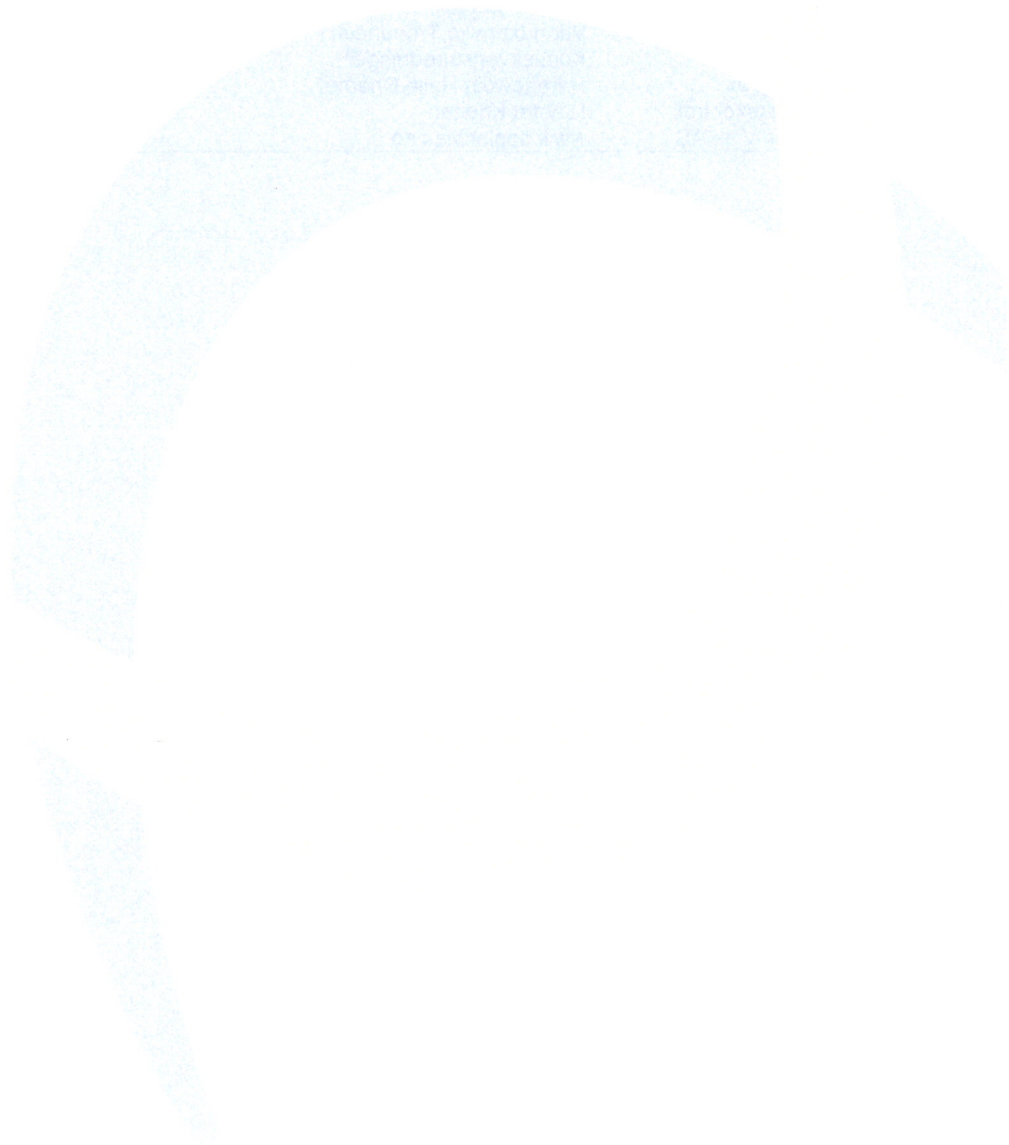




AREAL+ AS

Elveomlegging Segalstad Bru - Flom og hydrauliske beregninger

Utgave: 1

Dato:



Dokid: 15014730 (14/1402-64)

DOKUMENTINFORMASJON

Oppdragsgiver:	AREAL+ AS AVD LILLEHAMMER
Rapporttittel:	Elveomlegging Segalstad Bru - Flom og hydrauliske beregninger
Utgave/dato:	1/
Filnavn:	Elveomlegging Segalstad Bru - Flom og hydrauliske beregninger.docx
Arkiv ID	-
Oppdrag:	600615-00—Elveomlegging Segalstad Bru Elveomlegging Segalstad Bru
Oppdragsleder:	Oddmund Wold
Avdeling:	Vann og miljø Trondheim
Fag	Konsekvensutredninger
Skrevet av:	Haregewoin Haile Chernet
Kvalitetskontroll:	Håvard Knotten
Asplan Viak AS	www.asplanviak.no

FORORD

Asplan Viak har vært engasjert av Areal + for utredning av vassdragsteknikk og naturmiljø, omlegging av Gausa ved Segalstad Bru. Erik Sollien avd. Lillehammer har vært kontaktperson for oppdraget.

Oddmund Wold har vært oppdragsleder for Asplan Viak.

Hamar, 22/06/2015

Oddmund Wold

Oppdragsleder

Håvard Knotten

Kvalitetssikrer

INNHALDSFORTEGNELSE

1	Innledning	4
2	Elveomlegging.....	5
3	FLOMBEREGNING	6
3.1	Hydrometriske stasjoner.....	6
3.2	Flomfrekvensanalyser	7
4	Hydraulisk beregning.....	11
4.1	Vannlinjeberegning	11
4.2	Resultater.....	15
4.3	Vurdering av fare for erosjon	18
4.4	Usikkerhet.....	18
4.5	Diskusjon og anbefalinger	18
5	Referanser	19
6	Vedlegg	20

1 INNLEDNING

I forbindelse med omlegging av elvestrekning ved Segalstad bru, i Gausdal Kommune, har Asplan Viak AS gjort hydrologiske og hydrauliske beregninger for å vurdere flomfaren i den nye kanalen og videre nedstrøms. Dette notatet gir en oversikt over dimensjonerende flom og vannstandsberegninger på den aktuelle strekningen og i den nye kanalen; og beskriver tiltak og konsekvenser av elveomlegging. Planområde er vist i figur 1.1.



