

FLOMFAREVURDERING

LURHAUGEN OG SKYSSTASJON, LILLEHAMMER

Oppdragsnavn **Lurhaugen og Skysstasjon, detaljreguleringsplan**
Prosjekt nr. **1350058166**
Mottaker **Bane NOR Eiendom, DRMA**
Dokument type **Fagnotat**
Versjon **0.1**
Dato **25/01/2024**
Utført av **NGC**
Kontrollert av **PLUB**
Godkjent av **SDGDRM**

Innholdsfortegnelse

1.	Bakgrunn	2
1.1	Prosjektområdene	3
1.2	Formål	4
2.	Myndighetskrav	5
2.1	Myndighetskrav	5
2.1.1	Plan- og bygningsloven	5
2.1.2	Byggteknisk forskrift TEK 17	5
2.1.3	Klimapåslag	6
3.	Metode og data	7
3.1	Topografiske data	7
3.2	Hydrologiske data	7
3.3	Nedbørfelt og feltparameter	7
3.4	Flomberegninger	7
4.	Hydrauliske beregninger	8
4.1	Terrengmodell og beregningsnett	8
4.2	Grensebetingelser	9
4.3	Mannings ruhetsverdier	9
4.4	Bruer	9
5.	Resultater	10
5.1	Dimensjonerende flomverdier	10
5.2	Flomsonekart	10
5.3	Vannlinjer og vannhastigheter	11
5.4	Erosjonssikring	12
5.5	Sensitivitetsanalyse og sikkerhetspåslag	12
5.6	Konklusjon og anbefaling	13
6.	Referanser	14
7.	Vedlegg	15

Sammendrag

Bane Nor Eiendom AS og Lillehammer kommunale eiendomsselskap AS har satt i gang planarbeidet med detaljregulering av Lurhaugen og Skysstasjonen i Lillehammer kommune. Planområdene ligger innenfor NVEs aktsomhetskart for flom. Aktsomhetskartet gir en indikasjon på hvilke arealer som kan være utsatt for flomfare, og dermed hvor flomfaren bør vurderes nærmere. For planområdene er det Mesnaelva som kan utgjøre en flomfare. I forbindelse med detaljreguleringsarbeidene, er Rambøll engasjert til å utføre kartlegging og flomfarerutredning av planområdene.

Hovedmålet med denne utredningen har vært å vurdere om planområdet blir berørt av Mesnaelva, med hensyn til dimensjonerende flomhendelse (200-årsflom + klimapåslag). Det skal sikres at områdene er flomsikkert og i henhold til gjeldende myndighetskrav, herunder TEK17, §7-2. *Sikkerhet mot flom og stormflo.*

Flomfarevurderingen tar kun for seg eksisterende situasjon ved klimajustert 200-års gjentaksintervall. Det er lagt til grunn et klimapåslag på **30%**.

Det er utført flomberegninger med flere metoder for å estimere dimensjonerende flomverdi for en 200-årsflom med klimapåslag. Dimensjonerende flomverdi er funnet å være **181,3 m³/s**.

Hydrauliske beregninger av Mesnaelva er gjort med HEC-RAS sin 2D versjon. Dimensjonerende flomverdi er brukt som øvre grensebetingelse og vannstand i Mjøsa er brukt som nedre grensebetingelse. Høydedata danner grunnlaget for terrengmodellen og FKB-data definerer ulike ruhetsverdier benyttet i modellen.

Generelt viser flomutbredelsen at planområdet i liten grad blir påvirket av en 200-års flom fra Mesnaelva. Beregningene viser at flomvannet ved en 200-årsflom inkl. klima, vil holde seg innenfor sitt elveløp, og ikke overstige elvebredden. Det er kun ved lavpunktene nedstrøms planområdet at flommen vil kunne bre seg utover bredden.

Elva er bratt i planområdet og det vil derfor genereres høye vannhastigheter i elva. Dersom det skal utføres tiltak i elva, bør erosjonssikring vurderes nærmere i detaljprosjekteringen.

Ved praktisk bruk av de beregnede flomvannstandene skal det legges på et sikkerhetspåslag. Basert på sensitivitetsanalyse anbefales et sikkerhetspåslag på **30 cm** på de beregnede vannstandsverdiene.

1. Bakgrunn

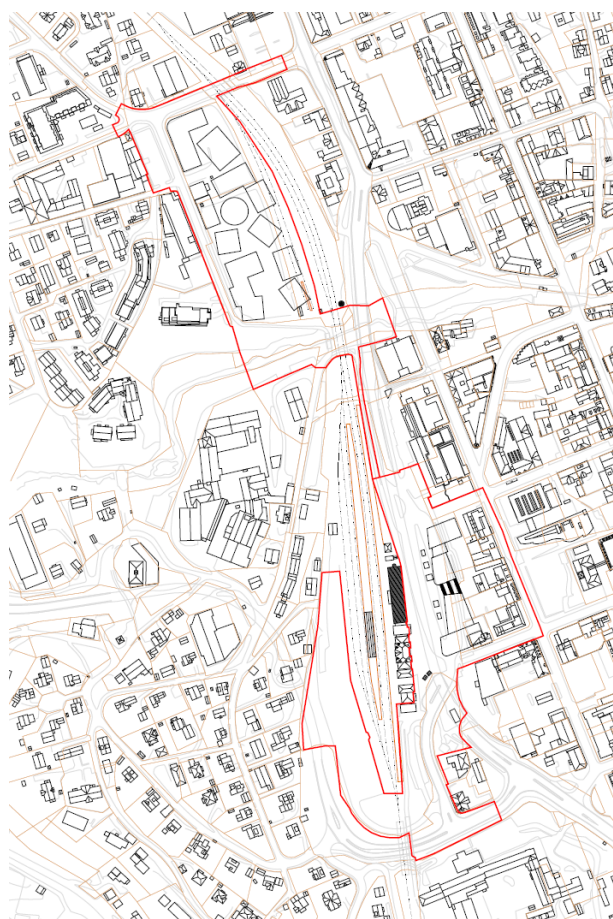
Detaljreguleringene av Lurhaugen og Skysstasjonen skal bidra til å oppnå byplanens mål om en urban, attraktiv og bærekraftig by for bolig- og arbeidsplassutvikling.

Mål for planarbeidene er:

- Et sammenhengende byromsnettverk med blågrønne strukturer, byrom og forbindelser som bidrar til å styrke kollektivknutepunktet og koblingene til sentrum, Mesna, Lurhaugen og tilleggende områder.
- Et byområde med omgivelseskvaliteter som bidrar til å styrke områdets by- og nærmiljøkvaliteter og attraktivitet som sentrum.

Detaljreguleringsplanen skal:

- Gi rammer for helhetlig sammenheng og grep for bebyggelsesstruktur, formål (arealbruk), tetthet og høyder
- Sikre gode omgivelses- og bykvaliteter
- Sikre et helhetlig grep for mobilitet, byromsstruktur, blågrønn struktur og teknisk og sosial infrastruktur
- Definere de viktigste offentlige og allment tilgjengelige rommene og møteplassene og variasjon i deres rolle og funksjon
- Sikre god klimatilpasning og håndtering av klimasårbarhet



Figur 1 Planavgrensning for detaljreguleringsplan for Skysstasjonen.

I forbindelse med detaljregulering av planområdene Skysstasjon og Lurhaugen i Lillehammer er det utarbeidet en flomfareutredning av Mesnaelva som renner mellom planområdene. Formålet med flomutredningen er at den skal danne et grunnlag som tilrettelegger for flomsikker og klimatilpasset utvikling av planområdet. Flomutredningen tar kun for seg eksisterende situasjon.

1.1 Prosjektområdene

Prosjektområdene befinner seg i Lillehammer sentrum og har et areal på ca. 6,2 ha. Mesnaelva renner gjennom planområdene og elva krysses av fem bruer innenfor planområdet. Området er vist i Figur 1-2.



Figur 1-2 Planområdene Skysstasjon og Lurhaugen er markert i gult og aktsomhetskart for flom er markert i lilla. Hentet fra SCALGO Live Analyseverktøy.

Planområdet befinner seg innenfor aktsomhetssonen i NVEs aktsomhetskart for flom. Aktsomhetskartet gir en indikasjon på hvilke områder som kan være utsatt for flomfare og må vurderes nærmere.

