seg på det modellerte strekket (fra oppstrøms til nedstrøms):

Bru ved modellprofil 1274 (Figur 8):



*Figur 8. Bru for turvei ved modellprofil 1274. Liten avstand ned til vannspeil. Bilde fra nedstrøms side mot nordøst (oppstrøms). Foto: Asplan Viak, 09.11.2017*



Kulvertkryssing ved modellprofil 935 (Figur 9):



*Figur 9. Kulvertkryssing ved modellprofil 935. Bilde fra oppstrøms side mot vest. Diameter 500, 900 og 1000 mm. Foto: Hamar kommune, 25.10.2017*

Kulvertkryssing ved modellprofil 915 (Figur 10):



*Figur 10. Kulvertkryssing ved modellprofil 915. Diameter 1500 mm. Bilde mot øst. Foto: Asplan Viak, 09.11.2017.*



Kulvertkryssing ved modellprofil 894 (Figur 11):



*Figur 11. Kulvertkryssing ved modellprofil 894. Bilde fra oppstrøms side mot vest. Diameter 2 x 1400 mm. Foto: Asplan Viak 09.11.2017*

Kulvertkryssing ved modellprofil 846 (Figur 12):



*Figur 12. Kulvertkryssing ved modellprofil 846. Diameter 1600 mm. Foto: Hamar kommune, 25.10.2017*

Bru/kulvertkryssing ved modellprofil 610 (Figur 13Figur 12):



Figur 13. Bru/kulvertkryssing for turvei ved modellprofil 610. Bilde mot vest. Diameter 800, 900 og 1000 mm. Foto: Asplan Viak, 09.11.2017

Øvrige mindre fotbruer og andre improviserte bruer er ikke tatt med i modellen da de ikke vil ha vesentlig effekt på strømningsforholdene.

## 5.3 Kalibrering

### 5.3.1 Kalibrering 1

Samtidig med profiloppmålingen ble det målt vannstand i de fleste profiler. Da det ikke finnes samtidige målinger av vannføring, er det ikke mulig å kalibrere modellen etter dette.

Oppmålte vannlinjer, samt vannføring fra historiske flommer i et vassdrag utgjør det beste kalibreringsgrunnlaget. Den modellerte vannstanden er likevel forsøkt tilpasset den målte vannlinja så langt som mulig. Dette er i hovedsak gjort ved å justere innløpstep og blokkert areal i kulverter/stikkrenner. Målet har vært å få *formen* på den modellerte vannlinja mest mulig lik formen på den målte vannlinja, i det minste rundt bruer og kulvertkryssinger.



### 5.3.2 Kalibrering 2

Sweco utførte på oppdrag fra Hamar kommune vannføringsmålinger og nivåmålinger i Flagstadelva og Vesleelva den 24.05.2016. Det ble samtidig utført oppmåling av antatt kulminasjonsvannstand etter flommen 23.05.2016 på utvalgte punkter i Tomterbekken og Dalbybekken. Målt gjennomsnittsverdi i Flagstadelva ved lokal bru rett oppstrøms samløpet med Tomterbekken/Dalbybekken ble 32.36 m<sup>3</sup>/s. Oppstrøms nedslagsfelt her er ca. 146.1 km<sup>2</sup>. For Vesleelva (innkommende sideelv fra vest rett oppstrøms Grønsvebakken bru) ble det målt en gjennomsnittsvannføring på 3.42 m<sup>3</sup>/s. Oppstrøms felt her er ca. 34.1 km<sup>2</sup>.

Da det ikke ble utført samtidige målinger av vannføring og vannstand i Tomterbekken/Dalbybekken, kan disse innmålingene riktignok ikke uten videre benyttes til kalibrering. Det er derimot forsøkt å tilpasse den generelle formen på den beregnede vannlinja til den innmålte vannstanden. Det måtte da først estimeres en kulminasjonsvannføring for Tomterbekken/Dalbybekken den 23.05.2016. Basert på målt (areal)spesifikk avrenning i Flagstadelva, ble det først lagt til grunn at vannføring i Tomterbekken/Dalbybekken må ha vært *minst* 2.5 m<sup>3</sup>/s den 23.05.2016. Det ble fort klart at dette var for lite. Endelig estimert kulminasjonsvannføring ble for kalibreringen til slutt satt til 4.2 m<sup>3</sup>/s. Dette vil tilsvare ca. middelflom (uten klimapåslag) basert på beregningene i dette notatet. Ruhetsverdier ble deretter justert for å få formen på beregnet vannlinje mest mulig lik den målte. Det understrekes at det er stor usikkerhet knyttet til denne kalibreringen fordi den baserer seg på estimert vannføring. Kalibrering 2 antas likevel å være marginalt bedre enn kalibrering 1. Dette fordi kalibrering 2 baserer seg på vannstand målt ved flom, mens kalibrering 1 er basert på vannstand ved antatt normalvannføring.

## 5.4 Ruhetsverdier (Manningtall)

Ruhetsverdier er i hovedsak satt på bakgrunn av kalibrering 2, samt på bakgrunn av erfaringsverdier fra litteraturen, primært Vassdragshåndboka (Fergus m.fl. 2010). Jevnt over er det benyttet konservative verdier. For selve vannløpet er det brukt ruhetsverdier fra 0.03 opp til 0.1. For sideareal er det brukt minimum 0.05 og opp til 0.2.

## 5.5 Følsomhetsanalyse

For å få et inntrykk av hvilken effekt økt ruhet og/eller vannføring vil ha å si på beregnet vannstand er det utført følsomhetsanalyse. Det er kjørt to scenarier: Ett med ruhet/Manningtall økt 25 % og ett med vannføringer økt 20 %.

For scenariet med økt ruhet blir resultatet en median økning i vannstand på ca. **15 cm**. Størst økning fås ved bru- og kulvertkryssinger, men dette skyldes hovedsakelig at den økte ruheten får strømningen til å gå fra overkritisk til underkritisk. Det kan også skyldes at Bruer/kryssinger overtoppes som følge av den økte ruheten, hvis det allerede var på grensen til overtopping med ordinære ruhetsverdier.

For scenariet med økt vannføring blir resultatet omtrent likt, med en median økning i vannstand på ca. **12 cm**. Størst økning fås ved bru- og kulvertkryssinger, igjen antagelig som følge av at strømning går fra over- til underkritisk eller pga. overtopping.

Det som skjer på disse stedene er dog ikke representativt for hele elvestrekningen.

NVE-retningslinje 2/2011 nevner at sikkerhetsmargin for beregningsusikkerhet *normalt* settes mellom 30 og 50 cm, men gir ingen ytterligere føringer eller anbefalinger rundt dette. Følsomhetsanalysen tyder på at usikkerhet i ruhet og vannføring kan gi en økning i vannstand på opptil 15 cm. Med bakgrunn i NVE-retningslinje 2/2011 settes likevel sikkerhetsmargin til **30 cm** fordi dette er vanlig praksis.

## 5.6 Resultater

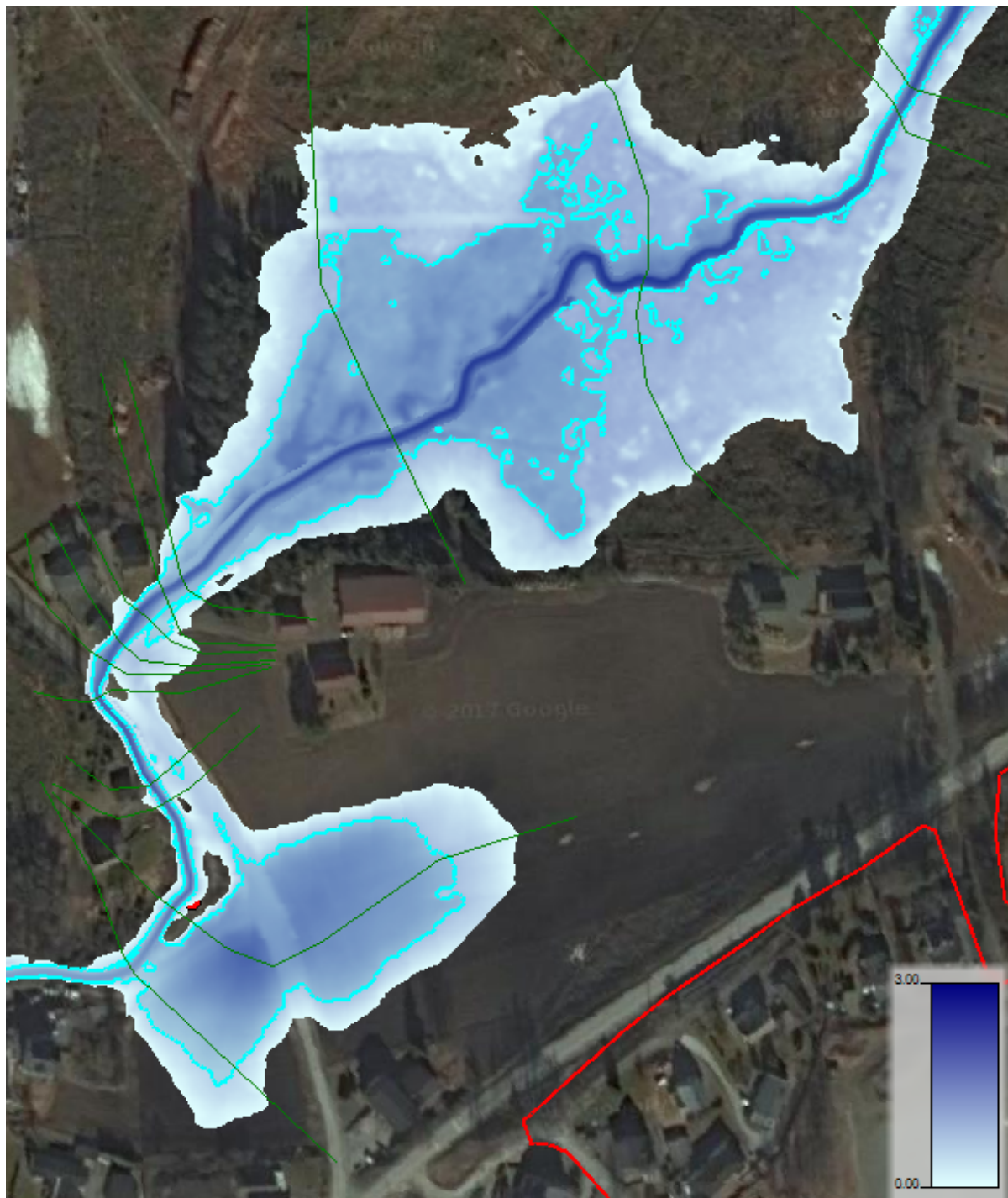
De genererte flomsonene får relativt lik form uansett flomstørrelse. Det er i hovedsak de samme områdene som oversvømmes. Det eneste (i grove trekk) som skiller de ulike flomsonene er utstrekningen.