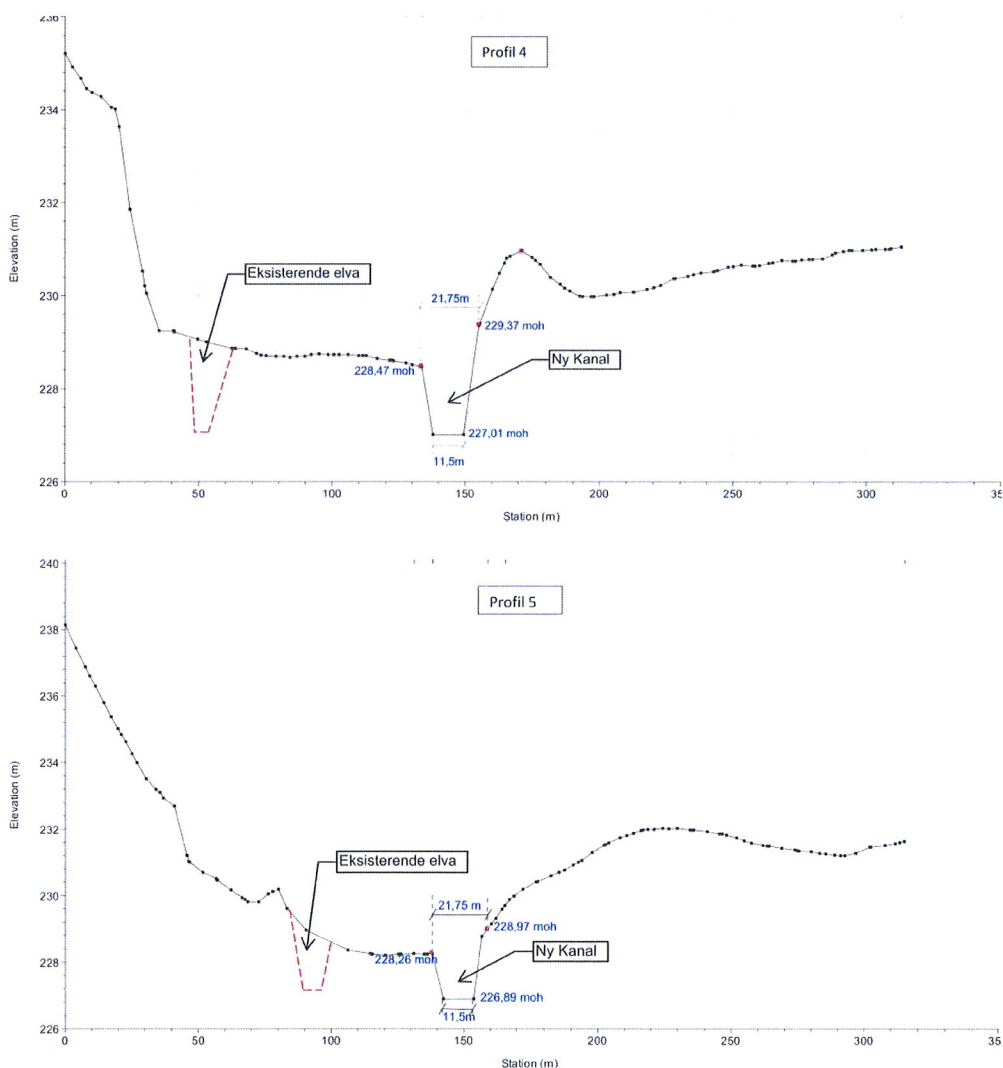
Figur 1.1 Plassering av ny kanal

2 ELVEOMLEGGING

Ved omlegging av elva er det nødvendig å etablere et elveløp for "normale" vannføringer og et tilstrekkelig elvetverrsnitt for å sikre kapasitet til å håndtere flommer uten risiko for oppstuvning og fare for skade på tilgrensende områder og bygninger. En må også forsøke å ta vare på det biologiske mangfoldet i vassdraget etter omleggingen, i tillegg til å oppnå en visuell, god og praktisk utforming av elveløpet.

Det nye elveløpet blir ca 230 m langt og med en jevn helning på 0.15%. Som grunnlag for beregningene er det benyttet tverrsnitt tilnærmet lik eksisterende i bredde, dybde, bunn, kanter og sideterreng. Figur 2.1 viser det benyttet tverrsnitt for det nye elveløpet. Ny elvebunn anbefales bygd opp med stein plassert langs elva under den tidligere kanaliseringen. I tillegg må bunnmaterialet tilføres naturlig rundet sand, grus og stein i tilstrekkelige mengder. Dette er masser som gir et godt grunnlag for bevaring av biologisk mangfold knyttet til elva.

Revegetering skal brukes som prinsipp for reetablering av vegetasjon på sideterreng. Ved oppbygging av elvebunnen tas det sikte på å gjenskape den naturlige hydrologiske og morfologiske tilstand spesielt med sikte på å legge til rette for naturlig vandring, reproduksjon og oppvekst for fisk.



Figur 2.1: Tverrsnitt benyttet for det nye elveløpet. Henviser til figur 4.2 for plassering av profil 4 og 5.

3 FLOMBEREGRING

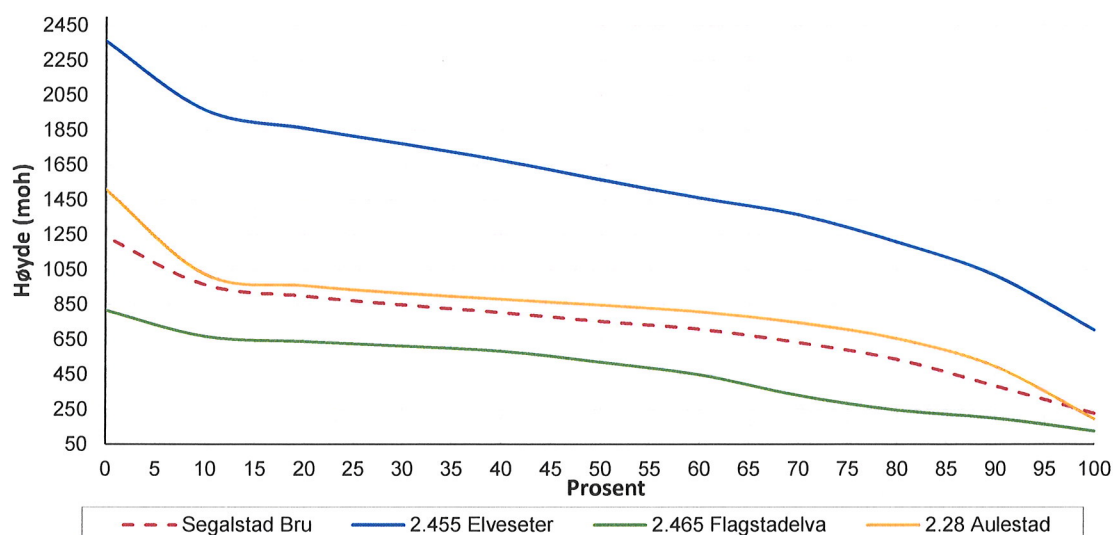
Flomberegning er å bestemme sammenhengen mellom flommens gjentaksintervall og vannføringen. Vannføringen kan deretter brukes til å bestemme vannstand og hastighet. Ifølge NVEs retningslinjer (2011) er det anbefalt at vanlig infrastruktur dimensjoneres for en 200-årsflom.

3.1 Hydrometriske stasjoner

Det beste grunnlaget for vannføringsberegninger er vannføringsmåling over en lang periode i det aktuelle vassdraget. Det har ikke vært målestasjoner for vannføring i Gausa elva oppstøm Segalstad bru. Flomberegningen er basert på observasjoner av vannføring fra målestasjoner i nærliggende vassdrag og regionale flomfrekvenskurver. Hypsografisk kurve for stasjonene er vist i figur 3.1. Karakteristiske felldata er vist i tabell 3.1. Nedslagsfeltene til Gausa ved Segalstad bru og referensfeltene er beregnet ved bruk av NVE programmet «Lavvannskart».