Mesnaelva har et stort oppstrøms nedslagsfelt med et areal på 250 km² og utløp til innsjøen, Mjøsa. Elva innenfor planområdet har stor helning og en bratt skråning i nord.

1.2 Formål

Formålet med flomfarevurderingen har vært å utarbeide et flomsonekart av Mesnaelva og beregne vannstander i planområdet for en klimajustert, dimensjonerende flomhendelse (200-årsflom med klimafaktor). I planområdene planlegges det for høyskole og boliger. Flomvurderingen har som hensikt å sikre at fremtidig utbygging i begge planområder er flomsikker i henhold til gjeldende myndighetskrav, herunder TEK 17 §7-2. *Sikkerhet mot flom og stormflo*, hvor det står at byggverk beregnet for personopphold skal plasseres, dimensjoneres eller sikres mot flom slik at største nominelle årlige sannsynlighet på 1/200 ikke overskrider (Direktoratet for byggkvalitet, 2017).

2. Myndighetskrav

2.1 Myndighetskrav

De viktigste myndighetskrav og veiledninger knyttet til byggesaks-/planbehandling ved/nært vassdrag er:

- Vannressursloven
- Plan og bygningsloven med byggteknisk forskrift (TEK 17)
- NVE (Norges vassdrags- og energidirektorat) sine retningslinjer og veiledere

Vannressursloven sier blant annet at enhver skal opptre aktsomt for å unngå skade eller ulempe i vassdraget for allmenne eller private interesser. Vassdragstiltak skal planlegges og gjennomføres slik at de er til minst mulig skade og ulempe for allmenne og private interesser.

2.1.1 Plan- og bygningsloven

Utgangspunktet for kravene til sikkerhet mot naturpåkjenninger er i hovedsak plan- og bygningsloven (pbl.) § 28-1. Bestemmelsen gir hjemmel for kravene til sikkerhet gitt i byggteknisk forskrift (TEK 17), samtidig som bestemmelsen også gir kommunen hjemmel for å fatte ulike vedtak i byggesak. Kravene til sikkerhet i TEK17 er gitt med hjemmel i pbl. § 28-1 og 29-5.

2.1.2 Byggteknisk forskrift TEK 17

TEK17 § 7-2 *Sikkerhet mot flom og stormflo* angir ulike sikkerhetsklasser for byggverk i flomutsatt område. Disse gjengis nedenfor i Tabell 2-1 med tilhørende dimensjonerende flomhendelse.

Tabell 2-1. Sikkerhetsklasser for byggverk i flomutsatt område.

<i>Sikkerhetsklasse for flom</i>	<i>Konsekvens</i>	<i>Største nominelle årlige sannsynlighet</i>
F1	liten	1/20
F2	middels	1/200
F3	stor	1/1000

I henhold til TEK 17 omfatter sikkerhetsklasse F1 byggverk med lite personopphold som garasjer, lagerbygg o.l., hvor flom har liten konsekvens og største nominelle årlige sannsynlighet for flom er 1/20, hvilket tilsvarer 20-årsflom. Sikkerhetsklasse F2 omfatter de fleste byggverk beregnet for personopphold som inkluderer boliger, hvor flom har middels konsekvens og største nominelle årlige sannsynlighet for flom er 1/200, hvilket tilsvarer 200-årsflom.

Utbygging av planområdet faller innenfor sikkerhetsklasse F2. Boligutbygging kan havne i både sikkerhetsklasse F1 og F2 (lagerbygg/garasje og byggverk med personopphold). Fremtidige byggverk skal dermed sikres i forhold til 200-årsflom, Q_{200} . Kravene i TEK 17 kan oppnås ved enten å plassere byggverket utenfor flomutsatt område, ved å sikre det mot oversvømmelse eller ved avbøtende sikringstiltak som hindrer skader.

2.1.3 Klimapåslag

Forandringer i klima fører til hyppigere og mer intens nedbør som må tas høyde for i flomutredninger. Norsk klimaservicesenter (KSS) har utviklet et beslutningsgrunnlag for klimatilpasning i Norge ved bruk av klimapåslag. Tabell 2-2 viser anbefalinger for bruk av klimapåslag fra rapporten *Klimapåslag for korttidsnedbør*, utarbeidet av Norsk klimaservicesenter. Anbefalingene er basert på forventet endring i dimensjonerende nedbør frem til slutten av århundret.

Tabell 2-2. Anbefalt klimapåslag for ulike varigheter og gjentakintervaller (Norsk Klimaservicesenter, 2019).

	Dimensjonerende gjentakintervall < 50 år	Dimensjonerende gjentakintervall ≥ 50 år
≤ 1 time	40 %	50 %
>1 – 3 timer	40 %	40 %
>3 – 24 timer	30 %	30 %

Basert på ovenstående myndighetskrav for nedbør velges det å sette dimensjonerende flom: **$Q_{DIM} = Q_{200} + 30\%$ klimapåslag.**

Klimapåslag følger anbefalinger for varighet > 3 – 24 timer. Valgt varighet er satt lik konsentrasjonstid for nedslagsfelt, som er beregnet til å være mellom 3,5 – 6,7 timer.

3. Metode og data

3.1 Topografiske data

Høydemodellen er hentet fra [hoydedata.no](https://www.hoydedata.no). Den er utviklet med 5 pkt. laserdata av Lillehammer fra 2019. All data er oppgitt i koordinatsystem UTM-sone 32N med høydereferanse NN2000. Høydedataen er brukt som grunnlag til å lage terrengmodellen og beregningsnett til 2D-modellering av flom.

Her inngår det at fem bruer krysser Mesnaelva innenfor analyseområdet, blant dem tre vegbruer, en jernbanebru og en gangbru. Disse er ikke inkludert i hydraulisk modell med den begrunnelse at de ligger høyt nok over vannstanden til at de ikke påvirker flomutbredelsen. Bruene ble observert ved befaring og bilder er vist i vedlegg 5.

3.2 Hydrologiske data

IVF-kurver (Intensitet-Varighet-Frekvens) for Lillehammer er hentet fra Lillehammer kommune sine egne nettsider ([Nye IVF-kurver for Lillehammer](#)) og benyttet til flomberegninger. Disse er konstruert ut fra nyere måledata fra Lillehammer, Gjøvik og Hamar. Tabellverdier er lagt til i vedlegg 1.

3.3 Nedbørfelt og feltparameter

Nedslagsfelt og tilhørende feltparametere er hentet fra NVE sitt program Nevina. Det er kontrollert mot nedslagsfeltet beregnet av SCALGO Live og viser godt samsvar. Nedbørfeltet dekker et areal på ca. 250 km² og består hovedsakelig av skog (ca. 54 %), myr (ca. 21 %), innsjø (ca. 10 %), snaufjell (ca. 4 %) og dyrket mark (ca. 1 %). Arealstørrelsen og gjentaksintervall tas i betraktning ved vurdering av ulike metoder for flomberegninger, som beskrives nærmere i neste punkt.

3.4 Flomberegninger

Det er gjort flomberegninger iht. metoder som beskrevet og anbefalt i NVE 1/2022 *Veileder for flomberegninger* (NVE, 2022).