Flomsone for middelflom og 1000-årsflom er vist i Figur 14. I hovedsak er det lavpunktet/myrområdet knyttet til Tomterbekken i nord (modellprofil 221), skogsområdet midt i planområdet (modellprofil 1156 til 939), og lavpunktet ved krysset lmerslundmarka/Krokstien som oversvømmes ved flom.



Figur 14. Dybdeplott av resultat for 1000- årsflom. Flomsone for middelflom QM er markert med cyan omriss. Øvrige flomsoner får utstrekning mellom disse.

Figur 15 viser et utsnitt av dybdeplottet for middelflommen og 1000-årsflomsonen. Det vil tilsynelatende fylle seg opp i de nevnte lavpunktene nesten uansett flomstørrelse. Det er kun utstrekningen på flomsonen som varierer. Det må antas at vannet vil renne sørover ned Imerlundmarka når bekkeløpet der er fullt.



Figur 15. Utsnitt av dybdeplott for middelflom (cyan omriss) og 1000-årsflomsone



## 5.7 Verifisering av beregningene

Det er i årenes løp tatt flere bilder under flom i vassdraget. (Figur 16, Figur 17, Figur 18 og Figur 19) Disse indikerer bra samsvar med de beregnede flomsonene. Selv om bildedatoer, vannføringer og kotehøyder ikke har kunnet fastslås, gir bildene et relativt samstemt inntrykk av hvordan en flom i området vil arte seg. Fra beregningen går det også fram at det hovedsakelig er de samme områdene/lavpunktene som vil oversvømmes ved flom, uavhengig av flommens størrelse. Dette ser ut til å støttes av observasjonene.



*Figur 16. Stående flomvann i lavpunkt på jorde vest for Imerslundmarka/sør for Krokstien (Bilde tatt mot nord)  
Foto: Laila og Kåre Kristiansen (dato ukjent, trolig under vårflom)*





*Figur 17. Flomvann i krysset Imerslundmarka/Krokstien. Bilde tatt mot nord. Foto: Laila og Kåre Kristiansen (dato ukjent, trolig under vårflom)*





Figur 18. Stående flomvann ved skogsområdet ca. ved modellens tverrprofil 1156. Bilde tatt mot vest.  
Foto: Tor Harald Tusvik, 23.05.2016



Figur 19. Oppstuvning ved bru lengst oppstrøms i planområdet (ca. modellprofil 1284). Bilde tatt fra søndre elvebredd mot nordvest. Foto: Tor Harald Tusvik, 23.05.2016

## 6 USIKKERHET I DATAMATERIALET

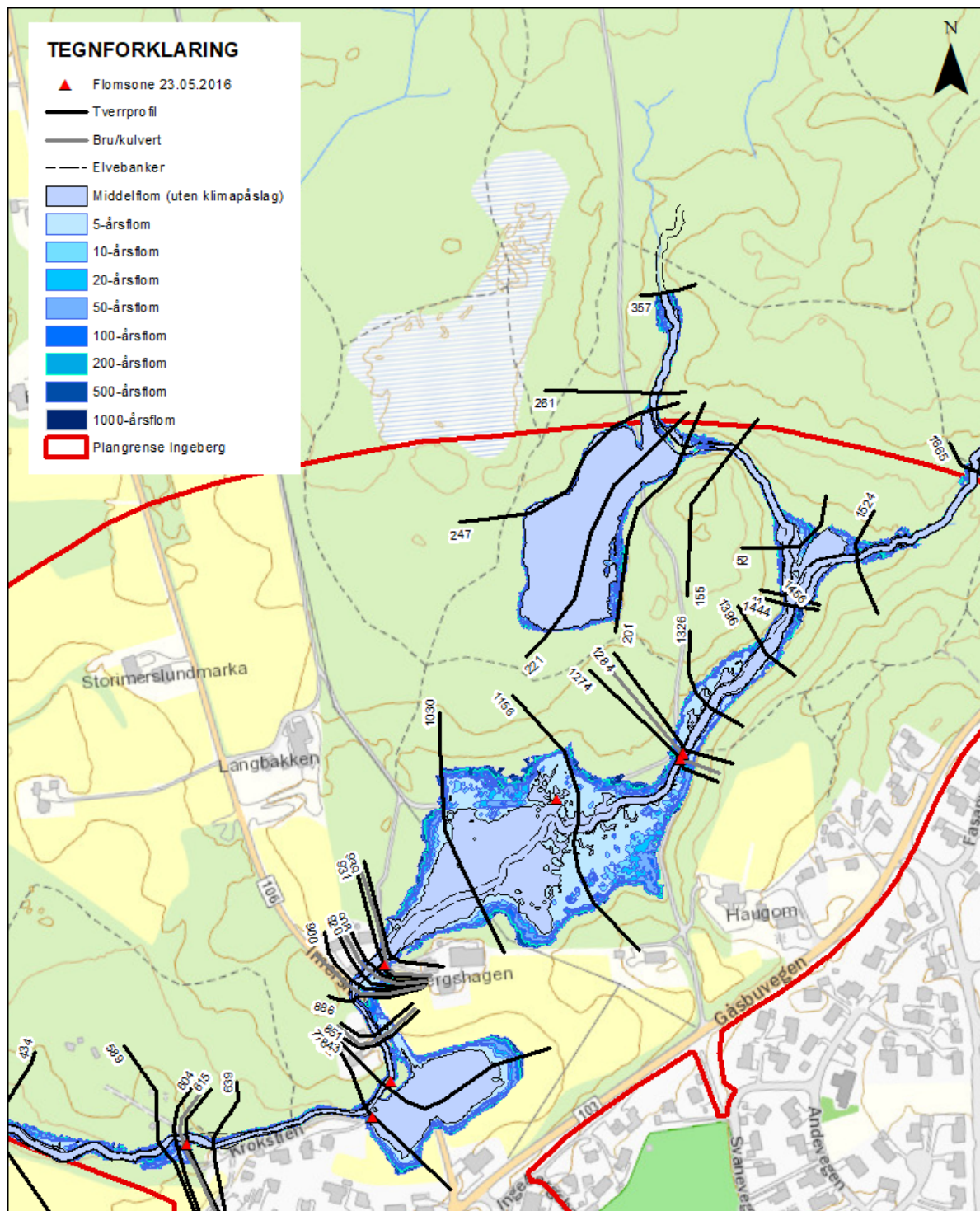
Det er usikkerhet knyttet til vannlinjeberegningen, og dermed også de genererte flomsonene. De viktigste usikkerhetsfaktorer som påvirker beregningen er:

- *Usikkerhet i ruhetsverdier.* Modellen kun er grovkalibrert ut fra anslått vannføring under flom. Med følsomhetsanalysen vil det riktignok være mulig å kvantifisere denne usikkerheten og sette en sikkerhetsmargin ut fra dette.
- *Usikkerhet i beregnede flomverdier.* Da det ikke finnes noen måleserie for vannføring i vassdraget er flommene beregnet ved å anta at vassdraget har omtrent likt flom- og avrenningsregime som andre nærliggende målestasjoner/vassdrag. Igjen vil følsomhetsanalysen kunne bidra til å kvantifisere denne usikkerheten, som igjen vil danne grunnlag for å sette en sikkerhetsmargin
- *Usikkerhet i tverrprofiler.* En modell bygget opp av tverrprofiler vil alltid medføre noe usikkerhet, spesielt hvis det er langt mellom de oppmålte profilene. Over tid, eller i en flomsituasjon vil også elvetverrsnittet kunne endre seg. Modellen tar ikke høyde for dette, og forutsetter at elvegeometri/tverrsnitt ikke endres ved flom.



## 7 FLOMSONEKART

Flomsonekart (utsnitt) for alle flomsoner er vist i Figur 20. Flomsonekart i full størrelse (A1) er vedlagt.



Figur 20. Beregnede flomsoner fom. middelflom ( $Q_M$ ) tom. 1000-årsflom ( $Q_{1000}$ ). Alle flommer utenom middelflom er inklusive 40 % klimapåslag. Oppmålte punkter fra 24.05.2016 (antatt utstrekning for flomsone 23.05.2016) vist som røde triangler

Beregnet vannstand i tverrprofiler er vist i Tabell 10. Vannstand er uten sikkerhetsmargin, men inklusive klimatillegg på 40 %

Tabell 10. Beregnet vannstand (uten sikkerhetsmargin) for tverrprofiler.

