



potensielt kan være flomutsatt. Vannstandsstigningen kan ofte være overestimert ved bruk av denne metoden og en mer detaljert kartlegging kan derfor redusere aktsomhetsområdenes utstrekning.

For damanleggene i Kjelavatn foretas det periodiske flomberegninger av sikkerhetshensyn. Det foreligger en flomberegning for anlegget utført i januar 2021 (Norconsult, 2021) og en tilleggsberegning for lavere gjentaksintervall i mars 2021 (Norconsult, 2021). Oppstrøms nedbørfelt for Kjelavatn er beregnet til 140,5 km<sup>2</sup>. Det er dermed i tillegg behov for estimering av flomstørrelser i 52,2 km<sup>2</sup> med restfelt nedstrøms denne reguleringen.

### 3. Kort oppgavebeskrivelse

Det er som nevnt foretatt flomberegning for Kjelavatn. Det er i nasjonale flomdatabaser ellers ikke beskrevet noe nærmere om denne delen av vassdraget og det er derfor behov for beregning av flom og flomstørrelser for restfeltene ned mot Storlineset.

Vannstandsstigningen i elven er beregnet på grunnlag av disse flomberegningene sammen med en topografisk beskrivelse av terrenget i og langs elveløpet og med planene for det foreslåtte tiltaket.

### 4. Krav til sikkerhet mot naturpåkjenninger

Arealplanlegging som tar hensyn til naturfare, er et viktig virkemiddel for å redusere risikoen for skader ved ekstreme naturhendelser som flom og ras. Den beste måten å forebygge på er å unngå å bygge i fareutsatte områder eller eventuelt ved å identifisere risiki og gjøre tiltak for å redusere eller unngå disse.

De antatte effekter av pågående klimaendringer gir grunn til å være mer på vakt mot flom og skred, og prosesser relatert til disse. Hyppigere og mere ekstreme nedbørshendelser gir nye utfordringer for bygging og overvannshåndtering, i både bebygde og ubebygde områder.

For tiltak eller byggverk gjelder «Krav til sikkerhet mot naturpåkjenninger» gitt i § 7 i «Forskrift om tekniske krav til byggverk» (Byggeteknisk forskrift, TEK 17). Denne er gjeldende for konstruksjoner og anlegg, også midlertidige. De generelle krav er som følger:

- **Byggverk skal plasseres, prosjekteres og utføres slik at det oppnås tilfredsstillende sikkerhet mot skade eller vesentlig ulempe fra naturpåkjenninger.**
- **Tiltak skal prosjekteres og utføres slik at byggverk, byggegrunn og tilstøtende terreng ikke utsettes for fare eller vesentlig ulempe som følge av tiltaket.**

For sikkerhet mot flom og stormflo skal det dimensjoneres eller sikres mot flom slik at den største nominelle årlige sannsynlighet (*returperioden*<sup>1</sup>) avhengig av konsekvensgrad ikke overskrides.

For byggverk/konstruksjoner hvor konsekvens anses som liten er denne største nominelle årlige sannsynlighet satt til 1/20 eller 20 års returperiode. For middels konsekvens, her innbefattet infrastruktur, er returperioden satt til 200 år og for byggverk/konstruksjoner med stor konsekvensgrad er

<sup>1</sup> Returperiode (gjentaksintervall) er et uttrykk for hvor ofte (hvert n-te år) det inntreffer flom til et visst nivå eller nedbør med en viss intensitet, ut fra statistiske vurderinger av nedbørs- og avrennings-observasjoner.

returperioden på 1000 år. Byggverk hvor konsekvensen av en flom er særlig stor, skal ikke plasseres i flomutsatt område. Beskrivelse av tilhørende sikkerhetsklasser er vist nedenfor:

**Sikkerhetsklasse F1** gjelder tiltak der oversvømmelse har liten konsekvens. Dette omfatter byggverk med lite personopphold og små økonomiske eller andre samfunnsmessige konsekvenser, eksempelvis: garasje, lagerbygning med lite personopphold

**Sikkerhetsklasse F2** gjelder tiltak der oversvømmelse har middels konsekvens. Dette omfatter de fleste byggverk beregnet for personopphold, eksempelvis: bolig, fritidsbolig og campinghytte, garasjeanlegg og brakkerigg, skole og barnehage, kontorbygning, industribygg, driftsbygning i landbruket som ikke inngår i sikkerhetsklasse F1

**Sikkerhetsklasse F3** gjelder tiltak der oversvømmelse har stor konsekvens. Dette omfatter byggverk for sårbare samfunns-funksjoner og byggverk der oversvømmelse kan gi stor forurensning på omgivelsene, eksempelvis: byggverk for særlig sårbare grupper av befolkningen, f.eks. sykehjem og lignende byggverk som skal fungere i lokale beredskapssituasjoner, f.eks. sykehus, brannstasjon, politistasjon, sivilforsvarsanlegg og infrastruktur av stor samfunnsmessig betydning og avfallsdeponier der oversvømmelse kan gi forurensningsfare.

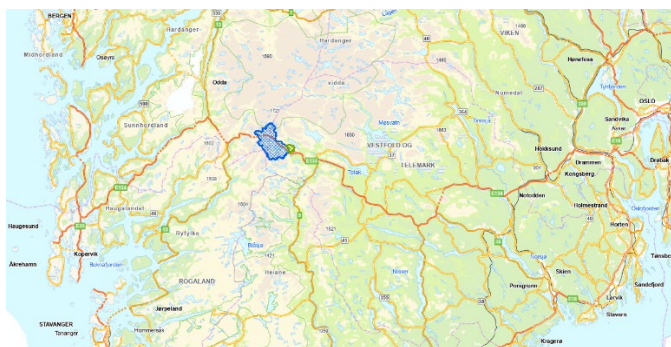
Planområdet skal kunne benyttes til fritidsboliger og det er derfor gjort vurderinger for sikkerhetsklasse F2, flomstørrelser med 200 års gjentaksintervall.

## 5. Nedbørfeltbeskrivelse

Kjelaås nedbørfelt er lokalisert øverst i Tokke-Vinje delen av Skiensvassdraget.

Denne delen av vassdraget ligger nord-vest av Haukeli, langs E134 på vei opp mot Haukelifjell og vannskillet mot Vestlandet.

Nedbørfeltet (016.BEE440) drenerer sørøstover med utløp i Oslofjorden ved Skien.



Figur 2 Plassering av nedbørfelt

Kjelaås nedbørfelt oppstrøms Storlineset i er forholdsvis stort, på 192,7 km<sup>2</sup> og med en god del sjøer og vann som vil virke dempende på avløpet. Nedbørfeltet strekker seg i de øverste deler inn i Vestland fylke. Nedbørfeltet grenser mot Rogaland i sørvest og er ellers i Telemark fylke.

6 km oppstrøms Storlineset, er Kjelaåi regulert med dam i Kjelaavatn og med reguleringer også lenger oppstrøms, i Ståvatn. Nedbørfeltet består hovedsakelig av snaufjell og noe vann. Det er lite urbaniserte områder i nedbørfeltet, med unntak av enkelte hyttefelt. Nedbørfeltet plassering er vist i Figur 2 og i mer detalj i Figur 4.

Deler av nedbørfeltet overføres i forbindelse med vannkraftproduksjon, til Totak-vassdraget. Denne reguleringen er vist nedenfor i Figur 3.

Fra utenfor det naturlige nedbørsfeltet overføres Bordalsvatn i tunnel inn i nedbørsfeltet og videre mot Førsvatn. Fra Kjelaavatn/Førsvatn/Hyljelihyl går dette vannet via Kjela kraftverk og overføres ut igjen av nedbørsfeltet i retning Venemo og Totak. Denne overføringen påvirker imidlertid ikke tilløp til Kjelaavatn eller vannføringen i Kjelaåi.