Tabell 3.1 Karakteristiske felldata

Felt	Feltareal km ²	Eff.sjø %	Middelvannføring (61-90) l/s*km ²	H _{min} /H _{max} m.o.h	Meidan høyde m.o.h
Segalstad bru	157,1	0,1	13,8	230/1241	757
2.28 Aulestad	866,9	0,0	16,5	199/1513	850
2.465 Flagstadelva	174,7	0,0	11,0	128/819	523
2.455 Elveseter	133,8	0,1	35,9	707/2362	1569



Figur 3.1: Hypsografiske kurver for nedbørfeltene Segalstad Bru og utvalgte målestasjoner. Kurven viser hvor stor prosentvis andel av det totale feltarealet som ligger over en gitt høyde

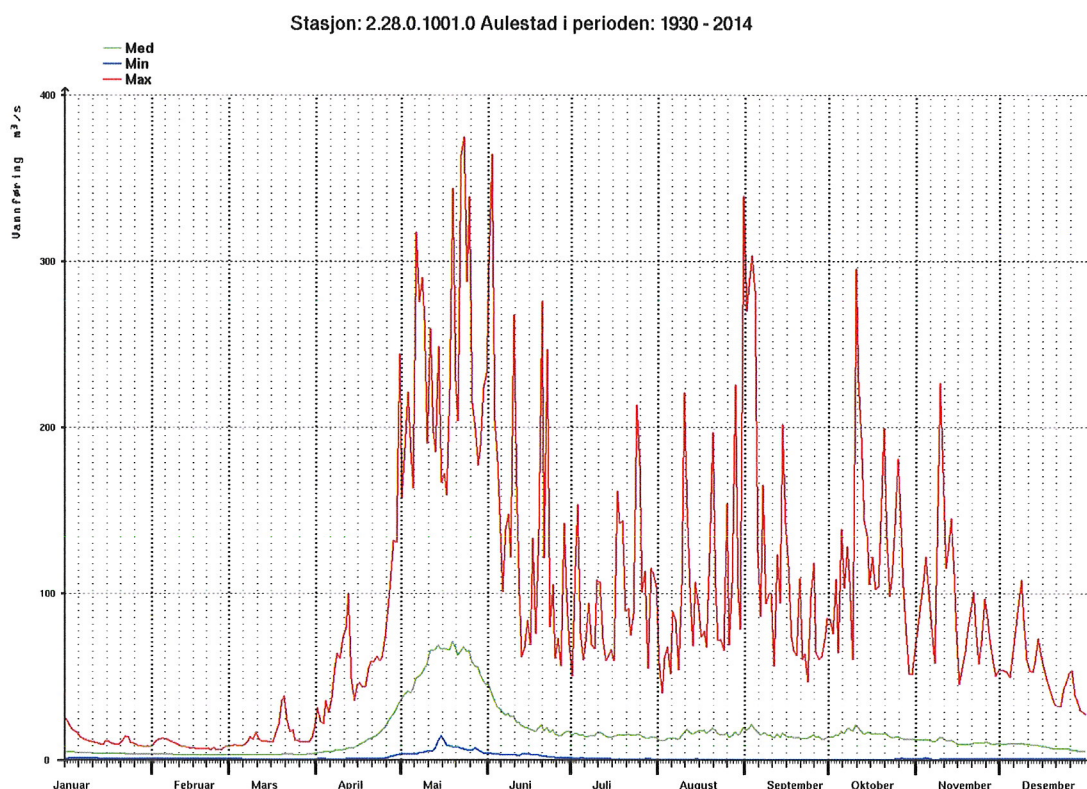
2.28 Aulestad ligger ca 2 km nedstrøms samløpet mellom Jøra og Gausa. Observasjoner finnes siden 1930. Nedbørfeltets areal er 866,9 km². For denne målestasjonen foreligger det en vannføringsserie på 84 år (1930 - 2014) med god kvalitet.

2.465 Flagstadelva ligger ca 75 km sørøst for Segalstad Bru. Flagstadelva har litt større feltareal, mindre middelavrenning og null effektiv sjøprosent sammenlignet med Gausa ved Segalstad bru. For denne målestasjonen foreligger det en vannføringsserie på 28 år (1986 - 2014) med god kvalitet.

2.455 Elveseter ligger ca 115 km nordvest for Segalstad Bru. Elveseter har litt mindre feltareal, større middelvrenning og lik effektiv sjøprosent sammenlignet med Gausa ved Segalstad bru. For denne målestasjonen foreligger det en vannføringsserie på 69 år (1945 - 2014) med god kvalitet.

3.2 Flomfrekvensanalyser

Sesongvariasjonen i avrenningen i Gausa elva må vurderes ut fra nærliggende stasjon Aulestad. Viktige parametere for sesongvariasjonene er klimatiske forhold og høydebeliggenhet. Figur 3.2 viser karakteristiske vannføringsverdier for Aulestad som antas å beskrive avrenningsmønsteret i Gausa ved Segalstad bru godt. Figuren viser døgnmiddelvannføring for hver enkelt dag i året ved målestasjonen. Ut fra figur 3.2 de fleste flommene i Aulestad opptrer mellom november og april i forbindelse med snøsmelting og i kombinasjon med nedbør, men også om høsten med kraftig regnvær.



Figur 3.2: Karakteristiske vannføringer ved stasjon 2.28 Aulestad. Figuren viser henholdsvis største, median og minste observerte døgnmiddelvannføring for hver enkelt dag i året for perioden 1930 – 2014.

Regionale flomformler er gitt i NVE (04/2011). Formlene gjelder for felt $> 20 \text{ km}^2$, men bør brukes forsiktig for felt $< 100 \text{ km}^2$. Formlene som er benyttet i beregningene for Gausa ved Segalstad bru er gjengitt under:

Høstflomregioner H3:

$$\ln q_M = 1,2014 \cdot \ln q_N - 0,0819 \cdot \ln(A/L_F) - 0,0268 \cdot A_{SE} + 0,0013 \cdot S_T + 1,07$$

Vårflomregioner V4:

$$\ln q_M = 0,1848 \cdot \ln S_T - 0,0137 \cdot \ln A_{SE} + 0,0873 \cdot \ln A_{SF} + 0,5143 \cdot \ln q_N + 2,77$$

q_M = spesifikk middelflom, q_N = midlere spesifikk årsavløp, A_{SE} = effektiv sjøprosent,

A = feltareal, L_F = feltlengde, S_T = elvegradient.

Tabell 3.2: Flomfrekvensanalyser av årsflommer for målestasjon

Stasjon	Periode	Ant. år	Areal km ²	Q _M		Q ₂₀₀ / Q _M	Fordelingsfunksjon
				l/s.km ²	m ³ /s		
2.28 Aulestad	1930-2014	84	866,9	204,64	177,40	2,55	Gamma (L-moment)
2.465 Flagstadelva	1986 - 2014	28	170	223,76	38,04	2,20	Gumbel (L-moment)
2.455 Elveseter	1945 - 2014	69	134	308,30	41,31	3,38	GEV (L-moment)
Segalstad bru	-	-	157,1	-	-	3,0	
Regionale							Regionale
V4						2,6	V4
H3						3,4	H3

Som representativ frekvensfordeling for Gausa ved Segalstad bru er det valgt å bruke gjennomsnittlig frekvensfaktorene funnet ved Aulestad og Elveseter pga usikkerheten i valg av kurve.