Profilnr	5 år	10 år	20 år	50 år	100 år	<b>200 år</b>	500 år	1000 år
11	174.7	174.8	174.9	175.0	175.1	<b>175.1</b>	175.2	175.3
52	175.1	175.2	175.3	175.4	175.5	<b>175.5</b>	175.6	175.7
155	178.8	178.8	178.9	178.9	178.9	<b>179.0</b>	179.0	179.1
201	179.4	179.5	179.5	179.6	179.6	<b>179.7</b>	179.8	179.8
221	180.5	180.5	180.6	180.6	180.7	<b>180.7</b>	180.8	180.8
247	182.0	182.0	182.1	182.1	182.1	<b>182.2</b>	182.2	182.2
261	183.1	183.2	183.3	183.4	183.4	<b>183.5</b>	182.9	183.0
357	186.4	186.5	186.6	186.6	186.7	<b>186.8</b>	187.3	187.3
434	150.1	150.2	150.3	150.3	150.4	<b>150.5</b>	150.6	150.6
589	156.9	156.9	157.0	157.1	157.1	<b>157.1</b>	157.2	157.2
604	157.7	157.7	157.8	157.8	157.9	<b>157.9</b>	158.0	158.0
615	158.8	158.8	158.8	158.9	158.9	<b>158.9</b>	158.9	158.9
639	158.9	159.0	159.0	159.1	159.2	<b>159.2</b>	159.3	159.4
776	165.5	165.6	165.6	165.7	165.7	<b>165.7</b>	165.8	165.9
802	166.8	166.8	166.9	167.0	167.1	<b>167.1</b>	167.2	167.3
843	169.0	169.0	169.1	169.1	169.2	<b>169.2</b>	169.3	169.3
851	169.4	169.5	169.5	169.6	169.6	<b>169.7</b>	169.7	169.8
886	170.1	170.2	170.3	170.4	170.7	<b>170.8</b>	170.9	170.9
900	171.1	171.2	171.3	171.3	171.4	<b>171.4</b>	171.5	171.5
908	171.4	171.5	171.6	171.7	171.8	<b>171.9</b>	172.0	172.0
920	172.5	172.5	172.6	172.6	172.6	<b>172.6</b>	172.7	172.7
931	172.5	172.5	172.6	172.6	172.6	<b>172.6</b>	172.7	172.7
939	172.5	172.6	172.6	172.6	172.7	<b>172.7</b>	172.8	172.9
1030	172.9	173.0	173.0	173.1	173.2	<b>173.3</b>	173.4	173.5
1156	173.0	173.1	173.2	173.3	173.4	<b>173.5</b>	173.6	173.7
1274	173.1	173.2	173.3	173.4	173.5	<b>173.6</b>	173.8	173.9
1284	173.9	173.9	174.0	174.0	174.1	<b>174.1</b>	174.2	174.2
1326	174.0	174.0	174.1	174.1	174.2	<b>174.2</b>	174.3	174.4
1396	174.0	174.1	174.2	174.2	174.3	<b>174.4</b>	174.4	174.5
1444	174.1	174.2	174.2	174.3	174.4	<b>174.5</b>	174.6	174.7
1456	175.3	175.3	175.4	175.5	175.5	<b>175.6</b>	175.7	175.8
1524	176.8	176.8	176.9	177.0	177.0	<b>177.1</b>	177.1	177.2
1665	185.2	185.3	185.3	185.4	185.4	<b>185.4</b>	185.5	185.6
1734	188.5	188.6	188.7	188.7	188.7	<b>188.8</b>	188.8	188.9

## 8 RISIKOREDUSERENDE TILTAK

### 8.1 Byggehøyder

Det mest relevante risikoreduserende tiltaket ved utbygging i flomutsatte områder, er naturlig nok å *ikke* bygge ut i et flomutsatt område. Om det likevel skal bygges i slike områder vil heving av terreng til minimum flomsikkert nivå være et aktuelt tiltak. I henhold til TEK17 vil de fleste utbyggingsområder for boliger havne i sikkerhetsklasse F2, hvilket betyr at 200-årsflom må legges til grunn. Da flomsonenes utbredelse er beheftet med usikkerhet, anbefales det å i første rekke basere seg på beregnet flomsikkert nivå når minimum byggehøyder skal settes. Dette er gitt av beregnet vannstand i nærmeste tverrprofil + sikkerhetsmargin.

Sikkerhetsmargin settes til **30 cm** (minimum) fordi dette er vanlig praksis (NVE-retningslinje 02/2011). Følsomhetsanalysen i kapittel 5.5 indikerer riktignok en lavere usikkerhet.

Flomsikkert nivå for 200-årsflom fremkommer dermed av Tabell 11.

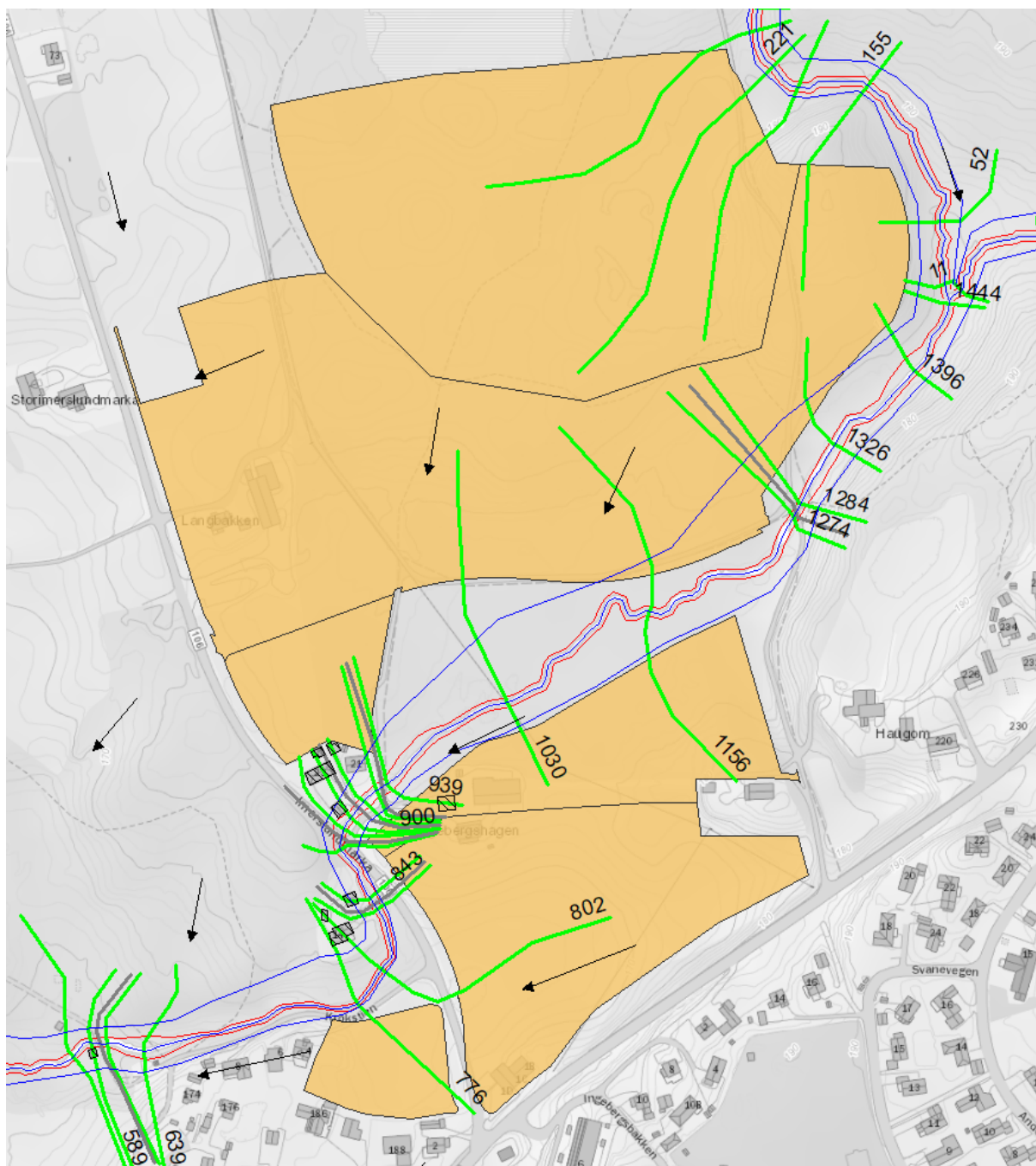
Tabell 11. Beregnet flomsikkert nivå for 200-årsflom

Profilnr	Beregnet vannstand ved 200-årsflom (inkl. 40 % klimatillegg) (moh)	Flomsikkert nivå (inkl. sikkerhetsmargin 30 cm) (moh)
11	175.13	175.43
52	175.52	175.82
155	178.98	179.28
201	179.70	180.00
221	180.71	181.01
247	182.16	182.46
261	183.47	183.77
357	186.77	187.07
434	150.47	150.77
589	157.14	157.44
604	157.90	158.20
615	158.92	159.22
639	159.21	159.51
776	165.74	166.04
802	167.12	167.42
843	169.21	169.51
851	169.68	169.98
886	170.77	171.07
900	171.42	171.72

