

InterCity Dovrebanen

Fagrappport hydrologi

Mai 2016



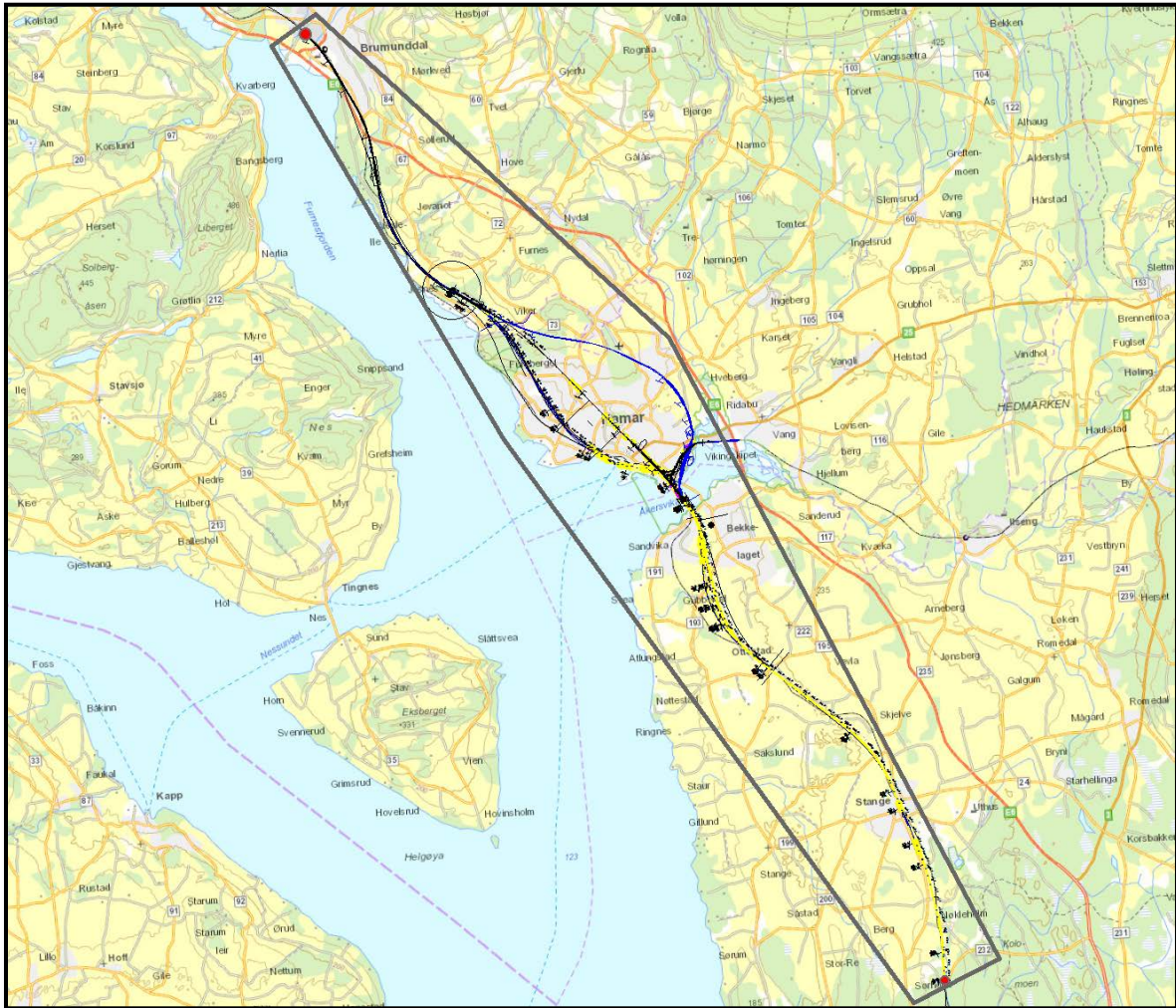
Innholdsfortegnelse

1	INNLEDNING	2
2	TILTAKET	3
2.1	UTREDNINGSOMRÅDE	3
3	HYDROLOGISKE FOKUSOMRÅDER	4
4	METODE	5
4.1	GENERELL HYDROLOGI OG KLIMA	5
4.2	FLOMFORHOLD	5
5	KLIMA	12
5.1	MÅLESTASJONER	12
5.2	NEDBØR	13
5.3	TEMPERATUR.....	14
5.4	VIND.....	15
5.5	IS OG VANNTEMPERATUR	15
6	GENERELL HYDROLOGI I OMRÅDET	17
6.1	HYDROMETRISKE MÅLESTASJONER I OMRÅDET.....	17
7	HYDROGEOLOGI	22
8	SÆRSKILTE HYDROLOGISKE FOKUSOMRÅDER	29
8.1	FLOMVANNSTANDER I MJØSA	29
8.2	FLOMBEREGNINGER FOR DIMENSJONERING AV KULVERTER OG BEKKEKRYSNINGER	36
8.3	HYDROLOGISKE FORHOLD I ÅKERSVIKA	41
8.4	KRYSSING MED BRU OVER BRUMUNDA.....	50
8.5	MULIG OMLEGGING AV BRENNERIBEKKEN	54
9	REFERANSER OG RELEVANT LITTERATUR	57

1 Innledning

Modernisering av Dovrebanen sør for Lillehammer er en del av InterCity-satsingen på Østlandet. I henhold til Nasjonal transportplan 2014–2023 skal det være sammenhengende dobbeltspor sør for Hamar innen 2024, mens strekningen videre til Lillehammer skal planlegges med sikte på ferdigstilling innen 2030. Jernbaneverket er tiltakshaver for prosjektet.

I forbindelse med utarbeidelse av konsekvensutredning og hovedplan for IC Dovrebanen er det i denne rapporten beskrevet hydrologiske forhold av betydning for prosjektet.



Figur 1 Utredningsområde.

2 Tiltaket

Utredningsområdet strekker seg fra Sørli i Stange kommune i sør til Brumunddal i Ringsaker kommune i nord. I Stange kommune, fra Sørli til Bekkelaget, er det ett alternativ til dobbeltspor, med en variant fra Ottestad til Åkersvika. Gjennom Hamar er det tre korridorer som utredes, korridor 1 (K1) vest i området, korridor 2 (K2) sentralt i området og korridor 3 (K3) øst i området. Til sammen utredes tre alternativer til dobbeltspor og en variant i Hamar; alternativ K1-2, variant K1-3b, alternativ K2-1a og alternativ K3-3. I Ringsaker, på strekningen Jessnes til Brumunddal utredes ett alternativ til dobbeltspor; alternativ 3. Over elva Brumunda foreligger alternativet med to ulike høyder.

2.1 Utredningsområde

Utredningsområdet er definert med utgangspunkt i parsellgrensene Sørli i sør og Brumunddal i nord (se Figur 1). I tillegg omfatter utredningsområdet arealer som har betydning for de enkelte fagtemaenes vurderinger.

3 Hydrologiske fokusområder

Ved siden av de mer generelle hydrologiske og hydrogeologiske forholdene i området er det i større detalj beskrevet flere spesielle hydrologiske problemstillinger:

- Flomvannstander i Mjøsa
- Flomberegninger for dimensjonering av kulverter og bekkekryssninger
- Hydrologiske forhold i Åkersvika
- Kryssing med bru over Brumunda
- Mulig omlegging av Brenneribekken

4 Metode

4.1 Generell hydrologi og klima

Underlag for denne vurderingen er basert på opplysninger knyttet til planen, tidligere arbeider i området, NVEs retningslinjer for flomberegninger (2011), NVEs digitale avrenningskart for 1961-1990 (2002) og NVEs vannføringsdatabase HYDAG.

Klimatiske data hentes fra www.eklima.no, som driftes av Met.no. I tillegg benyttes underlag og tjenester fra www.senorge.no/ og www.xgeo.no/ som driftes sammen med NVE.

4.2 Flomforhold

4.2.1 Krav om flomberegninger

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.

Risiko og sårbarhetsanalyse (ROS-Analyse) skal gjennomføres ved utarbeidelse av alle planer for utbygging og problemstillinger knyttet til flom og ras skal være en del av en slik analyse.

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" (Byggteknisk forskrift, TEK 10). 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 for skade 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*¹) avhengig av konsekvensgrad ikke overskrides.

For byggverk/konstruksjoner hvor konsekvens anses som liten (sikkerhetsklasse F1) er denne største nominelle årlige sannsynlighet satt til 1/20 eller 20 års returperiode. For middels konsekvens (sikkerhetsklasse F2), her innbefattet infrastruktur, er returperioden satt til 200 år og for byggverk/konstruksjoner med stor konsekvensgrad (sikkerhetsklasse F3) er returperioden på 1000 år.

¹ Returperiode (gjentakintervall) 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.

Byggverk hvor konsekvensen av en flom er særlig stor, skal ikke plasseres i flomutsatt område.

Som NVE har også Statens vegvesen og Jernbaneverket egne retningslinjer med krav til undersøkelser og sikkerhet. Flom- og skredfare knyttet til omkringliggende arealer skal omtales og vurderes i planer som omhandler jernbane og vei. Bygging av vei og jernbane må heller ikke føre til økt vassdragsrelatert fare som flom, erosjon, dårligere områdestabilitet eller lignende.

Statens vegvesens Håndbok N200 gir føringer for dimensjonering av veianlegg mot flomrisiko. Normalt legges 200 års gjentaksintervall til grunn for dimensjonerende flom ved permanente anlegg. For viktige veier uten reell omkjøringsmulighet kan det være aktuelt med et høyere gjentaksintervall. For veier med mindre viktighet kan det benyttes 50 års gjentaksintervall.

Ved midlertidige arbeider kan mindre gjentaksintervall benyttes, og det kan også tas sesonghensyn.

Fra Håndbok N400 (Bruprosjektering), har vi at fri høyde over vassdrag skal normalt velges slik at flomvannstanden tilsvarende en flom med returperiode på 200 år har minst 0,5 m klaring mot overbygningen. Klaringen bør velges større når flommen har stor vann-hastighet og fører med seg drivende gjenstander. Reglene gjelder ikke for kulverter som brukes til vanngjennomløp i fyllinger.

Det er i tillegg beskrevet i «Teknisk designbasis for InterCity» krav knyttet til dimensjonering av flom i IC (Teknisk designbasis, 2015). Her sies;

For nybygging av jernbaneinfrastruktur i ICP, benyttes sikkerhetsklasse F2 for dimensjonering mot flom og stormflo. Dette innebærer middels konsekvens og at «største nominelle årlige sannsynlighet» er 1/200 det vil si 200 års gjentaksintervall.

I tillegg presiseres at alle høydereferanser må transformeres til NN2000 (*se neste side*).

Når det gjelder nedbørsmengder forutsettes det et 200 års gjentaksintervall med 10 % påslag som klimafaktor for å fremskrive gjentaksintervallet til 2100.

Beregning av vannmengder og dreneringskapasitet i mindre nedbørfelt skal baseres på nedbørsintensitet og nedslagsfelt i henhold til NIFS rapport 13-2015 «Nasjonalt formelverk for flomberegning i små nedbørfelt».

Når det gjelder flomnivå i større vassdrag og innsjøer benyttes det 200 års gjentaksintervall, fremskrevet til 2100 for klimaendringer. NVEs flomsonekart /flomvannsobservasjoner benyttes i den grad dette finnes for å finne flom med 200 års gjentaksintervall for dagens situasjon.

Konvertering fra NN54 til NN2000

Norge har innført et nytt høydesystem, NN2000, som skal erstatte høydesystemet fra 1954, NN54.

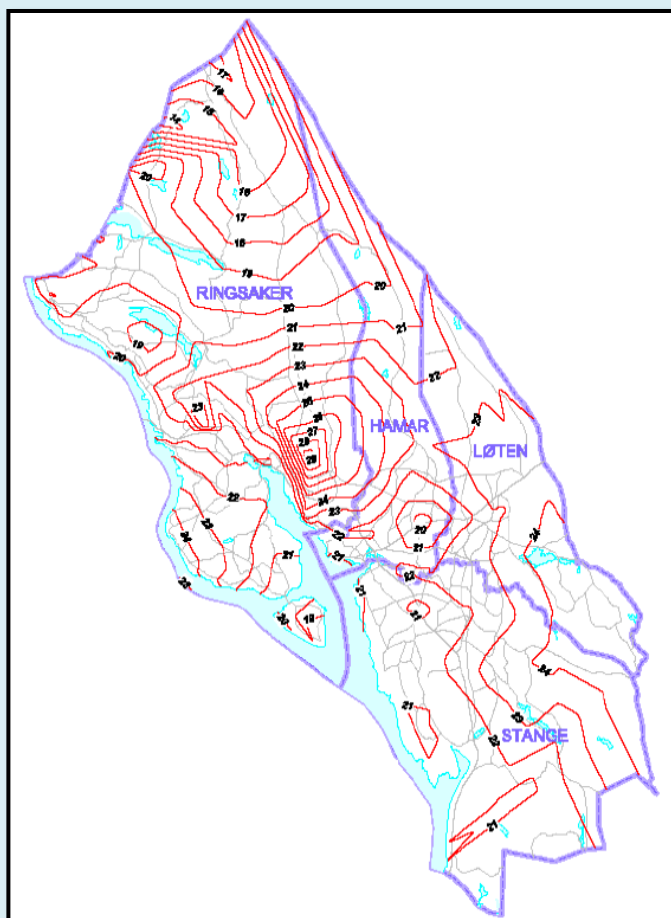
Høydesystemet er den referansen som ligger til grunn når man angir hvor mange meter over havet (moh.) for eksempel et fjell eller en innsjø ligger.

Høydesystemet vi har hatt i Norge de siste 60 årene, heter NN54. Det står for «normal null av 1954». Dette er et 60 år gammelt system som inneholder betydelige mangler og svakheter. Enkelte steder er høydeangivelsene mer enn 30 centimeter for lave. Det er en konsekvens av at NN54 ikke er blitt korrigert for landhevingen de siste 60 årene. Dessuten hever Norge seg fremdeles etter istiden, enkelte steder opptil 5 millimeter i året. Endringene varierer i ulike deler av landet.

På bakgrunn av dette har Norge hatt behov for et nytt høydesystem. Det har fått navnet NN2000. Alle målinger som er benyttet til å realisere systemet, er korrigert til år 2000. Det betyr også at all landheving fremover blir korrigert med moderne beregningsteknologi (landhevingsmodell). Det er innført et høydesystem som vil vare i mange år, uten behov for endringer.

NN2000 muliggjør også bedre utnyttelse av satellittbasert måleteknologi (GPS/GNSS). Referansen må til enhver tid være bedre enn oppmålingsteknologien. Utgangshøyden er hentet fra fundamentalpunktet Normal Amsterdams Peil. Dette fundamentalpunktet er også benyttet i det nye europeiske vertikale datumet EVRF2007.

I Hamar kommune er forskjellen mellom NN54 og NN2000 på mellom 20 og 25 cm. For flomvannstander kan det benyttes en korrigeringsfaktor på +21 cm for konvertering til NN2000



Figur 2 Isolinjekart for høydeendring for Hamar kommune (Skjefte 2011)

For deretter å ta hensyn til klimaendringene benyttes NVEs rapport 5/2011 for framskrivning til 2100. For Hamarområdet er denne framskrivningen tolket til å bety +10 % økning i flomstørrelse i forhold til dagens (år 1990) 200 års gjentaksintervall.

For bølger i innlandssjøer kan NVEs «Retningslinjer for laster og dimensjonering til §§4-1 og 4-2 i forskrift om sikkerhet og tilsyn med vassdragsanlegg», Kap. 3 (NVE 2003) benyttes for beregning av bølgehøyder basert på vind.

For vann-nivå i forhold til skinnetopp skal overkant av laveste skinne ligge minimum 40 cm over dimensjonerende vannstand i henhold til ovenstående, og bør ligge 80 cm over.

Tekniske hus og andre vannømfintlige installasjoner må plasseres/konstrueres slik at de tåler dimensjonerende vannbelastning.

For ytterligere beskrivelser henvises til «Teknisk designbasis for interCity» (TD, 2015).

4.2.2 Metode - beregning av flommer

Det er de klimatiske og fysiografiske forholdene i vassdraget som påvirker flomforholdene.

Som en hovedregel er det regn som skaper flom, og da særlig høye intensiteter med varigheter som tilsvarer konsentrasjonstiden til vassdraget. Dette varierer fra noen minutter i urbane områder til uker i store vassdrag som Glomma eller i innsjøer med trange utløp.

Det er likevel ikke en entydig sammenheng mellom store nedbørmengder og flom. Hvert år gir snøsmelting flommer mange steder i landet, men når skadeflommer oppstår, er slike stort sett forårsaket av regn eller en kombinasjon av regn og snøsmelting.

De største flommene oppstår derfor som regel når nedbør kombineres med andre ugunstige forhold, som snøsmelting, mettete mark på grunn av tidligere nedbør, eller frossen mark.

Størrelsen på nedbør og de tilhørende flommer varierer stort i Norge. Det samme gjør også årstiden for de største flommene. I kyststrøkene er det høst- og vinterflommer som dominerer og i innlandsstrøkene er det ofte våren og forsommeren som er kritisk, med stor snøsmelting kombinert med regn, og høstmånedene, med regn på mettete mark.

Store og små vassdrag opptrer også forskjellig. Store vassdrag har som regel mindre spesifikke flommer enn små vassdrag. Det vil si at volumet kan være stort men avrenningen pr. areal enhet er lavere.

Små vassdrag, og særlig felt med høy grad av urbanisering, er ofte karakterisert ved rask flomstigning og spisse flomforløp. I slike felt opptrer flommer gjerne i forbindelse med intens nedbør. Større felt reagerer vanligvis ikke på slike situasjoner da arealutbredelsen av nedbøren ofte er liten og nedbørfeltene ofte har et større markvannsunderskudd.

Høydefordelingen og helningsforholdene i nedbørfeltet kan også ha avgjørende betydning for flomutviklingen i et vassdrag. Normalt inntreffer ikke snøsmeltingen samtidig i høyfjellet og lavlandet, men i felt med liten høydeforskjell kan snøsmeltingen være omtrent like intens i hele feltet samtidig.

I bratte felt vil flomvannet samles raskere i hovedvassdraget enn i flate felt. Det samme gjelder felt med et godt utviklet dreneringsnett i forhold til felt med få bekker og elver.

Forekomsten og plasseringen av innsjøer i et nedbørfelt har også stor betydning for flomutviklingen. Innsjøer virker flomdempende, særlig store innsjøer og innsjøer langt nede i vassdraget. (NVE, 2011).

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

- Flomfrekvensanalyser
- Nedbør-avløpsmodellering

Flomfrekvensmetoden er vanligvis basert på analyser av målte avløpsserier

Nedbør-avløpsmetoden er basert på frekvensanalyser av nedbørdata, hvor nedbør- og eventuelt snøsmelteverdier overføres til flomverdier ved hjelp av hydrologiske modeller.

Den rasjonelle formel kan anses som en enkel slik modell.

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-avløpsmetoden for flomberegningen. I slike tilfeller må resultatet likevel vurderes mot observerte flomdata eller erfaringstall for flomstørrelser.

For veldig små nedbørfelt (i størrelsesorden 2-5 km²) kan den rasjonelle formel benyttes. Bli vassdragene særlige større enn dette kan imidlertid denne formelen gi store usikkerheter. For store nedbørfelt, dvs. felt større enn 20 km² kan det også vurderes å benytte regionale flomfrekvensformler. Disse er imidlertid svært sårbare for andelen fjell i feltet og bør ikke benyttes for rene lavlandsfelt med vårflokker.

I forbindelse med Etatsprogrammet "NATURFARE – infrastruktur, flom og skred (NIFS)", som er et samarbeidsprosjekt mellom NVE, Jernbaneverket og Statens vegvesen, er det i 2015 utarbeidet et nasjonalt formelverk for beregning av flom i små nedbørfelt (NVE 13/2015)

Som et ledd i utviklingen av nye retningslinjer / veiledere for beregning av flom i små vassdrag er det planlagt at dette blir en av flere foreslåtte metodikker.

NVE 13/2015 beskriver utarbeidelsen av et nasjonalt formelverk for beregning av middelflom og flommer med høyere gjentaksintervall for små umålte nedbørfelt i Norge. Regresjonsanalysene ble utført på et datasett bestående av vannføringsserier og feltkarakteristika for 149 nedbørfelt. Analysene ga et formelverk hvor middelflommen, Q_M , estimeres ved to kovariater. Disse to er middeltilsiget (middelvannføring i perioden 1961-90 i m³/s) og effektiv sjøprosent. Formelen for middelflommen Q_M er som følger:

$$Q_m(MIDTILSIG, EFF_SJO) = 18.97 MIDTILSIG^{0.864} e^{-0.251 \sqrt{EFF_SJO}}$$

Videre ble det etablert et formelverk for å estimere vekstkurven for små umålte nedbørfelt. Altså hvordan gå fra middelflom til en flom med et høyere gjentaksintervall. Denne analysen gir en formel med 3 parametere hvor en er middelflommen som er beskrevet over. De to andre parameterne som inngår i formelen for vekstkurver er middelavrenningen (midlere årsavrenning i perioden 1961-90 i

$l/s \cdot km^2$) og effektiv sjøprosent. Formelen for beregning av forholdstallet mellom en flom, $Q(T)$, med gjentakintervall T og middelflom, Q_M , er som følger:

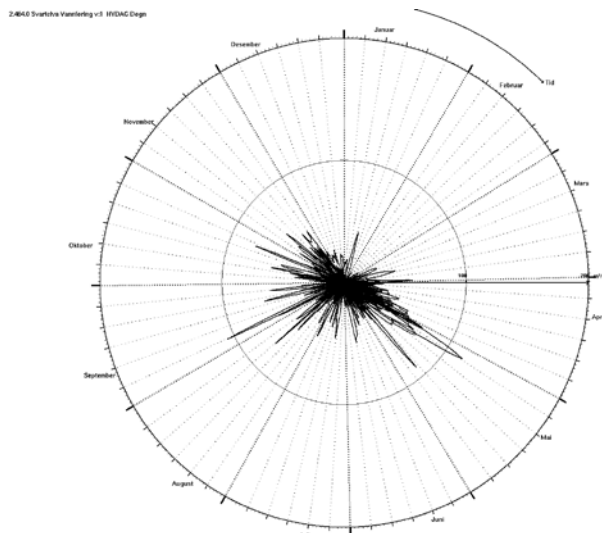
$$\frac{Q(T)}{Q_M} = 1 + 0.308 \cdot AVR_{-6190}^{-0.137} \left[\Gamma(1+k) \Gamma(1-k) - (T-1)^{-k} \right] e^{0.161z} / k \text{ der}$$

$$k = -1 + 2 / \left[1 + e^{0.391 - 1.54 \cdot EFF_{-SJO} / 100} \right]$$

Dette formelverket gir kulminasjonsverdier.