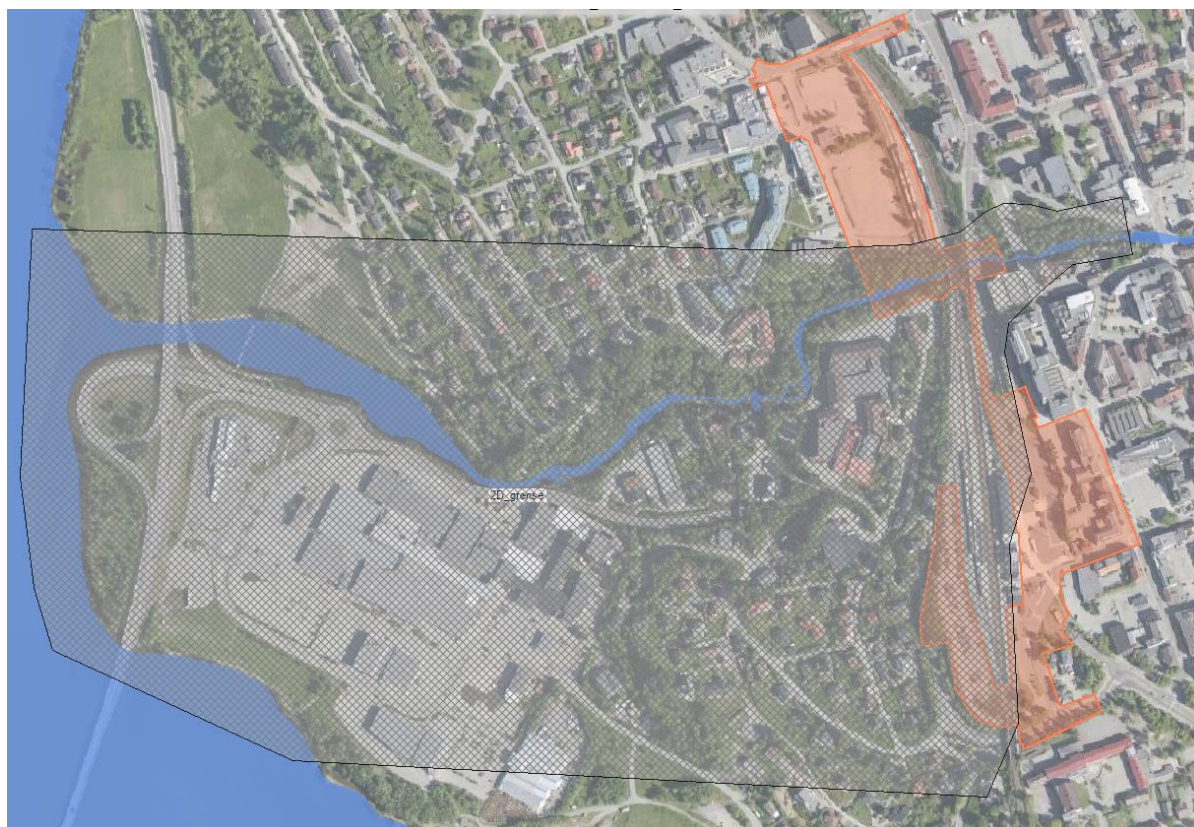
Flomverdier beregnet med RFFA-2018 formelverk er hentet fra Nevina. Nedbør-avløpsmodellen PQRUT har blitt benyttet og sjekket opp mot verdier fra RFFA-2018 metoden. Da det ikke foreligger tilgjengelige observasjoner for nedslagsfeltet, er det sett på observerte data for representative nabostasjoner som referanse. Følgende nabostasjoner ble vurdert som representative: Vinde-Elv, Vismunda og Li Bru. Det er også sett på tidligere utførte flomberegninger for Dam Kroken som ligger i Mesnaelva.

Det er gjort en samlet faglig vurdering av resultatene fra de ulike metodene for å velge et estimat på flomverdier for det aktuelle nedslagsfeltet. Det vises til vedlegg 3 for detaljer fra flomberegninger.

Det er ikke fare for stormflo ettersom området ligger langt unna havet. Elva munner ut i innsjøen Mjøsa og flomvannstander her har blitt vurdert i forbindelse med hydrauliske beregninger. Normalvannstanden i Mjøsa er 123.1 moh. og 200-års flomvannstand er beregnet til å være 127.0 moh. i NVE rapport 4/2022 Flomberegning Mjøsa (Holmqvist & Hamadudu, 2022).

4. Hydrauliske beregninger

Det er utviklet en hydraulisk 2D-modell av Mesnaelva i programvaren HEC-RAS 6.4.1, som benyttes til å simulere flomhendelser for å estimere vannstander og hastigheter i det aktuelle området. Modellen strekker seg over en lengde på ca. 1150 meter langs Mesnaelva, fra planområdets grenser oppstrøms og til utløpet i Mjøsa. Figur 4-1 viser oversikt over analyseområdet. Inngangsdata til flomberegninger inkluderer en terrengmodell, ruhetsverdier og grensebetingelser. Disse omtales i følgende punkter.



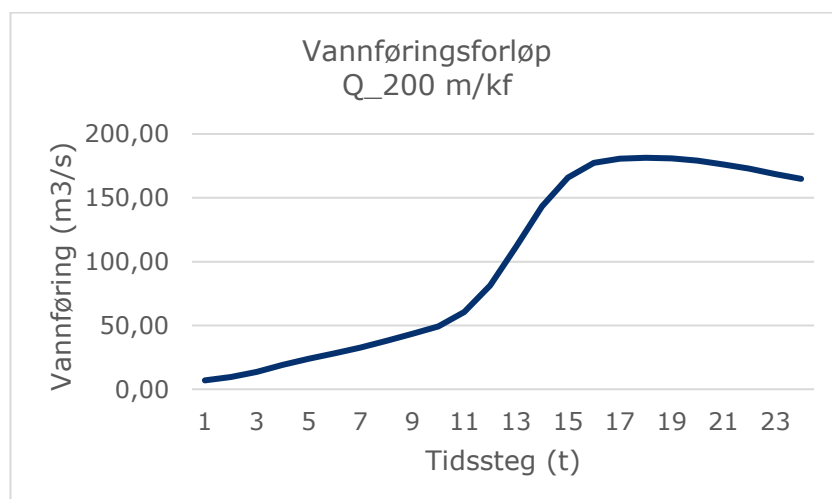
Figur 4-1 Analyseområdet til hydraulisk modell: Planområdet er markert i lys oransje og rutenettet angir analyseområdet. Vannområdene Mesnaelva og Mjøsa er markert i blått.

4.1 Terrengmodell og beregningsnett

Terrengmodellen er laget på grunnlag av høydedata som beskrevet ovenfor og ligger mellom 180 og 160 moh. Terrengmodellen er basert på laserscanninger utført 15.06.2019. Historiske data fra yr.no viser at det var skyfritt denne dagen og det var ingen nedbør etter 13.06.2019. Det antas dermed at vannføringen i elva var lav på det tidspunktet scanningen ble utført. Beregningsnettet er definert med en oppløsning på 2x2 meter og modifisert ved hjelp av bruddlinjer langs elvekanten og elvas senterlinje, for en mer detaljert fremstilling av terrenget i elva. Terrengmodellen grenser oppstrøms ved Storgata og nedstrøms ved utløpet til Mjøsa. Grensene er utvidet nedstrøms, særlig i sør, for å dekke flomutbredelsen langs hele planområdet.

4.2 Grensebetingelser

- Som oppstrøms grensebetingelse for 2D-modellen er det lagt inn et konstruert vannføringsforløp som vist nedenfor, basert på gjennomførte flomberegninger av dimensjonerende klimajustert 200-årshendelse for Mesnaelva. Flomverdier presenteres i 5.1.



- Nedstrøms grensebetingelser er normalvannstand for Mjøsa: 123,1 moh. og 200-års vannstand for Mjøsa: 127.0 moh.

4.3 Mannings ruhetsverdier

Falltap beskriver energitapet som oppstår når vann renner nedover. For å beregne falltap benyttes ruhetsverdier uttrykt ved Mannings-koeffisienten 'n' og inngår som en modellparameter i Hec-Ras.

For 2D-modellen er Mannings ruhetskoeffisienter definert for ulike arealtyper, som skiller mellom elveløp, bygninger, samferdsel/veg og grøntareal. Arealtyper og arealfordeling er hentet fra FKB-data. Verdier for ruhetskoeffisienter er basert på brukermanualen til modellverktøyet HEC-RAS og gjengitt under i tabell 4. Verdiene er justert (økt) for bratt helning i elveløpet og for skråningen på nordsiden, langs elvekanten.

Tabell 4-1 Mannings ruhetskoeffisienter (n), hentet fra HEC-RAS manual.

Manning ruhetskoeffisienter (n)	
Elveløp	0,04
Samferdsel/Veg	0,1
Bygning	10
Bratt terreng	0,05
Gress/beplantet	0,04

4.4 Bruer

Elva krysses av totalt fem bruer innenfor det modellerte området. Ingen av bruene berøres av den simulerte flommen da vannstanden er lavere enn bruene. Bruene er derfor ikke tatt med i modellen.

5. Resultater

I det følgende presenteres resultatene fra de hydrauliske beregningene av vannhastighet og vannstand for de dimensjonerende flomverdier..