908	171.87	172.17
920	172.64	172.94
931	172.63	172.93
939	172.73	173.03
1030	173.29	173.59
1156	173.50	173.80
1274	173.62	173.92
1284	174.12	174.42
1326	174.24	174.54
1396	174.35	174.65
1444	174.49	174.79
1456	175.61	175.91
1524	177.06	177.36
1665	185.44	185.74
1734	188.78	189.08

### 8.1.1 Beregning med oppfylt terreng

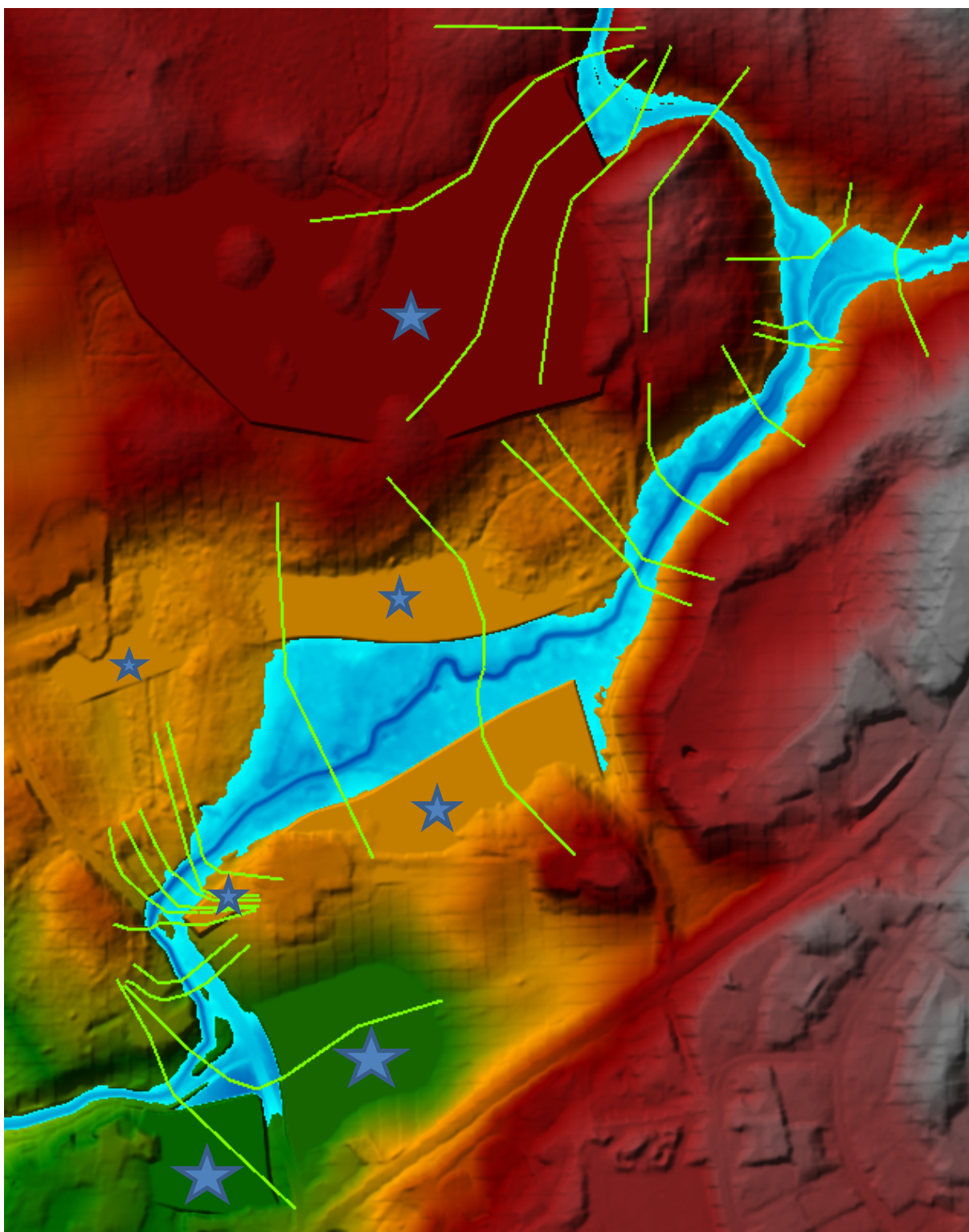
For å finne ut hva som blir konsekvensene av terrengoppfylling i planområdet, er det gjort en ny beregning med maksimal oppfylling. Bakgrunnen for å beregne med maksimal oppfylling er at enhver mindre oppfylling dermed kan antas å ha mindre konsekvenser. Det legges derfor på en oppfylling på et par meter innenfor de avmerkede områdene i Figur 21. Disse samsvarer med de viktigste utbyggingsområdene i områdereguleringen. Resultatet blir et terreng der laveste kote ligger godt over det som antas å bli resulterende vannstand. Endelig terreng med oppfylling vises i Figur 22.



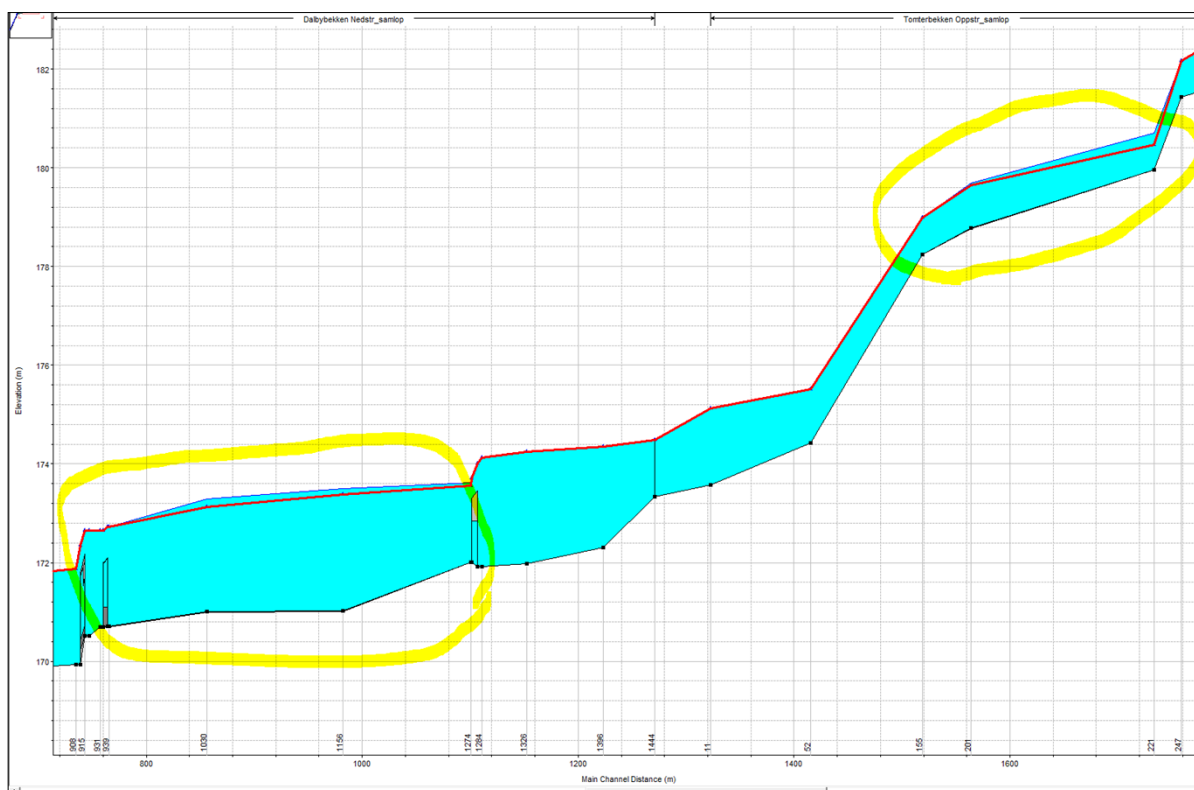
Figur 21. Orangefargede områder heves slik at lavest liggende områder havner godt over flomnivå.

Terrengmodell oppdateres innenfor de skraverte områdene i Figur 21, og lavereliggende områder heves opp til godt over flomnivå. Tverrprofiler som går gjennom nevnte områder oppdateres. Øvrige inngangsdata/betingelser som f.eks. ruhet forblir uendret. Resulterende vannflate for 200-årsflom inkludert 40 % klimapåslag vises i Figur 22. For det meste ligger beregnet vannlinje *lavere* med oppfylling enn uten. Beregnet lengdeprofil i Figur 23 viser forskjell i vannlinje med og uten oppfylling. Fullstendig lengdeprofil vises i vedlegg 7.





Figur 22. Resulterende vannflate (200-årsflom med 40 % klimapåslag) ved maksimal terrengoppfylling. Stjerne markerer oppfylt areal. Grønne linjer er modellprofiler.



Figur 23. Lengdeprofil av beregnet vannlinje med og uten oppfylling. Rød linje (vannlinje med oppfylling) ligger for det meste lavere enn beregnet vannlinje uten oppfylling forbi de viktigste utbyggingsområdene (gulmerket).

Beregnet vannstand og hastighet for situasjon med og uten oppfylling vises i Tabell 12. Opprinnelige byggehøyder er oppjustert med 15 cm, slik at total sikkerhetsmargin blir 30 cm. De fleste vannstander blir som nevnt lavere ved en fullstendig oppfylling av terreng.

Tabell 12. Resultater av beregning med oppfylt terreng, sammenlignet med opprinnelig terreng. Grønn celle indikerer lavere verdi med oppfylling sammenlignet med opprinnelig. Rosa celle indikerer høyere verdi.