4.2.3 Sesonginndeling for flomberegning

For store deler av landet skilles det hovedsakelig mellom to forskjellige typer flommer, vårflokker og sommer/høstflokker. Disse må derfor statistisk behandles adskilt.



Figur 3 Årspolar plott 2.464 Svartelva

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 årsflokker.

Sesonginndelingen i vår- og sommer/høstflokker velges ut fra feltets beliggenhet.

I kystnære og relativt lavtliggende vestlandsvassdrag vil milde perioder i kombinasjon med nedbør i form av regn kunne gi flommer om vinteren. Det vil derfor være fare for flom gjennom store deler av året og det er ikke noe klart sesongskille.

For Mjøsa er det i hovedsak smelteflokker på vår / tidlig sommer. For mindre nedbørfelt i lavlandet kan det også være flommer på sommer og sen høst og en og annen vinterflom.

4.2.4 Beregning av flommers størrelse og forløp

Som oftest er det flommens kulminasjonsstørrelse som er av interesse, men i flomberegninger for reguleringsmagasiner og andre innsjøer kan ofte flommens varighet og forløp også være av interesse. Er dempingen i innsjø/magasin liten er kulminasjonsvannføringen viktigst og er dempingen stor er flommens volum av større betydning.

Hvis flomverdien er beregnet som døgnmiddelverdier, må også kulminasjonsverdien estimeres. Hvis data foreligger 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 data ikke foreligger anbefales det å benytte formler, basert på feltparametere, for å beregne forholdstallet mellom momentanflom og døgnmiddelflom. Disse formlene er gjengitt under.

$$\text{Vårflom: } Q_{\text{mom}}/Q_{\text{døgn}} = 1,72 - 0,17 \cdot \log A - 0,125 \cdot A_{\text{SE}}^{0,5}$$

$$\text{Høstflom: } Q_{\text{mom}}/Q_{\text{døgn}} = 2,29 - 0,29 \cdot \log A - 0,270 \cdot A_{\text{SE}}^{0,5}$$

Hvor :

- A = Nedbørfeltets areal
- A_{SE} = Nedbørfeltets effektive sjøprosent

* Prefixet log angir at Briggske logaritmer (10-logaritmer) av parameteren benyttes.

NVEs veileder for flomberegning (NVE 2011) presenterer også observerte forholdstall mellom momentanflom og døgnmiddelflom for en rekke målestasjoner.

For enkelte små felt eller felt med svært liten naturlig dempning er det funnet faktorer opp mot ca. 3,0.

5 Klima

Klimaet har typisk innlandspreg, med relativt lite nedbør, kalde vintre, varme somrer og betydelige forskjeller mellom dag- og nattetemperaturen i sommerhalvåret.

5.1 Målestasjoner

Met.no (DNMI) drifter flere stasjoner i området, hvorav tre er vist i mer detalj. Stasjonenes plassering er vist i kart i Figur 4.

Klimatiske data hentes fra www.eklima.no, som driftes av Met.no. I tillegg benyttes underlag og tjenester fra www.senorge.no/ og www.xgeo.no/ som driftes sammen med NVE.



Figur 4 Plassering av meteorologiske målestasjoner

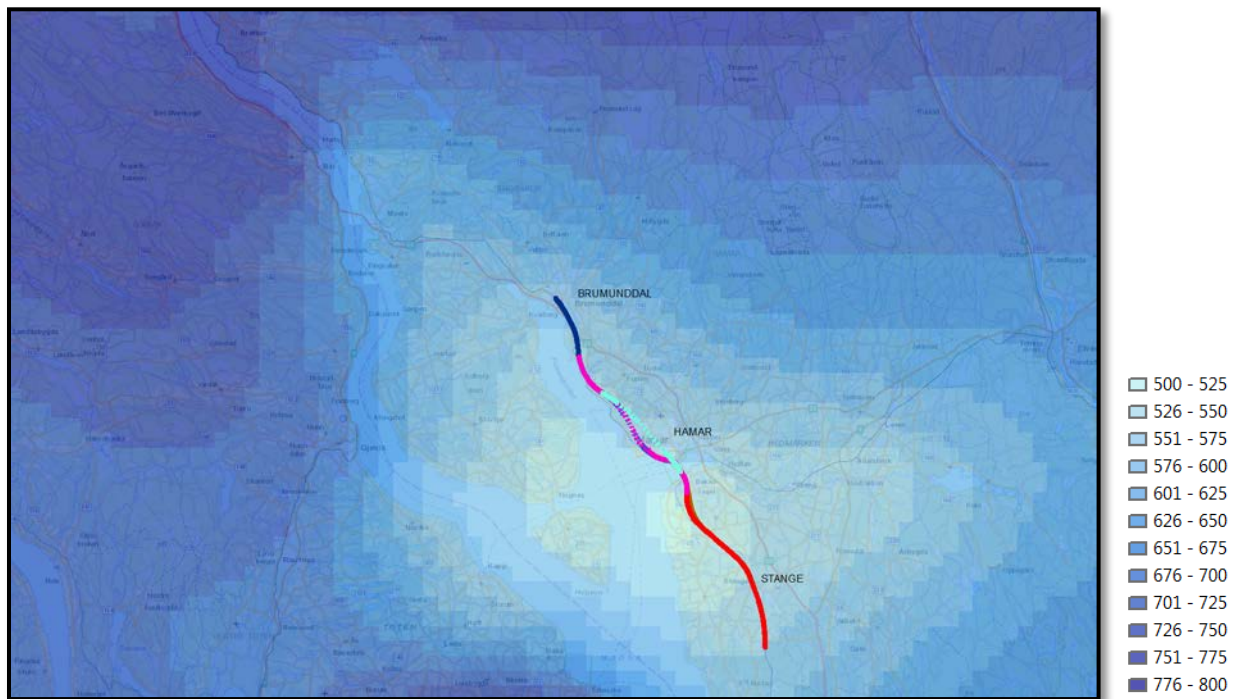
Hamar (Stavsberg) målestasjon ligger i Hamar kommune, 221 m o.h. Stasjonen ble opprettet i mai 1956. Stasjonen måler nedbør, temperatur og vind. Grunnet enkelte perioder uten data i observasjonsperioden mangler det normaler for nedbør og temperatur.

Hamar II (Disen) målestasjon ligger i Hamar kommune, 132 m o.h. Stasjonen ble opprettet i mai 1968. Stasjonen måler nedbør og temperatur. Det mangler normaler for nedbør og temperatur.

Ilseng målestasjon ligger også i Hamar kommune, 182 m o.h. Stasjonen ble opprettet i juni 1959. Stasjonen måler nedbør, temperatur og snødybde. Dette er den eneste stasjonen med måleperiode som dekker normalperioden 1961-1990.

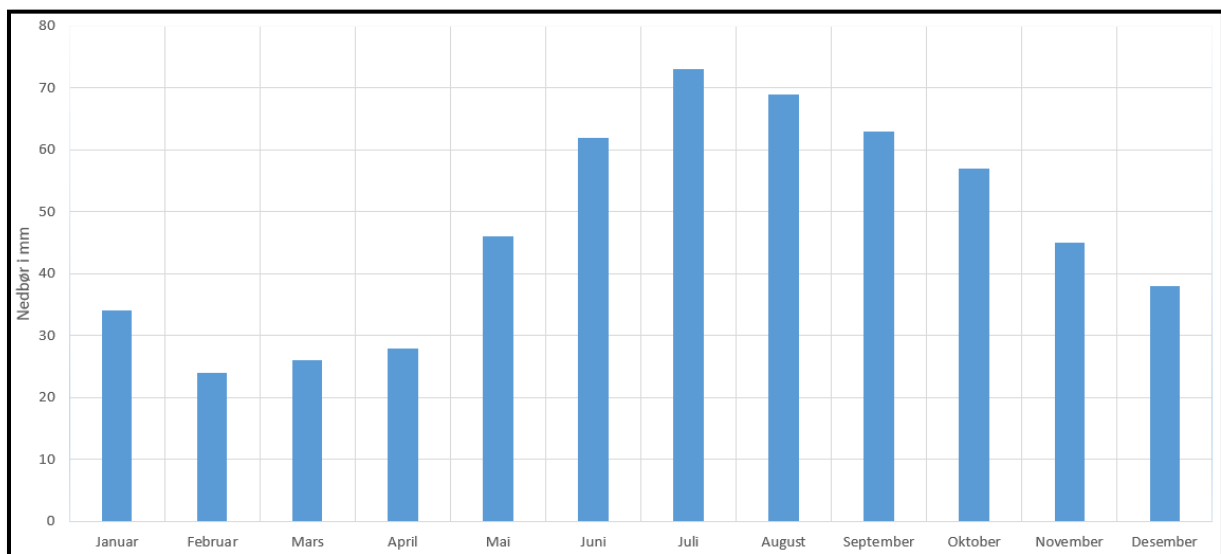
5.2 Nedbør

Nedbøren har sommermaksimum. Årsnedbøren er 600–800 mm i sør, økende mot åser og høydedrag, og kommer opp i 1000 mm over den sørlige del av Hedmarksvidda. Så minker den nordover til ca. 400 mm i skjermede dalstrøk aller lengst nord. Geografisk fordeling er vist i Figur 5.



Figur 5 Nedbørnormaler i regionen i mm pr. år

(Data fra met.no)



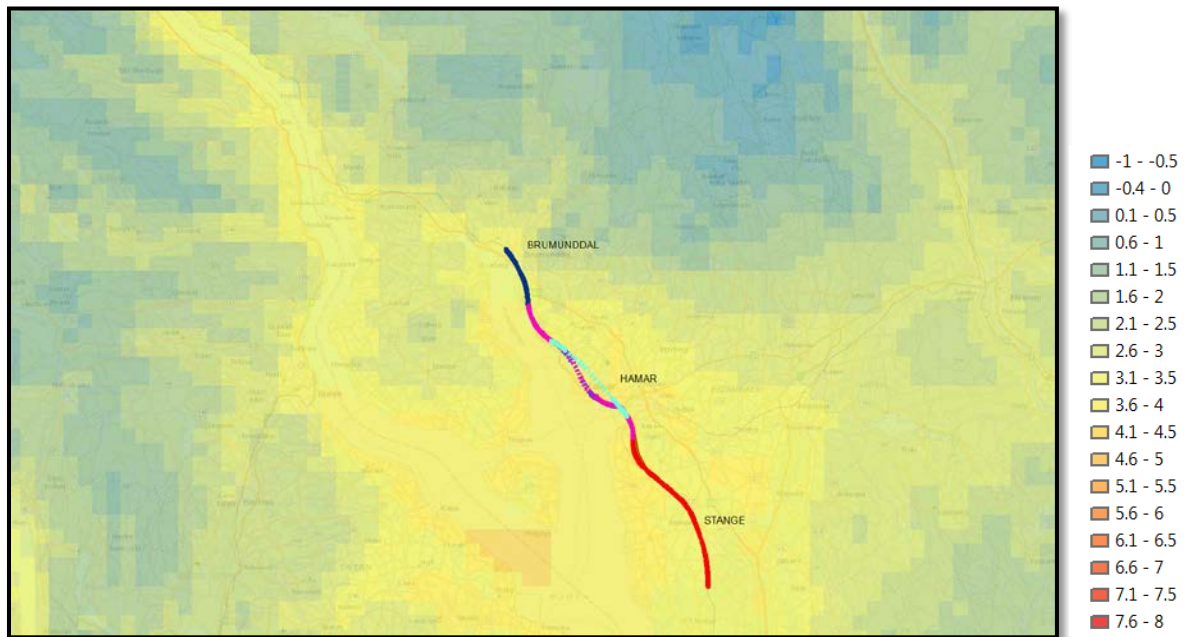
Figur 6 Nedbørnormal ved Ilseng målestasjon

(Data fra met.no)

5.3 Temperatur

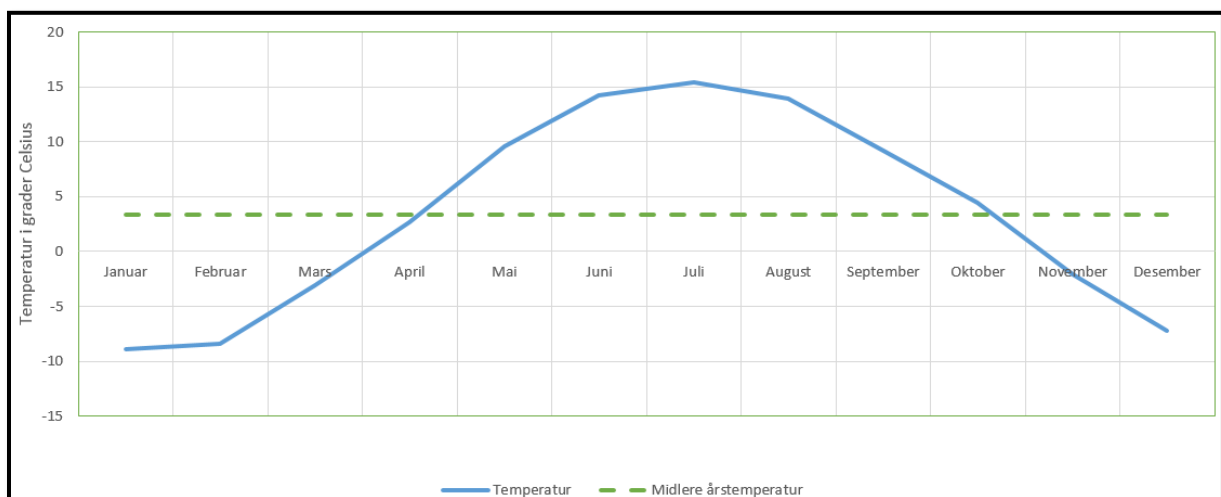
Middeltemperaturen for januar er fra -6 til -8 °C i sør, og fra -10 til -13 °C i nordlige dalstrøk. I de nordlige dalstrøkene måles det fra tid til annen minimumstemperaturer under -40 °C, med -47 °C i Engerdal i januar 1987 som det absolutt laveste. Juli-midlene er ca. 16 °C i sør, ned til ca. 13 °C i øvre dalfører, og synker ca. $2/3$ grad per 100 m oppover i høyden. Høyeste maksimumstemperaturer går opp i drøyt 30 °C. Særlig i de indre dalstrøkene kan det forekomme frostnetter om sommeren, selv i juli.

Temperaturnormalene, årlig middeltemperatur i grader celsius er vist i Figur 7.



Figur 7 Temperaturnormaler i regionen, årlig middeltemperatur i grader Celsius.

(Data fra met.no)

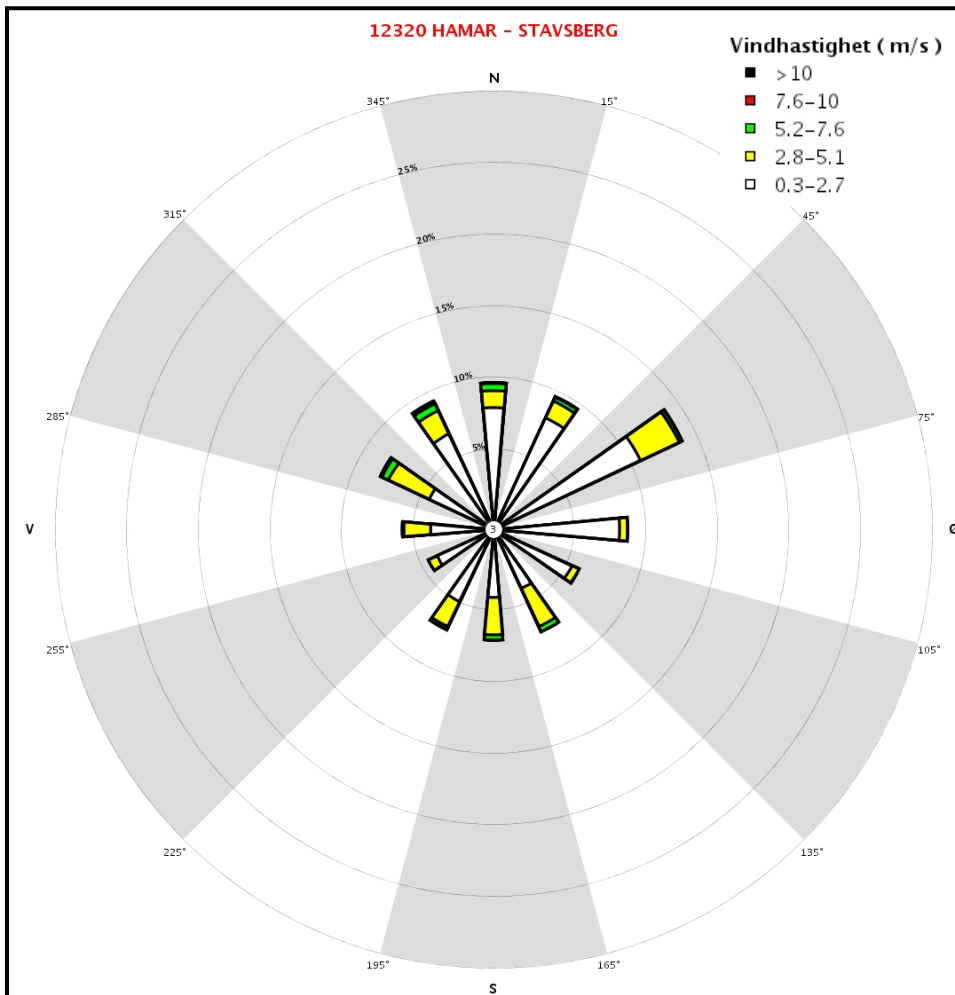


Figur 8 Temperaturnormal ved Ilseng målestasjon

(Data fra met.no)

5.4 Vind

Vinden er sjelden av noen styrke og blåser oftest i dalførenes hovedretning, fra nordvest om vinteren, fra sørøst om sommeren. Om vinteren er det ofte inversjoner (temperaturstigning med høyden) med svak vind eller vindstille i lavere strøk. Vindrose for målestasjonen Hamar-Stavsberg er vist i Figur 9.



Figur 9 Vindrose 12320 Hamar – Stavsberg for perioden okt.2005 – jan.2016. (Data fra met.no)

5.5 Is og Vanntemperatur

I Mjøsa er vanntemperaturen høst og vår nokså lik fra overflaten til bunnen, mens om sommeren stiger overflatetemperaturen til 13-16°C og opp til 20°C innerst i Furnesfjorden.

Det relativt varme overflaten på 13-16°C kan i august gå ned til omkring 10-15 meter dybde. Om sommeren kan vind og strøm føre til store forskjeller i overflatetemperatur mellom ulike deler av Mjøsa slik at overflatetemperaturen ved Minnesund kan være under 10°C samtidig som det er opp mot 20°C i Furnesfjorden.

Når innsjøen er islagt er vannmassene mer i ro og temperaturen stiger fra de laveste temperaturene rett under isen på overflaten til 3-4°C i dypere vannmasser. Innerste delen av Furnesfjorden, og

Mjøsa nord for Vingrom, fryser ofte til i desember (og der kan den bli liggende til mai). I januar blir normalt hele Furnesfjorden og Mjøsa sør til Helgøya blir islagt. I kalde vintre kan hele Mjøsa bli islagt i løpet av februar. Isløsingen ved Helgøya begynner normalt i april (Nashoug 1999).



Figur 10 Isdekke på Mjøsa

(Foto: Øyvind Holmstad)

Vanligvis legger isen seg midtvinters mellom 15. januar og 15. februar, men noen år blir ikke innsjøen islagt eller har ikke kjørbare is. Nord i Mjøsa er det nesten alltid is.

Ved spesielt gunstige isforhold vinterstid har man brøytet kjørbare isveier tvers over Mjøsa. For 1963 anslos trafikken mellom Hamar og Nes til 25.000 kjøretøy. Trafikken på isveier og med ferje illustrerte dermed potensialet for bru (Johnsen 1992). Denne ble senere realisert og åpnet i november 1985.

6 Generell hydrologi i området

Mjøsa utgjør det vesentligste hydrologiske elementet i området og er beskrevet i mer detalj i 8.1.

Den foreslåtte linjetraseén går på østsiden av Mjøsa, gjennom kommunene Stange, Hamar og Ringsaker i Hedmark fylke. Traseén krysser en rekke mindre bekker og noen større vassdrag hvorav Brumunda er det største med et nedbørfelt på 221 km².

En enkel inndeling av Nordens hydrologiske regioner bygger på avrenningens sesongvariasjon, også kalt regime. Inndelingen utnytter informasjon om månedsfordelingen av flom- og lavvannsperioder (Gottschalk et al., 1979). Mjøsområdet er i denne klassifiseringen i regime H1L1 (Innlands-regime), som har flomregime med dominerende snøsmelteflom og hvor de tre månedene med høyest middelavløp forekommer om våren eller forsommeren, typisk mai - juli. Det er dominerende vinterlavvann pga. snøakkumulasjon. De to laveste månedsavløp forekommer om vinteren eller tidlig vår, typisk februar - mars.

Området har forholdsvis lav midlere spesifikk avrenning, som vist i Figur 13, på rundt 10-15 l/s pr. km² ifølge NVEs avrenningskart for perioden 1961-1990 (NVE 2002). Dette ser imidlertid ut til å være noe underestimert, som beskrevet i 6.1 og 8.3.2.

