RAPPORT

Flomvurdering for Dalsbekken,

Revidert rapport August 2020

Dalsbekken i 2019, (Bilder: Torsten Starkloff)

Prosjekt: Flomvurdering Dalsbekken

Prosjektnummer: 10212545

Sweco
Drammensveien 260
NO-0212 Oslo,
Telefon +47 67 12 80 00
www.sweco.no

Sweco Norge AS
Org. nr.; 967032271
Hovedkontor: Oslo

Kjetil Sandsbråten
Fagsjef Hydrologi og Vannressursforvaltning
Mobil +47 971 29 216
kjetil.sandsbraten@sweco.no

Sammendrag:

Sweco har utført hydrologiske- og hydrauliske vurderinger og beregninger for en strekning av Dalsbekken ned til Gjersjøen i Nordre Follo kommune.
Det er for dette området utført flom- og vannlinjeberegning for to sesongmessige flomstørrelser, vår og høst samt middel-, 5-, 10-, 20- og 200-årsflom med klimapåslag. Det er i beregningene tatt hensyn til flommer og vannstandsvariasjoner i Gjersjøen samt i sidebekkene Sæterbekken, Greverudbekken og Vinebergbekken.

Det er beregnet vannstander ved Steinhvelvsbrua og pumpestasjonen for en rekke flomstørrelser og en rekke forskjellige initialtilstander både i og nedstrøms disse strukturene.

I rapporten er det vurdert tiltak for å unngå skader på Steinhvelvsbrua, pumpestasjonen og turveien langs vassdraget samt ekstreme flommers påvirkning på vannstandsvariasjonene i våtmarksområdene Vinebergslora og Slorene.

Det er i tillegg vurdert den hydrologiske virkningen av tiltak beskrevet i Biofokusrapporten 2018-16.

Alle flomsoner er vist på eget kart i vedlegg.

Rapporteringsstatus:

☒ Endelig
☐ Oversendelse for kommentar
☐ Utkast

Utarbeidet av: Kjetil Sandsbråten og Torsten Starkloff	**Sign.:** T. Starkloff Kjetil Sandsbråten
Prosjektleder: Kjetil Sandsbråten	**Prosjekteier:** Karel Grootjans

Innholdsfortegnelse

1 Innledning 4
2 Befaring 4
3 Områdebeskrivelse og hydrologi 5
4 Krav til sikkerhet mot naturpåkjenninger 8
5 Klimapåslag for flomvurderinger 9
6 Eksisterende flomberegninger i området 9
7 Generell metodikk for flomberegninger 10
7.1 Benyttet analysemetodikk for tilsig til Slorene 12
7.1.1 Beregninger med flomfrekvensanalyse (FFA) 12
7.1.2 Beregninger med nasjonalt formelverk for flomberegning i små nedbørfelt, NIFS 15
7.1.3 NVEs erfaringstall 16
7.1.4 Konklusjon flomvannføring i tilsigsbekken til Slorene 16
7.1.5 Vannføringer ved Slorene for typiske sesongverdier 16
7.2 Beregning av totaltilsig, avløpsflom og vannstandsstigning i Gjersjøen 20
8 Vannlinjeberegning 24
8.1 Beregningsprogram 25
8.2 Grunnlag og forutsetninger 25
8.2.1 Kartdata og elvas geometri 26
8.2.2 Modellert elvestrekning 26
8.2.3 Ruhet 29
8.2.4 Kalibrering 29
8.2.5 Grensebetingelser for den hydrauliske beregningen 29
8.2.6 Sensitivitetsanalyse 30
8.3 Resultater 31
8.3.1 Oppstrøms pumpestasjon 31
8.3.2 Ved Steinhvelvsbrua og videre nedstrøms 33
8.3.3 Resultater uten bro og pumpestasjon 36
8.4 Usikkerheter i vannlinjeberegningene 37
9 Tiltak mot uønsket påvirkning eller flomskader på turvei, Steinhvelvsbrua og områder nedstrøms mot Gjersjøen 39
10 Vurdering av hydrologi i andre rapporter (Biofokusrapporten) 44
11 Oppsummering 46
12 Referanser og litteratur 47
13 Vedlegg 48

1 Innledning

Sweco utførte i 2019 hydrologiske- og hydrauliske beregninger for en delstrekning av Dalsbekken, fra oppe ved Haugbro terrasse 179 og ned til straks nedstrøms steinhvelvsbroen, på oppdrag fra Ski, Oppegård og Ås kommune. Ski og Oppegård er nå slått sammen i Nordre Follo kommune.