Det ble kjørt hydrauliske beregninger med både normalvannstand og 200-års flomvannstand i Mjøsa som nedre grensebetingelse, samt andre inngangsdata som beskrevet i kapittel 4. Simuleringer med de ulike vannstands nivåer som nedre grensebetingelse ga like resultater for flomutbredelse og vannlinjer i analyseområdet, som forklares med lang avstand til Mjøsa. Derfor skiller det ikke mellom de presenterte resultatene av de to nedre grensebetingelser.

5.1 Dimensjonerende flomverdier

Basert på en samlet vurdering av flomberegninger, så er dimensjonerende 200-års flom inklusive klimapåslag neregnet til å være **181,3 m³/s**. Detaljerte flomberegninger er vist i Vedlegg 3. Beregnede flomverdier for ulike gjentakintervall er oppsummert nedenfor i Tabell 5-1.

Tabell 5-1 Beregnede flomverdier for Mesnaelva ved ulike gjentakintervall, med klimafaktor (m/ kf).

Q _n	Q _M	Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₂₀₀	Q ₂₀₀ m/ kf
22,5	47,5	55,0	70,8	83,4	102,6	119,7	139,5	181,3

5.2 Flomsonekart

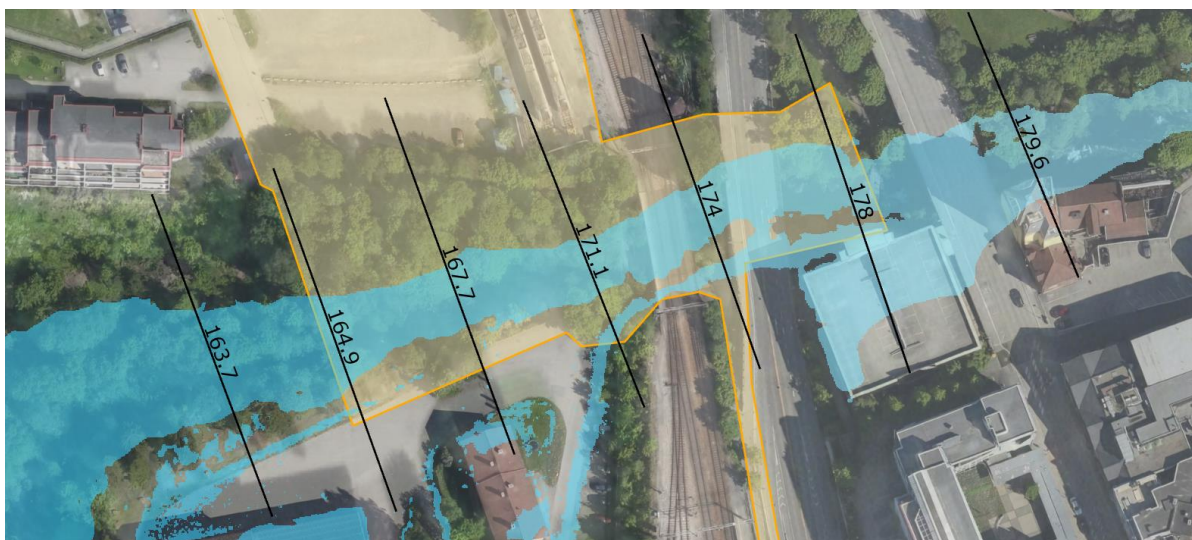
Nedenfor vises flomsonekart for Mesnaelva fra hydrauliske beregninger som viser hvilke områder som oversvømmes ved dimensjonerende flom.



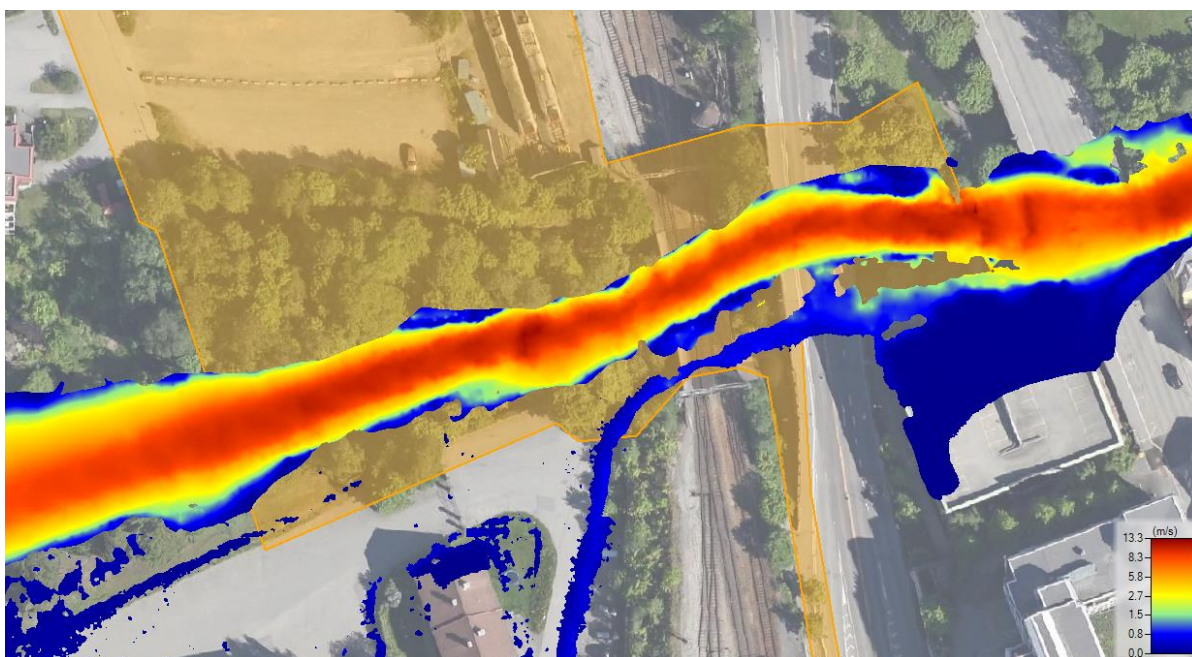
Figur 5-1 Flomutbredelse for klimajustert 200-årsflom er illustrert i blått.

5.3 Vannlinjer og vannhastigheter

De simulerte vannstander langs elven er presentert i Figur 5-2. Resultatene viser hvilke flomvannstander som forventes ved en klimajustert 200-årsflom, samt utbredelsen av flommen. I Figur 5-3 vises vannhastigheter i elveløpet under samme flomhendelse.



Figur 5-2 Vannstands nivåer i ulike elveprofiler ved klimajustert 200-års flom.



Figur 5-3 Vannhastigheter i elveløpet.

Resultatene viser at vannstanden i elva er forholdsvis lav. Derimot oppstår det høye hastigheter, opp mot 13 m/s i terskler, som forklares av at den aktuelle elvestrekningen er bratt. Høye hastigheter medfører en fare for erosjon og dette må hensyntas dersom det skal utføres tiltak som kan påvirke vannstanden i elva.