3.2.1 Beregning av middelflom

Ved beregning av absolutte flomstørrelser bør feltkarakteristika som effektiv sjøprosent og feltareal i større grad inngå i vurderingen av representative nedbørfelt enn i frekvensanalysen. Spesifikk middelflom antas å avta med økt størrelse på nedbørfeltet, ved at flomtoppene fra ulike delfelter vil nå hoved vassdraget til litt forskjellig tid. Spesifikk middelflom vil også avta med økt effektiv sjøprosent, ved at sjøer har flomdempende effekt (NVE, 2003).

Spesifikk middelflom varierer relativt mye for stasjonene (tabell 3.2) og ligger i størrelsesorden fra 204,64 l/s.km² til 308,30 l/s.km². Aulestad har lavere årlig middelavrenning, men feltet har mye til felles med Gausa ved Segalstad bru. Dette ser man av beliggenhet, nedbørfeltets fysiske egenskaper og høyde på feltet. Med bakgrunn i dette antas en spesifikk middelflom i Gausa ved å ligge i størrelsesorden 215 l/s. km². Med valgt verdi for middelflom, og flomfrekvensfordelingen som antas representativ for Gausa (tabell 3.2), blir de resulterende flomverdiene som vist i tabell 3.3.

Tabell 3.3: Beregnet middelflom (Q_M) og resulterende flomverdier ved ulike gjentaksintervall i Gausa ved Segalstad bru, døgnmiddelvanntføringer

Felt	Areal km ²	Q _M		Q ₂₀₀ m ³ /s
		l/s.km ²	m ³ /s	
Gausa	157,1	215	33,8	101,4

3.2.2 Klimatillegg

I henhold til NVE rapport 5-2011 Hydrological projections for floods in Norway under a future climate, skal det legges til et klimatillegg på 20% til den beregnede flomvannføringen for å ta hensyn til en forventet økning av flomintensitet i framtiden.

3.2.3 Beregning av Kulminasjonsvannføring

Flomverdiene som hittil er presentert representerer døgnmiddelvannføring. Forholdet mellom kulminasjonsvannføring (momentanvannføring) og døgnmiddelvannføring ($Q_{\text{mom}}/Q_{\text{døgn}}$) anslås fortrinnsvis ved å analysere de største observerte flommene i vassdraget. Forholdstallet beregnes da for en eller flere av de større flommene ved målestasjoner i vassdraget, og/eller eventuelt i nærliggende vassdrag, avhengig av hvor og når det finnes data med fin tidsoppløsning. Som tidligere konstatert finnes det ikke grunnlag for å anslå forholdet mellom kulminasjonsvannføring og døgnmiddelvannføring i Gausa ved Segalstad bru med bakgrunn i observerte data. Forholdstallet $Q_{\text{mom}}/Q_{\text{døgn}}$ for Gausa ved Segalstad bru er dermed utelukkende beregnet med utgangspunkt i nærliggende og lignende målestasjoner i området, og beregnede forholdstall fra eksisterende formelverk. De aktuelle målestasjonene i omegnen har tilnærmet lik effektiv sjøprosent som Segalstad bru nedbørfelt (tabell 3.1). Målestasjon Aulestad har svært høyere feltareal og målestasjon Elveseter har mindre feltareal og disse stasjonene anses ikke som egnet som utgangspunkt for en vurdering av forholdstallet mellom kulminasjonsvannføring og døgnmiddelvannføring i Gausa ved Segalstad bru.

Målestasjon 2.465 Flagstadelva har litt høyre feltareal, tilnærmet lik 0 effektiv sjøprosent og data med finere tidsoppløsning enn døgn. Døgnmiddel og kulminasjonsvannføring for de fem største årlige vannføringene fra Flagstadelva er listet opp i tabell 3.4, sammen med forholdstallet mellom disse to verdiene.

Tabell 3.4: Kulminasjons- og døgnmiddelvannføringer ved Flagstadelva

Dato	Kulminasjon m ³ /s	Døgnmiddel m ³ /s	$Q_{\text{mom}}/Q_{\text{døgn}}$
07.05.1997	67.648	42.225	1.60
25.09.2010	54.28	33.56	1.62
05.09.2011	69.78	54.26	1.29
11.11.2012	59.9	35.81	1.67
22.05.2013	78.19	58.58	1.33

I NVE (2011) er det utarbeidet ligninger som uttrykker en sammenheng mellom forholdet $Q_{\text{mom}}/Q_{\text{døgn}}$ og feltkarakteristika (feltareal og effektiv sjøprosent) for vår- og høstsesong. Formlene er:

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

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

hvor A er feltareal og ASE er effektiv sjøprosent. Resultatene presenteres i tabell 3.5.

Tabell 3.5: Forholdstallet mellom døgnmiddelflom og kulminasjonsflom for Segalstad bru, beregnet for vår og høstflom

Felt	Areal km ²	Eff.Sjø, ASE %	$Q_{\text{mom}}/Q_{\text{døgn}}$	
			Vår	Høst
Segalstad bru	157,1	0,1	1,31	1,57

Siden flommer i Segalstad bru kan inntreffe både om våren og høsten, antas det ut fra observasjoner ved Flagstadelva og regionalt formelverk at et forholdstall på 1,52 er gjeldende for Segalstad bru. Dette tilsvarer en verdi rundt gjennomsnittet av forholdstallene fra de regionale formlene for vår- og høstflommer og den største observerte flommen.

3.2.4 200 års flommen

Døgnmiddelverdien ved Segalstad bru ble beregnet til 101,4 m³/s.

Dimensjonerende 200 års momentanflom er beregnet til:

$$Q_{200, \text{momentan}} = 101,4 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 1,52 = 154,1 \text{ m}^3/\text{s}$$

Med 20% klimatillegget gir det:

$$Q_{200, \text{momentan}} = 1,2 * 154,1 = 184,92 \text{ m}^3/\text{s}$$

4 HYDRAULISK BEREGNING

4.1 Vannlinjeberegning

For å kontrollere effekten av høy vannstand ved 200-årsflom er tilhørende vannlinjeberegning utført. Det hydrauliske modelleringsverktøyet HEC-RAS er benyttet til beregning av vannlinjene. Verktøyet er utviklet av US Army Corps of Engineers (USACE) Hydrologic Engineering Center (USACE, 2002). Modellen kan blant annet beregne underkritisk og overkritisk strømning eller en kombinasjon av disse i en enkel elv, eller i et elvenettverk. Datagrunnlaget til arbeidet er laserkart med 1 meters-koter og flyfoto av planområdet. Basert på disse er det utviklet en forenklet representasjon av elven i form av en 1D hydraulisk modell.

I vannlinjeberegninger må ofte modellen settes opp for en lengre elvestrekning enn selve prosjektområdet, da nedstrøms grensebetingelse skal ha liten innvirkning på vannføringer og vannstander i det området som skal analyseres. Modellen er satt opp for den aktuelle strekningen og i den nye kanalen etter omlegging.

4.1.1 Grunnlag og forutsetninger

Grunnlag og forutsetninger for vannlinjeberegningen:

- Vannføring
- Elvas geometri
- Manningstall (hydrauliske ruhetsverdier)

4.1.2 Vannføring

200-årsflommen som omfatter 20% av klimafaktor er beregnet til 184,92 m³/s.

4.1.3 Geometri

Elvebunn og terrenget i den hydrauliske modellen er representert ved et utvalg av tverrprofiler. Oppdragsgiveren har skaffet terrengdata (laser data) som er blitt brukt videre til å generere en terrengmodell. Tverrprofiler er tatt ut ifra denne terrengmodellen. Plassering av tverrprofilene benyttet i modellen for den aktuelle strekningen er vist i Figur 4.1 og Figur 4.2 viser tverrprofilene for den nye kanalen etter omlegging.