Formålet med oppdraget var å gjennomføre en flomvurdering av området og gi anbefalinger av mulige tiltak for å unngå oversvømmelser og skader på turveien og broer i området på grunn av flom. I tillegg ble det foretatt en faglig vurdering av tiltakene beskrevet i kapitlene om hydrologi i Biofokusrapporten (Biofokus, 2018). Kommentarer fra NIBIO på disse vurderingene i den opprinnelige rapporten, er svart ut her i denne reviderte rapporten.

Vurderingene i den opprinnelige rapporten vurderte kun lokal flom i Dalsbekken og så ikke på en eventuell sammenfallende flomhendelse med det større vannet Gjersjøen nedstrøms. Eksisterende flomavledning og vannstandsstigning i dette vannet kan ha betydning for vannstanden også i nedre del av Dalsbekken .

Det samme gjelder hensyn til Sætrebekken og Greverudbekken som renner inn i Dalsbekken nedstrøms den modellerte strekningen. Når det oppstår flom i Dalsbekken vil det også være stor sannsynlighet for at det er tilsvarende høy vannføring i Sætrebekken. Dette kan gi økt vannstand i Slorene som igjen kan påvirke vannstanden ved Steinhvelvsbroen. Det ble derfor anbefalt å utvide vurderingene og vannlinjeberegning slik at den tar hensyn til slike nedstrøms grensebetingelser.

Denne reviderte rapporten utvider analyseområdet og vurderer også påvirkningen fra disse nedstrøms forholdene i vurderingen knyttet til Steinhvelvsbroen og områdene nedstrøms. Rapporten inkluderer også arbeidet fra den tidligere rapporten og vil i sin helhet erstatte denne.

De hydrologiske vurderingene foretatt i dette arbeidet er ikke sett i sammenheng med dagens forvaltning av naturmangfold i området, jf. vannressursloven § 11 og naturmangfoldloven, og tiltak er heller ikke vurdert opp mot hva som er konsesjonspliktige tiltak i henhold til vannressursloven § 8.

2 Befaring

Første befaring ble foretatt 28. mai 2019. Elveløpet til Dalsbekken og våtmarksområdet Slorene ble befart. Det ble undersøkt om det var noen større endringer i tverrsnitt (sammenlignet med terrengmodellen), terskler, materialer i bunn av bekken og flomsletter som kan påvirker vannstand eller vannhastighet.

I tillegg ble kritiske punkter som Steinhvelvsbroen, pumpestasjonen og større endringer av tverrsnitt registrert og målt inn.

Den 8 april 2020 ble vassdraget igjen befart, på strekningen fra pumpestasjonen og ned til utløpet i Gjersjøen, samt dam og reguleringsanlegg i utløpet av Gjersjøen. Særdeles lav vannføring i vassdraget ga mulighet for en rekke nye innmålinger langs Dalsbekken og ved utløpet

3 Områdebeskrivelse og hydrologi

Nedbørfeltet til Dalsbekken, ned til E18-brua har en størrelse på cirka 26 km^2 og ligger i Ås og Nordre Follo kommune. Området er vist i Figur 1 og Figur 2. Ved innløp i Gjersjøen ved Slorene tilkommer det ytterligere to større nedbørfelt, Sætrebekken og Greverudbekken, samt et mindre sidefelt fra Vinebergdalen som kan ha betydning for flom- og vannstandsvurderingene.