Felt og terrengegenskaper er beregnet på grunnlag av digitale kartdata for FKB og laserdata fra Norsk høydedatamodell (NHD) samt nasjonalt avrenningskart og andre tematiske data basert på informasjon fra Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE). Felldata er oppgitt i mer detalj for det samlede totalfeltet i Tabell 1 og for restfeltet av Kjelaåi fra Kjelaavatn og ned til Storlineset i Tabell 2.

Midlere årlige avrenning i dette området er på 57,4 l/s pr. km<sup>2</sup>, som tilsvarer en avrenning på ca. 1811 mm. Middelttemperaturen er på -0,6 °C.

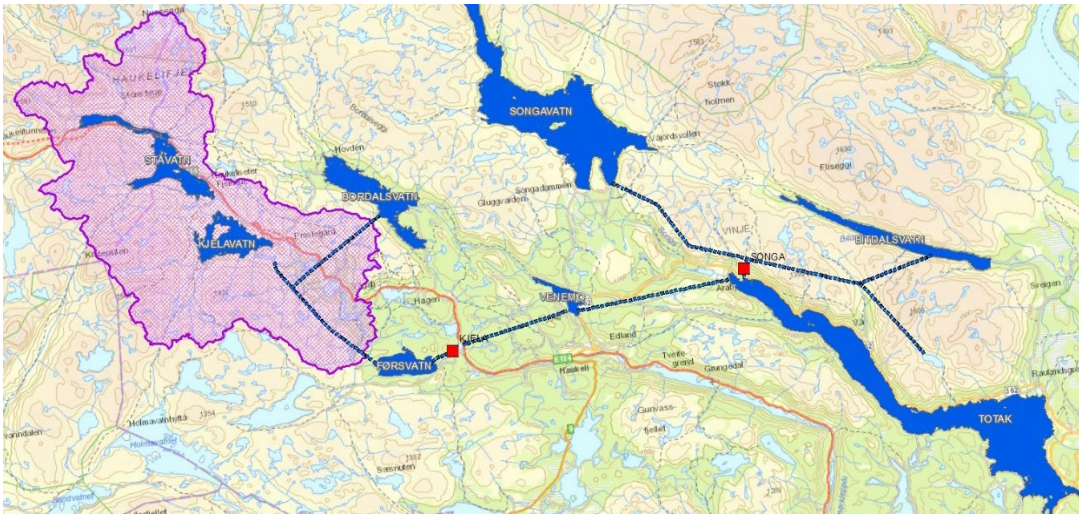
Tabell 1 Felldata for samlet nedbørsfelt i Kjelaåi ned Storlineset.

Feltparametere	Kjelaåi ned til Storlineset			Feltparametere			
Feltareal	A	(km <sup>2</sup> )	192,7	Spesifikk avrenning, 1961-1990	QN	(l/s km <sup>2</sup> )	57,4
Effektiv sjøprosent	A <sub>SE</sub>	(%)	2,53	Midlere vannføring	Q <sub>mid</sub>	l/s	11,06 <sup>1</sup>
Innsjø/vann		%	11,0	H <sub>max</sub> - terreng		m.oh.	1688
Snau fjell		%	77,8	H <sub>mid</sub> - terreng		m.oh.	1163
Bre		%	1,3	H <sub>min</sub> - terreng		m.oh.	800
Skog		%	5,8				

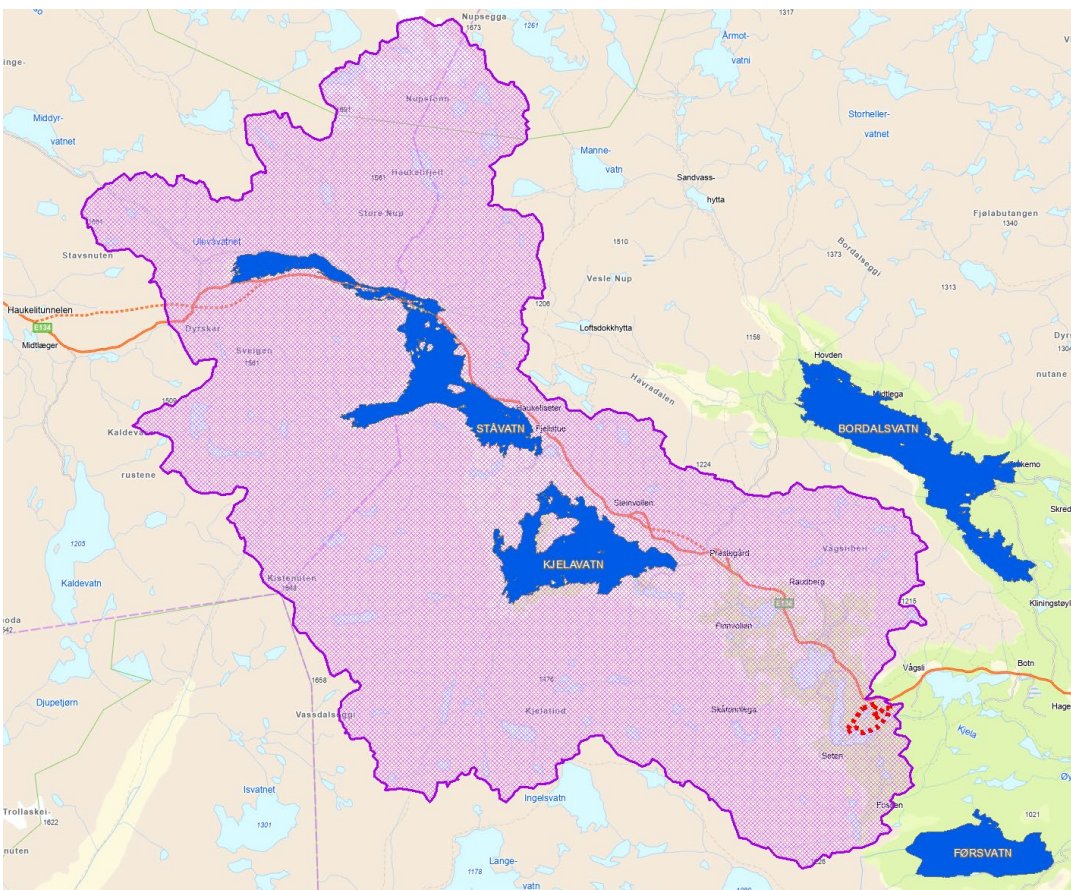
<sup>1</sup> Uregulert. Store deler av dette overføres i en normalsituasjon mot Totak

Tabell 2 Utvalgte felldata for uregulert delfelt ned til Storlineset.

Feltparametere			Kjelaåi nedstrøms Kjelaavatn
Feltareal	A	(km <sup>2</sup> )	52,2
Effektiv sjøprosent	A <sub>SE</sub>	(%)	~ 3
Spesifikk avrenning, 1961-1990	QN	(l/s km <sup>2</sup> )	44,0
H max/mid/min	m.oh.		1469/1066/800
Snau fjell / Skog / Sjø		%	61,7/20,1/7,5



Figur 3 Overføringer ut av feltet til Kjelaåi.



Figur 4 Nedbørfelt ned til Storlineset.

## 6. Metodikk for flomberegning

Det foretas flomberegninger basert på flere forskjellige metodikker for å anslå maksimalverdier og forløp av en 200 års flom inkludert et klimapåslag for nedbørfeltet.

Metodikk for beregning av flom kan hovedsakelig deles inn i tre hovedgrupper:

- Flomfrekvensanalyser
- Nasjonalt eller regionalt formelverk
- Nedbør-avløpsmodellering

Flomfrekvensmetoden er hovedsakelig basert på analyser av målte avløpsserier. Nedbør-avløpsmetoden er basert på frekvensanalyser av nedbørdatabaser, hvor nedbør- og eventuelt snøsmelteverdier overføres til flomverdier ved hjelp av hydrologiske modeller. Vanligvis skal flomfrekvensmetoden benyttes for beregning av tilløpsflommer med gitte gjentaksintervall. For små vassdrag og i områder med dårlig datagrunnlag kan det være nødvendig å benytte nedbør-avløpsmetoder for flomberegning. I slike tilfeller bør resultatet likevel vurderes mot observerte flomdata eller erfaringstall for flomstørrelser.