Profil	Hevet terreng		Opprinnelig terreng		Differanse		Minimum byggehøyde (moh)
	Vannstand (moh)	Hastighet (m/s)	Vannstand (moh)	Hastighet (m/s)	VS diff. (moh)	V diff. (m/s)	
11	175.13	0.77	175.13	0.77	0.00	0.00	175.43
52	175.52	0.84	175.52	0.84	0.00	0.00	175.82
155	178.98	2.28	178.98	2.28	0.00	0.00	179.28
201	179.65	0.63	179.7	0.76	-0.05	-0.13	180.00
221	180.65	1.36	180.71	1.24	-0.06	0.12	181.01
247	182.16	2.32	182.16	2.32	0.00	0.00	182.46
261	183.47	0.99	183.47	0.99	0.00	0.00	183.77
357	186.77	1.31	186.77	1.31	0.00	0.00	187.07
434	150.47	1.94	150.47	1.94	0.00	0.00	150.77
589	157.14	2.07	157.14	2.07	0.00	0.00	157.44
604	157.9	2.11	157.9	2.11	0.00	0.00	158.20
615	158.92	1.66	158.92	1.66	0.00	0.00	159.22
639	159.21	2.59	159.21	2.59	0.00	0.00	159.51
776	165.76	2.15	165.74	2.11	0.02	0.04	166.04
802	167.11	2.64	167.12	2.65	-0.01	-0.01	167.42
843	169.21	1.76	169.21	1.76	0.00	0.00	169.51
851	169.68	1.65	169.68	1.63	0.00	0.02	169.98
886	170.77	2.63	170.77	2.62	0.00	0.01	171.07
900	171.44	1.19	171.42	1.22	0.02	-0.03	171.72
908	171.87	1.37	171.87	1.37	0.00	0.00	172.17
920	172.65	1.21	172.64	1.22	0.01	-0.01	172.94
931	172.65	1.47	172.63	1.5	0.02	-0.03	172.93
939	172.72	1.26	172.73	1.16	-0.01	0.10	173.03
1030	173.13	1.28	173.29	1.27	-0.16	0.01	173.59
1156	173.37	1.08	173.5	0.95	-0.13	0.13	173.80
1274	173.56	1.7	173.62	1.55	-0.06	0.15	173.92
1284	174.12	1.19	174.12	1.19	0.00	0.00	174.42
1326	174.24	0.71	174.24	0.71	0.00	0.00	174.54
1396	174.35	0.68	174.35	0.68	0.00	0.00	174.65
1444	174.49	2.14	174.49	2.14	0.00	0.00	174.79
1456	175.61	0.64	175.61	0.64	0.00	0.00	175.91
1524	177.06	1.94	177.06	1.94	0.00	0.00	177.36
1665	185.44	1.08	185.44	1.08	0.00	0.00	185.74
1734	188.78	2.24	188.78	2.24	0.00	0.00	189.08



### 8.1.2 Spesifikke byggehøyder for utbyggingsområder

Om det skal defineres *en* spesifikk minimum byggehøyde for de tre mest aktuelle utbyggingsområdene langs vassdraget anbefales følgende (høyder inkludert 30 cm sikkerhetsmargin):

- For området (lavpunktet) nordvest for samløpet, mellom profil 201, 221 og 247 anbefales byggehøyde inkludert sikkerhetsmargin satt til minimum kote **+181.0** (tilsvarende  $Q_{200}$ -verdien i profil 221). Beregning med oppfylling gir her en lavere vannstand enn opprinnelig beregning.
- For myrområdet omkring profil 1156 og 1030 anbefales byggehøyde inkludert sikkerhetsmargin satt til minimum kote **+173.8** (tilsvarende  $Q_{200}$ -verdien i profil 1156). Beregning med oppfylling gir også her en lavere vannstand enn opprinnelig beregning.
- For området i krysset Imerslundmarka/Krokstien (omkring profil 776 og 802) anbefales byggehøyde inkludert sikkerhetsmargin satt til minimum kote **+166.7** (tilsvarende gjennomsnitt av  $Q_{200}$ -verdi for nevnte profiler). Beregning med oppfylling gir omtrent lik vannstand som opprinnelig beregning her.

For en enda mer presis utredning av flomnivåer for de nevnte områdene anbefales simulering med 2D-strømningsmodell. I flate områder utenfor det definerte bekkeløpet vil en 2D-modell som oftest gi mer presise resultater enn en 1D-modell.

## 8.2 Bruer/kulverter/stikkrenner

Bru ved modellprofil 1274 (Figur 8) oppfyller ikke anbefalt krav til fri høyde over vassdrag på 0.5 m ved dimensjonerende flom (SVV-håndbok N400, kap. 4.2.4). Brua burde hatt underkant konstruksjon på minimum kote **176.0**. (flomnivå 200-årsflom + 0.5 m fribord + 0.30 m sikkerhetsmargin). Brua som den er i dag vil være utsatt både ved flom og isgang. Det er stor sjanse for at gjennomløpet vil kunne blokkeres av drivgods, is og lignende. Dette antas riktignok å ha større konsekvenser for selve brua enn for flomnivået i området rundt. Dette fordi vannet lett vil kunne komme seg forbi brua pga. det relativt flate terrenget rundt.

De øvrige kulvertene/stikkrennene på elvestrekningen vil også være utsatt for gjentetting pga. manglende fribord ved dimensjonerende flom. Samtlige kulverter er underdimensjonert, men en økning i dimensjon vil trolig ha begrenset effekt da det uansett ligger en begrensning i bekkeløpets kapasitet. Dette gjelder i hovedsak strekningen mellom profil 939 og 639. Om ikke bekkeløpets tverrsnitt også utvides, er det begrenset nytteverdi i å oppdimensjonere kulverter. Om det er nødvendig å redusere flomnivået mellom profil 1274 og 939, må uansett kapasiteten nedstrøms økes. Stikkrenne ved modellprofil 894 (Figur 11) er for øvrig nylig utskiftet men fortsatt noe underdimensjonert.

Stikkrenner med lav vanddybde og høy vannhastighet vil også utgjøre vandringshindre for fisk. Etablering av terskler ved stikkrenneutløp er et mulig tiltak her.

## 8.3 Erosjon

Erosjonskrefter er en funksjon av vannhastighet. På den modellerte elvestrekningen er det hovedsakelig partiet mellom profil 939 og 639 (i praksis Imerslundmarka/Krokstien) som synes å være mest utsatt for erosjon. Selv om bekkeløp og kulverter på strekningen ble oppdimensjonert, bør det fortsatt tas høyde for at vann kan ta veien ned Imerslundmarka ved storflom. Konkrete tiltak her kan gå på å heve veien, benytte grovere masser i veioppbyggingen, samt å etablere forsterkede drenggrøfter mot lavpunktet i krysset Imerslundmarka/Krokstien. Herfra kan det f.eks. anlegges drengsrør tilbake mot bekken for å

drenerer lavpunktene etter flom. Steinstørrelser for erosjonssikring beregnes normalt først i detaljplan-/byggeplanfase.

## **8.4 Isgang**

Eventuell isgang i vassdraget antas hovedsakelig få konsekvenser for brukjennomløp og stikkrenner/kulverter ved at disse kan gå tette eller få erosjonsskader. Tiltak mot dette vil gå på å sørge for tilstrekkelig fribord (minimum 0.5 m) mellom dimensjonerende flomnivå og underkant bru, samt sikring av utsatte elementer som pilarer etc. Andre tiltak kan være å framskynde islegging tidlig på vinteren ved å etablere terskler som reduserer vannhastigheten. Terskler vil for øvrig også kunne ha positiv effekt på fiskevandring.

## **8.5 Fordrøyning**

Som alternativ til å oppdimensjonere stikkrenner nedstrøms profil 939 kunne en vurdert å benytte myrområdet mellom profil 1274 og 939 til fordrøyning av vassdraget. Området har tilsynelatende stor kapasitet. Med en form for styring av utløpet, kunne området fungert som et reguleringsmagasin for demping av vannføringstopper. En eventuell heving av utløpsnivå vil riktignok medføre høyere flomnivå oppstrøms, dog trolig en begrenset økning. Fordrøyning av vassdraget er vurdert på overordnet nivå i overvannsplanen, men det er ikke gått videre med dette pga. begrenset kost-/nytteverdi.