5.4 Erosjonssikring

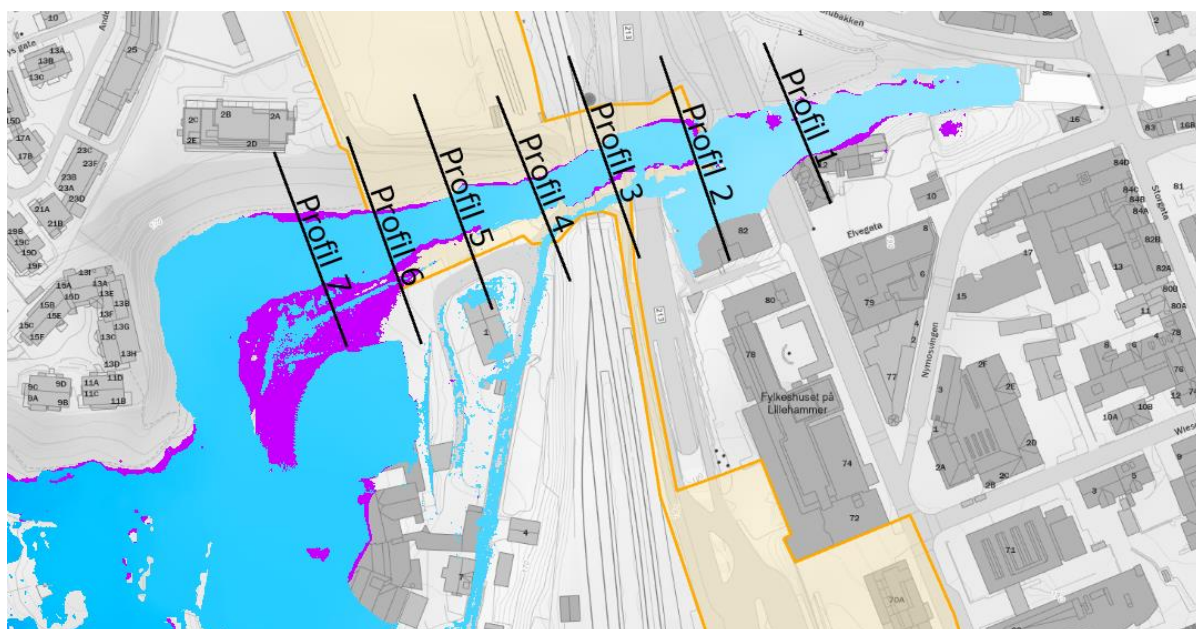
Erosjonssikring av bratte elver kan gjøres med rauset stein eller plastring som øker friksjonen og reduserer vannhastigheten (Jenssen & Tesaker, 2009). Steinstørrelsen bestemmes ved Robinsons formel, som vist i vedlegg 4. Beregninger med denne metoden resulterer i en dimensjonerende midlere steinstørrelse $D_{50} = 1,8$ m. Dette er utenfor formlenes størrelse og gir ikke håndterbare størrelser. Dermed anbefales det å anlegge energidreperbasseng for å få ned hastigheten og dermed steinstørrelsen.

Det presiseres at oppgitt dimensjonering av steinstørrelse gitt under er veiledende. Prosjektering og beregning av erosjonssikring må gjennomføres i en senere planfase, etter nye detaljerte beregninger på vannlinjer og -hastighet basert på valgt løsning.

5.5 Sensitivitetsanalyse og sikkerhetspåslag

Det er alltid usikkerheter knyttet til flomberegninger og hydrauliske simuleringer. Dette tas hensyn til ved å legge på en ekstra høyde på de beregnede vannstandene, såkalt sikkerhetspåslag. Sikkerhetspåslaget bestemmes ved å utføre en sensitivitetsanalyse for å vurdere hvor sensitive resultatene er for endringer i ulike parametere.

I forbindelse med denne flomfarevurderingen er det utført en sensitivitetsanalyse for å analysere usikkerheten knyttet til ruhet og vannføring. Basert på resultatene foreslås et anbefalt sikkerhetspåslag. Sensitivitetsanalysen ble gjennomført ved å kjøre to separate simuleringer, en med 30 % økning i Mannings ruhet og en med 30 % økning i vannføring. Vannstandsberegninger fra sensitivitetsanalysen er oppgitt for syv tverrprofiler i Tabell 5-2.



Figur 5-4 Resultater fra sensitivitetsanalyse viser flomutbredelsen i lilla, sammenlignet med flomutbredelse i blå, og plassering elveprofilene som vannstanden er beregnet for.

Tabell 5-2 Beregnede vannstander ved sensitivitetsanalyse. For dZ oppgis konservativ verdi.

Tverrprofil	Vannstand [m]			dZ	
	Q200 _{kr}	Q200 _{kr} + 30% økt ruhet	30 % økning Q200 _{kr}		
1	180,0	179,6	179,7	179,8	0,2
2	178,4	178,0	178,1	178,2	0,2
3		174,0	174,0	174,1	0,1
4		171,1	171,1	171,2	0,1
5		167,7	167,9	168,1	0,4
6		164,9	165,1	165,1	0,2
7		163,7	163,9	163,9	0,2

Følsomheten vurderes på grunnlag av den gjennomsnittlige endringen i beregnet vannstand i de ulike tverrprofilene. Resultatet fra sensitivitetsanalysen viser at vannstanden øker fra 0,0 til 0,4 m, med en gjennomsnittlig verdi på 0,2 m. Basert på dette vurderes et sikkerhetspåslag på 0,3 m.

5.6 Konklusjon og anbefaling

I detaljplanlegging og ved dele- og byggesaksbehandling, må det tas hensyn til at flomsonekartene har begrenset nøyaktighet og derfor legges det til en sikkerhetspåslag for bruk av flomsonekartene. Områder som etter befaring viser seg å være utsatt for flomfare, avsettes deretter som hensynsoner på plankartet jf. pbl. § 12-6. Ved bygging nær elveløpet bør det være et krav om å foreta en nærmere vurdering om behov for erosjonssikring og eventuelle tiltak.

Rambøll anbefaler at det ved praktisk bruk av flomsonekart skal legges til en sikkerhetspåslag og for dette prosjektet anbefales et påslag på **0,3 m**. Sikkerhetspåslaget kompenserer for usikkerheter i grunnlagsmateriale og beregninger. Vannlinjeberegning for det enkelte byggeprosjekt utføres nærmere i en detaljfase.

6. Referanser

- Andersen, J., Hjukse, T., Roald, L., & Sælthun, N. (1983). *Hydrologisk modell for flomberegninger. NVE Rapport 2.*
- Direktoratet for byggkvalitet. (2017). *Byggteknisk forskrift (TEK17).*
- Holmqvist, E., & Hamadudu, B. (2022). *Flomberegning for Mjøsa/Vorma (002.Z).* NVE.
- Jenssen, L., & Tesaker, E. (2009). *Veileder for dimensjonering av erosjonssikringer med stein.* NVE.
- Norsk Klimaservicesenter. (2019). *Klimapåslag for korttidsnedbør - Anbefalte verdier for Norge.*
- NVE. (2022). *Rapport Nr. 1 Veileder for flomberegninger.*

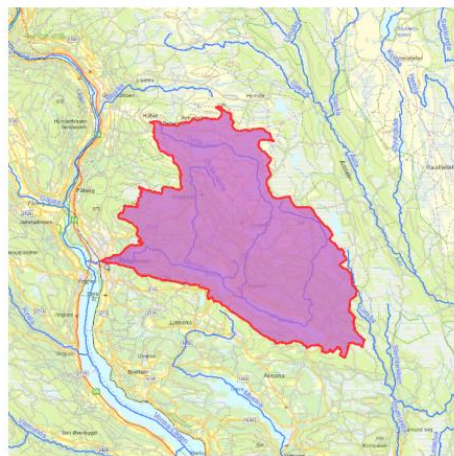
7. Vedlegg

Vedlegg 1 - Nedbørsdata

		Returverdi for nedbør (mm)															
		VARIGHET (MINUTTER)															
RETURPERIODE (ÅR)		1	2	3	5	10	15	20	30	45	60	90	120	180	360	720	1440
2		1,5	2,7	3,5	4,9	6,9	8,0	8,7	9,7	11,0	12,2	14,0	15,5	18,2	23,6	30,0	38,0
5		2,0	3,5	4,6	6,4	9,2	10,6	11,5	13,0	14,8	16,5	18,5	20,0	23,3	29,6	38,0	50,0
10		2,3	4,0	5,4	7,4	10,7	12,4	13,5	15,1	17,2	19,3	21,4	23,0	26,5	33,5	43,0	57,0
20		2,5	4,5	6,1	8,3	12,1	14,2	15,4	17,2	19,7	22,0	24,1	26,0	29,5	37,4	48,5	65,0
25		2,6	4,7	6,3	8,6	12,6	14,7	16,0	17,9	20,4	22,9	25,1	27,0	30,5	38,7	50,0	67,0
50		2,9	5,1	7,0	9,6	14,0	16,5	17,9	20,0	22,7	25,5	27,9	30,0	33,7	42,4	55,0	74,0
100		3,1	5,6	7,7	10,5	15,3	18,2	19,7	22,0	25,1	28,2	30,6	33,0	37,0	46,0	59,0	81,0
200		3,4	6,1	8,3	11,4	16,7	19,9	21,6	24,0	27,2	30,5	33,2	36,0	40,5	49,5	64,0	89,0

Figur 7-1 IVF- tabell for Lillehammer kommune.

Vedlegg 2 - Nedbørfeltparametere



Kartbakgrunn: Statens Kartverk
 Kartdatum: EUREF89 WGS84
 Prosjeksjon: UTM 33N
 Beregn.punkt: 255677 E
 6784344 N

Nedbørfeltgrenser og feltparametere er automatisk generert og kan inneholde feil. Resultatene må kvalitetssikres.