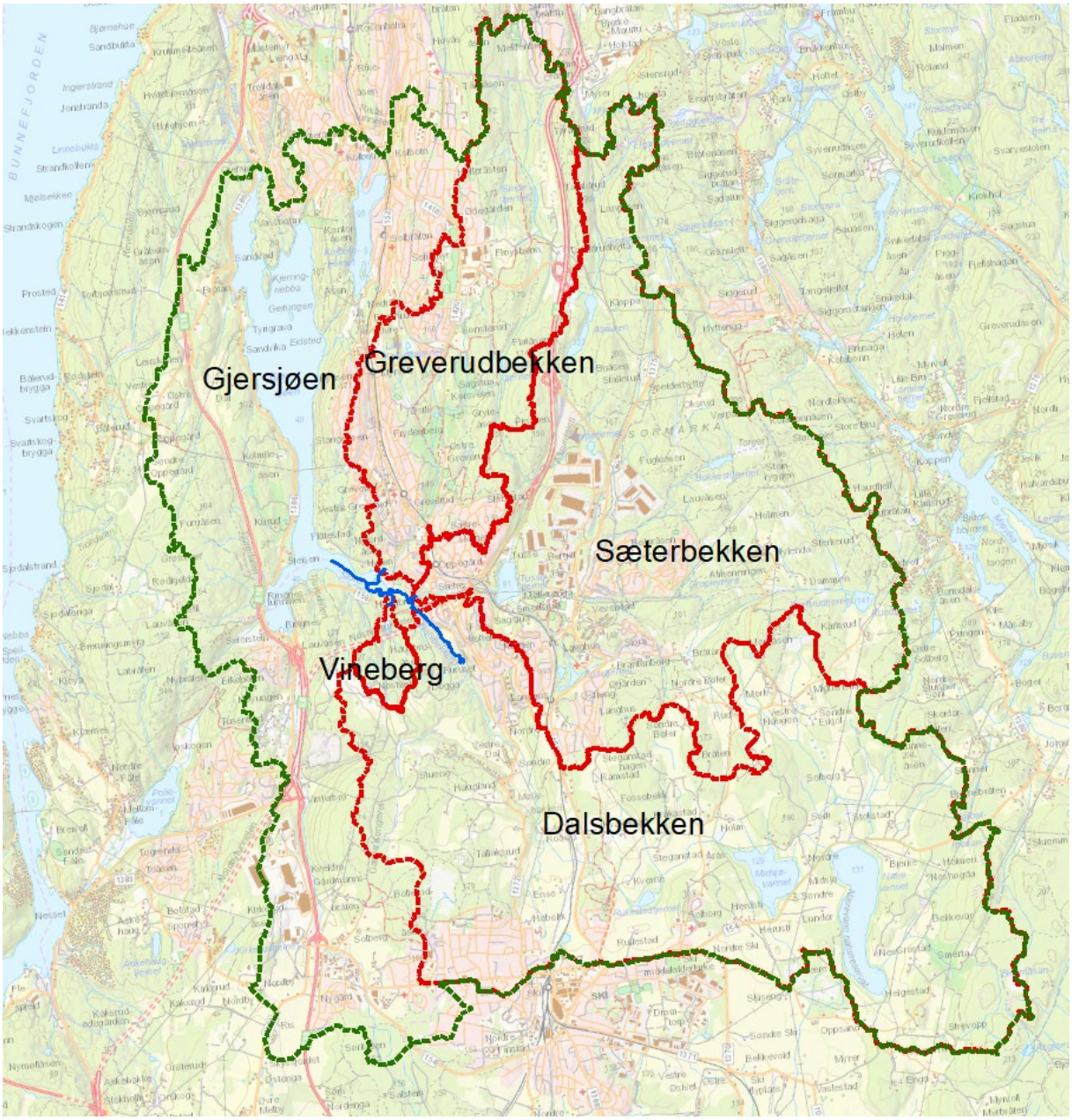
Det totale nedbørfeltet til Gjersjøen er også beskrevet for en samlet vurdering knyttet til flomavledning og flomstigning i dette magasinet. Også dette vil kunne ha betydning for vannstanden i og langs Dalsbekken. Aktuelle feltparametere for delfeltene er gitt i Tabell 1.