## 9 REFERANSER

- Nevina (NVE), data generert 07.06.2017
- Glad m.fl. (2015): «Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt». NVE veileder 7-2015
- Midttømme m.fl. (2011) «Retningslinjer for flomberegninger» NVE-retningslinje 04-2011
- Lawrence (2016) «Klimaendring og fremtidige flommer i Norge» NVE-rapport 81-2016
- NVE-retningslinje 02-2011 «Flaum- og skredfare i arealplanar» (Rev. 2014)
- NVE-veileder 03-2015 «Flaumfare langs bekker - råd og tips om kartlegging»
- Fergus m.fl. (2010) «Vassdragshåndboka». Tapir akademisk forlag
- Norsk klimaservicesenter (2017): «Klimaprofil Hedmark»
- Statens vegvesen håndbok N400
- Statens vegvesen håndbok N200



## 10 VEDLEGG

Vedlegg 1: Nevina-rapport

Vedlegg 2: Dalbybekken nedstrøms samløp (lengdeprofil)

Vedlegg 3: Dalbybekken oppstrøms samløp (lengdeprofil)

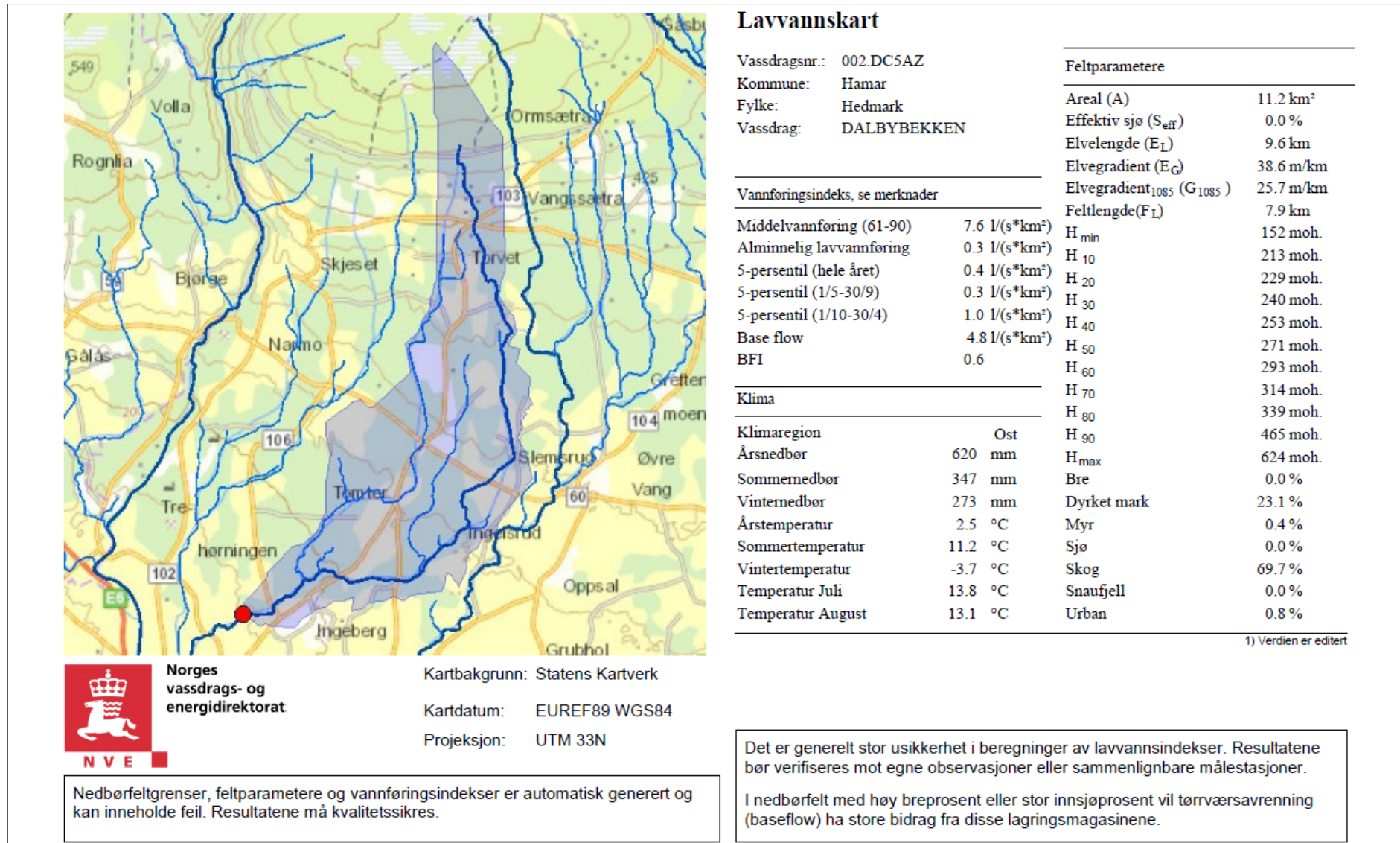
Vedlegg 4: Tomterbekken oppstrøms samløp (lengdeprofil)

Vedlegg 5: Flomsonekart A1 (.pdf)

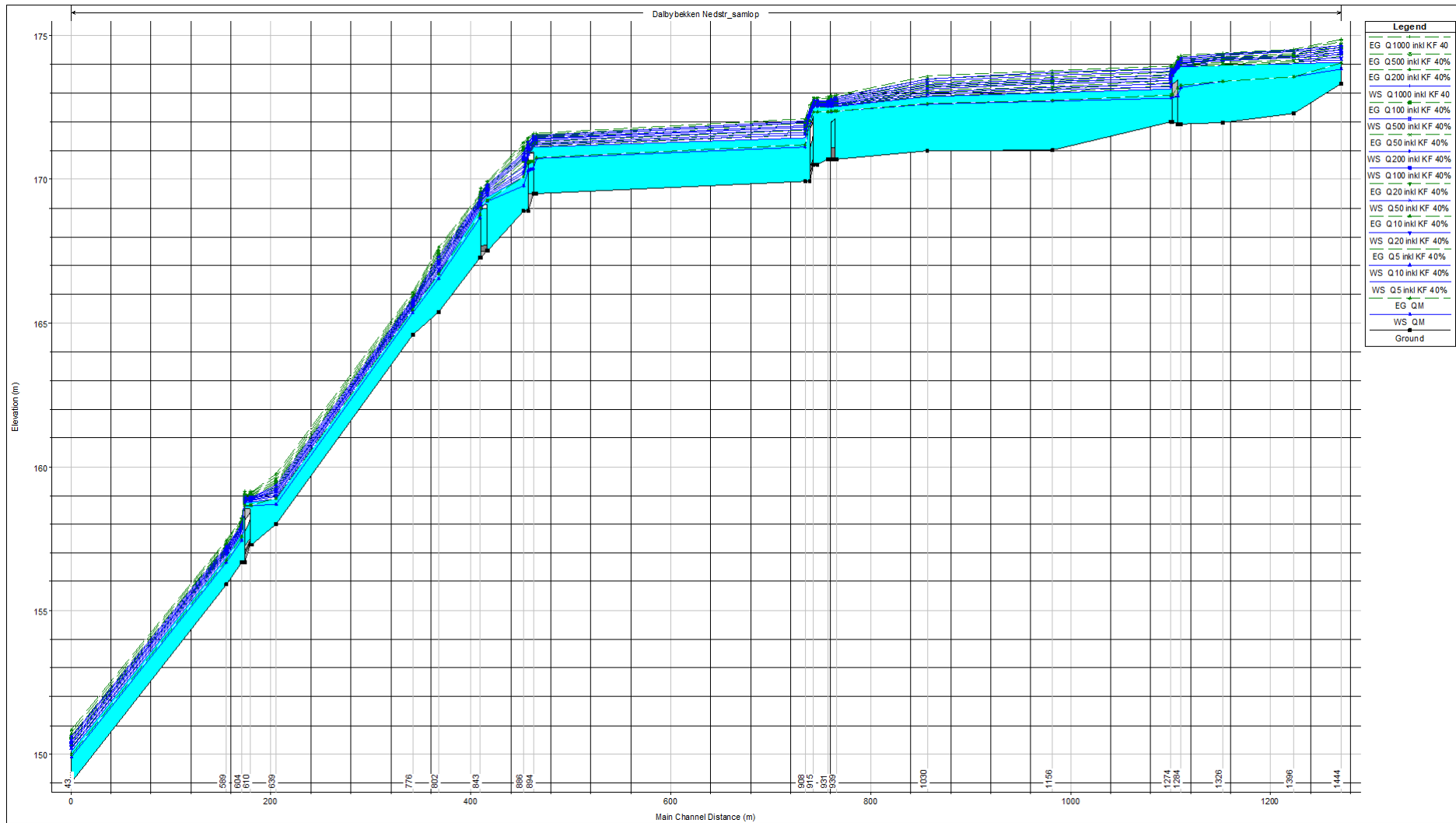
Vedlegg 6: Sosi-filer av flomsoner (.sos)

Vedlegg 7: Lengdeprofil 200-årsflom (40 % klimapåslag) med maksimalt oppfylt terreng (Tomterbekken oppstrøms samløp, Dalbybekken nedstrøms samløp)