For veldig små nedbørfelt (i størrelsesorden opp mot 2 km<sup>2</sup>) kan den rasjonelle formel benyttes (Statens vegvesen, 2018) og (Statens vegvesen, 2020). Bli vassdragene noe særlig større enn dette kan imidlertid denne formelen gi store usikkerheter. NVE anbefaler imidlertid ikke denne metodikken brukt om nedbørfeltene overskrider 0,5 km<sup>2</sup> (Fergus, 2010) og (Lindholm, 2008).

PQRUT-modellen er en annen metode for nedbør-avløpsmodellering, basert på observerte avrenningsforløp. Metoden benyttes gjerne i beregninger av flomforløp til magasiner med nedbørfelt med areal opp til 200 km<sup>2</sup>.

I forbindelse med Etatsprogrammet «NATURFARE – infrastruktur, flom og skred (NIFS)», ble det i 2015 utarbeidet et nasjonalt formelverk for beregning av flom i små nedbørfelt under 60 km<sup>2</sup>. (NVE, 2015). For flomberegninger i felt > 60 km<sup>2</sup> har NVE nylig utarbeidet et annet formelverk, RFFA2018 (NVE, 2020). I ny veileder for flomberegning (NVE, 2022) er disse formelverkene, NIFS og RFFA 2018, nøyere beskrevet sammen med annen relevant metodikk.

Ut fra observerte flommer i eller i nærheten av feltet kan den flomskapende sesongen fastlegges og derved også hvilke ekstreme nedbørverdier som skal ligge til grunn for eventuell beregning ved en hydrologisk modell. Hvis det er store flommer både vår og høst i et område, kan det være fare for at man undervurderer de store flommene ved å utføre separate analyser for vår- og høst-sesongen. I slike tilfeller bør man utføre flomfrekvensanalyse uten sesonginndeling, dvs. på årsflommer.

Det er benyttet vårflommer i denne analysen.

## 7. Flommens kulminasjonsverdier

Når flomverdier beregnes som døgnmiddelverdier, må også kulminasjonsverdien estimeres. I den grad data på fin tidsoppløsning finnes, anbefales det at flomfrekvensanalysen utføres på momentanflommer (kulminasjonsvannføringer).

Alternativt kan forholdet mellom kulminasjonsvannføring og døgnmiddelverdi ved de største flommene i vassdraget eller i sammenlignbare felt benyttes. Hvis slike data ikke foreligger anbefales det å benytte formler, basert på feltparametere, for å beregne forholdstallet mellom momentanflom og døgnmiddelflom (NVE 2011).

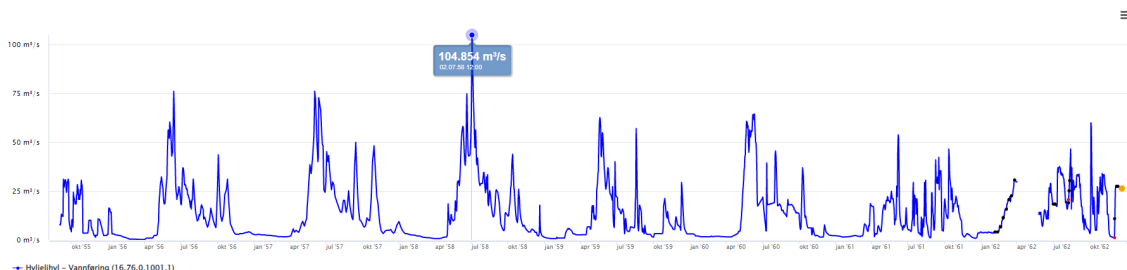
NVEs veileder for flomberegning presenterer også observerte forholdstall mellom momentanflom og døgnmiddelflom for en rekke målestasjoner.

Nedbørfeltet er stort og med en rekke innsjøer og vann gir dette en høy effektiv sjøprosent i nedbørfeltet til Kjelaåi. Høy demping i feltet gir forholdsvis lave verdier og forholdet mellom kulminasjonsvannføring og døgnmiddelverdi ved de største flommene er beregnet til 1,13 for vårflo og 1.20 for eventuell høstflo ved Storlineset.

## 8. Vannføringsmålinger og flomregistreringer i vassdraget

Det er ingen pågående uregulerte avløpsstasjoner som måler vannføringen i Kjelaåi nær Storlineset som kan benyttes for direkte flomberegning.

Noen kilometer lenger nedstrøms var det i perioden 1982-2003 en målestasjon i Vågslidvatnet (16.139) og i perioden fra noe før reguleringen i 1979, var det en målestasjon i Øykjelihylen (16.77) med sporadiske målinger i perioden 1976-1987. I Hyljelihyl (16.76) ble det foretatt målinger i perioden 1955-1962 som er uregulerte.



Figur 5 Vannføring i 16.76 Hyljelihyl i perioden 1955-1962. Maksimnal vannføring registrert til 104,9 m<sup>3</sup>/s.

Lengst serie med uregulerte målinger i vassdraget finnes nedstrøms i vassdraget ved målestasjonen 16.37 Vinjevatn som nå er nedlagt, men har vannføringsdata i 37 år i perioden 1919-1958.

## 9. Benyttet analysemetodikk for Kjelaåi ved Storlineset

For avløp fra Kjelaåi benyttes nylig utarbeidet flomberegning for reguleringsanlegget (Norconsult, 2021). I tillegg til denne vannføringen må det beregnes tilløp fra det uregulerte restfeltet nedstrøms dammen ned til Storlineset.

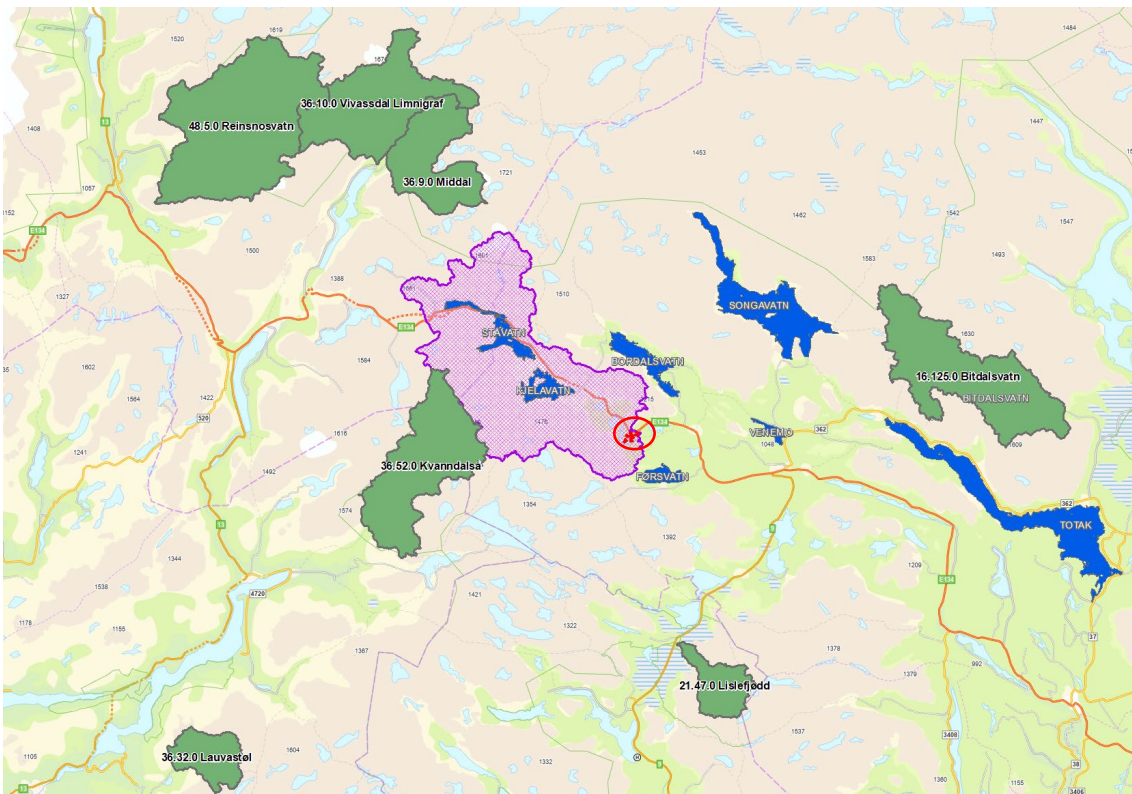
I regionen finnes det enkelte stasjoner som kan benyttes for å vurdere flomstørrelser ved hjelp av flomfrekvensanalyse. Plassering av disse er vist i Figur 6. Det anses også fornuftig å vurdere nasjonale flomformler (NIFS/RFFA2018) og bruk av en nedbør-avløpsmodell som PQRUT.