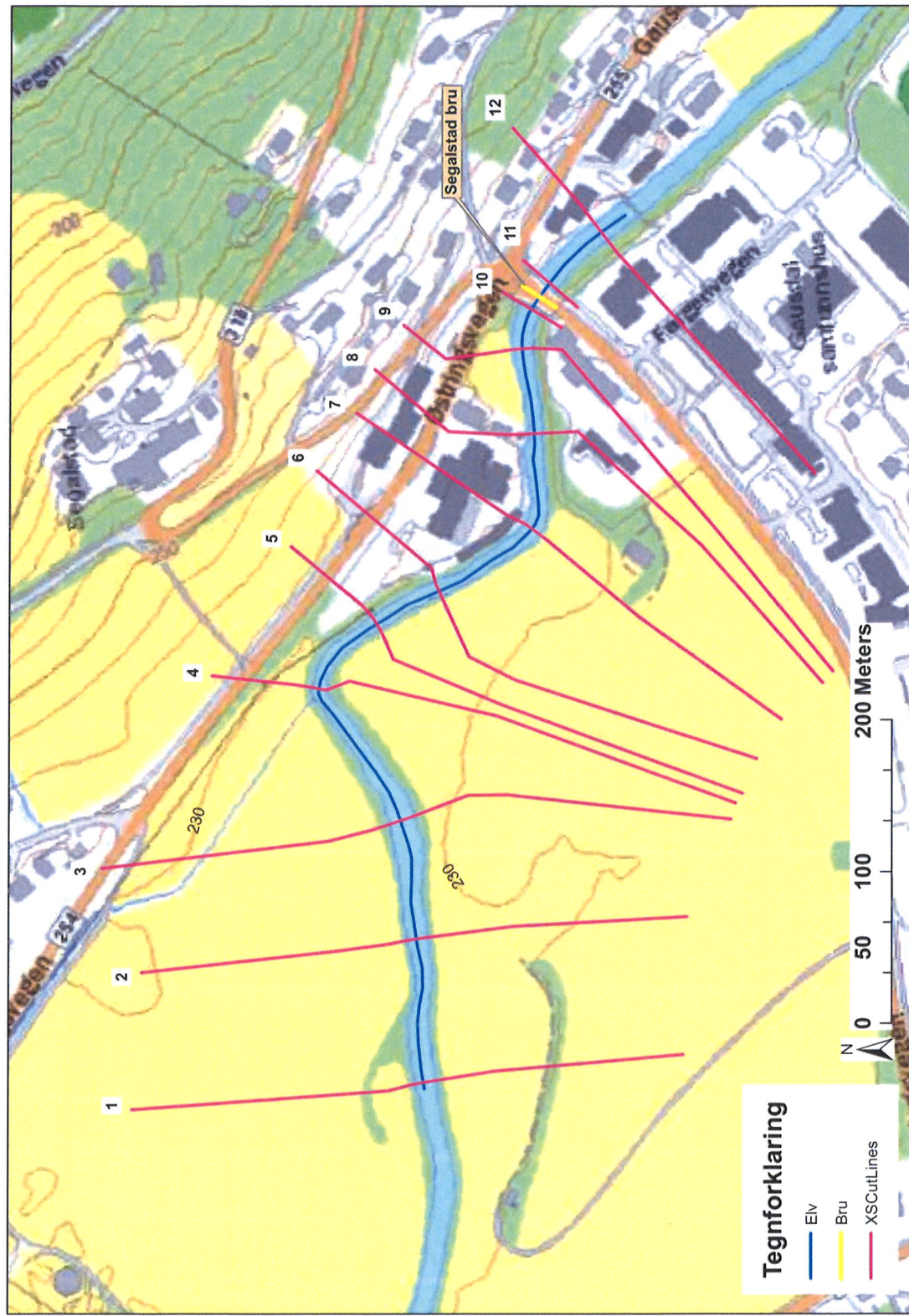
4.1.4 Manningstall (hydrauliske ruhetsverdier)

Alle typer energitap som påvirker vannstanden langs elveløpene er representert ved en enkelt faktor, mannings tallet. Den hydrauliske ruheten (n_1 for hovedkanal og n_2 og n_3 for sidearealer) i elva er derfor bestemt på grunnlag av aktuell litteratur, se igjen Chow et al, (1988) for flere eksempler. Flomslettene er vurdert som skog og dyrket mark. Den nye kanalen anbefales bygd opp med stein fra tidligere kanalisering i tillegg til tilførte sand, grus og steinmasser. Tabell 4.1 viser mannings "n" verdier benyttet i HecRas modell.

Tabell 4.1: Manningstall som brukes i HecRas modell

Elv	Hovedkanal	Skog	Dyrket mark/ åpent område	Ny kanal*
Gausa	0,04	0,10	0,03	0,067

For den nye kanalen benyttes en høy hydraulisk ruhet under beregningen. Begrunnelsen for dette er at det under detaljprosjektering skal være rom for å legge inn uregelmessigheter i horisontal og vertikalgeometri samt variert utforming av bunn og sider. Det er også aktuelt å legge ut større enkeltsteiner og anlegge buner. Dette gjøres for å skape variert hydromorfologi og variert kantvegetasjon, alt som grunnlag for biologisk mangfold.



Figur 4.1: Kartet viser tverrsnittprofiler for den aktuelle strekningen benyttet i Hec-Ras modellen



Figur 4.2: Kartet viser tversnittsprfiler for den nye kanalen benyttet i Hec-Ras modellen

4.1.5 Grensebetingelser

Vannføringen fra flomberegning er brukt som inngangsdata i den hydrauliske modellen (stasjonær strømning). Her er det antatt at det oppstår normal strømning både ved oppstrømsenden av modellen og ved nedstrømsenden. Ved normalstrømning følger vannspeilet helningen til bunnen (vannspeilet og elvas bunn ligger parallelt ved de to endene til modellen). Disse verdiene refereres det til som "grensebetingelser". Tabell 4.2 viser valgte verdier.

Tabell 4.2: Grensebetingelsene for simuleringen

Grensepunkt	Øvre grensebetingelse	Nedre grensebetingelse
Gausa elva	$S = 0,00345$	$S = 0,00644$

4.1.6 Kalibrering

Det foreligger ikke kalibreringsdata, det vil si samtidig innmåling av vannføring og vannstand, for strekningen. Det er derfor ikke mulig å kalibrere modellen mot observerte data. For å skaffe et bedre grunnlag for valg av n-verdier blir det gjennomført en følsomhetsanalyse. På grunnlag av denne blir det ut fra skjønn valgt et sett med n-verdier for de videre beregninger.