Av andre større bidrag til Gjersjøen, er Kolbotnvassdraget på 3,6 km^2 i nordøst og Vassflobekken fra Vinterbro på 7 km^2 i sørvest. Dalsbekkvassdraget, med sitt samlede nedbørfelt nede ved Slorene på 58 km^2, utgjør dermed tre fjerdedeler av tilløpet til Gjersjøen.

Den vurderte øvre delstrekningen av Dalsbekken har en relativt flat sørlige del med fall på ca. 1.5 m over en strekning på ca. 700 m. I dette området meandrerer Dalsbekken gjennom en tett begrodd dal med løsmasser av leire og silt. Nordover snevres dalen inn fra 120 m til 20 m bredde. Det smale partiet er totalt 200 m langt. I løpet av disse 200 meterne faller bekken 5 m. Nord for Steinhvelvsbrua åpner dalen seg igjen til et flatt våtmarks-område som kalles Slorene.

Ned i dette våtmarksområdet kommer også de to større sidebekkene Sætrebekken og Greverudbekken som vist i Figur 1. Oppstrøms innløpet til Slorene er disse andre sidebekkene forholdsvis bratte.

Figur 1 Plassering av tilløpsbekker til Slorene



Figur 2 Kart som viser den vurderte delstrekningen av Dalsbekken (blå linje) og nedbørfeltet til Dalsbekken og de andre tilløpsbekken (i rødt. Totalfeltet til Gjersjøen er vist i grønt.

Rett oppstrøms Steinhvelvsbrua renner Dalsbekken gjennom/under en pumpestasjon (Figur 17). Denne skal nedlegges og fjernes i 2022 i forbindelse med at prosjektet «Ny hovedledning Ski-Haugbro» gjennomføres.

Gjersjøen har vært benyttet som drikkevann helt siden 1968. Oppegård vannverk er eid og drevet av Nordre Follo kommune, og produserer drikkevann for om lag 40 000 personer. Vannverket har en produksjons kapasitet på om lag 31 000 m^3 per dag, , men ligger på mellom 15-17 000 m^3 per dag (tall fra hovedplan i 2013). Selve vannverket ligger ca. 150 meter høyere enn Gjersjøen og det må tre pumper til for å pumpe vannet gjennom to parallelle støpejernledninger og opp til vannverket.

Tabell 1: *Feltparametere til vurderte nedbørfelt*

Parameter	*Dalsbekken (til steinhvelvsbrua)*	*Sætrebekken*	*Greverudbekken*	*Bekk fra Vinebergdalen*	*Totalfelt til Gjersjøen*
Vassdragsnummer	005.4C	005.4C	005.4B	005.4B	005.4A
Nedbørfelts areal (km^2)	26	20,6	10,3	0,6	81,9
Effektiv sjøprosent (%)	1,3	0,54	0,11	1,21	3,4
Minste høyde (moh.)	46	41	41	41	40
Midlere høyde (moh.)		153	142	84	139
Største høyde (moh.)	210	238	226	123	238
Midlere spesifikk avrenning (l/s km^2)	17	16,3	15,4	13,3	15,6
Midlere vannføring (m^3/s)	0,44	0,34	0,16	0,008	1,28
Årsnedbør (mm)	774	774	773	780	777
Skog (%)	50,4	73,4	60,8	93,8	59,5
Dyrket mark (%)	31,3	6,4	7,2	3,3	15,2
Urban (%)	7,2	13,9	21,8	0	12,7
Innsjø (%)		1,3	0,3	1,9	5,2
Myr (%)	2.1	1,8	0,6	0	1,2

4 Krav til sikkerhet mot naturpåkjenninger

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

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

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

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

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

For byggverk/konstruksjoner hvor konsekvens anses som liten er denne største nominelle årlige sannsynlighet satt til 1/20 eller 20 års returperiode. For middels konsekvens, her innbefattet infrastruktur, er returperioden satt til 200 år og for byggverk/konstruksjoner med stor konsekvensgrad er returperioden på 1000 år. Byggverk hvor konsekvensen av en flom er særlig stor, skal ikke plasseres i flomutsatt område. Beskrivelse av tilhørende sikkerhetsklasser er vist nedenfor:

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

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

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

For pumpestasjonen som er plassert oppstrøms i Dalsbekken faller nok denne innunder sikkerhetsklasse F2 og muligens også F3 hvis stasjonen er kritisk i forbindelse med vannforsyningen i området. Plassering av bro og gangvei ellers i området samt bruk og type av dette anses å ha liten til middels konsekvensgrad. Det er her derfor gjort vurderinger både for sikkerhetsklasse F1 og F2, flomstørrelser med 20 og 200 års gjentaksintervall.