## 10. Flomberegning Kjelavatn

Flomberegningen for Kjelavatn (Norconsult, 2021) satt Q1000 døgnverdi for tilsig til Kjelavatn og Ståvatn på 1325 l/s pr km<sup>2</sup>. Flomberegningen antok også et forhold mellom  $Q_{\text{mom}}/Q_{\text{døgn}}$  på 1,5, tilsvarende en kulminasjonsverdi på 1988 l/s pr km<sup>2</sup>.

Dette ga en beregnet Q1000 tilløpsflom til Kjelavatn på 186 m<sup>3</sup>/s, tilsvarende 1324 l/s pr km<sup>2</sup>. Denne verdien er dels lokaltilsig til Kjelavatn og rutet avløpsflom fra oppstrøms magasin Ståvatn. Ytterligere ruting av avløpsflommen over damanlegget i Kjelavatn demper avløpsflommen videre ned til 166 m<sup>3</sup>/s, tilsvarende 1181 l/s pr. km<sup>2</sup>.

Analyse av Statkrafts tilsigsserie til magasinet, som er noe for kort til bruk for flomfrekvensanalyse (2006-2021) kan imidlertid benyttes for å estimere middelflommens størrelse. Spesifikk middelflom er beregnet til 574 l/s pr km<sup>2</sup>, som med et antatt forhold mellom middelflom og Q1000 på 2,3 gir en Q1000 flom på 1320 l/s pr km<sup>2</sup>.



Figur 6 Målestasjoner benyttet til flomfrekvensanalyse. Kjelaåi ved Storrineset markert med rød ring.

8 (19)

NOTAT  
28.02.2021

## 11. Beregning med flomfrekvensanalyse (FFA)

Det er ingen aktive avløpsstasjoner i nedbørfeltet til Kjelaåi, men det er som nevnt noen målestasjoner, med store og små nedbørfelt og brukbart lange måleserier i regionen, som kan benyttes for analyse. Det er søkt å finne avløpsstasjoner som kan være flommessig representative for nedbørfeltet, både når det gjelder størrelse, topografi og avstand fra kyst, samt at de har en tilstrekkelig lang observasjonsperiode for sikkert å kunne beregne flomstørrelser.

Tabell 3 Resultater fra flomfrekvensanalyse.

Stasjon	Dataperiode	Frekvensfordeling	Nedbørfelt areal	Eff. sjø	Årsavløp QN	QM	Q1000	Q1000/QM
			km <sup>2</sup>	%	l/s pr km <sup>2</sup>			
16.76 Hyljelihyl	1956-1962		283,6	2,7	62	293		
16.81 (16.125) Bitdalen	1955-1970	Gumbel	82,4	6,97	41	352	1089	3,1
21.47 Lislefjødd	1973-2020	GEV+Gumbel/2	19	0,1	37	441	1079	2,4
36.9 Middal	1968-2020	GEV+Gumbel/2	45,9	0,2	73	537	1032	1,9
36.10 Vivassdal	1969-2000	Gumbel	66,4	0,6	77	517	1548	3,0
36.32 Lauvastøl	1985-2020	Gumbel	20,7	0,4	94	821	1837	2,2
36.52 Kvanndalsåa	1968-2020	Gumbel	61,8	0	83	583	1280	2,2
48.5 Reisosvatn	1918-2020	GEV+Gumbel/2	120,5	3,3	72	451	903	2,0

Q1000 er beregnet til i størrelsesorden 16 % større enn Q200.

## 12. Beregninger med nasjonalt formelverk for flomberegning i små nedbørfelt (NIFS)

(NVE, 2015) beskriver utarbeidelsen av et nasjonalt formelverk for beregning av middelflom og flommer med høyere gjentaksintervall for små umålte nedbørfelt i Norge.

Formelverket gir i utgangspunktet kulminasjonsverdier, men det er gjort en vurdering også hvor det benyttes det beregnede forholdet mellom momentanform og døgnmiddel for hhv. vår- og høstflom for det enkelte nedbørfelt.

Bruk av NIFS formelverket og beregningen av døgnmiddelflom ga følgende spesifikke verdier for nedbørfeltet ned til kryssingen av planområdet (Tabell 4). Beregningsmetodikken er utarbeidet for nedbørfelter mindre enn 60 km<sup>2</sup> og kan dermed benyttes for restfeltet mellom Kjelavatn og Storlineset.

Tabell 4 Beregnede flomverdier i  $l/s \cdot km^2$  med NIFS-metodikk for gitte returperioder uten klimapåslag. Restfelt mellom Kjelavatn og Storlineset.

	QM	Q200	Q1000	Q1000/QM
Kulminasjonsverdier	523	1413	1965	
Døgnmiddel – Høst ( $Q_{mom}/Q_{døgn} \sim 1,41$ )	371	1002	1394	3,7

### 13. Beregning med hydrologisk modell PQRUT

En nedbør/avløpsmodell regner nedbørdata om til avløp vha. feltparametere for det aktuelle feltet og er blant annet beskrevet nærmere i (NVE, 2011; NVE, 2022). I denne flomberegningen benyttes det nettversjonen av PQRUT modellen, utarbeidet av NVE.

Parameterne til den hydrologiske flommodellen skal helst bestemmes ved kalibrering mot observerte vannføringer (NVE, 2011), men siden det ikke finnes observerte vannføringer fra de aktuelle feltene i dette tilfellet, er modellparameterne teoretisk bestemt ut fra feltparametere for nedbørfeltene.

Feltparametere som inngår i ligningene, finnes i oversikten i Tabell 1. Det er valgt å beregne tilløpsflommer med tidsskritt 1 time og varighet 48 timer.

Tabell 5 Modellparametere for nedbørfeltene

	Parametersett / ligningssett	Øvre tømmekonstant $K_1, \text{time}^{-1}$	Nedre tømmekonstant $K_2, \text{time}^{-1}$	Terskelverdi T, mm
Restfelt nedstrøms Kjelavatn (52,2 km <sup>2</sup> )	1983	0,06284	0,0169	26,47
	2016	0,05525	0,01221	43,48

Det er nylig foretatt egne ekstremnedbørberegninger av meteorologisk institutt for nedbørfeltet til Kjelavatn som benyttes (Norconsult, 2021). Sesongverdier (september-november) er benyttet.

4. 5) sep, okt, nov:	Antall timer (n)						
	1	2	6	12	24	48	72
n timer / 24 timer	0.27	0.36	0.56	0.74	1	1.3	1.55
M10 (mm)	35	50	75	100	135	175	210
M25 (mm)	40	55	85	110	150	195	235
M50 (mm)	45	60	90	120	165	215	255
M100 (mm)	50	65	100	135	180	235	280
M200 (mm)	55	70	110	150	200	260	310

Figur 7 Ekstremnedbør Kjelavatn, Årsverdi.