6.1 Hydrometriske målestasjoner i området

I tilgrensende nedbørfelt er det i dag tre målestasjoner i drift som registrerer vannføring;

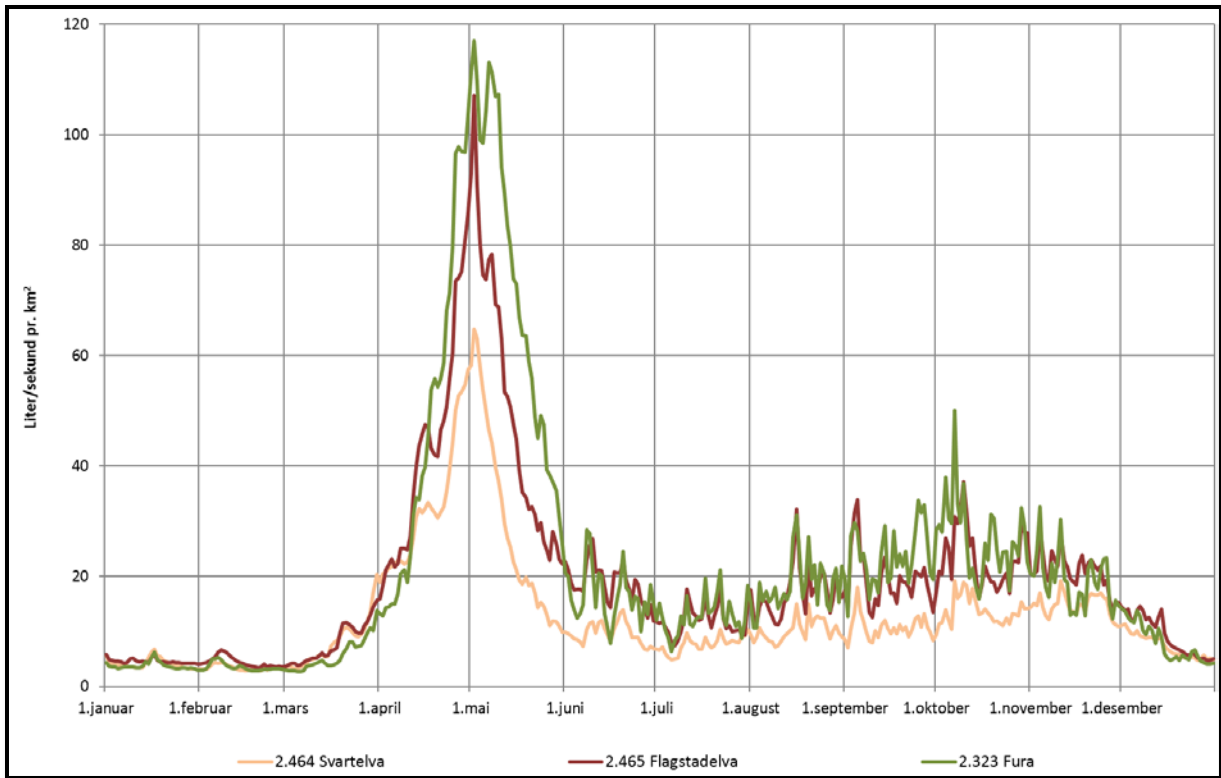
- 2.323 Fura (1970 – d.d)
- 2.464 Svartelva (1986 – d.d)
- 2.465 Flagstadelva (1986 – d.d)

I tillegg er det tre andre stasjoner som nå er avsluttet, men som har data i varierende lengde i tidligere perioder;

- 2.216 Hørsand bru (1928 – 1955)
- 2.219 Rokoelv (1927 – 1988)
- 2.602 Finsahlbekken (1991 – 1996)

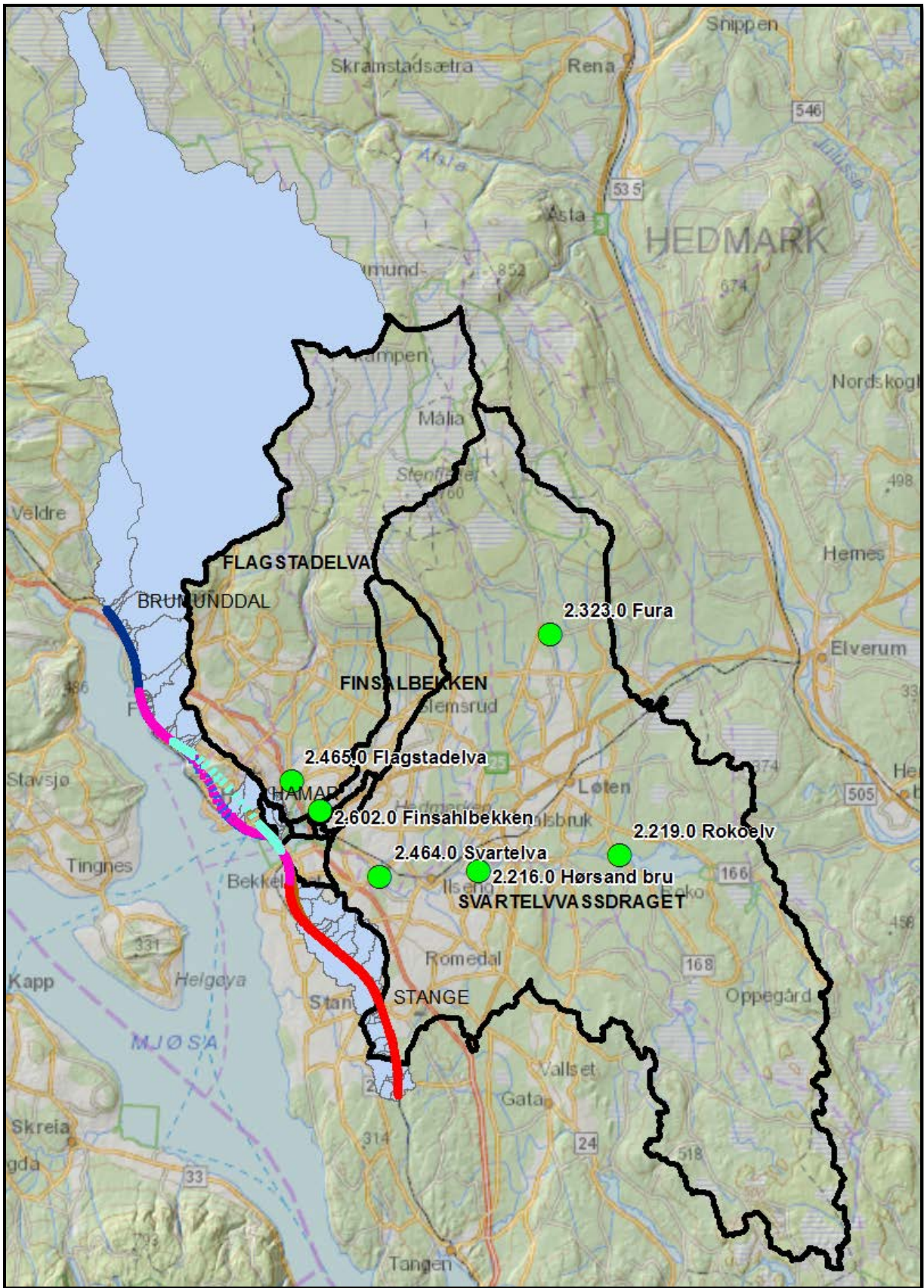
Plassering av Målestasjonene sammen med tilgrensende nedbørfelt ned til vurderte linjer og til Åkersvika er vist i Figur 12. Midlere spesifikk avrenning for de tre pågående stasjonene er vist i Figur 11.

Vannstand i Mjøsa registreres ved målestasjonen på Domkirkeodden ved Hamar, 2.101 Hamar (Mjøsa) som har data helt tilbake til 1856.

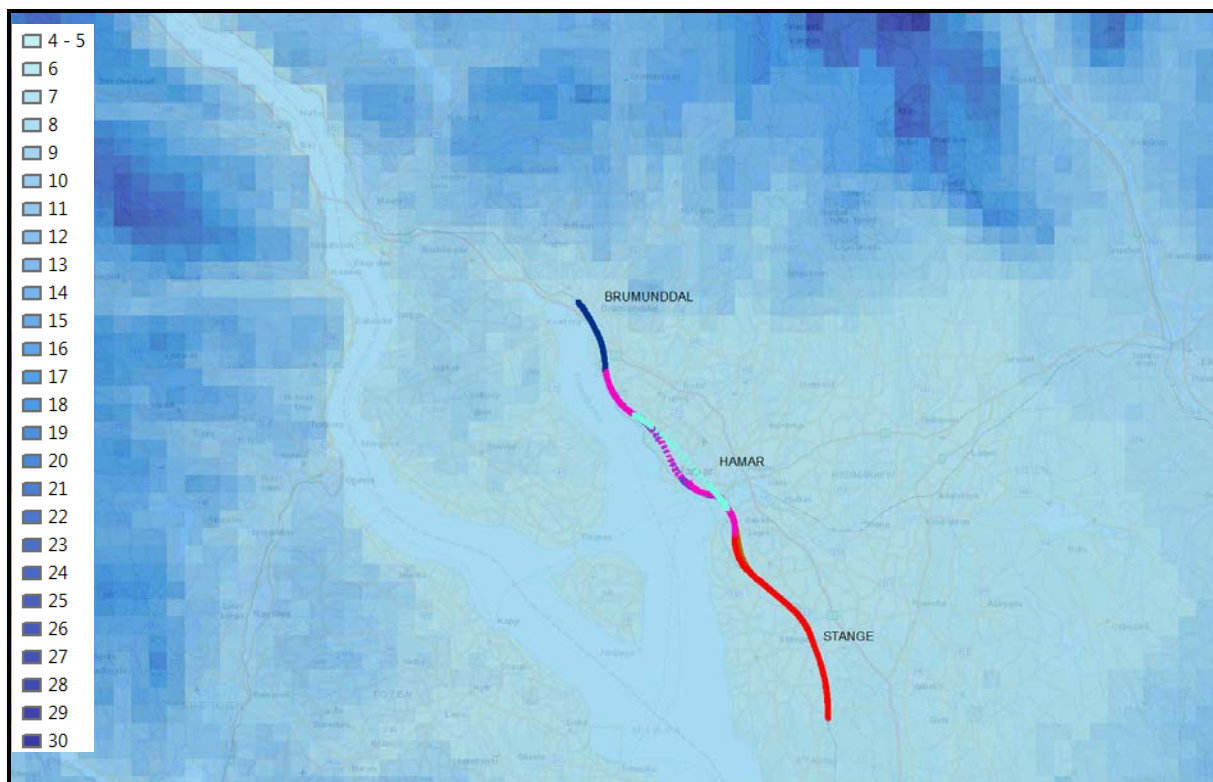


Figur 11 Midlere daglig spesifikk avrenning for de pågående målestasjoner.

(Data fra NVE)



Figur 12 Hydrometriske målestasjoner i området.



Figur 13 Midlere årlig spesifikk avrenning i regionen. Verdier i l/s pr. km².

(Data fra NVE)

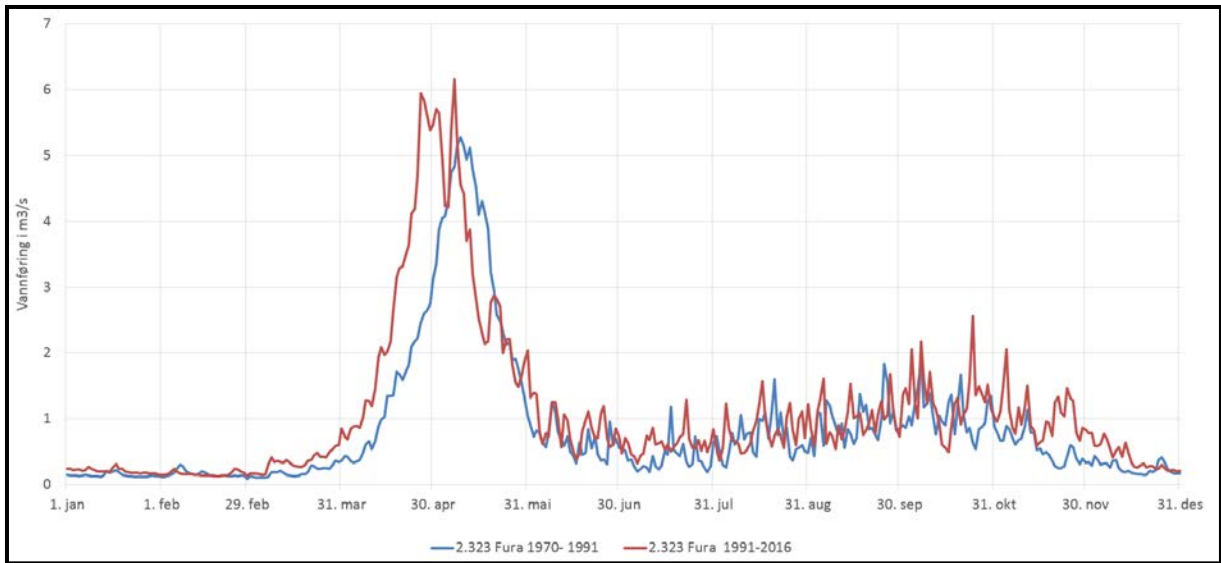
Beregnes middelavløpet for nedbørfeltene til de vurderte avløpsstasjonene som er i drift, ved hjelp av NVEs digitale avrenningskart, blir verdiene for perioden 1961-1990 som gitt i Tabell 1.

Avløpet ved målestasjonene er også beregnet fra observerte data og sammenlignet med NVEs normalavrenningskart. Etter 1990 er avløpet betraktelig høyere enn avrenningskartet i disse områdene, om lag 60 - 95 %.

Tabell 1 Beregnet spesifikk middelavrenning fra NVEs digitale avrenningskart for vurderte avløpsstasjoner

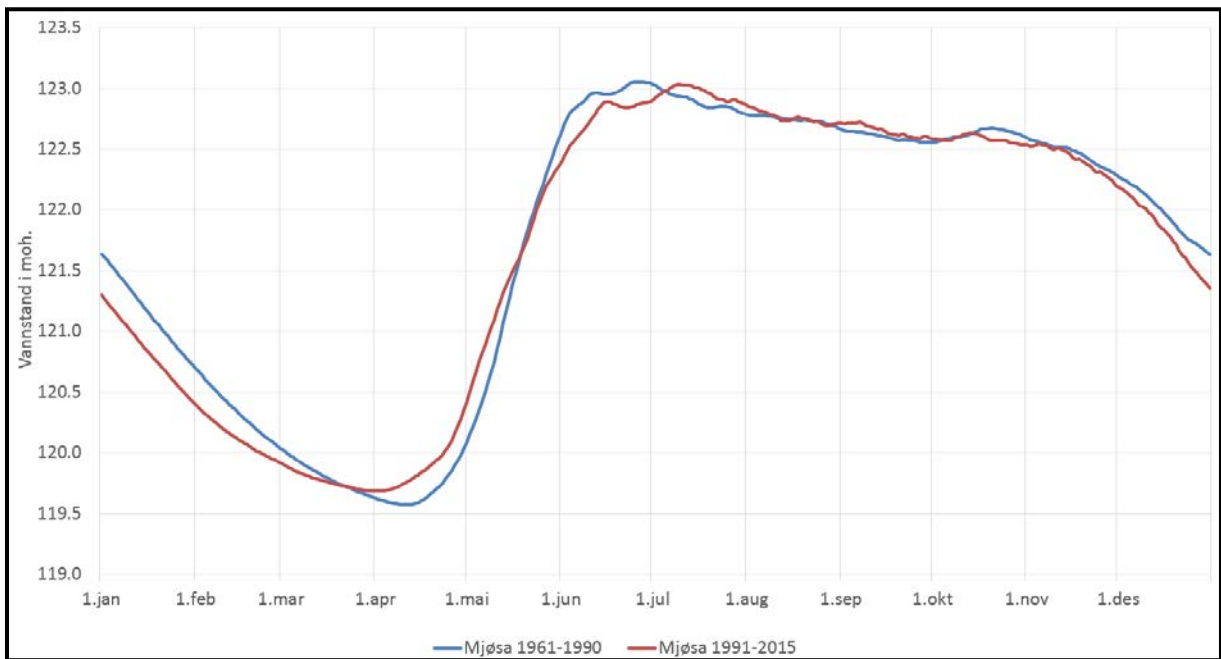
Stasjonsnummer	Stasjonsnavn	Uregulert serielengde	Spesifikt middeltilsig 1961-1990 Beregnet fra NVEs digitale avrenningskart	Observert Spesifikt Middeltilsig "frem til 1990"	Observert Spesifikt Middeltilsig "etter 1990"
2.323	Fura	1970 – d.d.	11,98	19,60	23,63
2.464	Svartelva	1986 – d.d.	7,94	13,06	12,85
2.465	Flagstadelva	1986 – d.d.	11,04	20,96	19,15

Det ser også ut til at det er en gradvis forskyvning mot tidligere smeltestart og vårflomkulminasjon i de lokale nedbørfeltene (Figur 14). Tilsvarende kan også til en viss grad sees på vannstandsregistreringene i Mjøsa (Figur 15).



Figur 14 Vannføring ved VM 2.323 Fura i perioden 1970-1990 og 1991-2015.

(Data fra NVE)



Figur 15 Registrert vannstand i Mjøsa i perioden 1961-1990 og 1991-2015.

(Data fra NVE)

7 Hydrogeologi

Grunnvannet er det vannet som fyller porene og sprekke i grunnen under oss. Grunnvannets overflate kalles grunnvannsspeilet og defineres som den flaten der grunnvannstrykket er lik atmosfæretrykket. I fjell vil ikke grunnvannsspeilet være en sammenhengende flate fordi vannet stort sett befinner seg i sprekker og hulrom. Under grunnvannsspeilet, i grunnvannssonen, regner man at alle hulrommene er fullstendig fylt med vann og sonen omtales ofte som mettet sone.

Mellom grunnvannsspeilet og overflaten, i markvannssonen, er derimot hulrommene delvis fylt med luft og vannet befinner seg på kornoverflatene i løsmassene og på bergflatene i fjellet. Derfor kalles markvannssonen for umettet sone.

Nydannelse eller mating av grunnvann skjer ved at nedbør og smeltevann renner ned i bakken via den umettede sonen og ned til grunnvannsspeilet. Prosessen kalles infiltrasjon og er avhengig av løsmassenes eller berggrunnens permeabilitet. Høy permeabilitet gir økt infiltrasjon. I løsmasser renner vannet mellom jordpartiklene, mens i fjell er en avhengig av at sprekker eller hulrom i berget når opp til fjelloverflaten for at vann skal kunne infiltreres. Mating av grunnvann kan også skje gjennom innstrømning fra elver og innsjøer.

Dersom fordampningen i et område er større enn nedbørsmengden vil det ikke skje noen nydannelse av grunnvann og grunnvannsspeilet vil ligge dypt under bakkens overflate. I Norge endrer grunnvannsnivået seg med årstiden og er i tillegg avhengig av hvor man befinner seg fordi klima ikke er likt i hele landet.

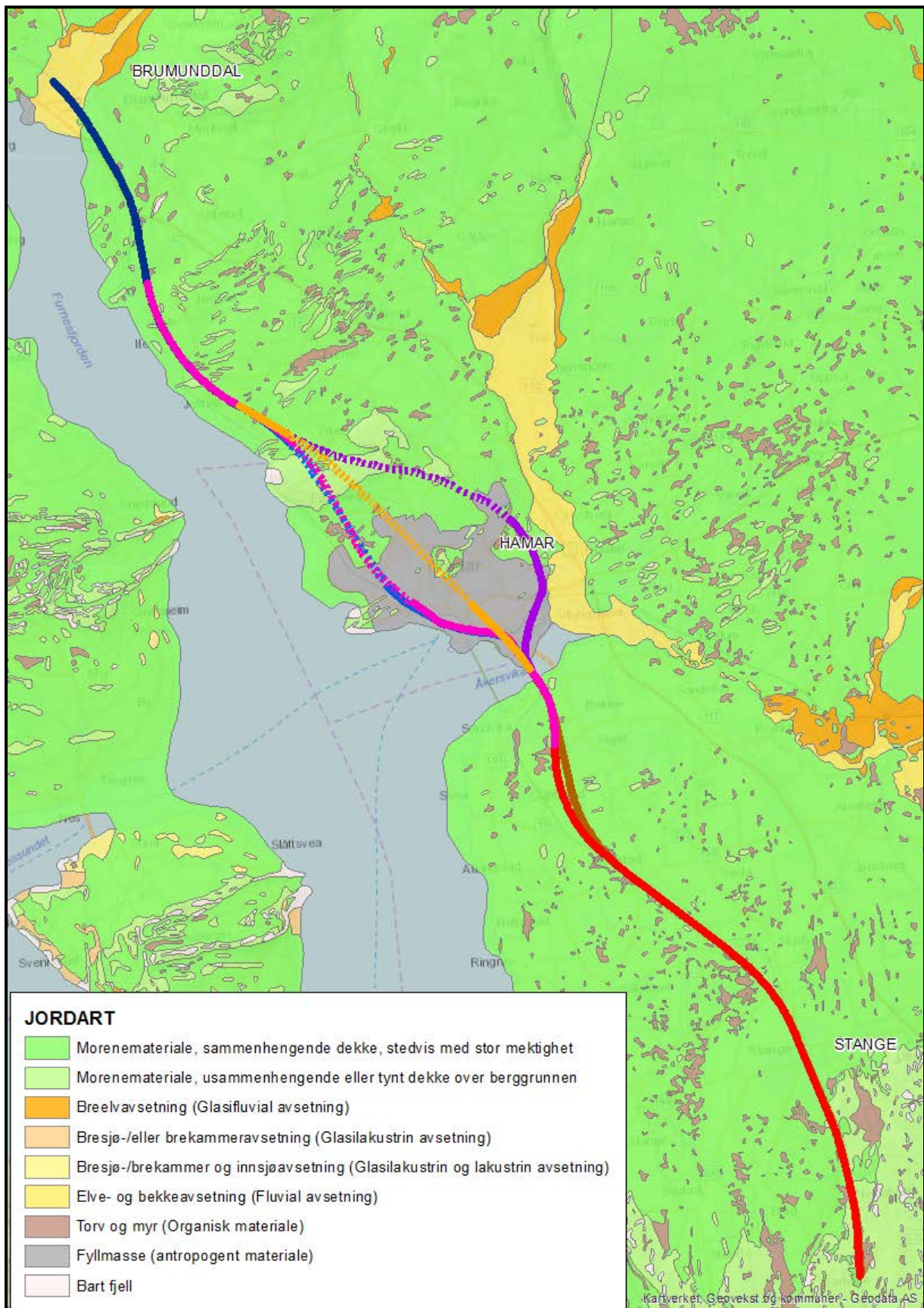
I lavlandsområdene oppstår det to maksima i året forårsaket av snøsmelting om våren og regn om høsten. Minimumsvannstanden vil inntreffe rett før snøsmeltingen og på sensommeren før høstnedbøren starter.