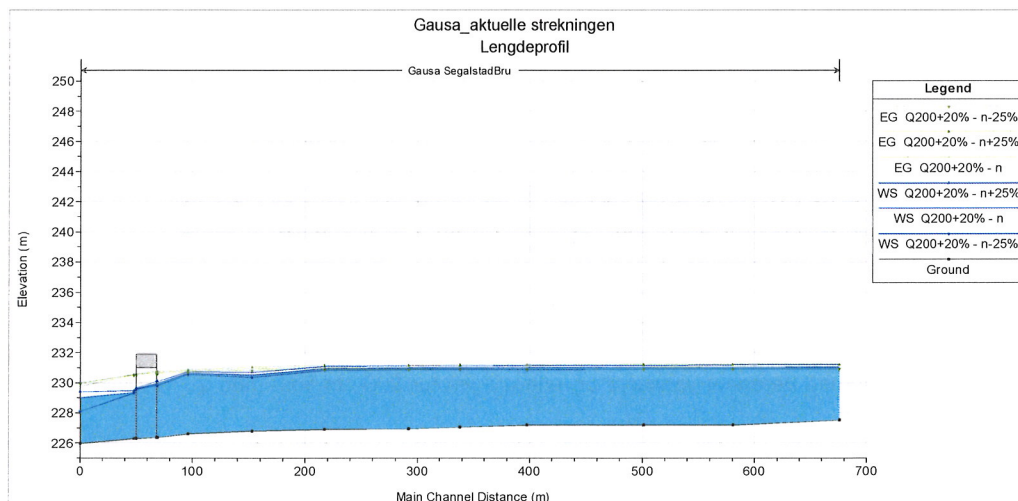
Det er foretatt beregninger for å se hvordan ruheten i elva og flomslettene innvirker på de beregnede vannstander og vi har gjort en sensitivitetsanalyse hvor vi kjører modellen for den aktuelle strekningen for lavere og høyere friksjonstall enn de vi har valgt ($n \pm 25\%$).

Tabell 4.3 viser endrede ruhetsverdier for modellområdet.

Tabell 4.3: Endrede ruhetsverdier for modellområdet

Kategori	Ruhet	Senket ruhet	Økt ruhet
Hovedkanal	0,04	0,03	0,05
Skog	0,10	0,08	0,13
Dyrket mark / åpent område	0,03	0,02	0,04

Analysen viste at en relativt liten øking $+0,16\text{m}$ / $-0,14\text{m}$ variasjon i vannstander langs Gausa elva. Følsomhetsanalysen viser at modellen er mindre følsom for Manningstall spesielt i nærheten av brua og Manningstall for videre beregninger settes til 0,04 for hovedkanal og 0.1 for skog og 0.03 for sidearealer.



Figur 4.3 Lengdeprofil med beregnede vannlinjer for $Q\ 200 + 20\%$ økning med forskjellige verdier på Manningstall.

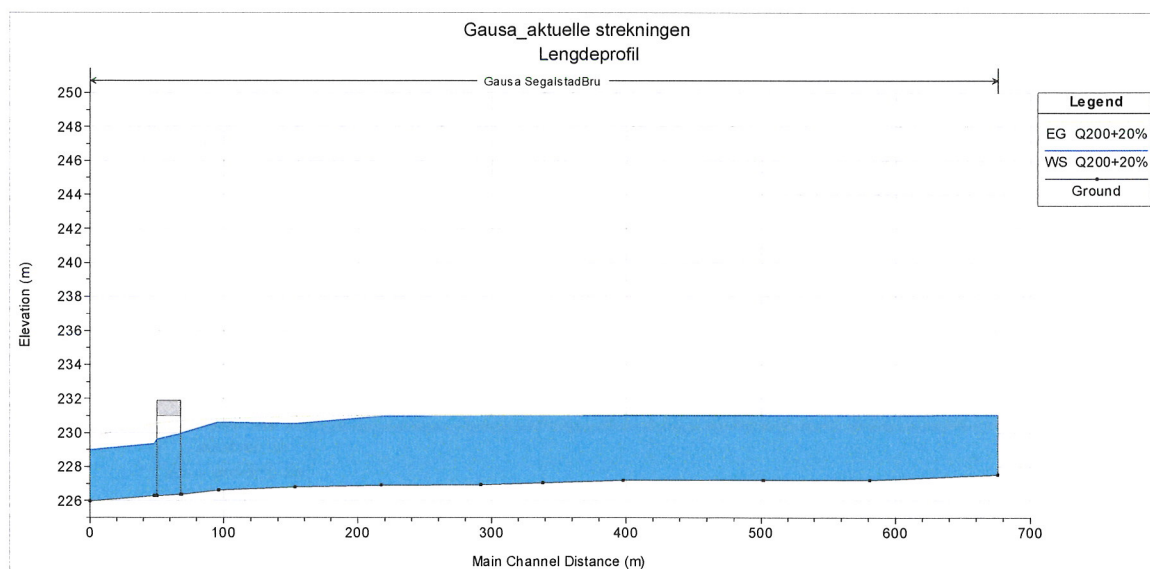
4.2 Resultater

4.2.1 Aktuelle strekningen

Hec-Ras modellen beregner ulike parametre som beskriver de hydrauliske forholdene i elva. For vurdering av flomsikkerhet er vannlinje i tillegg til energilinje og vannhastighet for dimensjonerende vannføring de mest sentrale parameterne. I tabell 4.4 er resultater fra beregningene for en 200 års flom med 20 % økning gitt der det refereres til nummereringen av tverrprofilene på figur 4.4.

Tabell 4.4: Beregnet vannlinje, energilinje og vannhastighet for en 200 årsflom med 20 % økning i aktuelle strekningen

Profil [nr]	Elvebunn [m.o.h]	Vannstand [m.o.h]	EG Høyde [m.o.h]	Hastighets Høyden [m]	Hastighet [m/s]
1	227,53	231,05	231,06	0,01	0,36
2	227,21	231,05	231,05	0,01	0,36
3	227,22	231,04	231,05	0,01	0,42
4	227,2	231,03	231,04	0,01	0,67
5	227,07	231,01	231,03	0,02	0,85
6	226,96	231,00	231,02	0,02	0,84
7	226,93	230,97	231,00	0,03	1,00
8	226,79	230,54	230,93	0,39	3,12
9	226,64	230,65	230,77	0,12	1,74
10	226,37	229,97	230,67	0,70	3,84
Bru	223,37	229,97	230,66	0,69	3,75
11	226,3	229,35	230,50	1,15	4,91
12	225,99	229,02	229,74	0,72	3,97



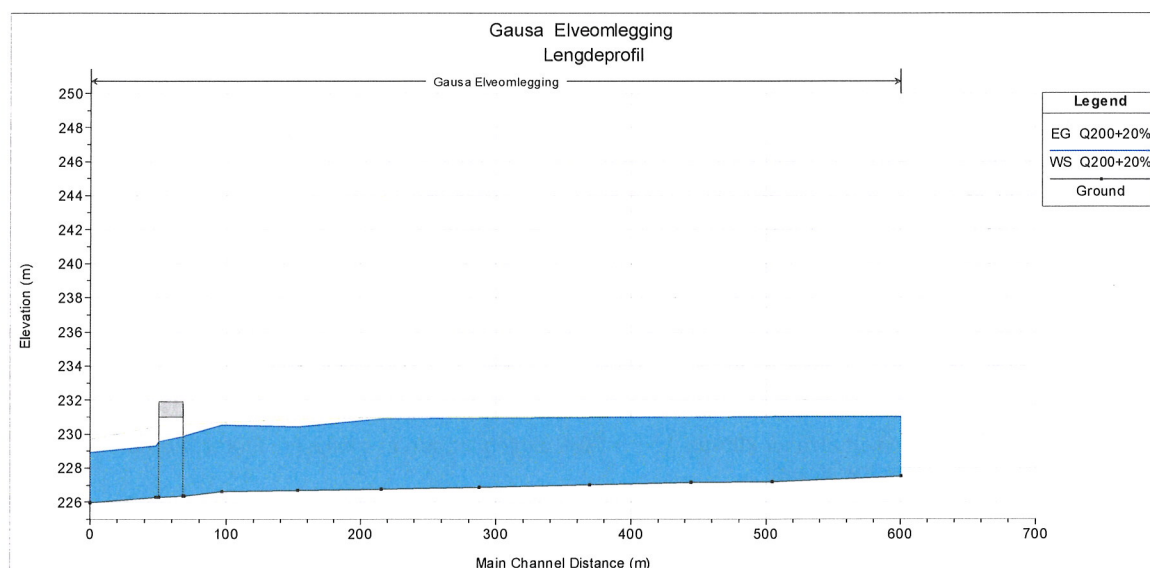
Figur 4.4: Lengdeprofil av elva med beregnet vannlinje og energjlinjen for 200-års flom med 20 % klimatillegg i aktuelle strekningen