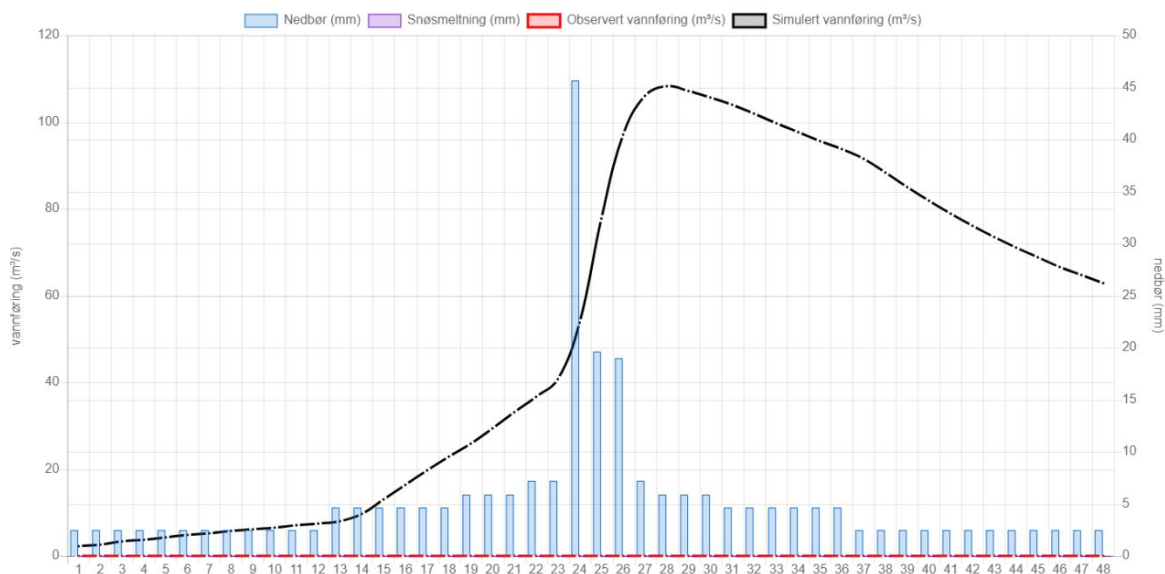
I Tabell 6 er arealreduksjons-faktorene (ARF) oppgitt. Nedbørforløp på 48 timer er konstruert rundt høyeste nedbørintensitet ut fra nedbørverdiene i tabellen, med maksimum etter 24 timer.

10 (19)

NOTAT  
28.02.2021

Tabell 6 Arealreduksjonsfaktorer for restfelt nedstrøms Kjelavatn (~50 km<sup>2</sup>)

Timer	1	2	6	12	24
ARF Restfelt nedstrøms Kjelavatn	0,83	0,87	0,92	0,94	0,96



Figur 8 Q200 Flom, Restfelt nedstrøms Kjelavatn basert på M200

Tabell 7 viser resultatet for tilløpsflommer med gjentakintervall  $Q_{200}$  beregnet med nedbør/avløpsmodell. Startvannføringen i beregningen ble satt til 2 ganger årsmiddelvannføringen.

For også å kunne gi et tall for sammenligning med annen metodikk er det benyttet forholdstallet mellom  $Q_{1000}$  og  $Q_{200}$  fra de benyttede målestasjonene for flomfrekvensanalyse. På disse stasjonene varierer dette lite og har et middel på 86 % som benyttes her. Beregnet verdi er i Tabell 7 merket som  $Q_{1000}$  anslått.

Tabell 7 Beregnet  $Q_{200}$  flom i feltene med hydrologisk modell, PQRUT

		Største 24-timers middel, l/s pr. km <sup>2</sup>	Kulminasjonsverdi, l/s pr. km <sup>2</sup>
Restfelt nedstrøms Kjelavatn	$Q_{200}$ nedbør	1549	1803
	$Q_{1000}$ anslått	1801	2097

## 14. NVEs erfaringsverdier fra flomberegninger

Erfaringstall fra flomberegninger i NVEs retningslinje for flomberegning (NVE 2011) i Sør-Norge varierer stort. På Østlandet, i vassdrag som drenerer til Sverige og vassdragsområdene 001 tom. 016, ligger

flomverdiene for q1000 stort sett mellom 600 - 1200 l/s pr. km<sup>2</sup> for døgnmiddelverdier i små felt (< 50 km<sup>2</sup>). De største verdiene er i meget små felt, hvor de i noen tilfeller kan være opp mot 1500 l/s pr. km<sup>2</sup>, eller i felt langt vest i området.

På Sørlandet og Vestlandet, vassdragsområdene 017 tom. 115, ligger flomverdiene stort sett mellom 1500 - 3000 l/s pr. km<sup>2</sup>, med de største verdiene, over 2000 l/s pr. km<sup>2</sup>, i felt et stykke innenfor kysten på Sørvestlandet og Vestlandet. I felt helt mot kysten er verdiene oftest i underkant av 2000 l/s pr. km<sup>2</sup>, og i de østligste områdene rundt og noen ganger under 1500 l/s pr. km<sup>2</sup>.

Døgnmiddelverdier for q1000 i middels store felt, 50 - 500 km<sup>2</sup>, på Østlandet ligger flomverdiene stort sett mellom 350 - 1100 l/s pr. km<sup>2</sup>, under 500 l/s pr. km<sup>2</sup> lengst øst og over 1000 l/s pr. km<sup>2</sup> aller lengst vest i området. På Sørlandet og Vestlandet ligger flomverdiene stort sett mellom 700 - 2500 l/s pr. km<sup>2</sup>, med de største verdiene, over 2000 l/s pr. km<sup>2</sup>, i felt et stykke innenfor kysten på Sør-Vestlandet og Vestlandet, og de minste, under 1000 l/s pr. km<sup>2</sup>, i indre strøk på Sørlandet.

## 15. Klimapåslag for flomvurderinger

Selv små nedbørfelt kan gi store vannmengder under ekstremværsituasjoner. Framskrivninger presentert i «Klima i Norge 2100» viser at det kan forventes mellom 5 og 30 % økning av midlere årsnedbør mot slutten av dette århundret. Det store spennet mellom disse to verdiene avhenger dels av tilfeldige variasjoner og mengden av fremtidig klimagassutslipp.

Den faktiske nedbørsøkningen i Norge i løpet av de siste 30 årene ligger faktisk allerede nær den høyeste framskrivningen.

Variasjonene rundt om i Norge er allikevel store og med store geografiske forskjeller mellom regioner og landsdeler. I fjellområder i Buskerud, Telemark og i innlandet på Østlandet viser framskrivningene en liten reduksjon i flomstørrelsene i framtiden for nedbørfelt som er dominert av snøsmelteflommer om våren og tidlig på sommeren. For andre områder hvor store nedbørsflommer om høst og tidlige vinter dominerer kan det bli kraftige økninger (NVE, 81/2016)

Kjelavatnet og områdene nedstrøms har nedbørfelt som i hovedsak er i Telemark, men som i øvre deler grenser mot Rogaland, og strekker seg godt inn i Vestland fylke.

I NVE-rapporten «Klimaendring og framtidige flommer i Norge» (NVE, 81/2016) ventes det «minst 20%» økning i flomvannføringer for felt under 100 km<sup>2</sup> i Rogaland, Vestland og tidligere Telemark.

For Rogaland og Vestland er det i tillegg en generell anbefaling om 20 % klimapåslag for alle større felt, og 40 % for felt som ligger nær områder med prognosert 40-60 % økning.