I fjellområdene oppstår det vanligvis et minimum rett før snøsmeltingen starter med et påfølgende maksimum like etter at snøsmeltingen er avsluttet. Noen steder vil det også kunne observeres et lite maksimum om høsten.

Grunnvannsstrømmen bestemmes generelt av massenes permeabilitet og grunnvannsspeilets helning. Vannet strømmer fra høyere til lavere trykk i de åpne hulrommene mellom kornene i løsmassene eller i sprekke i fjellet. (mer informasjon på www.grunnvanninorge.no)

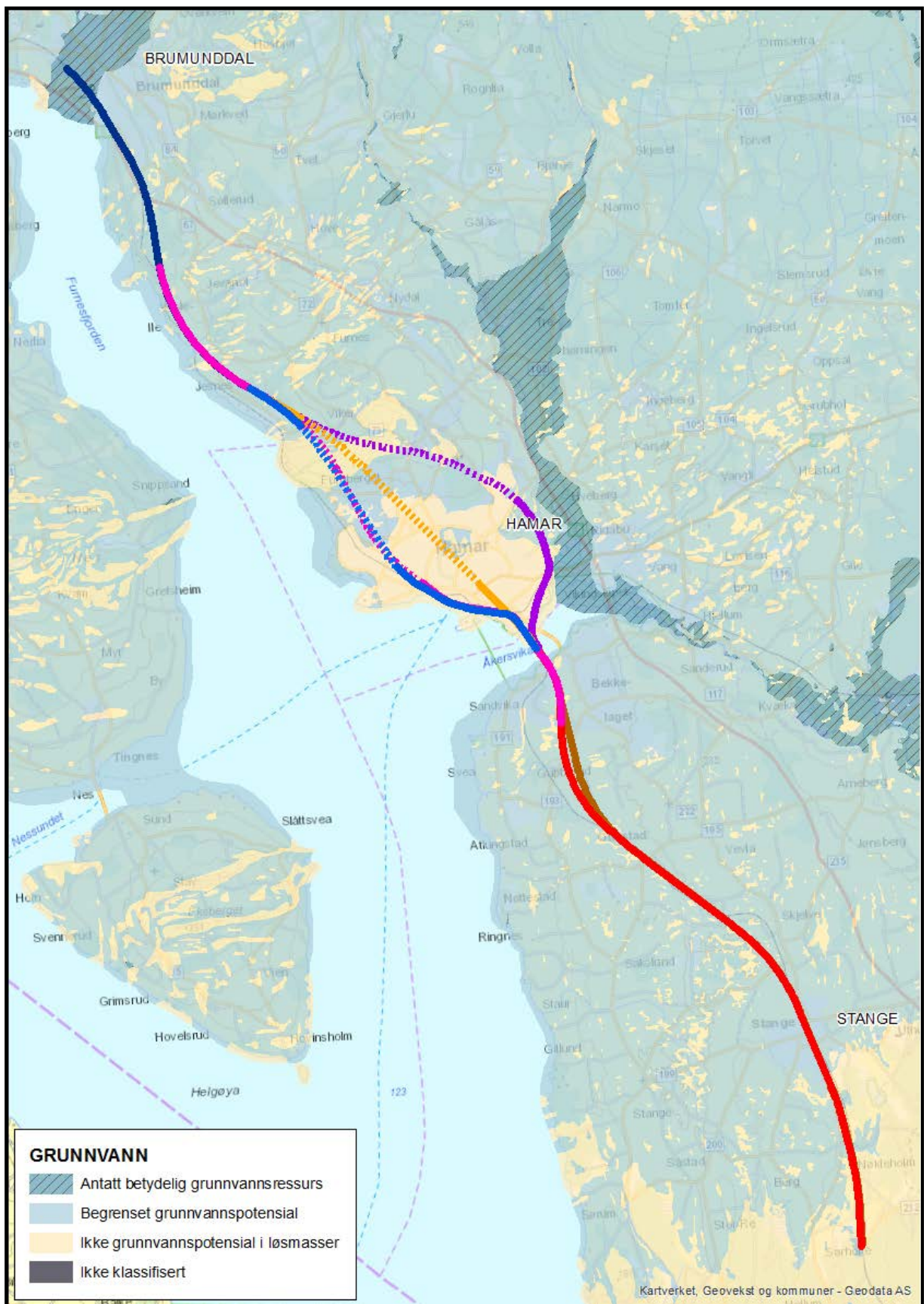
Permeabiliteten i løsmassene er avhengig av løsmassetypen, sorteringsgrad og hvor hardt løsmassene er pakket sammen. Løst pakket, godt sortert grus og sand har relativt stor kornstørrelse med mange store og sammenhengende hulrom og dermed god permeabilitet. Silt og leire har derimot liten kornstørrelse og kornene er gjerne pakket tett sammen noe som gir dårlig permeabilitet. Usortert materiale vil også gi dårlig permeabilitet fordi de små jordpartiklene fyller ut hulrommene mellom de store kornene.

Morenejord, som store deler av området består av (se Figur 15) er løsmasser som er plukket opp, transportert og avsatt av isbreer. Vanligvis hardt sammenpakket, dårlig sortert og kan inneholde alt fra leire til stein og blokk. Morene inneholder da en blanding av grovt og finkornet materiale, har lav porøsitet og har derfor et begrenset grunnvannspotensial. Moreneavsetningene har en tykkelse fra



Figur 16 Løsmassekart over området.

(Data fra NGU)



Figur 17 Grunnvannsressurser og grunnvannspotensial i området.

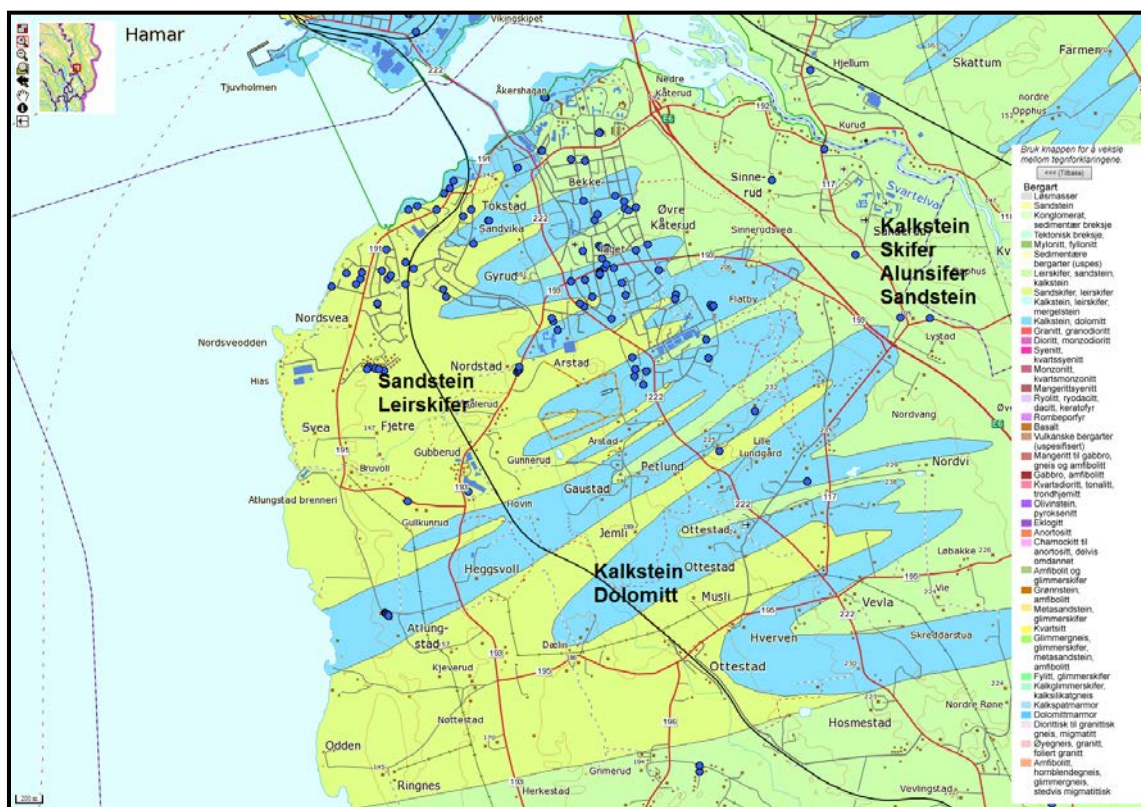
(Data fra NGU)

0,5 m til flere ti-talls meter. Det er mulig å få små grunnvannsuttak i områder som har et høyt innhold av sand og grus, men generelt sett vil det ikke være mulig å etablere en vannverk.

Grovere masser, som elve- og bekkeavsetninger (fluviale) eller breelvavsetninger (glasifluviale) vil ha et høyere potensiale som grunnvannsmagasin. Slike avsetninger finner vi i området spesielt langs Brumunda i Brumunddal og langs de større vassdragene som munner ut innerst i Åkersvika (se Figur 16).

I fjell er infiltrasjonen avhengig av bergartstype, oppsprekningsgrad, størrelse på sprekke (sprekkeåpning), sprekkefyllinger og tilstedeværelse og karakter av overliggende løsmasser. I Norge er så godt som alle bergartene i seg selv tette og grunnvannet finnes derfor bare i åpninger som er framkommet ved oppsprekking eller oppknusning av berget eller ved surt vanns tæring i kalkbergarter. Fjell med mye oppsprekking og vide sprekker med mange sammenhengende hulrom har god permeabilitet. Overliggende løsmasser som sand og grus vil øke infiltrasjonen fordi vannet lett infiltrerer i løsmassene som holder på vannet og hindrer overflateavrenning. På den måten får vannet god tid til å trenge ned gjennom sprekker og hulrom i fjellet. (www.grunnvanninorge.no)

I det nordlige østlandsområdet består berggrunnen av sedimentære bergarter fra overgangen mellom jordas urtid og oldtid, de såkalte sparagmitter. Bergartene er skifre, sandsteiner, noen kalksteiner og lengst i nordøst kvartsitter. Skifrene, som er mest vanlig i syd og vest, fra Mjøsa til Valdres, gir ofte lite vann, mens massive sandsteiner og delvis også kvartsitter lenger mot nord og øst ofte er gode vanngivere (NGU 1992).



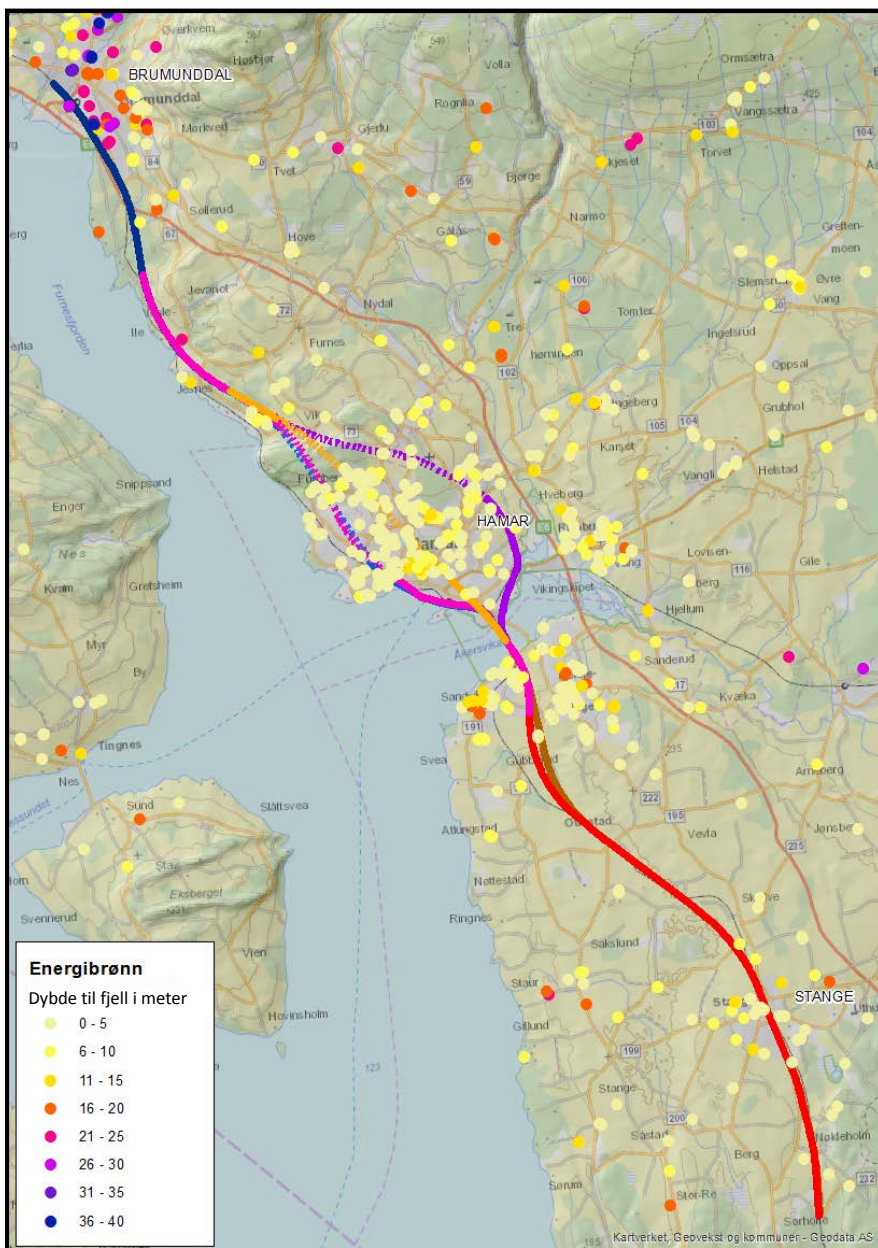
Figur 18 Berggrunnskart fra NGU. Prikkene representere fjellbrønner i området som er registrert i NGUs brønndatabase.

Utsnitt fra berggrunnskart fra NGU vises i Figur 18. Tre geologiske enheter er definert av NGU for dette området. Kalkstein og dolomitt kan ha en betydelig vannføringsevne. Sandsteinen i området er kjent for å ha en mellomstor vannføring mens skiferne har liten vannføring.

Ifølge NGUs brønndatabase finnes det ikke noen løsmassebrønner langs linjetraséene med unntak av to grunnvannsbrønner helt nær kryssingen av Brumunda. Alle brønnene som ellers er registrert er fjellbrønner (se Figur 19) og som vanligst energibrønner.

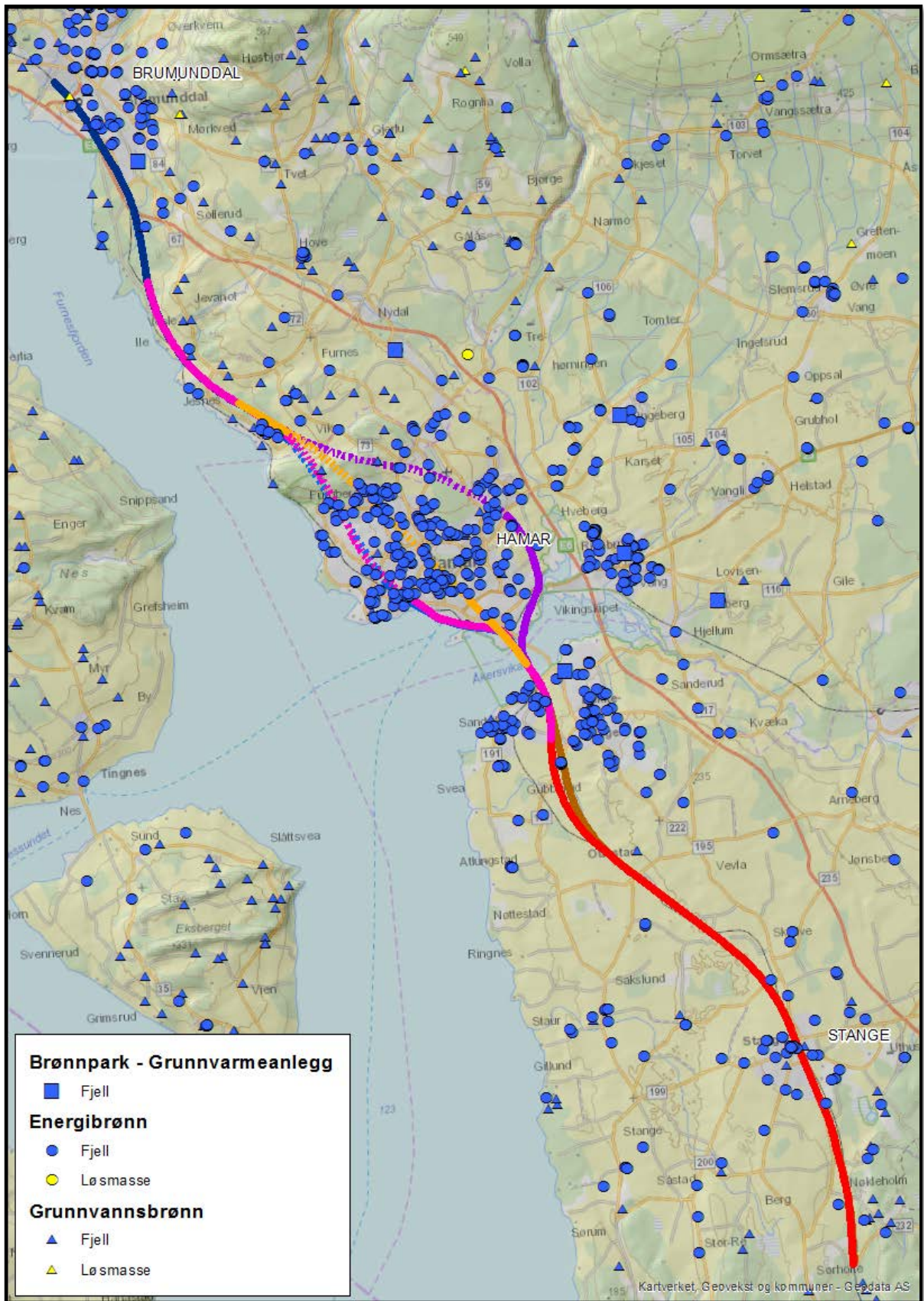
I databasen er det ofte registrert informasjon om disse brønnene som kan være meget nyttig. Ikke alle brønnene har fullstendig informasjon, men for mange av dem er det registrert dybde til fjell og omtrentlig grunnvannstand i brønnen.

Dette er vist i Figur 19 som viser dybden til fjell for hver brønn.



Figur 19 Dybde til fjell i borebrønner.

(Data fra NGU)



Figur 20 Borebrønner i området.

(Data fra NGU)

Det finnes et par steder hvor dybden til fjellet er over 10 meter men langs traséene ser det ut som om det er stort sett mindre enn 10 meter til fjell. I nord ved Brumunddal øker denne dybden.

Grunnvannstanden som er registrert for brønnene kan være misvisende siden det er et grovt estimat og man vet ikke om målingene ble tatt i en periode med tørre eller våte forhold. For de brønnene som ligger nærmest traséen ligger grunnvannstanden lavere enn fjelldybden, noe som betyr at det ikke finnes et vel etablert grunnvannsspeil i løsmassene.

Det er vanskelig å trekke konkrete konklusjoner om de hydrogeologiske forholdene i området basert kun på tilgjengelig informasjon fra NGU. Det vil være nødvendig å utføre direkte feltundersøkelser for å konkretisere grunnvannstanden og grunnvannsforholdene langs de foreslåtte linjetraséene.

Fra tilgjengelig informasjon ser det imidlertid ut som om løsmassene i området generelt har en begrenset vannføringsevne.

Skjæringer i disse massene vil imidlertid fungere som en dreneringskanal og det bør forventes at en del vann vil sige inn. Mengden av vann er avhengig av hvor dypt under et eventuelt grunnvannsspeil det skal graves. Det er vanskelig å si noe konkret om hvor stort område som påvirkes. Som regel burde dette ikke være mer enn 200-300 meter ut fra linjetraséen men dette er avhengig av den opprinnelige grunnvannstanden og de stedlige grunnvannsforholdene (strømningsretning, kontakt med innsjøer og elver/bekker) i området.

For eksempel kan en innsjø som ligger 100 m fra traséen i teorien tørkes ut om man senker grunnvannstanden til et nivå under innsjøens bunn. Slike stedlige forhold må undersøkes nærmere.

Siden massene antageligvis har en lav vannføringsevne, vil de langsomt dreneres helt til en ny likevektssituasjon oppstår. Grunnvannsspeilet vil senkes noe og tilpasse seg til de nye forholdene langs skjæringen.

Generelt, ser det ikke ut som grunnvannsforholdene kan skape store problemer, men om det oppstår lokale problemer kan dette håndteres ved en delvis tetting av skjæringene.

Myrene langs traséen har periodevis en grunnvannstand som ligger på overflatenivå (flomtilstand). Til og med små skjæringer i disse områdene kan endre forholdene i myrene.

8 Særskilte hydrologiske fokusområder

8.1 Flomvannstander i Mjøsa

8.1.1 Mjøsas tilsig

Mjøsa er Norges største innsjø og strekker seg gjennom fylkene Akershus, Oppland og Hedmark. Innsjøen har et areal på 365 km². Mjøsa er 117 km lang med største bredde 9 km. Den nordlige armen mellom Gjøvik og Lillehammer er jevnt omlag 2 km bred, den sørlige delen er 2-3 km bred. Sammen med innløpselven Gudbrandsdalslågen og utløpselven Vorma utgjør Mjøsa den vestlige delen av Glommavassdraget.