Nedbørfeltparametere

Vassdragsnr.: 002.DD5A2
 Kommune.: Lillehammer
 Fylke.: Innlandet
 Vassdrag.: Mesna

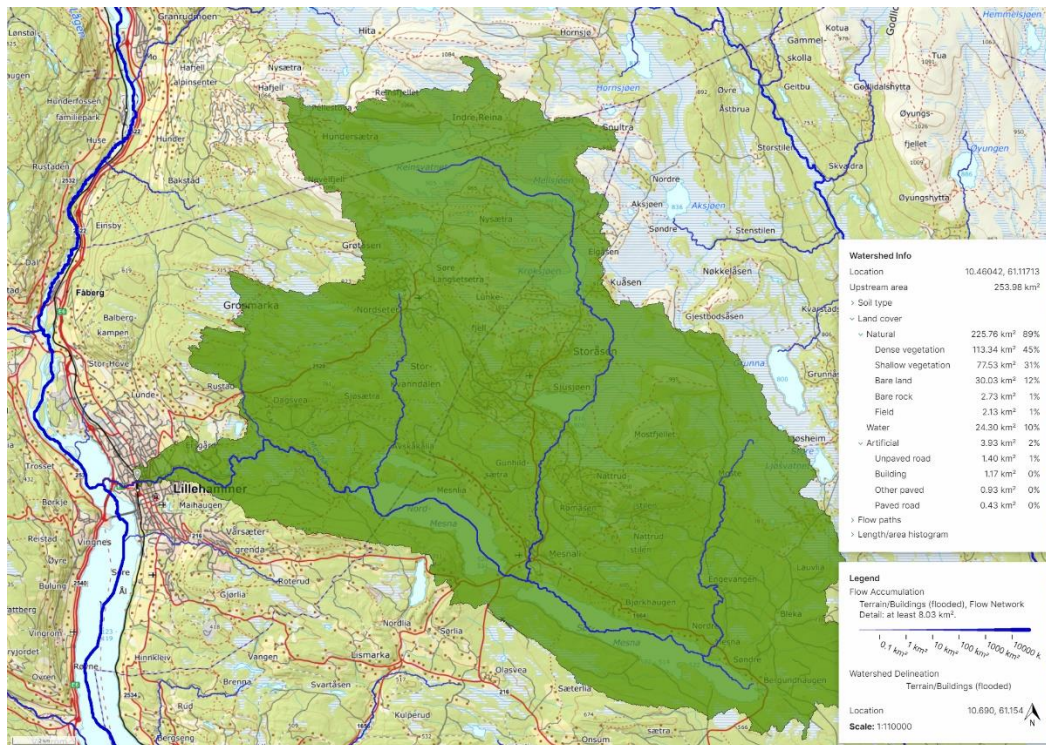
Feltparametere	
Areal (A)	250 km ²
Effektiv sjø (A _{SE})	3.64 %
Elveleengde (E _L)	41.1 km
Elvegradient (E _G)	16.6 m/km
Elvegradient ₁₀₈₅ (E _{G,1085})	10.9 m/km
Helling	4.7 °
Dreneringstetthet (D _T)	1.4 km ⁻¹
Feltleengde (F _L)	24.3 km

Arealklasse	
Bre (A _{BRE})	0 %
Dyket mark (A _{JORD})	0.9 %
Myr (A _{MYR})	21.4 %
Leire (A _{LEIRE})	0 %
Skog (A _{SKOG})	53.8 %
Sjø (A _{SJØ})	9.6 %
Snaufell (A _{SF})	3.7 %
Urban (A _U)	0.2 %
Uklassifisert areal (A _{BEST})	10.5 %

Hypsografisk kurve	
Høyde _{MIN}	188 m
Høyde ₁₀	521 m
Høyde ₂₀	560 m
Høyde ₃₀	620 m
Høyde ₄₀	681 m
Høyde ₅₀	731 m
Høyde ₆₀	807 m
Høyde ₇₀	869 m
Høyde ₈₀	905 m
Høyde ₉₀	935 m
Høyde _{MAX}	1087 m

Klima- /hydrologiske parametere	
Avrenning 1961-90 (Q _N)	22.5 l/s*km ²
Sommernedbør	443 mm
Vinternedbør	418 mm
Årstemperatur	-0.1 °C
Sommertemperatur	7.8 °C
Vintertemperatur	-5.8 °C

Figur 7-2 Nedbørfelt og tilhørende feltparametere hentet fra Nevina.



Figur 7-3 Nedbørfelt og tilhørende feltparametere hentet fra SCALGO.

Vedlegg 3 - Flomberegninger

Flomberegninger er beregnet med formelverket RFFA-2018 og nedbør-avløpsmodellen PQRUT. Beregninger er sammenlignet med observert data fra representative nabostasjoner og tidligere utførte flomberegninger for vannkraftverket ved Dam Kroken. Beregninger og resultater for de ulike metodene er gjennomgått i punktene nedenfor.

RFFA-2018 (Regional flomfrekvensanalyse 2018)

Flomverdier beregnet med formelverket RFFA-2018 er hentet fra Nevina og vises i Figur 7-4. Metoden anbefales ved store felt (> 60 km²). RFFA-2018 gir median flomverdi **Q₂₀₀ = 112 m³/s** og ligger innenfor konfidensintervall mellom 61,3 m³/s og 203 m³/s.

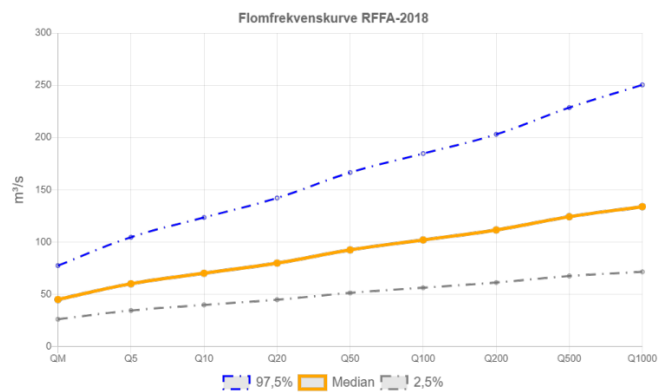
Regional flomberegning

Vassdragsnr.: 002.DD5A2
 Kommune.: Lillehammer
 Fylke.: Innlandet
 Vassdrag.: Mesna
 Nedbørfeltareal: 250 km²

Flomestimer er beregnet basert på «Regional flomfrekvensanalyse (RFFA-2018)». Om nedbørfeltet er mindre enn 60 km², er det alternativt beregnet kulminasjonsflommer basert på NIFS-formelverk (2015).

Anbefalinger om klimapåslag er gitt i NVE rapport nr. 81-2016 og klimaprofiler for fylker (se www.klimaservicesenter.no).

Hvordan bruke resultatene fra rapporten, se her.



RFFA-2018		
Tidsoppløsning	Døgn	-
Indeksflom (QM): Medianflom	180	l/s*km ²
Klimapåslag	0	%
Kulminasjonsfaktor	1.04	-
NIFS-2015		
Tidsoppløsning	Kulminasjon	-
Indeksflom (QM): Middelflom	-	l/s*km ²
Klimapåslag	-	%
Annet		
Tiløpsflom	Nei	-

RFFA-2018 (døgnmiddel)	Q _M	Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₂₀₀	Q ₅₀₀	Q ₁₀₀₀	Q _{200-klima}
Flomfrekvensfaktor (Q _T /Q _M)	1	1.33	1.56	1.77	2.05	2.26	2.48	2.76	2.97	-
Flomverdier, m ³ /s	45.1	60.1	70.2	79.9	92.5	102	112	124	134	112
Flom usikkerhet (97,5%), m ³ /s	77.5	105	124	142	167	185	203	229	250	-
Flom usikkerhet (2,5%), m ³ /s	26.2	34.6	39.9	44.9	51.4	56.4	61.3	67.5	71.6	-
NIFS (kulminasjon)	Ikke beregnet pga. areal større enn 60km ²									
Flomfrekvensfaktor (Q _T /Q _M)										
Flomverdier, m ³ /s										
Flom usikkerhet (97,5%), m ³ /s										
Flom usikkerhet (2,5%), m ³ /s										

Flomverdier er automatisk generert og kan inneholde feil. Resultatene må kvalitetssikres. Verdiene kan ikke benyttes direkte, men må sammenlignes med andre metoder, sammenligningsstasjoner og/eller egne data.