Kjelavatn er ikke nær områder med så høy modellert økning er heller ikke så sårbart for økning i intens nedbør med kort varighet grunnet dempningen i magasinene. Det antas allikevel, basert på dette grunnlaget, at et klimapåslag på 20 % bør legges til grunn for Kjelavatn og nedbørfeltene nedstrøms.

## 16. Endelig valg av flomberegningsmetodikk og flomstørrelser

Som ventet gir bruk av forskjellig metodikk noe avvikende resultater, men resultatene ligger i samme størrelsesorden. Bruk av flomfrekvensanalyse (FFA) gir laveste verdier med nasjonale flomformler noe høyere. Hydrologisk modell gir noe høyere verdier.

Nedbørfeltet nedstrøms Kjeladammen er i samme størrelsesorden som flere av referansestasjonene benyttet i flomfrekvensanalysen og det antas derfor en lignende respons. De siste årenes flomhendelser tyder imidlertid på en viss økning.

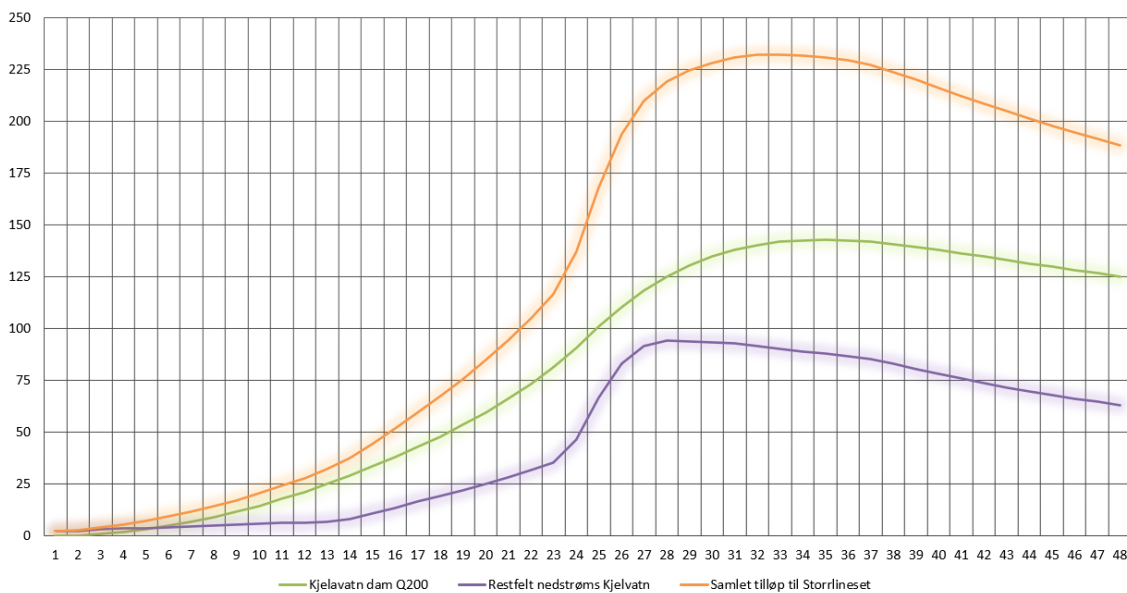
Verdiene fra hydrologisk modell vil dermed være et noe mer konservativt valg som synes rimelig, tatt i betraktning NVEs anbefaling om å ta høyde for kommende økende flomforhold.

Tilløpsflommen ned til Storlineset vil dermed bestå av beregnet Q200 avløpsflom fra Kjelavatn dam (Norconsult, 2021) + Q200 flomforløp beregnet med PQRUT fra restfeltet nedstrøms Kjelavatn dam.

Flomforløpene er vist i Figur 9.

Samlet gir dette en Q200 døgnmiddelflom på 213 m<sup>3</sup>/s (1104 l/s pr km<sup>2</sup>) og med en kulminasjonsverdi på 232 m<sup>3</sup>/s (1202 l/s pr km<sup>2</sup>).

Noe lavt forhold (1,09) mellom Q<sub>mom</sub>/Q<sub>døgn</sub> skyldes at flomtoppen fra Kjelavatn dam, under en felles flomepisode, nok vil kulminere noe senere.



Figur 9 Flomforløp delfelt og samlet tilløpsflom til Storlineset

Antas et klimapåslag på 20 % gir dette en Q200 døgnmiddelflom på 255,6 m<sup>3</sup>/s (1324 l/s pr km<sup>2</sup>) og med en kulminasjonsverdi på 278,4 m<sup>3</sup>/s (1442 l/s pr km<sup>2</sup>).

## 17. Vannstandsberegninger

For å planlegge sikker arealbruk langs vassdrag er det nødvendig å vite hvor høyt vannstanden går ved store vannføringer, som oftest en 200-års flom eller ved høye risikokrav en 1000 års flom. Beregning av vannstand for en gitt vannføring kalles vannlinjeberegninger. Samme metodikk kan benyttes for å vurdere virkningene av nye tiltak i eller langs elveleiet som det gjøres her, eller andre fysiske endringer i terreng, elveleie eller i eksisterende hydrauliske strukturer som broer eller leveer (elvevoller).

Vannlinjeberegninger kan utføres ved hjelp av ulike hydrauliske datamodeller. De vanligste beregningene er endimensjonale, og brukes der vannet følger et godt definert løp i en retning. Hvis vannet strømmer i flere retninger, for eksempel ut over flomsletter, tilbake fra flomsletter eller kutter over meandersvinger, kan man også benytte to- eller tredimensjonale strømningsmodeller. Disse er ofte tyngre i bruk og krever større mengde med terreng- og hydrauliske parametere.

Frem til relativt nylig har slike modellverktøy vært i mindre bruk grunnet manglende tilgang på gode nok terrengdata og gode nok koblinger og håndtering av hydrauliske strukturer i vassdraget. Men med fremvekst av tilgang på laserdata og andre gode terrengdata over større områder samt bedre håndtering av hydrauliske strukturer er disse modellverktøyene blitt bedre i bruk.

Beregningen av vannstander ved ønskede vannføringer i området er utført ved hjelp av den hydrauliske modellen HEC-RAS 6.1 (US Army Corps of Engineers).

Programmet er en én- og todimensjonal modell for beregning av stasjonære og ikke stasjonære strømninger og er et av de mest anvendte modellene innen hydrauliske beregninger i naturlig og kanaliserte elver. Programmet beregner gjennomsnittlig vannstand og hastighet i profilene. Det er benyttet to-dimensjonal beregning i dette arbeidet.

For mer opplysninger om programmet, se <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>

Grunnlagsbehov og forutsetninger for vannlinjeberegningene er gitt nedenfor:

- Vannføringer
- Modellert område
- Elvas geometri
- Elvas ruhet / strømningsmotstand
- Grensebetingelser