4.2.2 Ny kanal etter omlegging

I tabell 4.5 er resultater fra beregningene for en 200 års flom med 20 % økning gitt der det refereres til nummereringen av tverrprofilene på figur 4.5 for den nye kanalen.

Tabell 4.5: Beregnet vannlinje, energilinje og vannhastighet for en 200 årsflom med 20 % økning

Profil [nr]	Elvebunn [m.o.h]	Vannstand [m.o.h]	EG Høyde [m.o.h]	Hastighets Høyden [m]	Hastighet [m/s]
1	227,53	231,02	231,03	0,01	0,41
2	227,21	231,02	231,02	0,00	0,37
3	227,15	231,01	231,02	0,01	0,31
4	227,01	230,99	231,01	0,02	0,40
5	226,89	230,96	230,99	0,03	0,62
6	226,78	230,92	230,96	0,04	0,85
7	226,69	230,45	230,86	0,41	3,22
8	226,64	230,55	230,68	0,13	1,83
9	226,37	229,90	230,58	0,68	3,42
Bru	226,37	229,89	230,58	0,68	3,84
10	225,99	229,32	230,41	1,09	4,84
11	225,99	228,95	229,65	0,70	3,86



Figur 4.5: Lengdeprofil av elva med beregnet vannlinje og energilinjen for 200-års flom med 20 % klimatillegg i den nye kanalen

4.2.3 Sikkert nivå for sideareal

Vannivå i tabell 4.4 og 4.5 er resultatet av den hydrauliske beregning. Denne beregningen er basert på en rekke usikkerheter knyttet til elvegeometri, ruhetsforhold og beregningsmetoder for flomvannføring og hydraulisk beregning. Disse forhold gir en usikkerhet i beregningsresultatet som kompenseres ved å legge til 0,5 m til alle beregnede vannstander. Dette gir mest sannsynlig nivå for vannlinjen som må legges til grunn for videre bruk.

Som sikker høyde for arealbruk som ikke tåler vann er det vanlig å ha en sikkerhetsmargin på 0,5 m. Dette gjelder for trafikkarealer og annen infrastruktur. For bygninger må det gjøres en nærmere bygningsteknisk vurdering av sikkert nivå for golv, fundamenter og drenering som sikrer disse mot vannskader.

For bruer foreslår stanes vegvesen (Handbok 400) en sikkerhetsmargin på 0,5 m fra vannflaten og opp til underkant brukonstruksjon. Der hastighetshøyden ($v^2/2g$) er større enn 0,5 m foreslås en sikkerhetssone på 80 % av hastighetshøyden. Det er svært lite sannsynlig at vannivået kan nå helt opp til det totale energinivået. Det forutsetter at vannet møter en vertikal vegg uten tap av friksjon, 80 % av energihøyden anses derfor å gi god margin i normale tilfeller. Dette hastighetstillegget anbefales også benyttet i når det gjelder sikkert nivå for bygninger og infrastruktur.

Etterfølgende tabell viser forslag til flomsikkert nivå ved bruk av 200-års flom med 20 % klimatillegg for all infrastruktur og bygninger langs elva. Eventuelle sidearealer som ligger lavere enn dette nivået må beskyttes mot flom med en forhøyning (flomvoll) mot vannløpet. Ved en eventuell overtopping av flomvollen kan det oppstå en situasjon med plutselig oppfylling av sidearealer med flomvann med tilhørende store vannhastigheter. I en slik situasjon kan det oppstå fare for liv og helse. Får å sikre mot dette må flomvollens høyde ligge 0,5 m over det som er angitt som sikkert nivå foran for sidearealer.

Tabell 4.6: Forslag til flomsikkert nivå for 200-års flom + 20% økning for sidearealer i eksisterende elva strekningen. Flomsikkerhet nivå inkluderer ekstra 0,5m usikkerhetstillegg

Profil [nr]	Beregnet vannstand [m.o.h]	0,8 x Hastighets Høyden [m]	Flomsikkert nivå [m.o.h]
1	231,05	0,01	232,05
2	231,05	0,01	232,05
3	231,04	0,01	232,04
4	231,03	0,01	232,03
5	231,01	0,02	232,01
6	231,00	0,02	232,00
7	230,97	0,02	231,97
8	230,54	0,31	231,54
9	230,65	0,10	231,65
10	229,97	0,56	231,03
Bru	229,97	0,69	231,02
11	229,35	0,92	230,77
12	229,02	0,58	230,10

Tabell 4.7: Forslag til flomsikkert nivå for 200-års flom + 20% økning for den nye kanalen. Flomsikkerhet nivå inkluderer ekstra 0,5m usikkerhetstillegg

Profil [nr]	Beregnet vannstand [m.o.h]	0,8 x Hastighets Høyden [m]	Flomsikkert nivå [m.o.h]
1	231,02	0,01	232,02
2	231,02	0,01	232,02
3	231,01	0,01	232,01
4	230,99	0,02	231,99
5	230,96	0,02	231,96
6	230,92	0,03	231,92
7	230,45	0,33	231,45
8	230,55	0,10	231,55
9	229,90	0,54	230,94
Bru	229,89	0,54	230,93
10	229,32	0,87	230,69
11	228,95	0,56	230,01

4.3 Vurdering av fare for erosjon

Resultatene fra HEC-RAS-modellen er brukt til å beregne nødvendige steinstørrelser for erosjonssikring. NVEs Veileder for dimensjonering av erosjonssikring av stein (NVE veileder nr 4/2009) er benyttet til å beregne nødvendig steinstørrelse og tykkelse for erosjonssikringen i nye kanalen. Maynords formel for beregning av steinstørrelser er brukt. Det er benyttet en sikkerhetsfaktor på 1,2 i beregningene. Tabell 4.8 under viser steinstørrelser (D_{30} , D_{50} og D_{85}) og tykkelse av erosjonssikringslaget for nye strekningen av elva. Det brukes velgraderte masser til erosjonssikringen, da vil massen inneholde finstoff som fyller opp hulrom mellom de større steinene.