Nedbørfeltets høyeste punkt er Galdhøpiggen og den midlere felthøyde er 921 moh. Største elv som renner inn i Mjøsa er Gudbrandsdalslågen, helt i nordenden av Mjøsa ved Hovemoen i Lillehammer (Pettersen 2000).

Lågen står for omlag 85 % av den totale tilførselen til Mjøsa, mens resterende kommer fra flere elver av ulik størrelse (Selstad og Stensrud 1983). Omlag tre fjerdedeler av tilsiget skriver seg fra det nordvestlige hjørnet av nedbørfeltet (i og omkring Jotunheimen, Breheimen og Ottadalen) (Heitkøtter 1979).

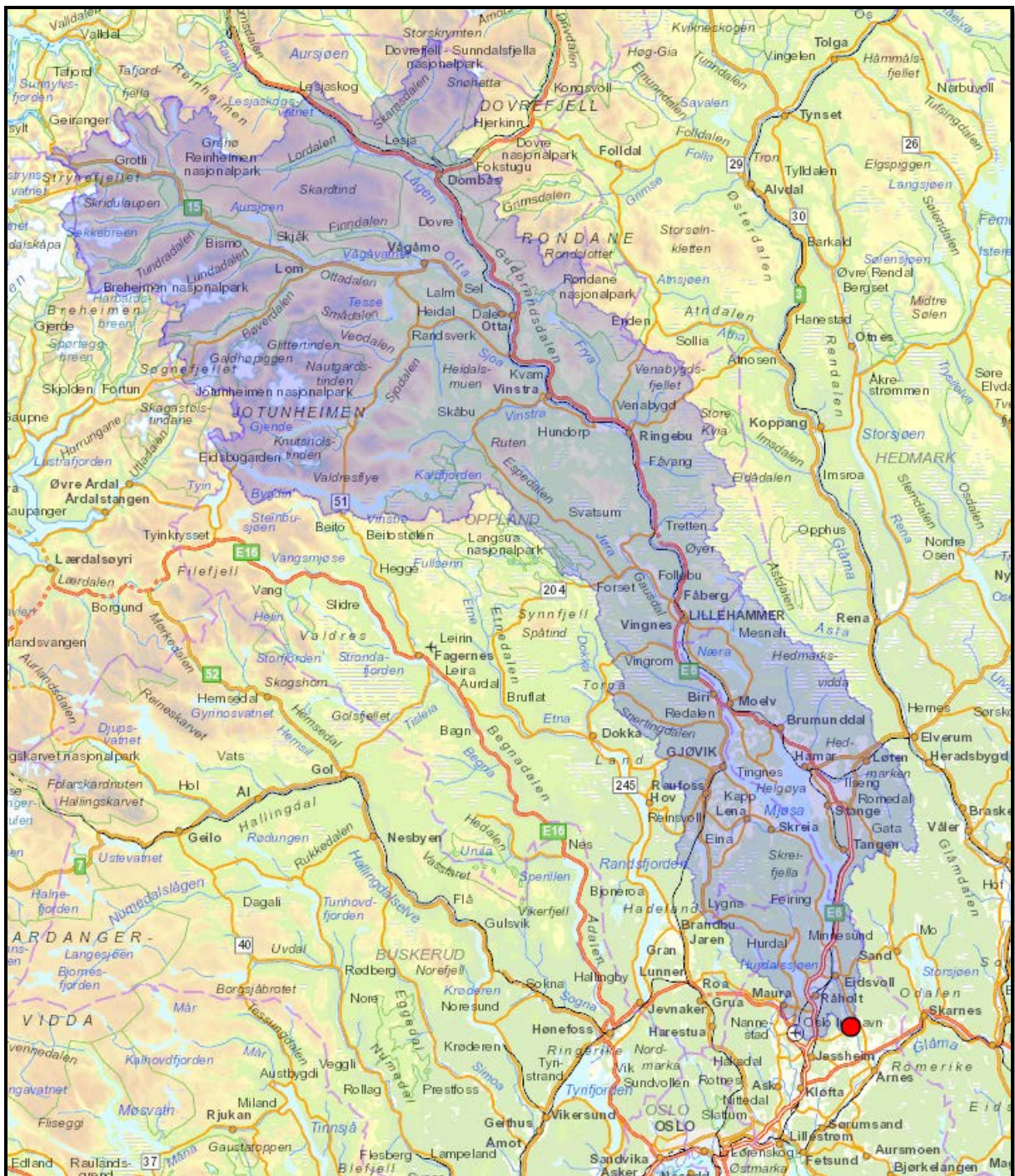
Den eneste elven som renner ut av Mjøsa er Vorma, helt sør i ved Minnesund. Totalt nedbørfelt ved utløpet er 17495 km². Nedbørfeltet har en midlere spesifikk avrenning på 18.8 l/s pr. km² (avrenningskart 1961-1990) og dermed en midlere avrenning på 329 m³/s.

Med gjennomsnittlig årlig avløp på 10.000 millioner m³ oppholder vannmassen seg teoretisk 5,6 år i innsjøen (NVE 1984).

Brumunda er den eneste større elven som krysses på denne delstrekningen av Dovrebaneprosjektet. Flagstadelva som har utløp nord i den indre delen av Åkersvika krysses av Rørosbanen. Andre vassdrag som munner ut i Mjøsa er listet i tabell nedenfor.

Større elver som renner inn i Mjøsa fra vest:	Større elver som renner inn i Mjøsa fra øst:
<ul style="list-style-type: none">• Rinda• Vismunda• Stokkeelva• Hunnselva• Lenaelva• Skulhuselva• Bråstadelva	<ul style="list-style-type: none">• Mesna• Moelva• Brumunda til Furnesfjorden• Skanselva til Furnesfjorden• Svartelva og Flagstadelva renner ut i Åkersvika ved Hamar• Starelva ved Tangen• Vikselva ved Tangen

Vassdraget er regulert med over 20 reguleringsmagasiner, hvorav Mjøsa ved Svanfoss er det nederste.



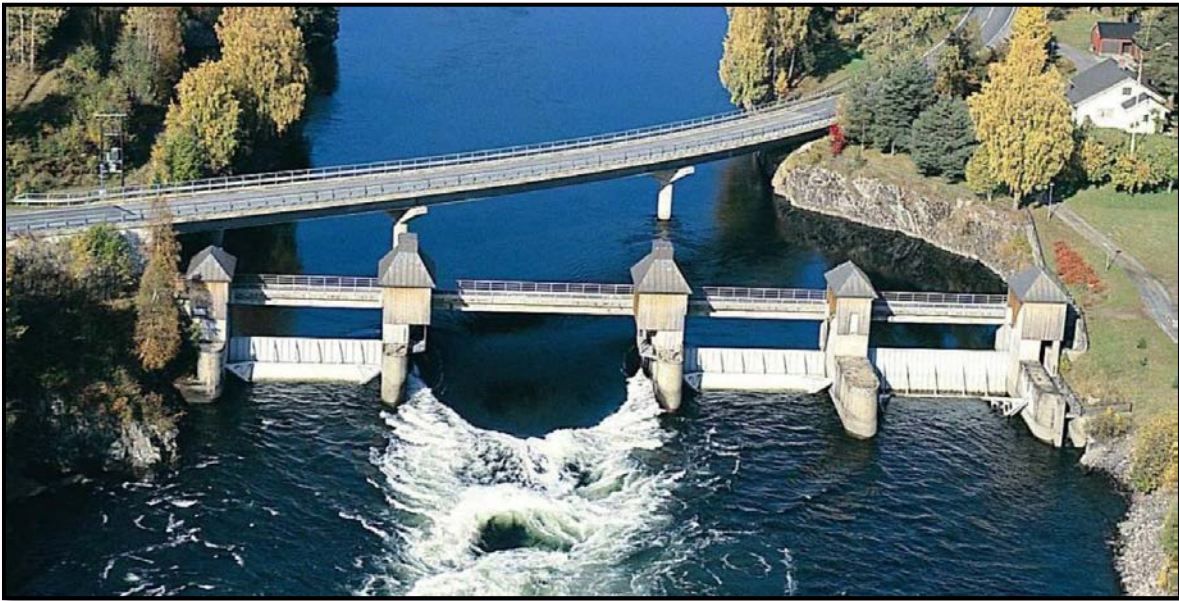
Figur 21 Mjøsas nedbørfelt.

8.1.2 Reguleringen av Mjøsa

I 1858 ble Sundfosdammen ved Eidsvoll ferdig og den hevet vannstanden i Vorma slik at dampbåtene kunne gå mellom Mjøsa og Eidsvoll. (Nashoug 1999). Mjøsas vannstand er senere regulert opp flere ganger (1906, 1940, 1961). Siden 1961 har Mjøsa hatt samme nivå som i dag. Gjeldende manøveringsreglement for Mjøsa ble fastsatt ved kongelig res. 9.juni 1961 og et "flomreglement" 15. mai 1981. I dag er reguleringsansvaret hos GLB (Glommen og Lagens Brugseierforening).

Reguleringen av Mjøsa skjer ved demningen og slusen ved Svanfossen før Vorma renner ut i Glomma. Mjøsa reguleres ved Svanfoss slik at Vorma ovenfor Svanfoss sammen med selve Mjøsa inngår i magasinet (Selstad og Stensrud, 1991). Vannstanden reguleres mellom LRV på 119,33 og HRV på 122,94 (NN54), registrert på vannmerke 2.101 Hamar. Tilsvarende 119,54 og 123,15 i NN2000.

Disse øverste 3,61 m definerer reguleringsmagasinet, og utgjør et volum på 1312 mill.m³. Mjøsa er et av Norges største reguleringsmagasin regnet etter volum mellom høyeste og laveste regulerede vannstand.



Figur 22 Svanfoss lukedam

(Foto: CM Consulting, 2009)

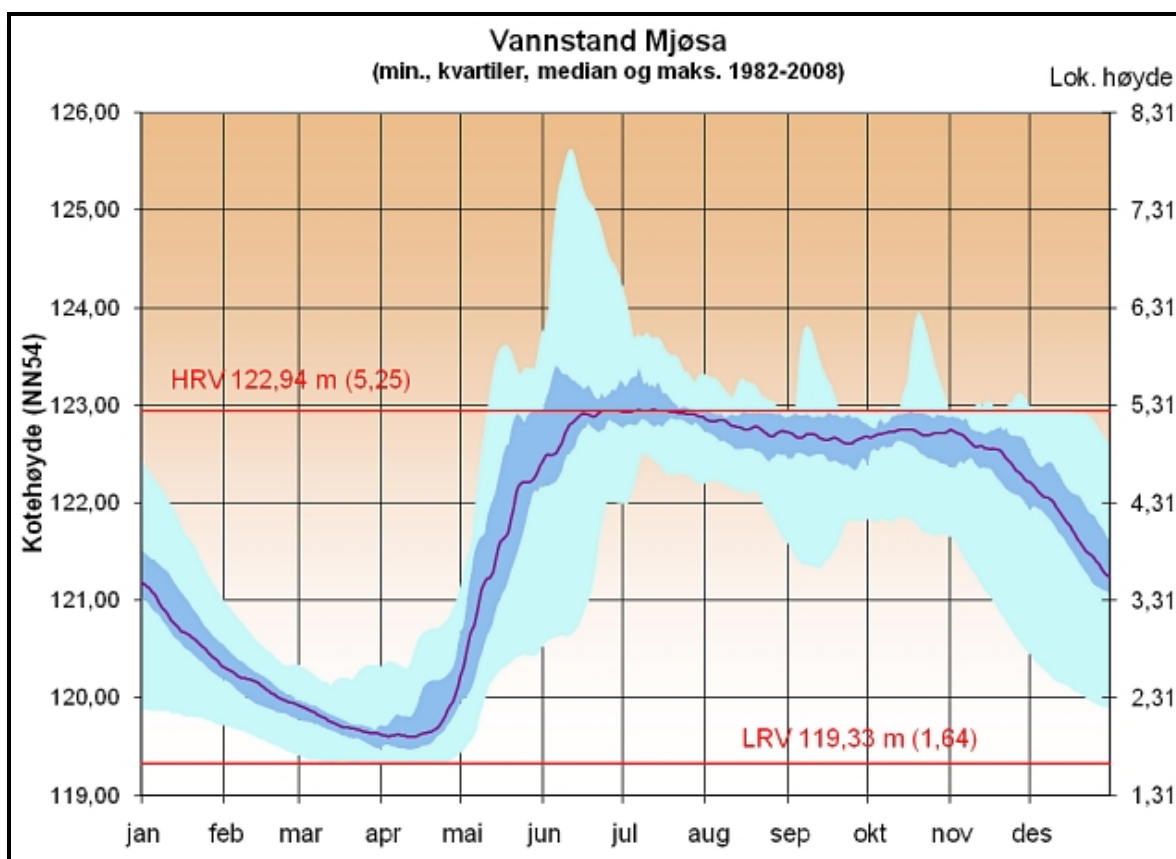
I løpet av vinteren reduseres vannstanden, før vårfloppen og snøsmeltingen øker vannstanden igjen. Årets største flom er vanligvis i forbindelse med snøsmeltingen i mai-juli, samtidig som årets høyeste vannstand i Mjøsa opptrer. Noen år har årets største vannføring og høyeste vannstand vært om høsten i forbindelse med kraftig regn. Normale vannstandsvariasjoner er vist i Figur 23.

8.1.3 Tidligere flommer

Den mest kjente flommen i Mjøsa inntraff i juli 1789 og den 24. juli ble vannstanden målt til 127,79 moh. Flommen, som ble kalt Storofsen (Storfloa), var en ekstremflom som rammet store deler av innlandet i Norge denne sommeren. Flommen skyldtes en kombinasjon av sen snøsmelting, kraftig regnvær og sterk varme, også i fjellet. Den toppet seg mellom 21. og 23. juli, da en bonde i Sunndalen skal ha målt hele 320 mm med regn.

I Gudbrandsdalslågen skal vannstanden ha fylt hele dalbunnen. Mjøsa ble nesten dekt av trær og avfall, og det skal ha tatt to år før innsjøen var ren igjen. De to dagene flommen var verst, var vannstanden opptil syv meter over det normale.

Vannføringen var trolig nærmere 5000 m³/s nedstrøms Øyeren. Til sammenligning var vannføringen 3600 m³/s under Vesleofsen i 1995 (Tollan 2002).



Figur 23 Vannstandsvariasjoner i Mjøsa 1982-2008.

(Figur fra Eidsiva Energi)

I tillegg har det gjennom eldre og nyere tid vært en rekke større flommer i vassdraget og Mjøsa. Flomtoppen 22. juni 1860 var bare tre centimeter under Storofsen og vannet sto i Storgata på Hamar (Nashoug 1999).

Den 11 juli 1927 ble vannstanden målt til 126,0 moh. og i den mest kjente flommen i nyere tid, «Vesleofsen» intr traff flomtoppen den 11. juni 1995 med en vannstand på 125,63 moh. De ti største flommene er listet i Tabell 2. Alle høyder er gitt i NN54.

Tabell 2 De ti største flommene i Mjøsa

Dato	Flomnivå i moh.	Flomnivå i lokal høyde
24.7.1789	127,79	10,10
22.6.1860	127,76	10,07
5.6.1827	126,29	8,60
1808	126,19	8,50
11.7.1927	126,00	8,31
11.6.1995	125,63	7,94
26.6.1863	125,59	7,90
23.6.1846	125,49	7,80
7.6.1967	125,41	7,72
18.6.1910	125,39	7,70



Figur 24 Flomstein ved Hamar. Foto: Jens Kristian Tingvold, GLB

8.1.4 Beregnede flomhøyder i Mjøsa

Reguleringene i vassdraget oppstrøms Mjøsa har ført til at flomforholdene i innsjøen er forandret opp gjennom årene. For å beregne vannstander som man kan forvente i fremtiden, har NVE valgt å betrakte perioden etter 1961, dvs. perioden etter at de viktigste reguleringene fant sted. Det er analysert årsflommer ved målestasjonen 2.101 Hamar i perioden 1961-1999. Beregningene er dokumentert i NVE 2000, og resultatene er vist i Tabell 3.

Det er også utført en flomberegning knyttet til godkjenningen av reguleringsanleggene i Svanfossen (CM Consulting 2009). Dam Svanfoss er i konsekvensklasse 1 hvor kravene til beregning er Q_{500} . Den beregnede vannstanden for Q_{500} i denne beregningen, 127,03, er noe lavere enn i NVEs beregning fra 2000.

Det anbefales i NVE 3/2005 å tillegge en sikkerhetsmargin på 0,5 meter.

Tabell 3 Flomverdier for Mjøsa (NVE 2000)

	H_m	H_{10}	H_{20}	H_{50}	H_{100}	H_{200}	H_{500}
Mjøsa (moh. i NN54)	123,51	124,19	124,60	125,23	125,78	126,43	127,44
Mjøsa (moh. NN2000)	123,72	124,40	124,81	125,44	125,99	126,64	127,65
Mjøsa (lokal høyde)	5,82	6,50	6,91	7,54	8,09	8,74	9,75

Flom i Mjøsa er en langvarig hendelse som kan strekke seg over uker, men selve flomtoppen vil sannsynligvis ha en noe kortere varighet. Stigningen i 1995 var på det høyeste om lag 2 cm pr. time.

8.1.5 Bølgehøyde i Mjøsa

Når det gjelder bølger i Mjøsa er bølgehøyder bestemt på grunnlag av retningslinjer som gjelder for dimensjonering av dammer. Det tas utgangspunkt i bestemmelse av signifikant bølgehøyde, som er gjennomsnittshøyden av den høyeste tredjedelen av bølgene. Det er benyttet en dimensjonerende vindhastighet på 30 m/sek og et vindstrøk på ca. 15 km.

Vindretning er fra syd-sydvest. Dette gir en signifikant bølgehøyde på 3,65 m. Hyppigst forekommende bølgehøyde vil være ca. 1,8 m. Beregningene gir anslagsmessige verdier med en viss usikkerhet da beregningsmodellen kun er en tilnærming til virkeligheten. F.eks. vil vindhastigheten variere og trolig være noe mindre enn 30 m/sek, eller 108 km/time. Dette tilsvarer orkan.

Disse vurderinger gjelder for dypvannsforhold. Når bølgene kommer inn over grunne områder (mot land), hvor bølgens amplitude er større enn dybden, vil de bryte og bremses slik at bølgehøyde og oppskylling vil bli redusert betraktelig i forhold til høyder som her er beregnet.

Sannsynligheten for at sterk vind og flom opptrer samtidig er svært liten.

For strandsonen ved Mjøsa bør det legges til 0,5 m til anbefalt sikkerhetsmargin, dvs. totalt 1 m. Dette for å ivareta økt vannstand som følge av bølger. (NVE 3/2005).

8.1.6 Flomstørrelser i et endret klima i 2100

Det pågår forskning på hvordan klimaendringer vil påvirke flommer. NVE har estimert forventet endring i 200- og 1000-årsflom mot slutten av dette århundret basert på tilgjengelige klimafremskrivninger og kalibrerte HBV-modeller (Lawrence & Hisdal, 2011).

Store nedbørfelt i regionen (> 1000 km²), som i dag har et regime dominert av snøsmelteflom, vil fortsette å være slik i tiden frem mot 2100. Flomtopp er imidlertid forventet å komme noe tidligere og generelt ha lavere flommaksimum. Det anbefales derfor ingen endring i flomverdier for 200-, 500- og 1000-årsflom. Dette gjelder hovedsakelig nedbørfeltet til Gudbrandsdalslågen/Mjøsa i forbindelse med IC prosjektet på denne strekningen.

Grunnet forventet økning i ekstremnedbør antas det at selv mindre nedbørfelt (<100 km²), selv om de ligger i områder dominert av snøsmelteflom, har en risiko for økte flommer i tiden fremover. Det anbefales dermed en 20 % økning i flomstørrelse på alle felt med nedbørfelt mindre enn 100 km².

NVEs anbefalinger er dermed i konflikt med teknisk designbasis for InterCity (TD, 2015) som tolker dette til en 10 % økning for Hamar.

8.1.7 Vassdragsreguleringens innvirkning på flomvannstand i Mjøsa

Vassdraget oppstrøms og nedstrøms Mjøsa er regulert. Ved en potensiell skadeflom er det ønskelig å manøvrere vassdragene slik at ikke flomtoppene fra Gudbrandsdalen og Østerdalen møtes samtidig ved Glommas samløp med Vormå.

Under flommen i 1995 ble vannet holdt igjen i Mjøsa (ca. 1 døgn) for å slippe flomtoppen fra Glomma forbi samløpet med Vormå før flomtoppen fra Gudbrandsdalen kom. Deretter ble det foretatt forsert tapping av Mjøsa. Den midlertidige ekstra magasineringsen påvirket ikke flomtoppen i Mjøsa (NOU,

1996). En kan derfor anta at en slik styring av vassdragene ikke vil medføre økt flomvannstand i Mjøsa.

Beregninger som er gjort etter flommen i 1995 antyder at manøvreringen av vassdraget under flommen bidro til at flomvannstanden i Mjøsa ble 0,5 – 0,75 meter lavere enn en ellers kunne forventet (NOU, 1996).



8.2 Flomberegninger for dimensjonering av kulverter og bekkekryssinger

Den planlagte jernbanestrekningen krysses av en rekke større og mindre bekker og elver på strekningen mellom Sørli og Brumunddal. I tillegg er det en rekke mindre nedbørfelt hvor det til vanlig ikke er synlige bekker, men mer diffus avrenning under tørre perioder, men som allikevel kan føre vann under kraftige flomepisoder hvor bakken er så mettet at vann ikke avledes på annen måte.