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

5 Klimapåslag for flomvurderinger

Selv små nedbørfelt kan imidlertid gi store vannmengder under ekstremværsituasjoner. Framskrivninger presentert i «Klima i Norge 2100» viser at det kan forventes mellom 5 og 30 % økning av midlere årsnedbør mot slutten av dette århundret.

Det store spennet mellom disse to verdiene avhenger dels av tilfeldige variasjoner og mengden av fremtidig klimagassutslipp. Den faktiske nedbørsøkningen i Norge i løpet av de siste 30 årene ligger faktisk nær den høyeste framskrivningen. Lawrence 2016 anbefaler på grunnlag av dette et klimapåslag på 20 % for døgnmiddelflom og 40 % for kulminasjonsflom i små nedbørfelt på alle flommer i dette området.

Det er ventet at den største nedbørsøkningen vil komme på høst, vinter og vår, mens det forutses mindre endringer for sommermånedene. Sør- og Østlandet kan, i middel, få redusert nedbør sommerstid, noe som kan føre til tidvis tørke.

På tross av dette kan det forventes økning av kortvarige store nedbørsmengder. Pågående forskning ved meteorologisk institutt påpeker også tydelig at det er en positiv trend både for høyeste nedbørintensitet og for hyppighet av kraftige nedbørepisoder (Ødemark et al. 14/2012). Denne rapporten peker også på at den forventede hyppigere forekomst og økede intensitet i ekstreme hendelser kan forårsake problemer for avrenningssystemene i tettbygde områder som ofte er spesielt følsomme for lokale nedbørepisoder.

Rapporten «Klimapåslag for korttidsnedbør, anbefalte verdier for Norge» (NCCS 5/2019) viser tydelig at klimafaktorer øker tydelig med lengre returperioder og med kortere varigheter, Dette er i tråd med at det er de mest ekstreme hendelsene som vil øke mest i framtiden, og spesielt småskala intense nedbør-hendelser som for eksempel konvektive sommerbyger. Tidligere anbefalinger om 40% påslag for nedbørvarigheter opp til 3 timer (Førland et al., 2015) samsvarer godt med disse nye resultatene (klimafaktor på ca. 1.4 for 50 år og varighet 3 timer). Men det er også tydelig at klimafaktorer for kortere varigheter enn 3 timer i snitt for Norge er større enn 1.4.

Anbefalingen er dermed for nedbør med returperioder på mer enn 50 år og med varighet under 1 time, ett klimapåslag på 50 %. For nedbør med varighet på 2-6 timer anbefales ett klimapåslag på 40 % i områder med lav M5 verdi som det er her. Det er benyttes derfor 40 % i beregningene i denne rapporten.