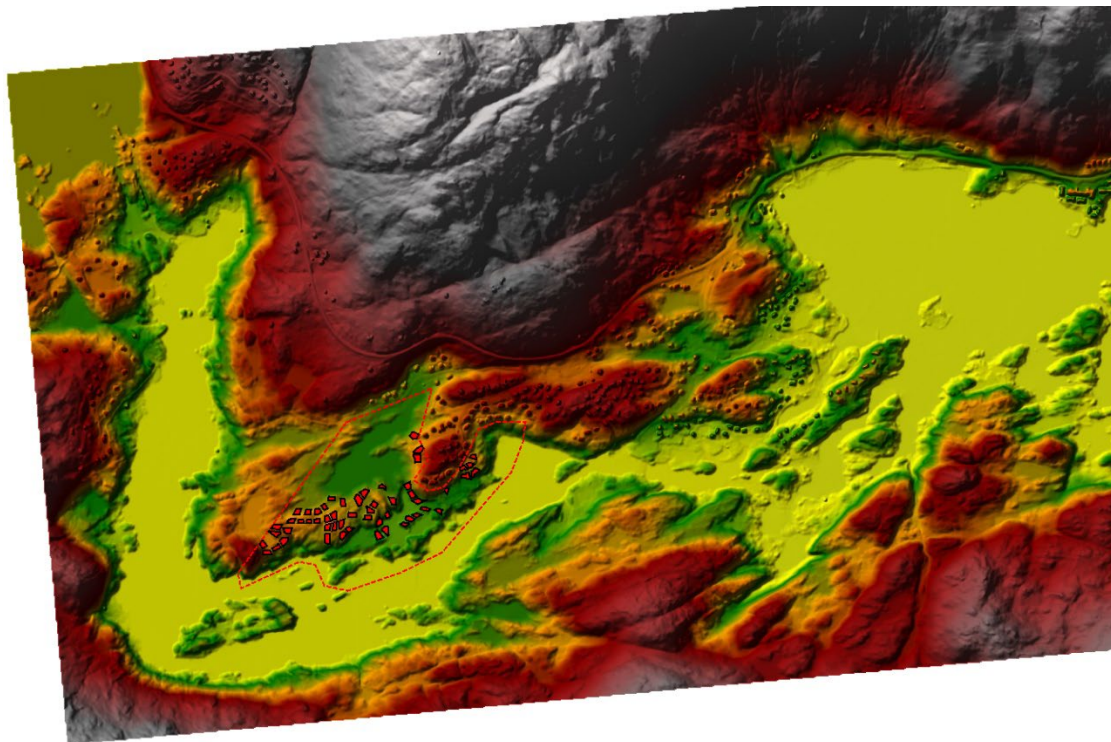
Modellert strekning av Kjelaåi går fra Eivindbuvatn og ned til Vågslidvatnet.

En beskrivelse av elva og terrengets form er lagt inn i beregningsmodellen. Laserdata er benyttet for området i tillegg til vurderte dybder i elven. Disse dataene gir samlet en meget nøyaktig beskrivelse av terrenget og en god modell av elveleiet. Det modellerte området er vist i Figur 10.

For dette området er kartgrunnlaget forholdsvis nytt. Laserdata NDH Haukeli 2017 5 pkt (Terratec, 2017). Dette er laserdata oppmålt i 2017 med en punktetthet på 5 pkt/m<sup>2</sup>. Høydemodell for dataene er NN2000.

Fra oppdragsrapporten (Terratec, 2017) er det oppgitt en kontroll av høydennyaktighet mellom laserdataene og kontrollpunkter med en høydefeil på om lag  $\pm 7$  cm.

Basert på denne informasjonen samt FKB data på bygninger er en digital terrengmodell med meget fin oppløsning (2 x 2 meter) utviklet.



Figur 10 Modellert område Storrlineset, med plangrense (stiplet linje) og byggegrenser for fritidsboliger (røde flater).

I beregningsmodellen er elvens og terrengets ruhet (strømningsmotstand) uttrykt ved Mannings koeffisient,  $n$ . Mannings  $n$  for elveleie og elvebunn er satt basert på empiriske verdier som referert i (Chow, 1959). På de oversvømte arealene av elvebredden over normalt flomnivå, er Mannings-tallet generelt satt til  $n = 0.050$ . Det er forholdsvis lite vegetasjon i og langs elva og det er derfor benyttet verdier i midtre del av normalområdet.

Resultatene fra flomberegningene er brukt som input i den hydrauliske modellen. Det er kjørt «Full momentum» 2D modellberegninger med vannføringer tilsvarende Q200 inkludert klimapåslag i nedbørfeltet. Vannføringer og forløp er vist i Figur 9.

Det er ikke utført vannføringsmålinger med tilhørende vannstandregistreringer som kan benyttes for å sette øvre og nedre grensebetingelse. Øverst og nederst på strekningen er derfor den naturlige helningen på elveleiet benyttet som grensebetingelse.

Tidligere i kapittelet nevnes beregnet flommer, elvas geometri og elvas ruhet som forutsetning og grunnlag for en vannlinjeberegning. Nøyaktigheten på denne informasjonen varierer, og skal vurderes når sikkerhetsmarginer fastsettes.

Terrengmodellen som ligger til grunn, har meget gode laserdata. Terrangmodellen utenfor elveleiet anses som meget god. For elveleiet anses modellen også som god, men kan muligens forbedres ytterligere ved innmålinger av enkelte tverrprofil direkte i elven.

Modellens andre grensebetingelser er de forskjellige benyttede flomvannføringer og elvas helning øverst og nederst. Det er ikke foretatt direkte målinger av flomvannstand og flomvannføring i elven og modellen er derfor ikke kalibrert mot sammenhengende vannstander og vannføringer. Det kan ved en senere anledning gjøres innmålinger av sammenhengende vannføring og vannstand for å kunne forbedre modellresultatene.

Fra NVEs interne veileder for vannlinjeberegninger er det anbefalt en sikkerhetsmargin mellom 0.1 – 0.6 meter basert på usikkerheter i deler av underlagsmaterialet. For beregnede vannstander i Kjelaåi anbefales det å legge til en sikkerhetsmargin på 20 cm basert på usikkerheten i inngangsparametrene.

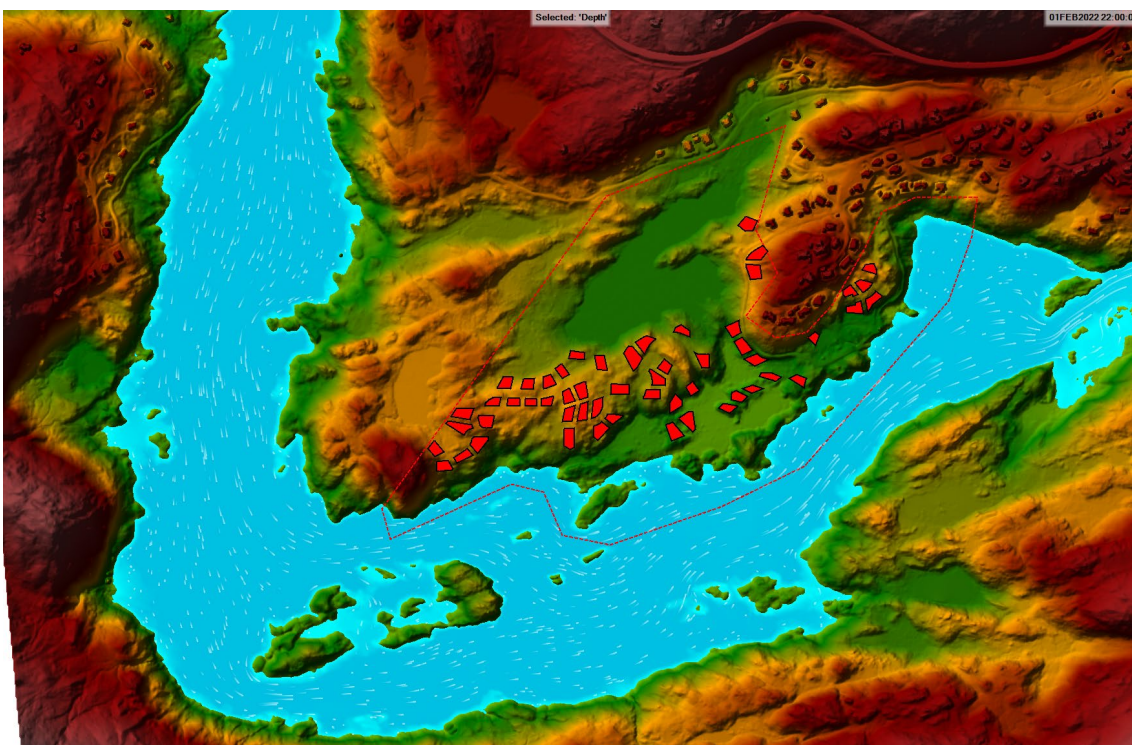
## 18. Resultater

Vannlinjeberegningen er utført for flomstørrelse Q200 inkludert klimapåslag som beskrevet ovenfor.