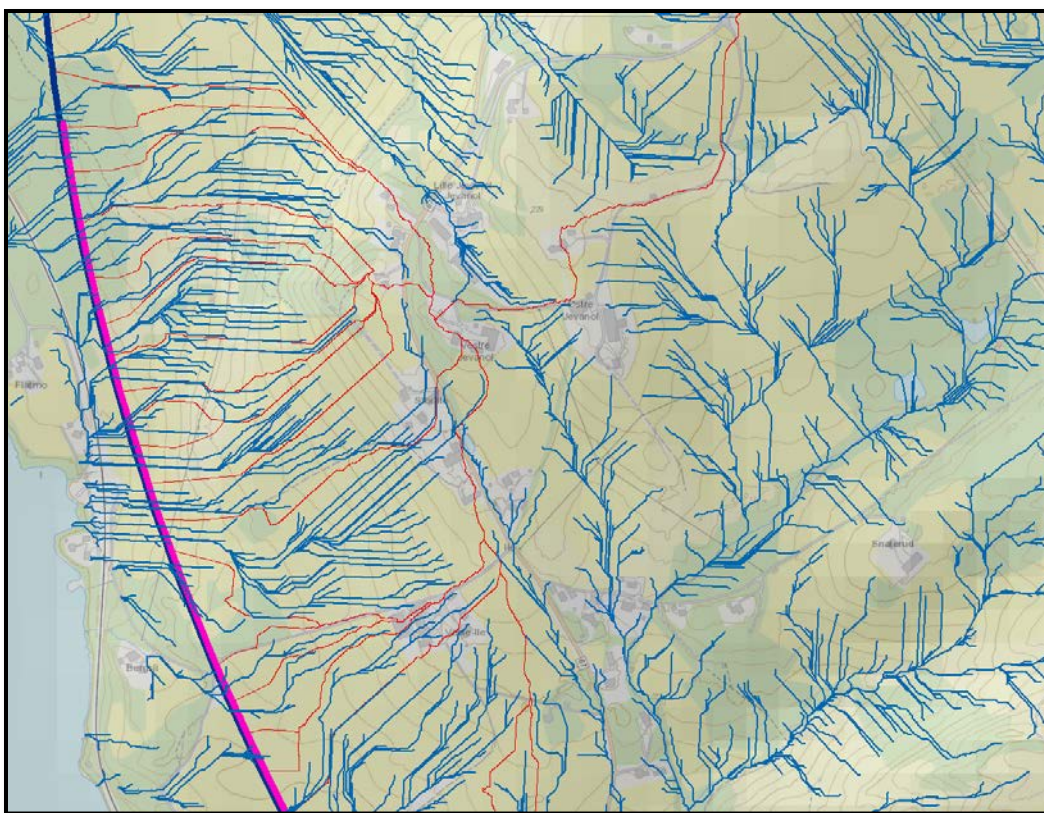
Vannet i disse vassdragene må ledes under eller langs skinnegangen på en tilfredsstillende måte uten å utgjøre et faremoment for jernbaneskiner eller trafikk.

I samarbeid med VA-teknikk er det derfor viktig å avklare flomstørrelser i disse vassdragene for deretter å kunne planlegge dimensjoner på kulverter, flomløp eller annen avledning av vannet.

8.2.1 Metodikk for beregning av flomstørrelser for dimensjonering

For å kunne beregne flomstørrelser er det behov for å finne de mulige passeringpunkt for synlige bekkedrag og også punkter som har mer diffus avrenning til daglig, men som kan ha kraftig avrenning på overflaten under flomforhold. Når disse punkter er avklart må størrelsen på oppstrøms nedbørfelt fastsettes og maksimal avrenning for nedbørfeltene under en 200 års hendelse beregnes.

ArcGis, med modulene Spatial - og 3D Analyst, er benyttet for å finne oppstrøms nedbørfelt for slike punkt. Det er utarbeidet en så nøyaktig terrengmodell som mulig, basert på FKB data med én meters koter, for å kunne beregne helning og eksposisjon og deretter å beregne overflateavrenning og nedbørfeltgrenser fra terrenget som vist i Figur 25.



Figur 25 Generert elvenettverk langs planlagt spor ved Flatmo, nord for Hamar

På strekningen mellom Sørli og Brumunddal, på strekninger med planlagt jernbane i dagen, ble det identifisert til sammen 214 nedbørfelt som i større eller mindre grad bidrar med vann ned mot linjetraséen. Nedbørfeltene er vist i Figur 26. I tillegg kommer de større nedbørfeltene som bidrar innerst i Åkersvika og som er beskrevet i 8.3.

Størrelsen på nedbørfeltene varierer fra de helt store, som nedbørfeltet til Brumunda på nær 222 km² til helt små diffuse felt ned til 1000 m² størrelse. Langt de fleste er svært små nedbørfelt, kun 14 felt er større enn 1 km². I Tabell 4 er det listet antall nedbørfelt i hver størrelsesgruppe. Brumunda er i en særstilling og er ikke tatt med her.

Tabell 4 Størrelse og antall av nedbørfelt langs linjetraséen

Størrelse på nedbørfelt		Antall nedbørfelt
Km ²	Hektar	
5-13	500 - 1300	3
1 - 5	100 - 500	10
0,5 – 1	50 -100	7
0,1 – 0,5	10 - 50	29
0,01 – 0,1	1 - 10	105
< 0,01	< 1	59

Med så varierende størrelse, utforming og landskap på nedbørfeltene vil det være behov for bruk av flere forskjellige metodikker for beregning av flomstørrelser fra disse feltene som beskrevet i 4.2.2. De fleste nedbørfelt er imidlertid av en størrelse som tilsier bruk av nedbør-avløpsmodeller som bl.a. den rasjonelle metode. NIFS kan også benyttes. For Brumunda er det tidligere gjort spesifikke flomberegninger (NVE 2010).

Som en første vurdering av flomstørrelser er det laget en regresjonssammenheng mellom størrelse og avrenning basert på den rasjonelle metode. Metodikken er kort beskrevet nedenfor.

Det er vurdert flomstørrelser for en rekke felt med forskjellig størrelse, basert på avrenningsfaktor, konsentrasjonstid og nedbørintensitet. På bakgrunn av dette er det laget en regresjonssammenheng mellom størrelse og flomavrenning som er benyttet for alle de mindre nedbørfeltene. Under en senere prosjekteringsfase bør dette ses på i mer detalj, men som et foreløpig dimensjoneringsgrunnlag anses dette som tilstrekkelig.

I Håndbok N200 Vegbygging (Statens vegvesen, september 2014) er det beskrevet metodikk for beregninger for flommer med opptil 200 års gjentakintervall. Metodikken er betegnet som «Den rasjonelle formel for avrenning» og er gitt som:

$$Q = C \cdot i \cdot A \cdot K_f$$

der

C = avrenningsfaktor, ubenevnt, i = dimensjonerende nedbørintensitet, l/(s·ha), A = feltareal, ha og

K_f = klimafaktor



Figur 26 Nedbørfelt ned mot vurderte linjetraséer.

Avrenningsfaktor, C, velges ut fra arealbruk og en midlere veiet avrenningsfaktor er så beregnet for nedbørfeltet. Høye C verdier gis til arealer hvor det er mye flater med antatt liten fordrøyningssevne i nedbørfeltet som bart fjell og andre tette flater. Disse gir i utgangspunktet en høy C-faktor på mellom 0,6 til 0,9. Skogsområder gir avrenningsfaktorer mellom 0,2 og 0,5 og dyrket mark mellom 0,2 og 0,4.

De lave C-verdiene for hver overflatetype benyttes for konsentrasjonstider på under en time, de høye for konsentrasjonstider over tre timer. I tillegg skal det inkluderes et påslag på 30 % på de avrenningsfaktorverdiene som er oppgitt i Håndbok N200, for å få en faktor representativ for en 200-års flom.

Konsentrasjonstiden kan beregnes på to måter avhengig av om feltet anses som urbant eller naturlig. Begge inneholder parametere som vist under for formel for konsentrasjonstid i naturlige felt:

For naturlige felt (ikke utbygde felt) beregnes denne som følger:

$$t_c = 0,6 \cdot L \cdot H - 0,5 + 3000 \cdot A_{se}$$

der t_c = konsentrasjonstid i minutter, L = lengde av feltet i meter, H = høydeforskjellen i feltet i meter og A_{se} = andel innsjø i feltet.

En viktig inngangsparameter i en beregning med den rasjonelle formel er dimensjonerende nedbørintensitet, som må finnes for en nærliggende målestasjon. For dette området er det valgt å benytte nedbørintensiteter fra 12290 Hamar II, som ligger midt i området og vist i Tabell 5 under.

Dimensjonerende nedbørintensitet tas ut fra IVF-tabellen på bakgrunn av beregnet konsentrasjonstid i nedbørfeltet og ønsket gjentakintervall.

Tabell 5 Nedbørintensiteter for 12290 Hamar II

(Data fra eKlima)

Returperioder(år); Nedbørintensitet i liter pr. sekund pr. hektar(10 000m ²) (l/s*ha)																
12290 HAMAR II																
Periode: 1968 - 2015																
Antall sesonger: 43																
År	1 min.	2 min.	3 min.	5 min.	10 min.	15 min.	20 min.	30 min.	45 min.	60 min.	90 min.	120 min.	180 min.	360 min.	720 min.	1440 min.
2	259,1	226,6	199,4	163,4	116,2	87,8	72,1	52,8	39,7	32,1	22,8	18,3	13,8	9,0	6,1	3,8
5	331,5	292,7	261,2	215,0	154,5	119,1	97,4	71,3	52,3	42,2	29,4	23,4	17,6	11,4	7,9	4,9
10	379,4	336,4	302,1	249,1	180,0	139,8	114,2	83,6	60,7	48,9	33,8	26,9	20,1	13,0	9,0	5,6
20	425,3	378,4	341,4	281,8	204,4	159,7	130,2	95,3	68,7	55,3	37,9	30,1	22,5	14,5	10,1	6,2
25	439,9	391,7	353,9	292,2	212,1	166,0	135,3	99,1	71,2	57,4	39,3	31,2	23,2	15,0	10,5	6,4
50	484,8	432,8	392,2	324,2	235,9	185,4	151,0	110,6	79,1	63,6	43,3	34,4	25,6	16,5	11,6	7,1
100	529,3	473,5	430,3	355,9	259,6	204,7	166,6	122,0	86,8	69,9	47,4	37,5	27,9	18,0	12,7	7,7
200	573,8	514,1	468,3	387,6	283,2	224,0	182,2	133,4	94,6	76,1	51,4	40,7	30,2	19,4	13,7	8,4

Klimafaktoren, K_f , skal inkludere en økning i avrenning som følge av forventede klima-endringer. Den er i Håndbok N200 anbefalt som 1,5 for flommer med returperiode 200 år. Enkelte kommuner og/eller prosjekter har tatt et aktivt valg om klimastrategi som bør legges til grunn ved valg av klimafaktor for det aktuelle prosjektet. Jernbaneverket har for dette området aktivt valgt en verdi på 1,2 (20 %) (Jernbaneverket 2015).

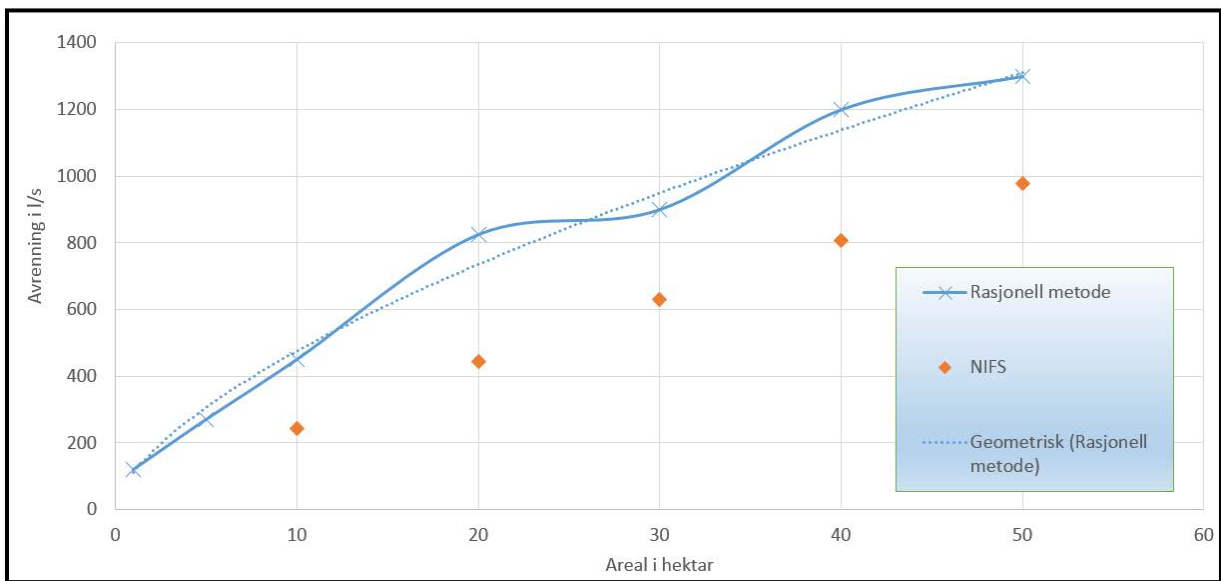
Det er imidlertid allerede lagt til grunn en form for «klimaeffekt» i C-verdien i formelverket som må vurderes, selv uten et klimapåslag på 1,5 i siste ledd.

8.2.2 Beregnede flomstørrelser for dimensjonering

Med de ovenfor angitte verdiene for parameterne som inngår i den rasjonelle formelen, gis det en sammenheng mellom 200-års flom (Q_{200}) og nedbørfeltens størrelse som vist i Figur 27. De beregnede verdiene er en maksimal timesverdi for 200-års flommen. Regresjonsformelen blir som vist under, med en R^2 på 0,99:

$$Q \text{ l/s} = 111,35 \cdot A \text{ (i hektar)}^{0,63}$$

Dette er dekkende for alle nedbørfelt under 50 hektar som utgjør over 90 % av feltene.



Figur 27 Sammenheng mellom Q_{200} avrenning (i l/s) og areal (i hektar)

Det nasjonale formelverk for beregning av flom i små nedbørfelt (NVE 13/2015) som er utviklet i forbindelse med Etatsprogrammet "NATURFARE – infrastruktur, flom og skred (NIFS)" er veldig avhengig av korrekt anslått midlere spesifikk avrenning og derav beregnet middelflom og ser generelt ut til å gi noe lave verdier i området.

For de få større feltene anbefales NIFS eller flomfrekvens benyttet. Spesifikk q_{200} for det 222 km² store feltet til Brumunda er beregnet av NVE (NVE 2010) til 762 l/s pr.km². For det mindre feltet til 2.323 Fura er q_{200} beregnet til 1530 l/s pr. km² i Norconsult 2015. Alle verdier er kulminasjonsverdier.

Flomverdier for alle de vurderte nedbørfeltene er dermed beregnet og gitt som grunnlag for dimensjonering av kulverter og vannveier i VA planleggingen til de vurderte linjealternativene.

8.3 Hydrologiske forhold i Åkersvika

Det er gitt en gjennomgang av de hydrologiske forholdene i Åkersvika, sør for Hamar, og vurdert hvorvidt de hydrologiske forholdene er utsatt for endringer i forbindelse med kryssing av jernbanetrasé over denne vika.

Det er beregnet avrenning til Åkersvika fra de tilgrensende nedbørfeltene og basert på sammenfallende vannstander i Mjøsa er det beregnet hvorvidt tilstrømmingen er større eller mindre enn endringene i vannvolum i Åkersvika.

På bakgrunn av dette kan det beskrives hvorvidt vann i hovedsak strømmer inn i Åkersvika fra Mjøsa eller om tilstrømmingen er så stor at vann strømmer ut fra Åkersvika og inn i Mjøsa.

På bakgrunn av vannmengden som passerer inn og ut kan det gis noen betraktninger om vannhastighet i passasjen under jernbanebroen og hvorvidt endringer knyttet til jernbanebro eller fyllinger påvirker de hydromorfologiske forholdene i området.

8.3.1 Nedbørfelt

Det er tre større vassdrag som munner ut i de indre delene av Åkersvika.

- Flagstadelva
- Svartelva
- Finsahlbekken

I tillegg er det en rekke mindre bekker og diffus avrenning fra ytterligere 10 km². Samlet areal som har avrenning til Åkersvika er på 699,3 km².

Nedbørfeltgrensene er beregnet med ArcGIS på grunnlag av digitalt kartgrunnlag FKB og utarbeidet terrengmodell basert på disse topografiske dataene. Nedbørfeltene er vist i Figur 28. Ytterligere opplysninger om de tre større nedbørfeltene er gitt i Tabell 6.

Tabell 6 Feltparametere for de tre største nedbørfeltene

Feltparametere	Flagstadelva	Finsahlbekken	Svartelvavassdraget
Areal (km ²)	180,48	22,04	486,84
Effektiv sjø (eff. %)	0,04	0	0,19
Feltlengde (km)	25,8	12,3	32,1
Middelavrenning 1961-1990 (l/s/km ²)	10,9	8,1	8,2
H_{min} (m.o.h.)	123	123	123
H_{50} (m.o.h.)	512	326	290
H_{maks} (m.o.h.)	819	631	758
Dyrket mark (%)	16,9	27,9	23,2
Myr (%)	19,2	1,9	6,3
Sjø (%)	0,5	0	1,3
Skog (%)	56,6	58,9	65,5
Urban (%)	1,6	4,3	1,1

8.3.2 Hydrometriske målestasjoner

Det finnes, som beskrevet tidligere, tre hydrometriske målestasjoner som registrerer avrenning i dette området. Vannstandsvariasjoner i Mjøsa registreres ved VM 2.101 Hamar som ligger ved Domkirkeodden. Plasseringen av stasjonene er vist i Figur 28.



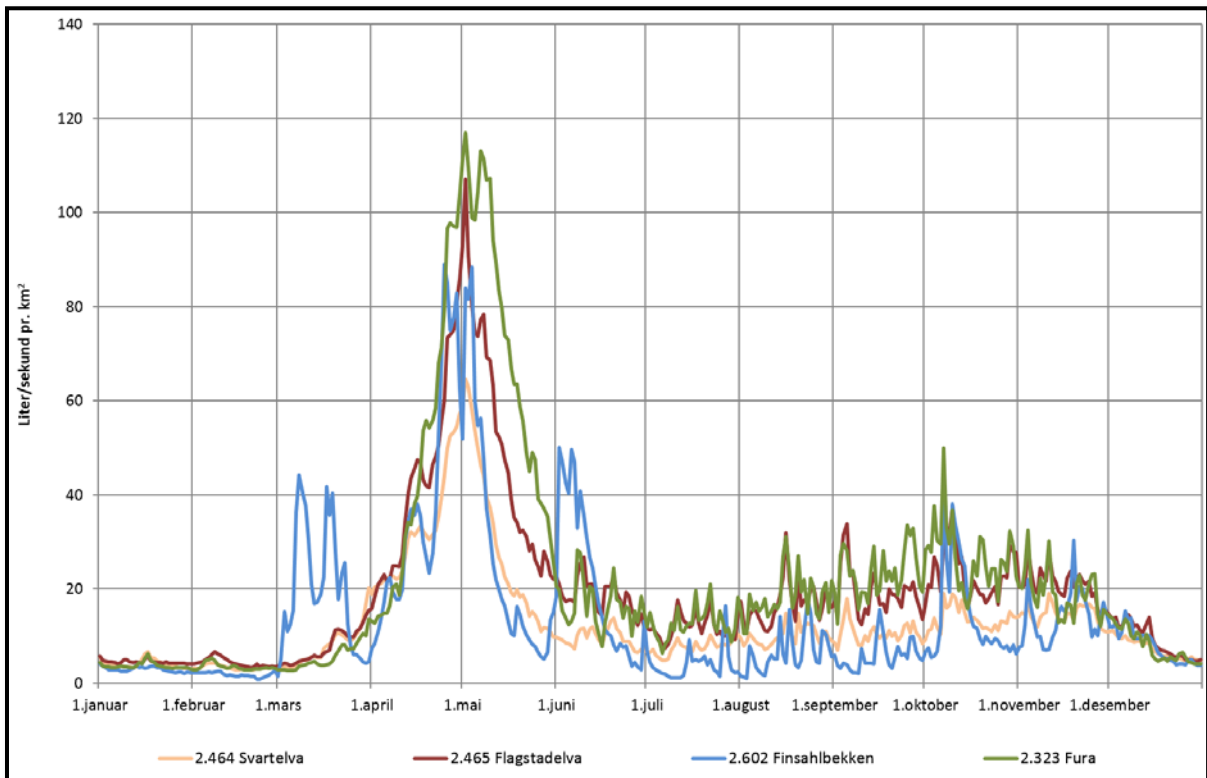
Figur 28 Tilgrensende nedbørfelt til Åkersvika og hydrometriske målestasjoner i området.

Stasjonene i Flagstadelva og Svartelva ble startet opp i April 1986 og har gått frem til i dag med et mindre avbrudd på vinteren 1996. Stasjonen i Finsahlbekken ble startet i 1991 og gikk frem til 1996 da stasjonen ble lagt ned.

Ytterligere opplysninger om målestasjonene er gitt i Tabell 7.

Tabell 7 Stasjonsfeltparametere

Stasjonsnr	Navn	Areal (km ²)	q_{mid} 1961-1990 (l/s/km ²)	Minste høyde i m.o.h.	Max høyde i m.o.h.	Serielengde
	Åkersvika	699,3	8,91	123	819	-
2.464	Svartelva	459,03	7,94	138	758	1986 - 2015
2.465	Flagstadelva	173,13	11,04	128	819	1986 - 2015
2.602	Finsahlbekken	21,52	8,02	145	632	1991 - 1996
2.101	Hamar					1961 - 2015



Figur 29 Midlere daglig spesifikk avrenning for de vurderte hydrometriske stasjoner.

I tillegg har det vært vurdert ytterligere en stasjon, 2.323 Fura, som ligger nord i Svartelvvassdraget, men denne ligger noe høyere og har en litt for lang snøsmeltesesong.

Midlere daglig spesifikk avrenning er plottet for de forskjellige stasjonene og vist i Figur 29. Dataene er som forventet med større respons i det minste nedbørfeltet (som også har en noe kort serie) og noe mer utjevnet i de større nedbørfeltene. 2.323 Fura har som ventet en noe forlenget smeltesesong grunnet plassering lenger nord og noe høyere i terrenget. Svartelva har et noe slakere

relieff, ligger litt lenger sør og har noe mer dempet avrenning enn i Flagstadelva. Svartelva har en betraktelig lavere middelhøyde, dermed mindre snø og tidligere smelteslutt. Vinteravrenningen er tilnærmet lik, sommeravrenningen noe lavere i Svartelvasvassdraget.