6 Eksisterende flomberegninger i området

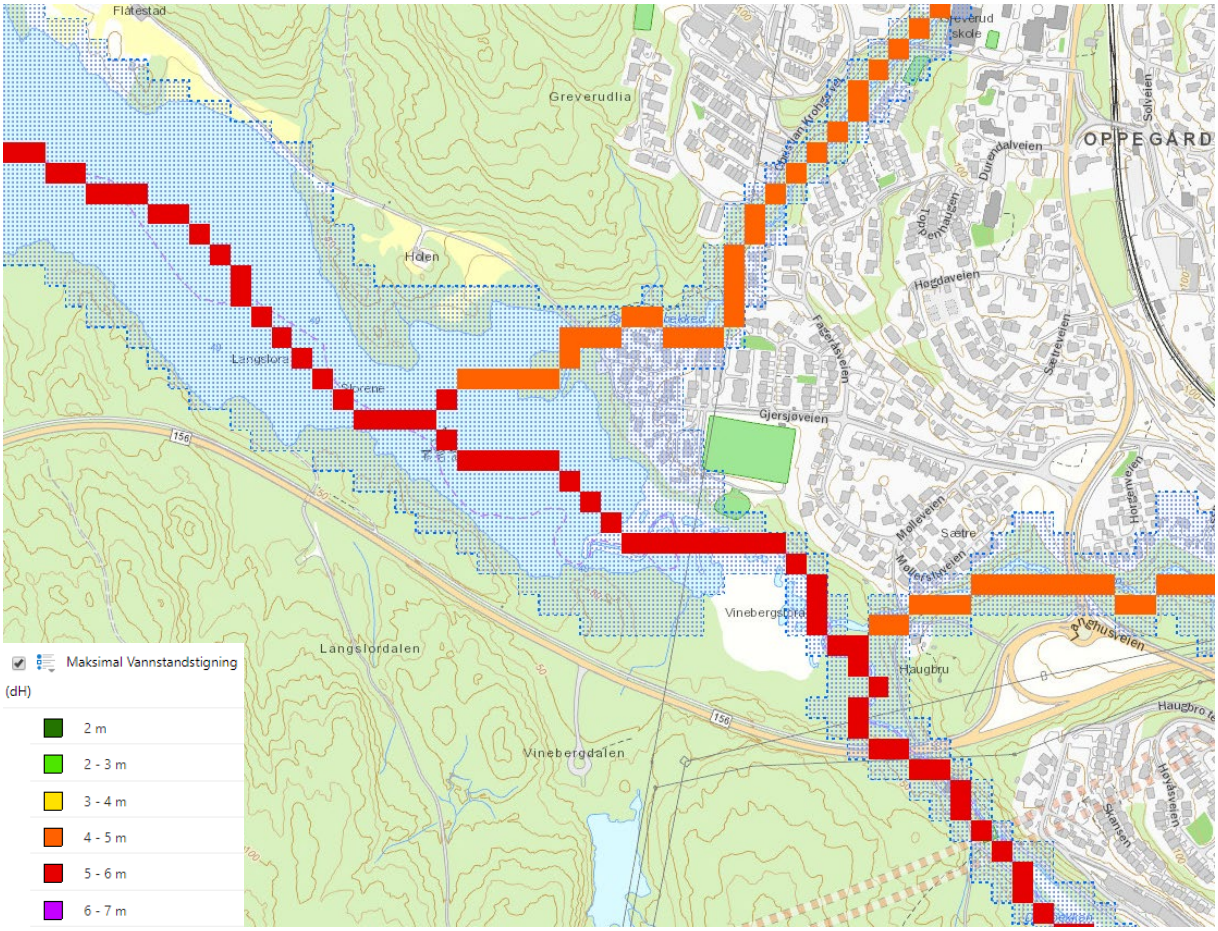
Området langs Dalsbekken og Slorene ligger i dag innenfor NVEs aktsomhetssone for flom som vist i Figur 3.

NVEs aktsomhetsområder for flom er et nasjonalt kart på oversiktsnivå som viser hvilke arealer som kan være utsatt for flomfare. Nivået på aktsomhetskartet er imidlertid tilpasset kommunal oversiktsplanlegging (kommuneplannivået) og kartene sier ingen ting om sannsynlighet og kan derfor ikke alene brukes i reguleringsplanarbeid eller for å vurdere utbygging etter sikkerhetskravene i byggteknisk forskrift.

Aktsomhetsområder for flom er produsert på bakgrunn av hydrologiske modeller, basert på erfaring fra norske vassdrag og en digital terrengmodell (NVE 7/2011). Aktsomhetskartet viser hvilke områder som potensielt kan være flomutsatt. Vannstandsstigningen vil som oftest være betydelig overestimert ved bruk av denne metoden og en mer detaljert kartlegging vil derfor som regel redusere aktsomhets-områdenes utstrekning.