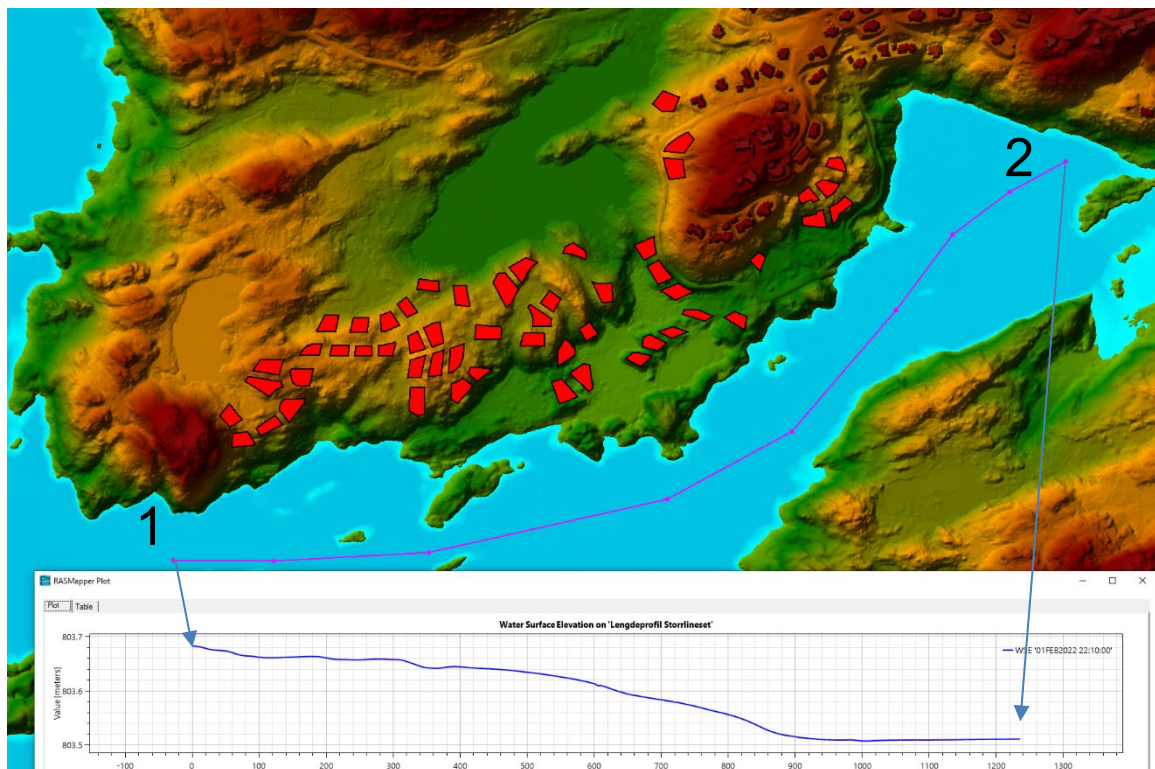
Beregnet vannstand langs Storrlineset under en Q200 flom med klimapåslag vil være fra kote 803,76 øverst i planområdet til kote 803,57 nederst (NN2000). Beregnet vannstand og vannutbredelse nedover elven, forbi Storrlineset og ned mot Vågslidvatn er vist i Figur 11 og Figur 12.

Når det gjelder strømningsmønsteret viser modelleringen at det er moderate vannhastigheter langs planområdet.

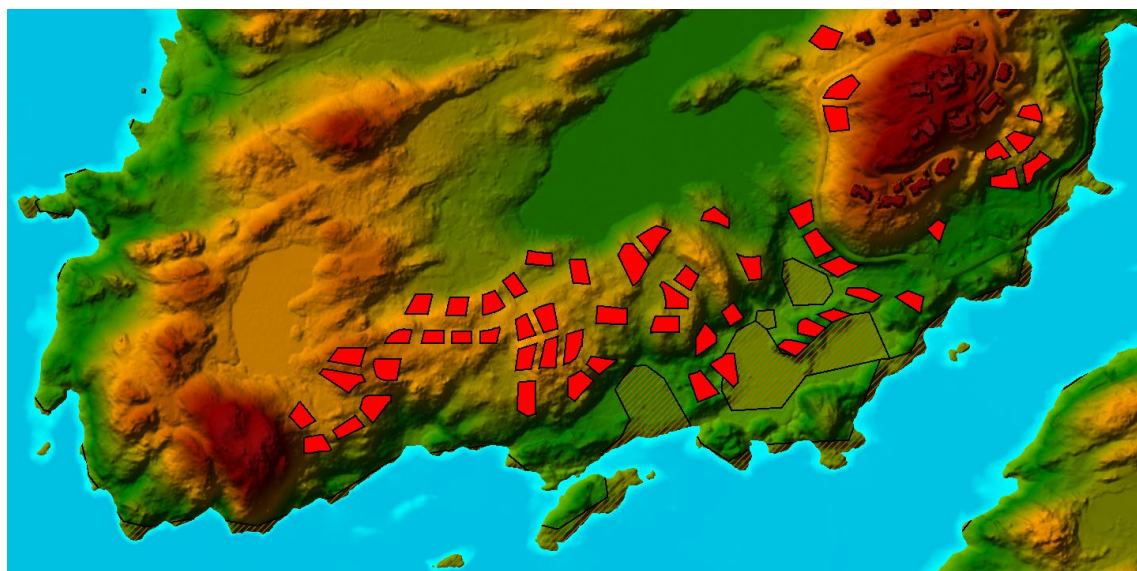
Ingen planlagte byggesoner blir berørt av beregnet flomsone. Figur 13 viser også at ny beregnet flomsone har noe mindre utstrekning enn NVEs flomaktsomhetszone som antydte at enkelte byggesoner ville bli berørt.



Figur 11 Q200klima - Dagens forhold – Vannhastighet og strømningsmønster.



Figur 12 Lengdeprofil av vannstand ved en 200-års flom inkludert klimapåslag. Plassering av profilet er vist i kartet over. Maksimal vannstand er synkende fra kote 803,68 (punkt 1) til 803,51 (Punkt 2) (NN2000).



Figur 13 Ny beregnet flomsone sammenlignet med NVEs flomaktsonhetskart (røde striper).

## 19. Referanser

- Chow, V. (1959). *Open-channel hydraulics*.
- Fergus, T. e. (2010). *Vassdragshåndboka. Håndbok i vassdragsteknikk*.
- Lindholm, O. e. (2008). *Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering*. Norsk Vann Rapport 162/2008.
- Norconsult. (2021). *Flomberegninger for Kjølavatn*.
- Norconsult. (2021). *Kjølavatn – Flommer med lavere gjentaksintervall*.
- NVE. (2011). *Preliminary flood risk assessment in Norway: an example of a methodology based on a GIS approach. Report 07/2011*.
- NVE. (2011). *Retningslinjer for flomberegning*. Retningslinjer 04/2011.
- NVE. (2015). *Nasjonalt formelverk for flomberegning i små nedbørfelt. Revisjon av rapport 62-2014*. Rapport 13/2015.
- NVE. (2020). *Lokal og regional flomfrekvensanalyse*. Rapport 10/2020.
- NVE. (2022). *Veileder for flomberegning. 1/2022*.
- NVE. (81/2016). *Klimaendring og framtidige flommer i Norge*.
- Statens vegvesen. (2018). *Vegbygging*. Håndbok N200.
- Statens vegvesen. (2020). *Vannhåndtering. Flomberegninger og hydraulisk dimensjonering*. Håndbok V240.
- Terratec. (2017). *LASERSKANNING FOR NASJONAL DETALJERT HØYDEMODELL. NDH Haukeli 5pkt 2017*.