Sammenlignet med NVEs avrenningskart for perioden 1961-1990 (NVE 2002), ligger de observerte verdiene på målestasjonene 60-95 % høyere. Dette tyder på at avrenningskartet underestimerer i dette området.

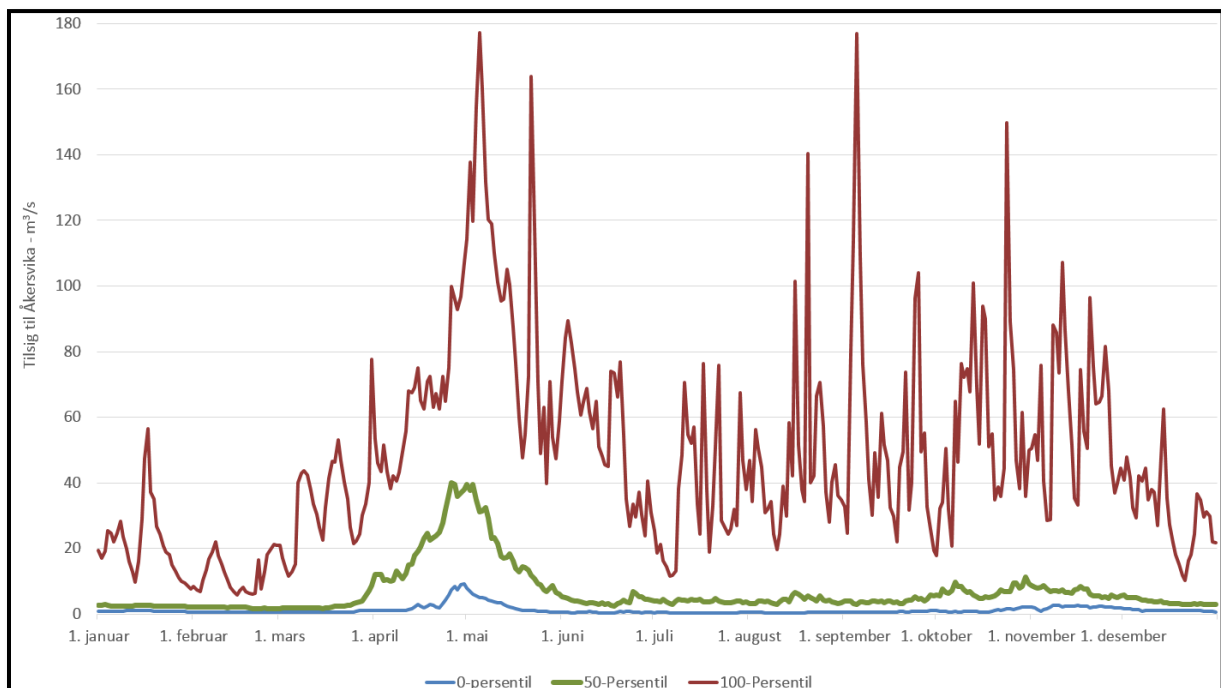
8.3.3 Beregnet tilsig til Åkersvika

Observert avrenning i Flagstadelva og Svartelva står for over 90 % av avrenningen til Åkersvika. Disse stasjonene er derfor benyttet for å beskrive tilsiget.

Observert avløp ved de to målestasjonene er arealskalert ned til respektive utløp. For å beskrive avrenningen fra de umålte feltene er observasjonene fra Svartelva benyttet og arealskalert. Disse umålte feltene ligger i samme høydenivå eller lavere og årsforløpet beskrives dermed best med denne stasjonen.

Middeltilsiget til Åkersvika er på bakgrunn av disse vurderinger beregnet til $11,5 \text{ m}^3/\text{s}$ og med en midlere spesifikk avrenning på $16,5 \text{ l/s pr. km}^2$. Det er utarbeidet en tidsserie fra 1986 – 2015, med et mindre hull i tidsserien i 1996, som kan benyttes i de videre vurderinger.

Årsfordelingen blir som vist i Figur 30.



Figur 30 Beregnet tilsig til Åkersvika i perioden 1986-2015

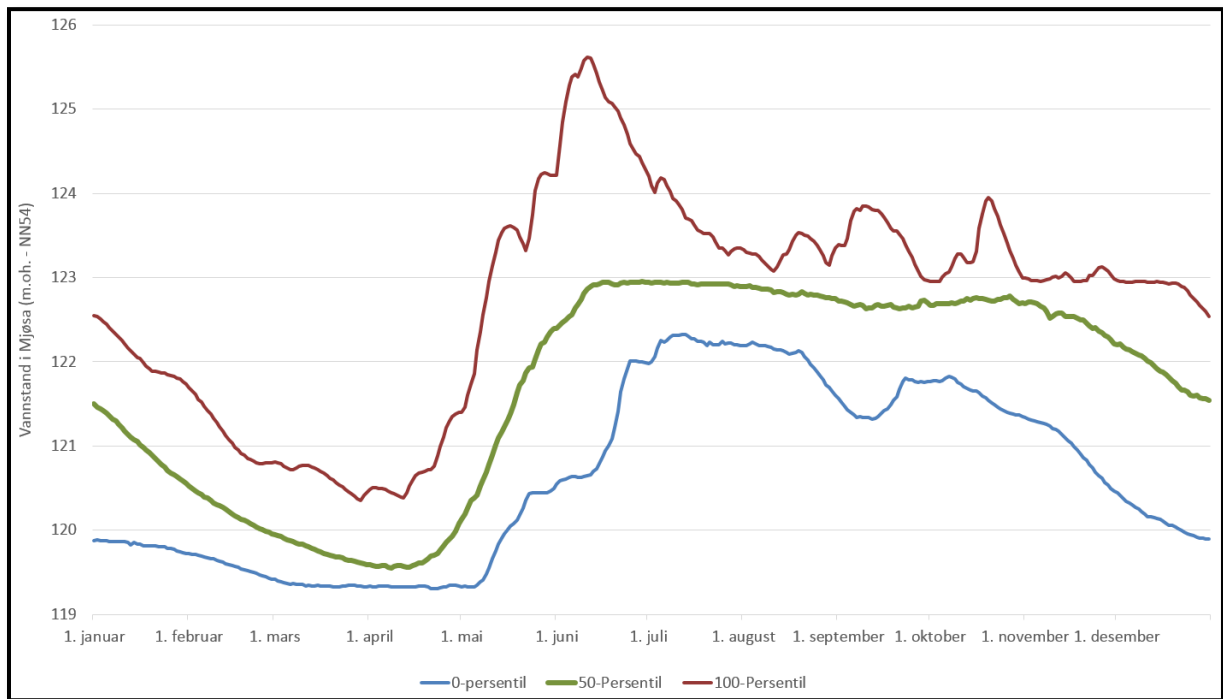
8.3.4 Vannstandsvariasjoner i Mjøsa

Observasjoner i Mjøsa har som nevnt vært foretatt siden slutten av 1800-tallet. Se ytterligere beskrivelse i 8.1.

Endringene i reguleringen av Mjøsa gjør at kun data i perioden 1961-2015 er relevante i dagens vurderinger av vannstandsvariasjonene.

Vannstandsvariasjonene i Mjøsa er vist i Figur 31, som laveste registrerte vannstand (0-persentil), median vannstand (50- persentil) og høyeste registrerte vannstand (100-persentil) for hvert døgn i perioden 1961-2015.

Høyeste flom i perioden inntraff den 11 Juni 1995 («Vesleofsen») på 125,63. Den laveste registrerte vannstanden er på 119,31.



Figur 31 Vannstandsvariasjoner i Mjøsa i perioden 1961-2015.

(Data fra NVE)

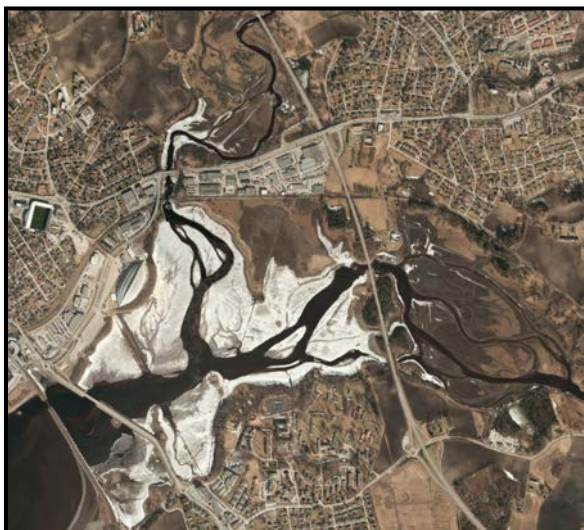
8.3.5 Dybdekart for Åkersvika

Det eksisterer ingen offisielle dybdekart for denne delen av Mjøsa. Det har derfor vært behov for å utarbeide dette.

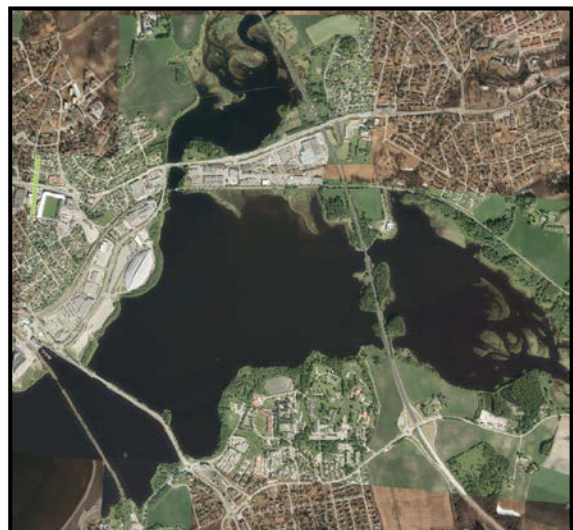
Dybdekart er utarbeidet på grunnlag av flyfoto over området på gitte datoer med kjent vannstand. Det er benyttet historiske flyfoto fra www.norgebilder.no.

- 2 April 2012, vannstand på 120,51
- 3 Mai 2007, vannstand på 121,05
- 16 Juni 2010, vannstand på 123,03
- 16 September 2011, vannstand på 123,72

Eksempel på bilder er vist under.



Figur 32 Flybilde 2 April 2012, vannstand på 120,51



Figur 33 Flybilde 16 Juni 2010, vannstand på 123,03

På grunnlag av disse er ArcGIS benyttet for digitalisering av koter med den gitte vannstand på bildet. Dette er kombinert med kotehøyder på land fra kote 124 og oppover. Det fremkomne dybdekartet er vist i Figur 34.

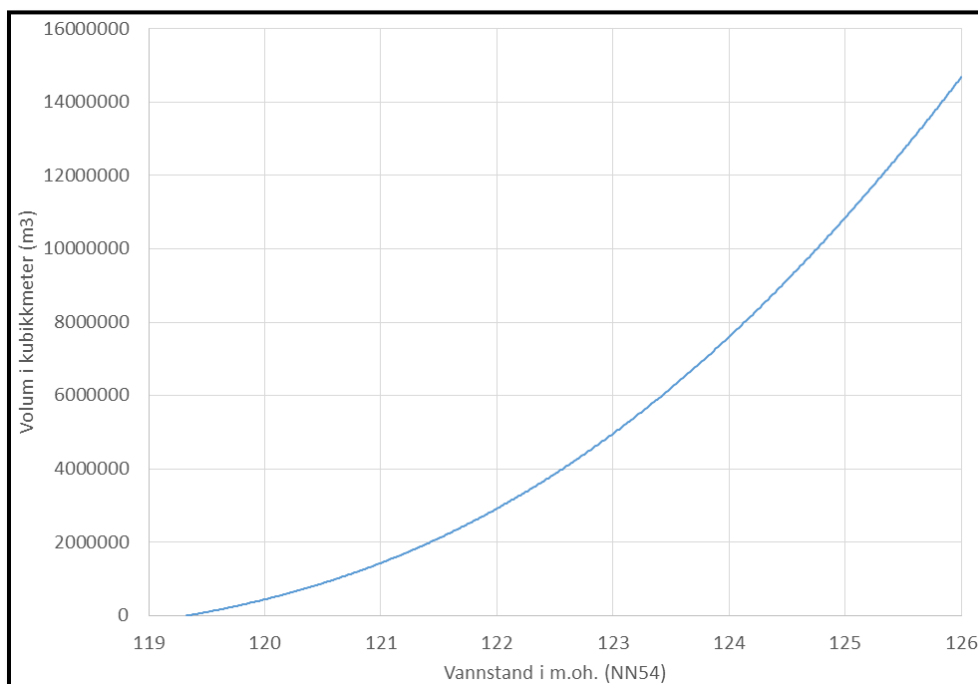
8.3.6 Magasinkurve for Åkersvika

Areal og volumberegninger er foretatt med funksjonen «Surface volume» i ArcGIS Spatial Analyst.

Det kan da utarbeides en magasinkurve med gitt volum under gitt vannstand som vist i Figur 35.



Figur 34 Dybdekart over Åkersvika, blå skravur opp til kote 124



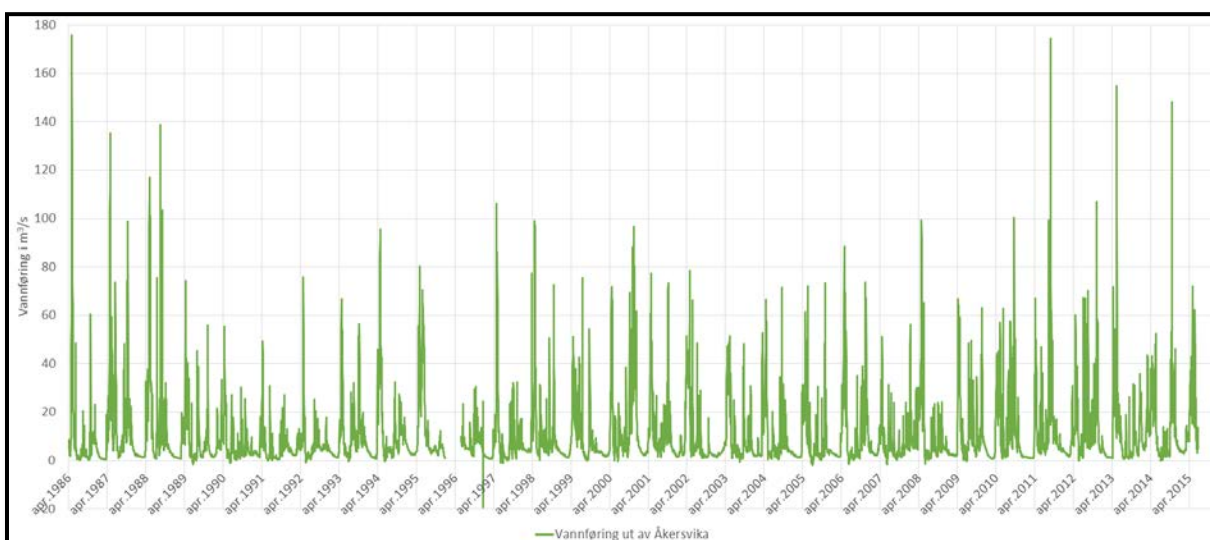
Figur 35 Vannstand og volum i Åkersvika

8.3.7 Beregning av vanntransport inn/ut av Åkersvika

Med bakgrunn i de ovenforliggende beregningene kan det settes opp et regnestykke som beregner transporten av vann inn eller ut av Åkersvika.

$$\text{Transport inn/ut} = \text{Tilsg til Åkersvika} - \Delta \text{magasinvolum}$$

Som antatt er transporten som hovedregel ut av Åkersvika og mot Mjøsa. Kun enkelte dager med veldig lavt tilsg vil strømmingen gå motsatt vei. Disse er vist som negative verdier i Figur 36.



Figur 36 Vannføring ut av Åkersvika

8.3.8 Strømningshastighet under dagens jernbanebru

Strømningshastigheten under broen er avhengig av vannføringen og det til enhver tid gjeldende tverrsnittet som vann kan passere. Pr. dags dato har det dessverre ikke vært mulig å få tak i direkte dybdemålinger under broen. Så beregningene tar utgangspunkt i bredden under broen ved gitte vannstander i Mjøsa og en antatt helning på skråningene på ca. 1:2 som antas som sannsynlig.

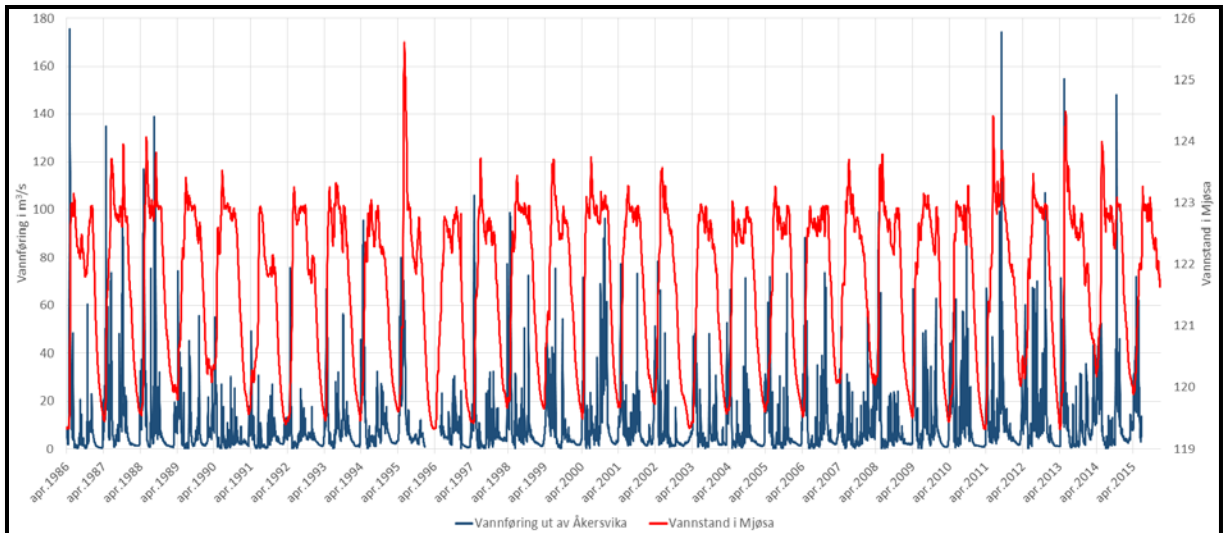
Bredden er 35 meter ved en vannstand på kote 120,5 og 53 meter ved en vannstand på kote 123.

Dette gir et funksjonelt tverrsnitt på ca. 100 m² ved en vannstand på kote 120,5 (lav vannstand) og ca. 170 m² ved en vannstand på kote 123 (høy vannstand).

I all hovedsak vil det være slik at de største vannføringene ut av Åkersvika vil være i perioder hvor vannstanden også er høy og dermed falle sammen med størst tverrsnitt som vist i Figur 37.

Maksimal vannføring ved lav vannstand er med bruk av den utarbeide tidsserien opp mot 100 m³/s, men som regel langt lavere. Midlere vannføring ut av Åkersvika er om lag 10 m³/s men med regelmessige årlige vannføringer opp mot 50 m³/s.

Vannhastighetene vil derfor hovedsakelig være mellom 0 – 0,6 m/s, med enkelte maksima opp mot 1 m/s. Middelhastigheten vil ligge på ca. 0,1 m/s.



Figur 37 Vannstand i Mjøsa og vannføring ut av Åkersvika

8.3.9 Strømningshastigheter ved endrede forhold ved jernbanebru.

Slik som forholdene er i dag er det jernbanebrua som er trangeste åpningen mellom Åkersvika og Mjøsa og vannhastighetene vil derfor være størst under denne. Åpningen under Stangeveibrua er på mellom 60 og 80 meter avhengig av vannstanden.

I hovedsak vil det ved alternativene K1 og K2 ikke bli noen endring av åpningen under jernbanebrua, men maksimalt kanskje en mindre økning på 10 meter. Dette vil gi fra ingen endringer til kun marginale endringer i vannhastighet gjennom tverrsnittet

For K3 kan (som avbøtende tiltak) hele svingen legges på bru og deler av dagens fylling på sørsida og hele fyllinga på nordsida fjernes. Dette vil gi kraftig reduksjon av strømhastigheten på dette punktet og veibrua vil overta som bestemmende profil, men det vil ikke gi noen økning av strømhastigheten under denne broen.

8.3.10 Mulige andre hydromorfologiske endringer ved endrede forhold ved jernbanebro

Ved alternativene K1 og K2 vil det ikke bli endringer i dagens forhold knyttet til erosjon eller sedimentasjon i området innenfor eller utenfor jernbanebroen. Fyllingen og broen vil være tilnærmet som i dag og virke på samme måte.

Ved et alternativ K3, og tilhørende fjerning av fyllingene, vil store deler av området både utenfor dagens fylling og i området mellom jernbanefylling og veifylling i større grad være utsatt for bølgeerosjon fra Mjøsa og det må antas endringer i dagens bunnforhold.

8.4 Kryssing med bru over Brumunda

Resultater av vannlinjeberegninger for dagens situasjon ved jernbanebrua over Brumunda viser at jernbanebrua overtoppes og at flomvollene i området er for lave til å kunne holde en 200 års flom innenfor elveløpet (Norconsult 2015).