Figur 7-4 Flomverdier beregnet med RFFA-2018 for Mesna.

Nedbør-avløpsmodell PQRUT

Et flomhendelsesforløp er beregnet for 200-års gjentaksintervall med nedbør-avløpsmodellen PQRUT. Vannføringen beregnes av modellen for et gitt nedbørsforløp. Nedbørsforløp er konstruert med dimensjonerende nedbørverdier bestemt av konsentrasjonstid og gjentaksintervall. Nedbørverdier er hentet gjeldende IVF-kurve, som vist ovenfor i Figur 7-1.

Konsentrasjonstiden for feltet beregnes med egen formel til bruk for PQRUT-modellen:

$$T_c (s) = \frac{\text{Feltlengde (m)}}{\text{Vannhastighet } (\frac{m}{s})}$$

Der vannhastighet antas å være 1 – 2 m/s. Denne formelen gir en konsentrasjonstid mellom 3 og 6,7 timer for nedbørfeltet til Mesnaelva. Flomberegninger med PQRUT er gjort for en konsentrasjonstid på 3 og 6 timer, og begge gir ca. like store flomtopper.

PQRUT-modellen representerer nedbørfeltet ved hjelp av feltparametere og tre modellparametere:

K1: Tømmekonstant for øvre nivå [tid-1]

K2: Tømmekonstant for nedre nivå [tid-1]

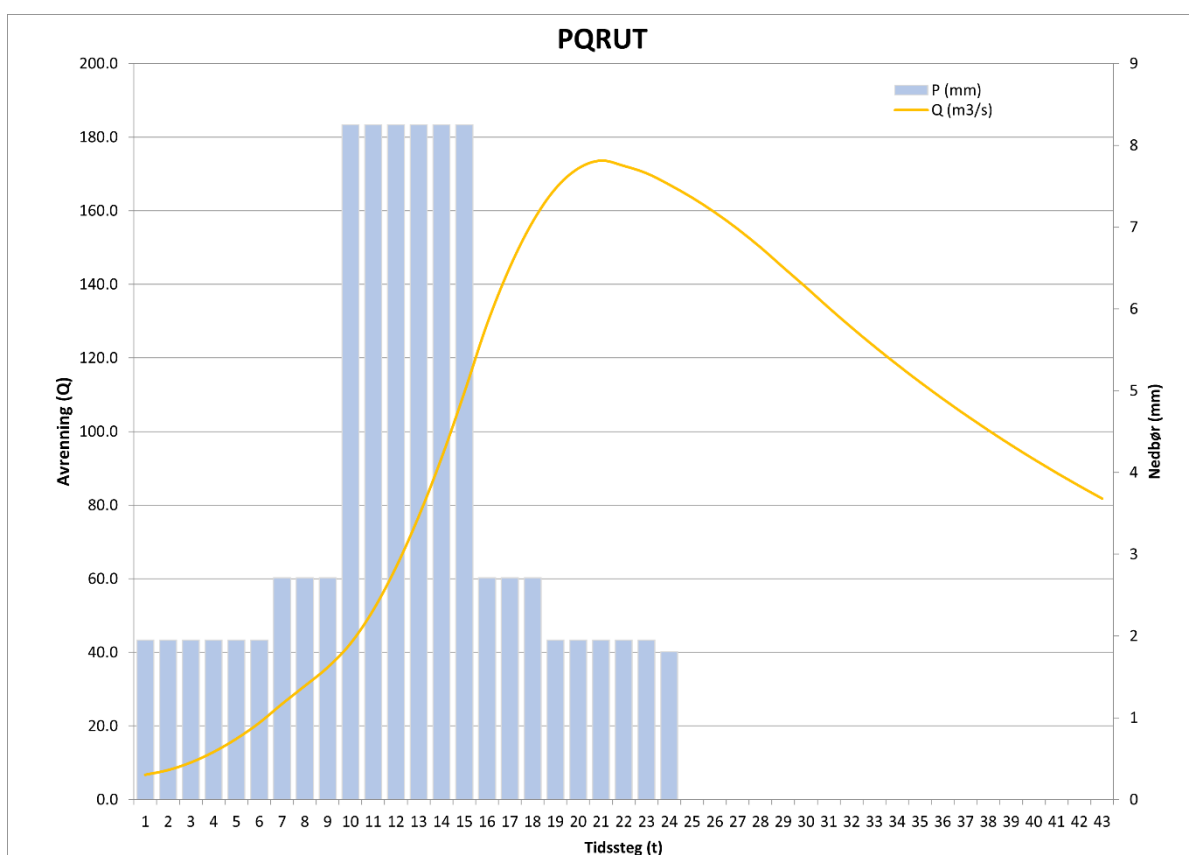
T: Terskelnivå, skille mellom øvre og nedre nivå [mm]

Modellparameter K1 er justert for høy andel myr (ca. 20 %) i nedbørfeltet. K1 er økt med 0,04. K2 er justert til å være $K2 = 0,5 * K1$ som følge av at K1 er liten (0,005 – 0,15). (Andersen, Hjukse, Roald, & Sælthun, 1983). Oversikt over felt- og modellparameter som er benyttet til flomsimulering med PQRUT er vist i Figur 7-5.

Feltparametre			
Areal (km ²)	A	Effektiv sjøprosent (%)	A _{SE}
249,53		3,640	
Hypsografisk kurve (m)	H ₇₅	Hypsografisk kurve (m)	H ₂₅
887		590	Høydeforsjell H ₇₅ - H ₂₅ = 297,00 m
Middelavrenning (l/s/km ²)	Q ₀	Feltlåsens lengde (km)	F _L
23		24,38	Relief forhold H ₅₀ / L _L = 12,18 m/km
Dreneringstetthet (km ⁻¹)	D _T	Årlig nedbør (mm/år)	P
1,43		861	Støprosent (%)
			A _{SKOG}
			54
Beregne modellparametre			
Øvre tømmekonstant (1/time)	K1	Nedre tømmekonstant (1/time)	K2
0,0246		0,0116	
			Terskelverdi (mm)
			38,038
			1983
			2016
			56,7869
Tilleggsparametre			
Perkolasjon (mm/time)	P _{Per}	Tømming nedre (mm/time)	klz
0,0025		0,00042	
Feltkapasitet (mm)	F _c	Inngjæprosent (%)	A _g
150		9,6	
			Fordampning (mm/døgn)
			E _p
			2
Starttilstand og konsentrasjonstid			
Markfuktighet (%)	S ₀	Q _{0,01} (m ³ /s)	Konsentrasjonstid
100		6,74	T _c
			3

Figur 7-5 Felt- og modellparametere benyttet i PQRUT-modell.

Nedbør- og simulert flomhendelsesforløp for 200 års gjentakintervall er vist i Figur 7-6. Maksimal flomverdi er beregnet til $Q_{200} = 175 \text{ m}^3/\text{s}$.



Figur 7-6 Flomhendelsesforløp Mesna for et 200-års nedbørsforløp, beregnet med PQRUT.

Nabostasjoner – observerte data

Det er hentet inn observerte data, ettersom det ikke foreligger data for det aktuelle nedbørsfeltet. Tre nabostasjoner er inkludert i vurderingen og dette gjelder Vinde-elv (12.207.0), Vismunda (2.463.0) og Kvarstadseter (2.439.0). Observert spesifikk middelflom ligger mellom 182,30 og 237,24 l/s*km².

Arealfordeling (%)

Målestasjon	Navn	Areal (km ²)	Eff. Sjø (%)	QM (l/s*km ²)	Qn (l/s*km ²)	Bre	Myr	Leire	Skog	Sjø	Snaufjell	Urban	Jordbruk	Elvegrad 1065
	Mesnaelva	250.0	3.6		22.5	0	21	0	54	9.6	3.7	0.2	10.12	16.60
12.207.0	Vinde-elv	269.88	1.26	182.30	16.17	0	14.5	0	32.3	7.4	24.5	0	1	14.13
2.463.0	Vismunda	191.8	0.04	198.38	17.04	0	16.2	0	74.6	1.6	0.5		3.1	18
2.439.0	Kvarstadseter	375.06	0.05	237.24	28.44	0	29.3	0	40.3	2.4	16.5	0	0.3	8.74

Tidligere beregninger av Norconsult Kroken

Det foreligger tidligere flomberegninger for damanleggene i Mesnavassdraget, utført av Norconsult. Her inngår verdier for avløpsflom fra Dam Kroken og det er disse som har blitt

vurdert. Flomberegninger ble utført i to omganger, i 2007 og i 2014, som ga dimensjonerende avløpsflom for 1000-års gjentaksintervall på henholdsvis 190,0 m³/s og 165 m³/s. I forbindelse med flomberegninger fra 2007 ble det utført en kontroll av NVE, som konkluderte med at dimensjonerende avløpsflom for Dam Kroken bør være ca. 150 m³/s.