Tebell 4.8: Beregning av erosjonssikring med stein

Fra profil	Til profil	Dimensjonerende Steinstørrelse [m]					Tykkelse [m]
		D_{30}	D_{50}	D_{15}	D_{85}	D_{maks}	
2	7	0,10	0,15	0,13	0,25	0,30	0,30

I bunnene av nye strekningen av elva legges et 20 - 40 cm lag med elvegrus for å gi elva en naturlig preg og fremme etablering av bunndyrsfauna som er vesentlig for vannkvaliteten.

4.4 Usikkerhet

Kvaliteten på vannlinjeberegningene er avhengig av en godt kalibrert vannlinjeberegningsmodell. Det vil si at det samles inn samhørende verdier av vannføring og vannstand som modellen kan kalibreres etter. Også i denne sammenhengen er det vanskelig å samle inn data for store nok vannføringer. I dette tilfellet er modellen ikke kalibrert ut fra observerte vannstander da det ikke er registrert vannstander i forbindelse med flomvannføringer.

4.5 Diskusjon og anbefalinger

Resultatene fra beregningene viser at Gausaelva i aktuelle strekningen og den nye kanalen har ikke tilstrekkelig kapasitet for en 200 års flom med 20% klimatillegg. Beregningene viser derimot at brua har tilstrekkelig kapasitet for en 200 års flom med 20% klimatillegg. Vannlinjeberegningen viser at det aktuelle området, slik det fremstår i dag, ikke har tilstrekkelig flomsikkerhet i henhold til krav i TEK10 (sikkerhetsklasse F2).

Videre vises til oversiktskart over elva i aktuelle strekningen og den nye kanalen med simulerte oversvømte areal for 200-års flom + 20% økning i Vedlegg 5.1 og 5.2.

Flomsonene gir indikasjon på hvor det kan påregnes å være flom ved 200 års flomstørrelser med 20% klimatillegg. Som vist i oversiktskart for oversvømte areal er flomsikkerheten for dårlig på sideareal og vannstanden med dagens geometri og anbefalte kanal geometri er ventet å stige høyere enn breddekantene ved en 200-årsflom + 20% økning. Vi anbefaler at nødvendige tiltak iverksettes. Mulige tiltak kan være bygging av lokal flomvoll eller heving av sideareal for bebyggelse til sikkert nivå.

Etter omlegging av elva, dersom en planlegger å bygge i eller ved flomområder, skal en gå inn i tabell 4.7 for å finne flomhøyde. Videre skal det legges på sikkerhetsmargin som anbefalt, fordi tiltaket skal ha en sikkerhet mot dimensjonerende flomhøyde. I mange tilfeller kan oppfylling av flomareal være aktuelt fordi arealet ikke er en vesentlig del av effektivt strømningsareal til elva.

5 REFERANSER

Chow, V.T., 1988: Open-Channel Hydraulics, Caldwell, New Jersey: The Blackburn Press.

HEC-USACE , 2002: HEC-RAS River Analysis System, Hydraulic Reference Manual, U.S. Army Corps of Engineers, Hydraulic Engineering Center (HEC), Davis, CA, USA.

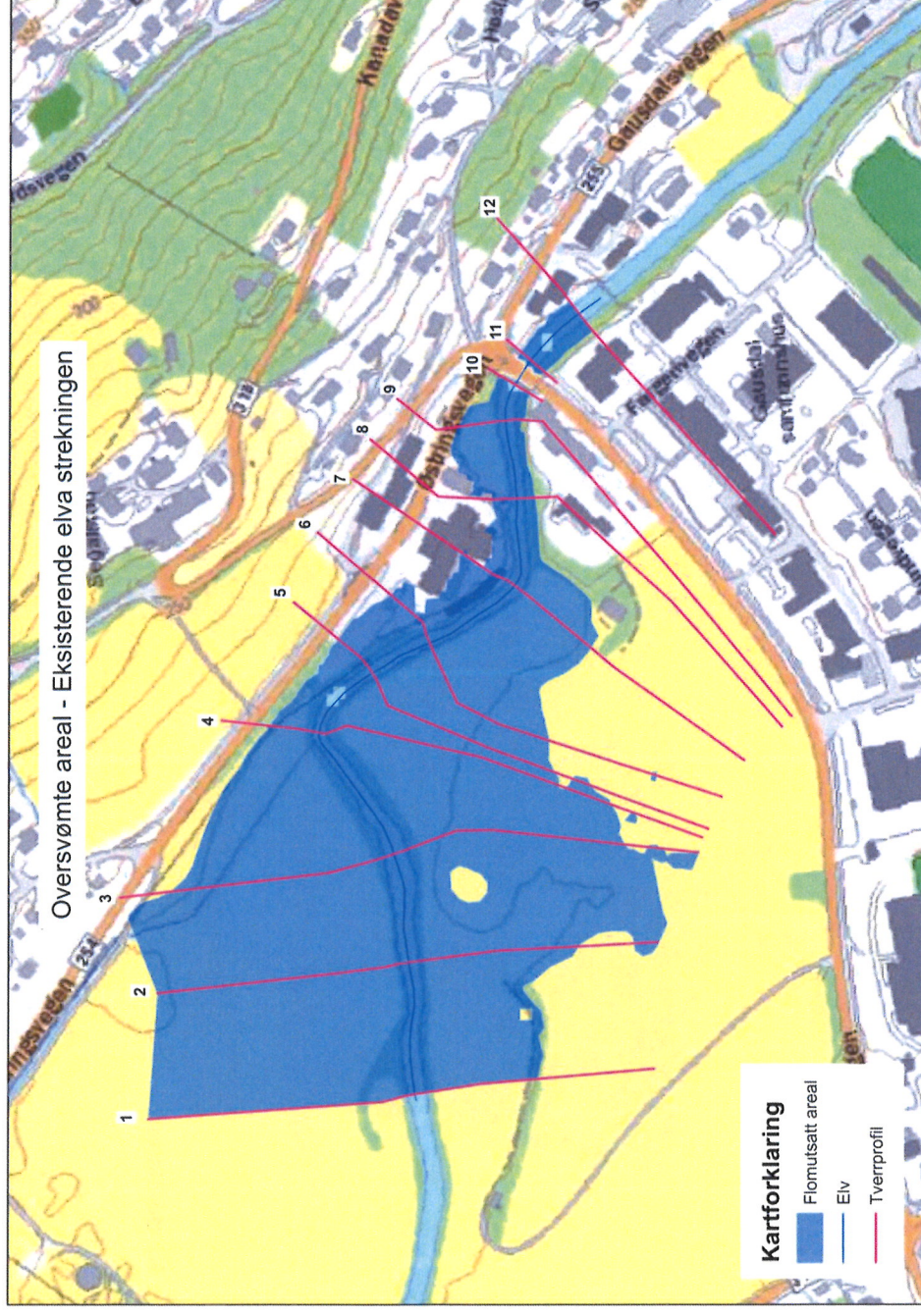
NVE , 2009: Veileder for dimensjonering av erosjonssikringer av stein. Veileder nr 4.

NVE , 2011: Retningslinjer for flomberegninger til § 5-7 i forskrift om sikkerhet og tilsyn med vassdragsanlegg. Retningslinje 4/2011. Norges vassdrags- og energidirektorat.

NVEs lavvannskart. www.nve.no

6 VEDLEGG

Vedlegg 6.1 Oversikt over oversvømmelser i den aktuelle elvestrekningen ved 200-års flom + 20% økning



Vedlegg 6.2 Oversikt over oversvømmelser i elva etter omlegging ved 200-års flom + 20% økning