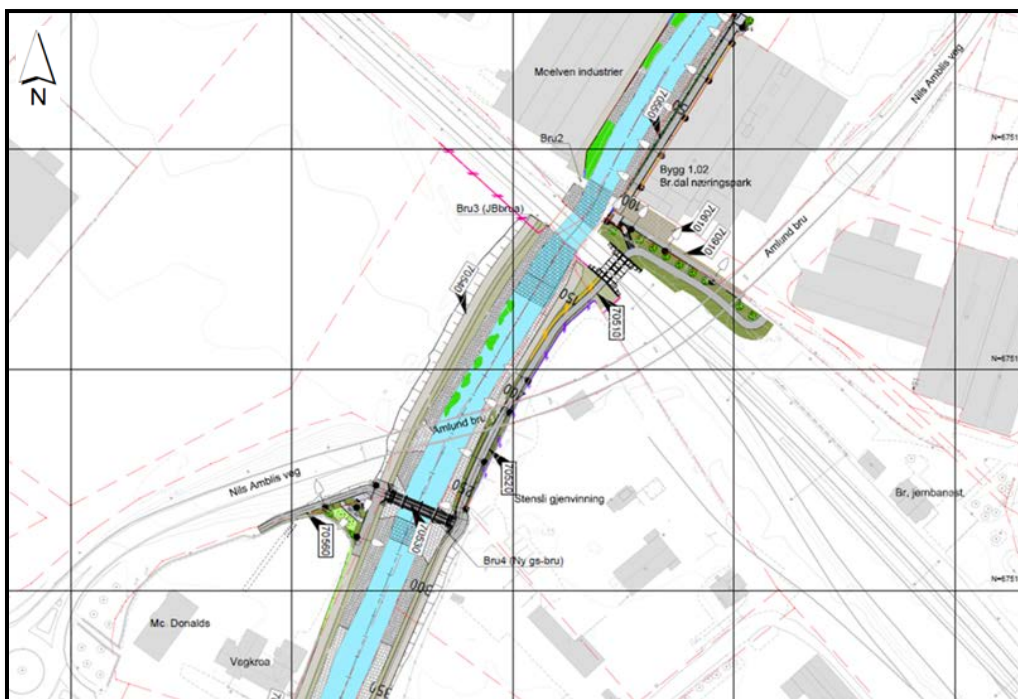
Fra optimaliseringsrapporten har vi at det i Brumunddal i utgangspunktet bare er ett linjealternativ. Det er imidlertid usikkert hvilken høyde sporene skal ha gjennom stasjonen. Amlund bru er for lav i forhold til en ny jernbanetrase, noe som tilsier at man er nødt til å senke sporene gjennom stasjonen dersom brua skal opprettholdes og Brumunda har en flomsituasjon som tilsier at sporet bør heves gjennom stasjonen for å ligge på sikker høyde.

Man ser derfor for seg to mulige alternativer:

- Alternativ 1 Senke sporene ca. 1-2 meter og grave ned i elva slik at den senkes og gir større tverrsnitt i flomsituasjoner.
- Alternativ 2 Heve sporene ca. 1-2 meter og fjerne Amlund bru.

Dette er beskrevet i mer detalj i Notat 7 (ICP-56-A-26236) « Vurdering av alternative høyder i Brumunddal». De hydrologiske forholdene gjengis kort her.

Dagens rådende forhold har ført til at Ringsaker kommune har planlagt en flomsikring av Brumunda på denne strekningen. Planen er at dette skal bygges i 2016. Utsnitt av en oversiktstegning for strekningen er vist på figuren under.



Figur 38 Utsnitt av plan for flomsikring av Brumunda (Ringsaker kommune/Norconsult)

Planen innebærer at Brumunda senkes med 50 cm under dagens jernbanebru og at elvebunnen støpes ut med en betongplate under jernbanen, for å øke vannhastigheten og dermed redusere vannivået ved flom. Prosjektert høyde på denne betongplaten er ca. 129,2 (NN54), i NN2000 vil denne høyden være 129.41. I tillegg er det planlagt oppstrøms flomvoller.

Denne løsningen reduserer en beregnet vannstand på 134,40 i en 200-års flomsituasjon med 1,7 meter. Beregnet vannstand ved en sammenfallende 200-års flom i Brumunda og Mjøsa er da ved jernbanebroen beregnet til kote 132,71 (NN2000).

Denne høyden bør imidlertid også tillegges en usikkerhetsmargin på 50 cm i for usikkerheter i vannlinjeberegningen + ytterligere 50 cm som er knyttet til krav om friskeil under bro (Håndbok N400 – Bruprosjektering). Totalt vil dette tilsi en høyde på underkant bro på kote 133,71.

Dette gir at den foreslåtte høyden på underkant bro, på kote 130,6, fortsatt er 3,1 meter for lav for å kunne sikre et fritt løp for Brumunda under broen i en ekstrem flomsituasjon.

I tillegg bør man vurdere ytterligere noe høyere klaring mellom beregnet øvre vannstand og underkant bro grunnet risiko for at trær og andre gjenstander som kan komme drivende under en flomsituasjon. Dette vil også være positivt ved stor isgang i elva.

Alternativ 1 vil derfor innebære en ytterligere betydelig senking av elva. Dagens foreslåtte senkning av Brumunda, som er omsøkt av Ringsaker kommune, innebærer en senkning på 0,5 meter og utstøping av betongtrau under broen i tillegg til en del oppstrøms flomvoller.

Uten bruk av oppstrøms flomvoller vil man, med en normal sikkerhetsmargin, måtte senke løpet ytterligere med 1,5 meter ned til 2 meter under dagens elvebunn og over en mye lenger strekning (ca. 400 meter) for å hindre oppstrøms overtopping av dagens bredder.

Utføringen av et slikt tiltak vil imidlertid bare føre til en vannstandssenking på ca. 40 cm under broen og vil også innebære en del utfordringer i forhold til stabilitet av sideskråninger, grunnvannstand, fiskeinteresser samt problemer med en kryssende vannledning.

Vannhøyden i tverrsnittet under broen er under en flomsituasjon, og med dagens helning i elven, på om lag 4 meter. En reduksjon av helningen og dermed vannhastigheten vil gi en økning av denne vannhøyden. Dagens 200 års flomvannstand i Mjøsa er på 126,64 og dette tilsier at det kan bli vanskelig å nå ønsket maksimal vannhøyde på 130,6 ved å senke løpet i Brumunda. I så fall innebærer dette omfattende inngrep på hele strekningen ned til Mjøsa og langt oppstrøms.

Norconsult har i sin rapport for det planlagte flomsikringsopplegget ikke modellert et slikt omfattende tiltak.

Alternativ 2 innebærer at sporhøyden heves og ny bru bygges over Brumunda. I dette alternativet forutsettes det at en tar utgangspunkt i høyder som tilfredsstillende flomhøydene i Brumunda ved de foreslåtte tiltakene som er planlagt bygget nå.

Beregnet flomhøyde på stedet er kote 132,7 ved 200 års-flom. Med tanke på sikkerhet i forhold til drivgods, isgang osv. anbefaler vi en tilleggsmargin på 1 meter, som gir kote 133,7. Krav til konstruksjonshøyde og ballast tilsier at topp skinne bør ligge 2 m over flomåpning. Dette gir dimensjonerende høyde på skinneoverkant på ca. kote 136. (ca. 3 meter over dagens skinnegang)

Denne løsningen innebærer i seg selv ingen behov for tiltak i Brumunda ut over de tiltak som allerede er planlagt, og som forutsettes utført inneværende år, altså før jernbanen blir bygget ut. I tillegg forutsettes at dagens jernbanebru rives, og at det etableres en elvebredd som fjerner den kunstige innsnevringen som dagens jernbanebru innebærer. Det kan vurderes om dette tiltaket gir mulighet til å fjerne den glatte betongplata i elvebunnen som nå er planlagt. Dette vil sannsynligvis også ha en positiv effekt på biotopene i elva, spesielt med tanke på harr og storørret.



Figur 39 Jernbanebru over Brumunda

I vannlinjeberegningene som foreligger (Norconsult 2015), knyttet til de flomsikringstiltak som kommunen nå planlegger, er flomnivå beregnet ut i fra dagens jernbanebru, med et relativt trangt snitt mellom brukarene.

Fjerningen av dagens jernbanebru og etablering av et bredere tverrsnitt i elva på dette punktet kan muligens gi en reduksjon i flomhøyder på stedet. I prinsippet vil et bredere løp gi større kapasitet og dermed lavere vannstand. Men dette er under forutsetning at det ikke er nedstrøms forhold som vil styre flomvannstanden. En slik fremtidig løsning må imidlertid modelleres i større detalj for å kunne beskrive virkninger av et slikt tiltak.

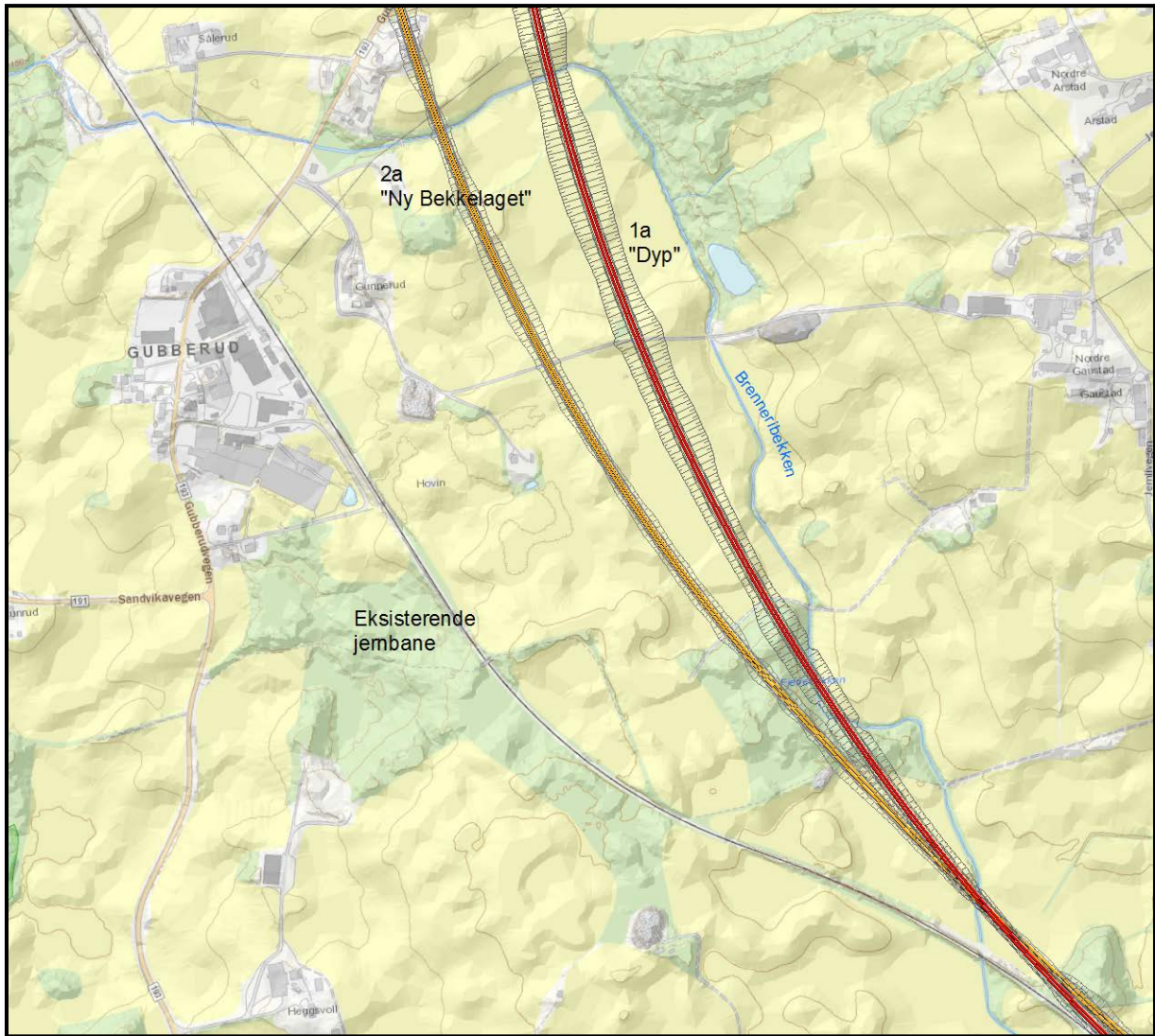
Beregningene er gjort med en én-dimensjonal hydraulisk modell, noe som er en forenkling av virkeligheten. Det er mulig å sette opp en mer avansert modell men det er ikke ensbetydende med at usikkerheten reduseres eller at beregnet vannstand blir lavere. Det er vanlig i slike beregninger at usikkerheten er mellom 0,3 og 0,5 meter. Dette for å håndtere usikkerhet både i selve den hydrauliske modellen og i beregningen av flomstørrelse/flomvolum.

Sikkerhetsmarginen, eller friskeilet mellom verst tenkelig vannstand og brua er der for at objekter som kommer drivende med strømmen ikke skal hekte seg opp i brua og enten skape tilstopping (og dermed oppstrøms oppstuvning) eller påføre brua skader. Dette kreves også for å tilfredsstille kravene i Statens vegvesens håndbok N400 Bruprosjektering og TEK10.

Beregningene som er gjort er også beregnet med en sammenfallende 200 års flom i Mjøsa og i Brumunda. Man kan selvfølgelig beregne med forskjellige gjentaksintervaller, dvs. med noe lavere gjentaksintervall i Mjøsa – men det er statistisk vanskelig å si noe om gjentaksintervallet for sammenfallet av forskjellige hendelser i to tilliggende nedbørfelt, derfor er det praksis å forutsette at det er samme hendelse i begge vassdrag, altså 200 års flom i både Brumunda og Mjøsa.

8.5 Mulig omlegging av Brenneribekken

Det hydrologiske hovedfokuset på den angjeldende strekningen mellom Ottestad og Bekkelaget er Brenneribekken og krysningspunktene mellom denne og ny jernbane. Det vurderes kort her konsekvenser for de hydrologiske forholdene av 2 alternative trasévalg gjennom Bekkelaget, i Stange kommune, alt 56-1a (østre variant) og 2a (Ny Bekkelaget)



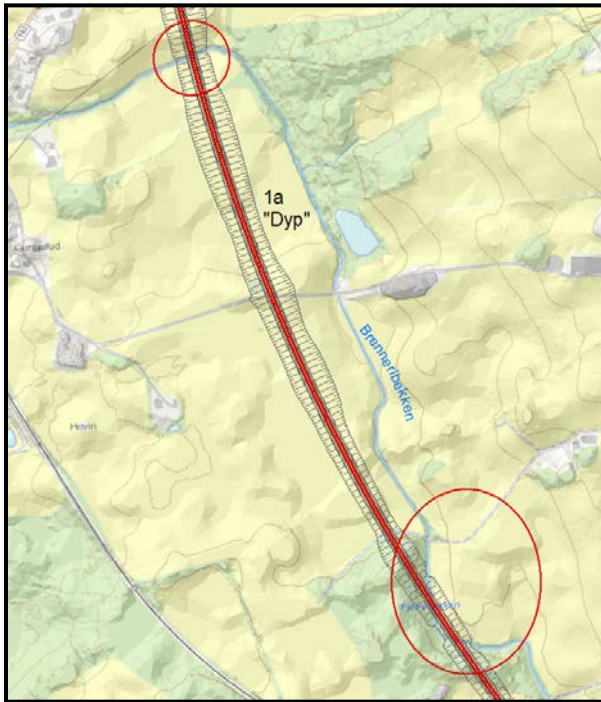
Figur 40 Vurderte trasévalg (56-1a østre variant og 56-2a ny Bekkelaget) mellom Ottestad og Bekkelaget

Mindre bekker og dammer er viktige biotoper i kulturlandskap slik som her på Stange, og ofte er det også knyttet et spesielt dyre- og planteliv til disse landskapselementene.

Tidligere har intensivering av jordbruket ført til at mange slike bekker og dammer har blitt fylt igjen eller lagt i rør, spesielt som følge av bakkeplanering. Dette har medført at mye av det typiske dyre- og plantelivet i slike områder har gått tilbake. I tillegg har slike mindre bekker, dammer og ikke minst tilliggende våtmarker en viktig flomforebyggende rolle. Vannet blir i flomsituasjoner holdt tilbake og flomtoppene reduseres.

Med bakgrunn i mange og store flomhendelser de siste årene har det vært økt fokus på å holde slike

områder åpne og heller søke å gjenåpne tidligere nedbygde bekkeløp. Det anses derfor som gunstig å unngå å gjøre tiltak i og langs naturlige bekkeløp.



Figur 41 Bekkekrysningspunkter - alternativ 1a

Både ved alternativ 56-1a østre variant (vist i Figur 41) og 56-2a Ny Bekkelaget (vist i **Feil! Fant ikke referanse-kilden.**) vil jernbanespetet ved bekkekryssingen i nord ligge så dypt at bekken ikke kan legges i kulvert under sporet uten å senke terrenget (og bekkeløpet) oppstrøms og nedstrøms krysningspunktet over et lengre strekk.

Sporene ligger heller ikke så lavt at bekken kan føres over sporet i en form for «akvedukt-løsning».

I tillegg må også deler av bekkeløpet flyttes i den sørøstre delen som vist i figuren ved siden av.

Samlet sett vil dette bety at med disse sporalternativene vil det være behov for å flytte om lag 1,5 km av bekken over i et nytt konstruert bekkeløp på vestsiden av sporet.

Teknisk sett er dette mulig, men er en lite ønskelig situasjon av flere årsaker;

- Det vil fortsatt være 2,6 km² med nedbørsfelt som vil drenere til østsiden av sporet og en midlere normalvannføring på 20 liter/sekund (l/s) og flomvannføring på 2.000-3.000 l/s må senere kunne føres nordover langs sporet.
- Det vil være et sterkt redusert tilsig til en mindre dam på strekningen som brukes til vanningsformål.
- Et viktig natur- og landskapselement vil sterkt forringes.
- Konstruksjon av nytt bekkeløp vil være arealkrevende. Oppstrøms nedbørsfelt er på over 12 km² og under en 200-års flom, som er et av dimensjoneringskriteriene, vil dette måtte kunne håndtere flommer opp mot 20.000 liter/sekund.
- Et konstruert nytt bekkeløp vil i mindre grad ivareta den naturlige flomreduserende virkningen av dagens bekkeløp som slynger seg gjennom landskapet.
- Nedstrøms flomtopper vil sannsynligvis bli noe høyere fordi viktig fordrøyning i vassdraget avtar.
- Tiltaket er kostnads-krevende

Fagområdet Vann og Avløp ivaretar planløsning og kostnader for Brenneribekken i hovedplanen. På grunn av dype skjæringer, begrensede fallforhold og landskapsmessige tilpasninger må Brenneribekken legges om både på øst- og vestsiden av ny jernbanetrase. Bekken er planlagt som åpen med unntak av i områder med dype grøfter, under vegger og nær bygg hvor bekken legges i rør.

Ved normalvannstand vil arealbehovet være +/- 6 meter. Ved foreslått sidehelning 1:2 mot jernbanetrase og 1:7 fra jernbanetrase kan arealet ned til bekken utnyttes utenom flomperioder.

I neste fase vil det være aktuelt å tilpasse traseen for bekken bedre i landskapet, samt gi tilpasninger for å i best mulig grad ivareta naturlige funksjoner knyttet til hydrologi og biologi.

Det er også aktuelt å optimalisere stigningen på jernbanetraseen for å få mindre skjæringer, som vil gi bedre forhold for bekken og en vesentlig reduksjon av lengden av omleggingen, i det vestlige sporalternativet.

Fra profil km 121,800 ledes overvannet, via grøft, nordover og renner ut i Åkersvika.



9 Referanser og relevant litteratur

- Arkivnett.ol.no *Dølavegen - Isveger på Mjøsa*
- Berggren et al. 2015 *Notat: Dimensjonering for flom i InterCity-prosjektet*
- Heitkøtter, F. 1979 *Frå Breheim til Mjøsstrand*. Gyldendal, Oslo.
- Johnsen, E. 1992 *Mjøsbrua: En vandring i veghistorien*. Hamar: Statens vegvesen, Hedmark og Oppland.
- Lawrence & Hisdal 2011 *Hydrological projections for floods in Norway under a future climate*. NVE Report 5/2011
- Nashoug, O. 1999 *Vannkvaliteten i Mjøsa, før og nå. Mjøsovervåkingen gjennom 25 år*. Brummundal: Styringsgruppa for overvåking av Mjøsa.
- NIFS 2014 *Regionalt Formelverk for flomberegning i små nedbørfelt*. NIFS Rapport 62/2014.
- NGU 1992 *Gin-veileder nr.8 : Grunnvannsmuligheter i Norge*
- Norconsult 2015 *Flomsikring og elvepromenade langs Brumunda del2. Vannlinjeberegning*.
- Norconsult 2015 *Flom- og vannlinjeberegning. Båhusbekken og Skansebekken*
- NOU, 1996 *Tiltak mot flom*. NOU 1996:16. Norges offentlige utredninger.
- NVE 1984 *Dybdekart over norske innsjøer*. Et utvalg innsjøkart utarbeidet ved hydrologisk avdeling av Østrem, Flakstad og Santha. Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, 1984.
- NVE 2003 *Retningslinjer for laster og dimensjonering til §§4-1 og 4-2 i forskrift om sikkerhet og tilsyn med vassdragsanlegg*, NVE (2003).
- NVE 2009 *Flomforhold i Sør- og Midt-Norge*. Rapport 3/2009.
- NVE 2010 *Flomberegning for Brumunda, Ringsaker kommune i Hedmark*.
- NVE 4/2011 *Retningslinje for flomberegninger*. Retningslinjer 4/2011
- NVE 2011 *Hydrological projections for floods in Norway under a future climate*. NVE 5/2011.
- NVE 2014 *Flaum – og skredfare I arealplanar*. NVE 2/2011 . Rev. 22.mai 2014.
- NVE 2015 *Nasjonalt formelverk for flomberegning I små nedbørfelt*. NVE 13/2015.

Petterson, L.E. 2000	<i>Flomberegning for Mjøsa og Vormå (002.DZ). Oslo, NVE.</i>
Selstad & Stensrud	<i>Den Store Mjøsboka. Oslo: Pegasus, 1991.</i>
Statens vegvesen 2014	<i>Vegbygging. Håndbok N200</i>
Statens vegbygging 2014	<i>Brbygging. Håndbok N400</i>
TEK ₁₀	<i>§7-2 Sikkerhet mot flom og stormflo.</i>
Tollan,A. 2002	<i>Vannressurser. Universitetsforlaget</i>

Fagrapport hydrologi

Utgitt mai 2016

Utgave nr 1

Utgitt av Jernbaneverket

Foto Jernbaneverket

Postadresse Jernbaneverket, Postboks 4350, N-2308 Hamar

E-post postmottak@jbv.no

05280

Sentralbord/vakttelefon