Flomverdiene er skalert både med hensyn på gjentaksintervall, fra 1000-år til 200-år, og med hensyn på nedslagsfeltets areal ved vurdering av flomverdi for Mesnaelva ved planområdet. Tabell 7-1 gjengir flomverdier fra tidligere beregninger, samt skalerte verdier.

Tabell 7-1 Flomverdier fra tidligere beregninger og skalerte verdier for 200 gjentaksintervall og det aktuelle planområdet.

	Norconsult 2007	Skalert	Norconsult 2014	Skalert
200-årsflom (Q₂₀₀)	158.10	161.32	137.62	140.44
500-årsflom (Q₅₀₀)	175.82		153.05	
1000-årsflom (Q₁₀₀₀)	190.00		165.40	

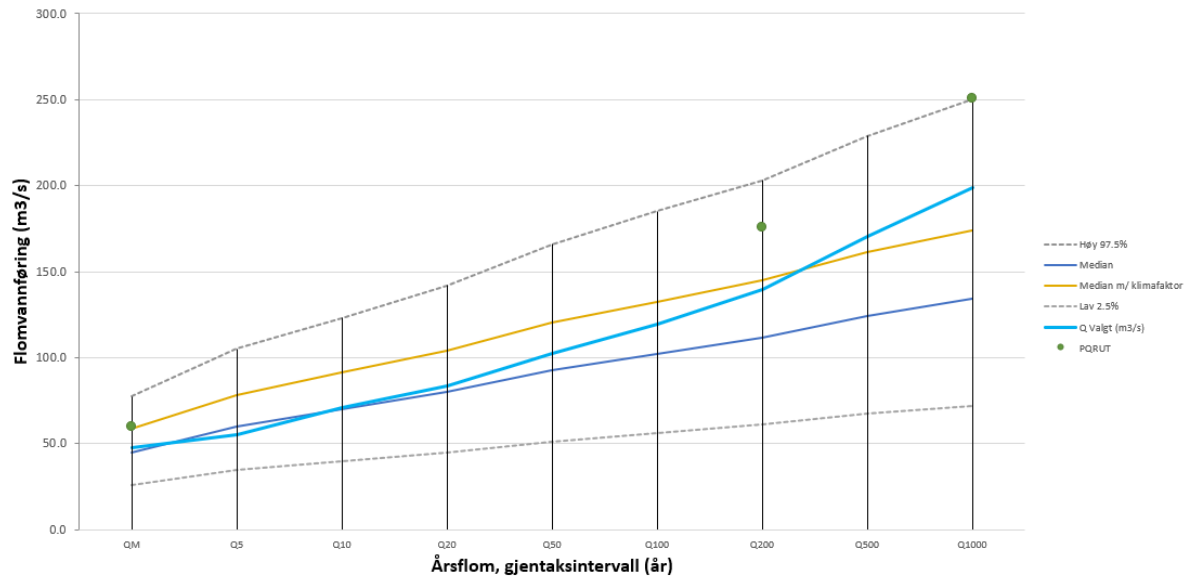
Vurdering og valg av dimensjonerende 200-årsflom

Valg av dimensjonerende 200-årsflom er basert på en samlet faglig vurdering av de ulike metodene. RFFA-2018, nabostasjoner og tidligere flomberegninger er tillagt størst vekt, da PQRUT er vurdert som mindre egnet grunnet høy arealprosent myr. Resultater fra de ulike metodene er oppsummert i Tabell 7-2 og representert grafisk i Figur 7-7.

Tabell 7-2 Oversikt flomverdier beregnet med de ulike metodene. *Flomverdi er skalert med flomindeks. PQRUT beregner kun 200-årsflom.

Metode	RFFA-2018			PQRUT	Nabostasjoner		
Q_M (l/s*km²)	104.8	180.0	310.0	238.8*	182	198	237.2
Q₂₀₀ (l/s*km²)	245.2	446.0	812.0	175.3	-	-	-

Av resultatene fremkommer det at PQRUT ligger i midten av det øvre konfidensintervallet fra RFFA-2018. Det samme gjelder for nabostasjoner. På bakgrunn av dette, så er det valgt et flomestimat i det øvre intervallet for RFFA-2018 for Mesna, der **Q_M = 190,0 l/s*km² og Q₂₀₀ = 558,0 l/s*km²**. Dette gir **Q_M = 47,5 m³/s og Q₂₀₀ = 139,5 m³/s**.



Figur 7-7 Grafisk fremstilling av flomverdier.

Vedlegg 4 Erosjonssikring – Robinsons formel

Tabell 7-3 Robinsons formel til å beregne steinstørrelsen ved erosjonssikring.

$$D_{50} = 1,5S_0^{0,79} q^{0,53} \quad \text{for } S_0 < 1:10$$

$$D_{50} = 0,5S_0^{0,31} q^{0,53} \quad \text{for } 1:10 \leq S_0 \leq 1:2,5$$

Her er:

$$D_{50} = \text{steinstørrelse (m)}$$

$$S_0 = \text{bunnhelling (-)}$$

$$q = \text{enhetsvannføring (m}^2/\text{s)}$$

Formel for $1:10 < S_0 < 1:2,5$ er benyttet, da den aktuelle elvestrekningen har en gjennomsnittlig helning på 0,13. Følgende verdier er brukt ved beregning av D_{50} :

$$q = \frac{183 \text{ m}^3}{5 \text{ m}} = 36,6 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$S_0 = 0,13$$

$$D_{50} = 1,8 \text{ m}$$

Vedlegg 5 – Bruer

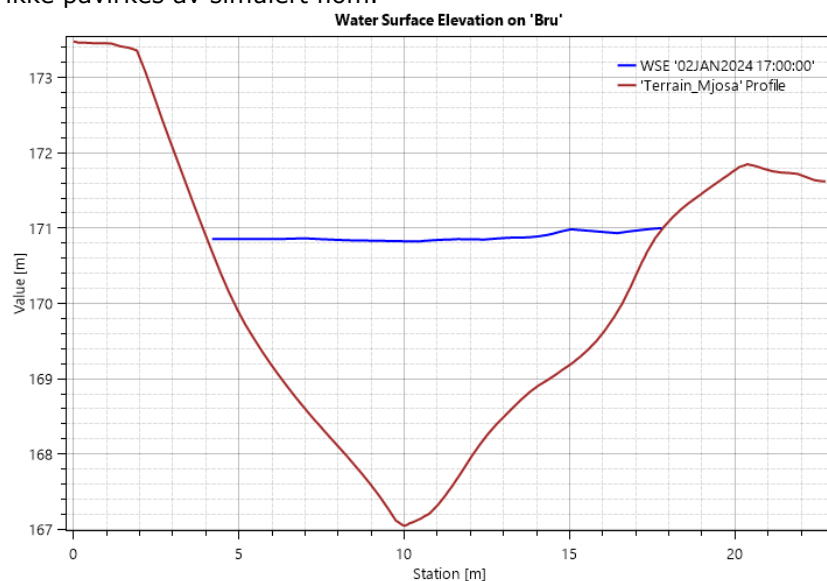


Figur 7-8 Vegbru og gangbru.



Figur 7-9 Vegbru og jernbaneovergang.

Vegbru vist i Figur 7-9 ble målt til å ligge 5 meter over elva, 172 moh., under befaring og er den laveste brua. Flomvannstandnivå i elveprofilet til brua er beregnet til å være 3 meter over elvebunn, som vist i Figur 7-10. Med bakgrunn i dette, ble ikke bruer inkludert i modellen da de ikke påvirkes av simulert flom.



Figur 7-10 Flomvanstandnivå i elveprofil under laveste vegbru.