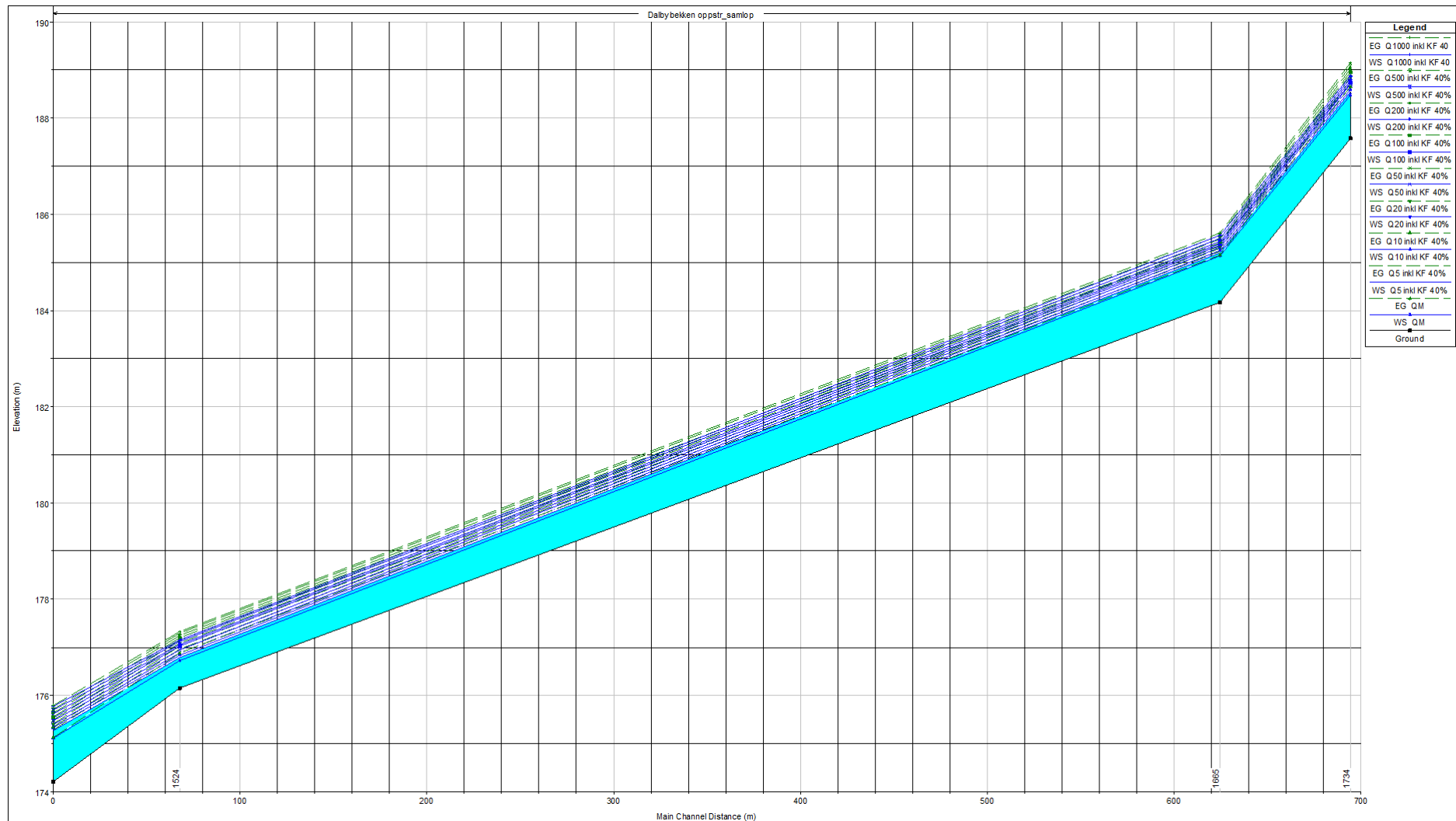
## Vedlegg 1



## Vedlegg 2 – Dalbybekken nedstrøms samløp (lengdeprofil)

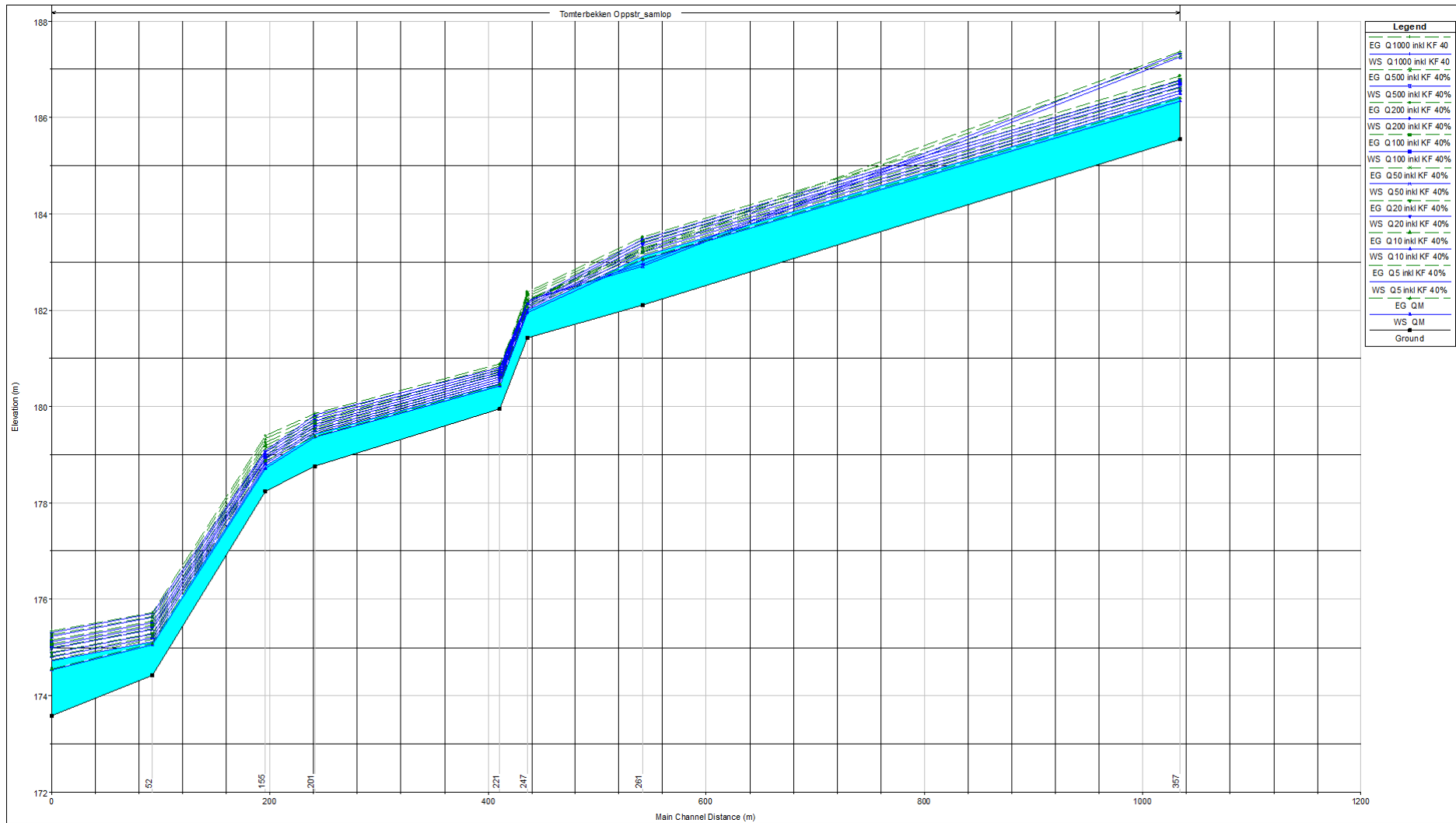


### Vedlegg 3 – Dalbybekken oppstrøms samløp (lengdeprofil)

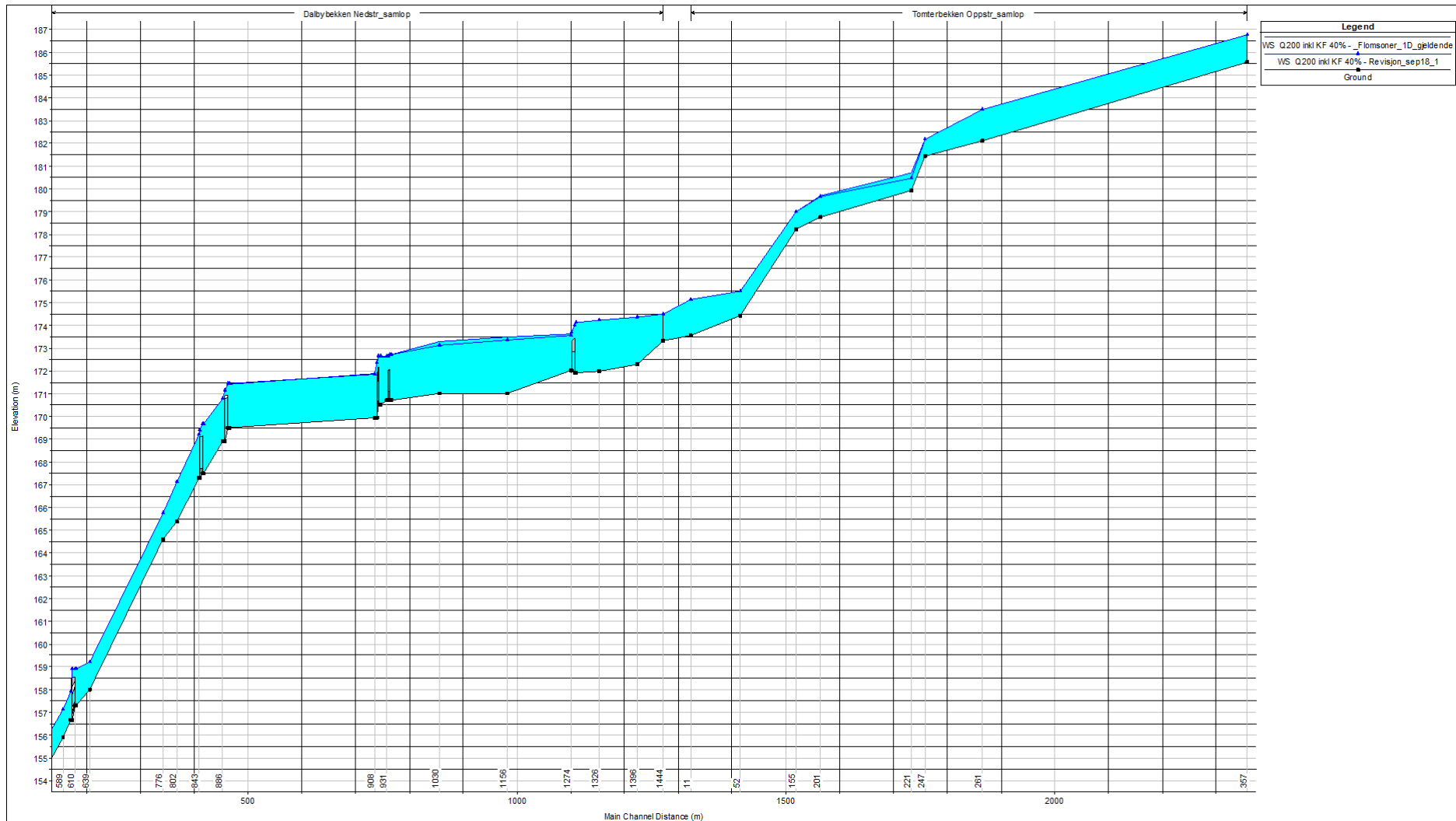




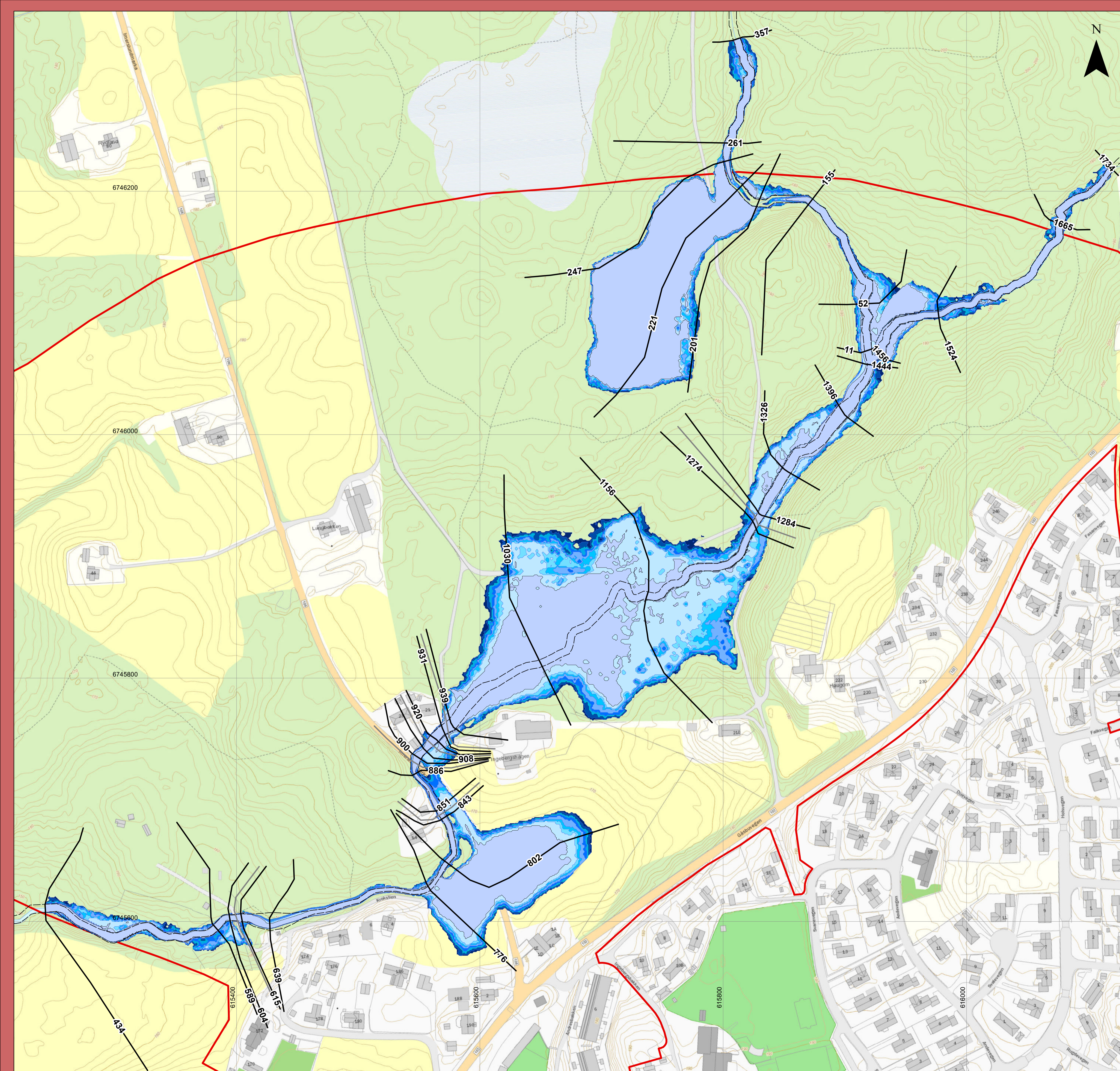
### Vedlegg 4 – Tomterbekken oppstrøms samløp (lengdeprofil)



### Vedlegg 7: Lengdeprofil med oppfylt terreng (Tomtebekken oppstrøms samløp, Dalbybekken nedstrøms samløp)







### TEGNFORKLARING

- Bru/kulvert
- Tverrprofiler med profilnummer
- - - Elvebanker
- Middelflom (uten klimapåslag)
- 5-årsflom
- 10-årsflom
- 20-årsflom
- 50-årsflom
- 100-årsflom
- 200-årsflom
- 500-årsflom
- 1000-årsflom

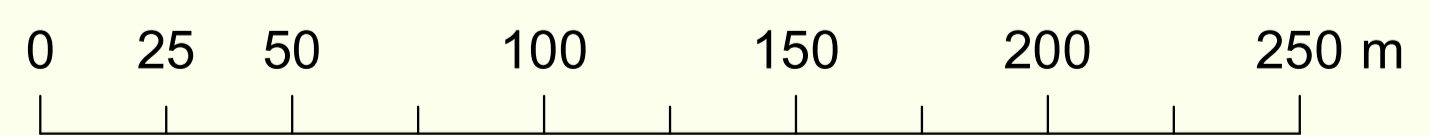
### VANNSTAND VED TVERRPROFIL

Profilnr	5 år	10 år	20 år	50 år	100 år	200 år	500 år	1000 år
11	174.7	174.8	174.9	175.0	175.1	<b>175.1</b>	175.2	175.3
52	175.1	175.2	175.3	175.4	175.5	<b>175.5</b>	175.6	175.7
155	178.8	178.8	178.9	178.9	178.9	<b>179.0</b>	179.0	179.1
201	179.4	179.5	179.5	179.6	179.6	<b>179.7</b>	179.8	179.8
221	180.5	180.5	180.6	180.6	180.7	<b>180.7</b>	180.8	180.8
247	182.0	182.0	182.1	182.1	182.1	<b>182.2</b>	182.2	182.2
261	183.1	183.2	183.3	183.4	183.4	<b>183.5</b>	182.9	183.0
357	186.4	186.5	186.6	186.6	186.7	<b>186.8</b>	187.3	187.3
434	150.1	150.2	150.3	150.3	150.4	<b>150.5</b>	150.6	150.6
589	156.9	156.9	157.0	157.1	157.1	<b>157.1</b>	157.2	157.2
604	157.7	157.7	157.8	157.8	157.9	<b>157.9</b>	158.0	158.0
615	158.8	158.8	158.8	158.9	158.9	<b>158.9</b>	158.9	158.9
639	158.9	159.0	159.0	159.1	159.2	<b>159.2</b>	159.3	159.4
776	165.5	165.6	165.6	165.7	165.7	<b>165.7</b>	165.8	165.9
802	166.8	166.8	166.9	167.0	167.1	<b>167.1</b>	167.2	167.3
843	169.0	169.0	169.1	169.1	169.2	<b>169.2</b>	169.3	169.3
851	169.4	169.5	169.5	169.6	169.6	<b>169.7</b>	169.7	169.8
886	170.1	170.2	170.3	170.4	170.7	<b>170.8</b>	170.9	170.9
900	171.1	171.2	171.3	171.3	171.4	<b>171.4</b>	171.5	171.5
908	171.4	171.5	171.6	171.7	171.8	<b>171.9</b>	172.0	172.0
920	172.5	172.5	172.6	172.6	172.6	<b>172.6</b>	172.7	172.7
931	172.5	172.5	172.6	172.6	172.6	<b>172.6</b>	172.7	172.7
939	172.5	172.6	172.6	172.6	172.7	<b>172.7</b>	172.8	172.9
1030	172.9	173.0	173.0	173.1	173.2	<b>173.3</b>	173.4	173.5
1156	173.0	173.1	173.2	173.3	173.4	<b>173.5</b>	173.6	173.7
1274	173.1	173.2	173.3	173.4	173.5	<b>173.6</b>	173.8	173.9
1284	173.9	173.9	174.0	174.0	174.1	<b>174.1</b>	174.2	174.2
1326	174.0	174.0	174.1	174.1	174.2	<b>174.2</b>	174.3	174.4
1396	174.0	174.1	174.2	174.2	174.3	<b>174.4</b>	174.4	174.5
1444	174.1	174.2	174.2	174.3	174.4	<b>174.5</b>	174.6	174.7
1456	175.3	175.3	175.4	175.5	175.5	<b>175.6</b>	175.7	175.8
1524	176.8	176.8	176.9	177.0	177.0	<b>177.1</b>	177.1	177.2
1665	185.2	185.3	185.3	185.4	185.4	<b>185.4</b>	185.5	185.6
1734	188.5	188.6	188.7	188.7	188.7	<b>188.8</b>	188.8	188.9

### FLOMSONEKART INGEBERG

Dalbybekken/Tomterbekken  
Hamar kommune

1:1 500



Koordinatsystem: ETRS89 UTM 32  
 Høydesystem: NN2000  
 Målestokk: 1:1500 (A1)  
 Dato: 27.03.2018  
 Produsert av: Asplan Viak AS