Det er ikke kjent at det er foretatt andre flomvurderinger for denne bekken i nyere tid. Sweco har imidlertid gjort en rekke andre flomvurderinger i regionen.

Det er gjort en del målinger i regi av NIVA/Oppegård kommune i en rekke mindre bekker i området i forbindelse med et økologisk overvåkningsprogram, deriblant i Dalsbekken. Dette er nærmere beskrevet i 7.1.5.



Figur 3 NVEs flomaktsomhetskart.

7 Generell metodikk for flomberegninger

Flom defineres ofte kvantitativt i forhold til størrelse og statistisk gjentaksintervall. En middelflom[2] defineres som gjennomsnittet av høyeste døgnmiddelvannføring hvert år i en hel årrekke. Enkelte år kan flommen bli større enn middelflommen. Slike flommer deles inn statistisk gjennom en risikovurdering, basert på risikoen for gjentak (gjentaksintervall). En 200-årsflom har således statistisk sett 0,5 % sannsynlighet for å opptre årlig, mens en 100-årsflom har 1 % sannsynlighet, 10-årsflom har 10 % osv. Om en 10-årsflom opptrer et år, så er det altså fortsatt 10 % sjanse for at det vil skje igjen neste år.

I flomvarslingssammenheng gir gjentaksintervallet et grovt skille mellom varslingskategorier;

- Flom: Vannføring mellom middelflom og 10-årsflom
- Storflom: Vannføring mellom 10-årsflom og 100-årsflom
- Ekstremflom: Vannføring større enn 100-årsflom

I denne rapporten her benyttes også størrelser som midlere vår- og høstflom, som generelt vil være lavere enn middelflom, og representerer en flomstørrelse som i snitt kan forventes hvert år på henholdsvis vår- og høstsesong.

[2] *Middelflom vil i snitt være flomstørrelsen som har et gjentaksintervall på ca. 2,3 år.*

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 kan variere fra noen minutter i små urbane områder til mange uker i våre største vassdrag.

Det er likevel ikke en helt entydig sammenheng mellom store nedbørmengder og flom. Hvert år gir snøsmelting store flommer mange steder i landet, men når skadeflommer oppstår, er slike ofte forårsaket av regn eller en kombinasjon av regn og snøsmelting. De største flommene oppstår også som regel når nedbør kombineres med andre ugunstige forhold, som snøsmelting, mettet mark på grunn av tidligere nedbør, eller frossen mark.

Størrelsen på nedbør og de tilhørende flommer varierer stort i Norge. Det samme gjør årstiden for de største flommene. 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. arealenhet er lavere.

Små vassdrag, og særlig felt med høy grad av urbanisering karakteriseres ofte 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. 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 tre hovedgrupper:

- Flomfrekvensanalyser
- Nasjonalt eller regionalt formelverk
- Nedbør-avløpsmodellering

Flomfrekvensmetoden er basert på analyser av målte avløpsserier og skal vanligvis benyttes for beregning av tilløpsflommer med gitte gjentaksintervall. Nedbør-avløpsmetoden er basert på frekvensanalyser av nedbør-data, hvor nedbør- og eventuelt snøsmelteverdier overføres til flomverdier ved hjelp av hydrologiske modeller.

For mindre vassdrag og i områder med dårlig datagrunnlag kan det være nødvendig å benytte nedbør-avløps-metoder for flomberegning, men i slike tilfeller må resultatet likevel vurderes mot observerte flomdata eller erfaringstall for flomstørrelser.

I forbindelse med Etatsprogrammet «NATURFARE – infrastruktur, flom og skred (NIFS)», som var et samarbeids-prosjekt mellom NVE, Jernbaneverket og Statens vegvesen ble 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 foreslått at NIFS blir en av flere foreslåtte metodikker sammen med RFFA2018 som er et formelverk NVE nylig har utarbeidet (Engeland mfl., pr. d.d. upublisert).

For store nedbørfelt, dvs. felt større enn 20 km^2 kan det vurderes å benytte regionale flomfrekvensformler. Disse er imidlertid svært sårbare for andelen fjell i feltet og bør ikke benyttes for rene lavlandsfelt med vårflommer.

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

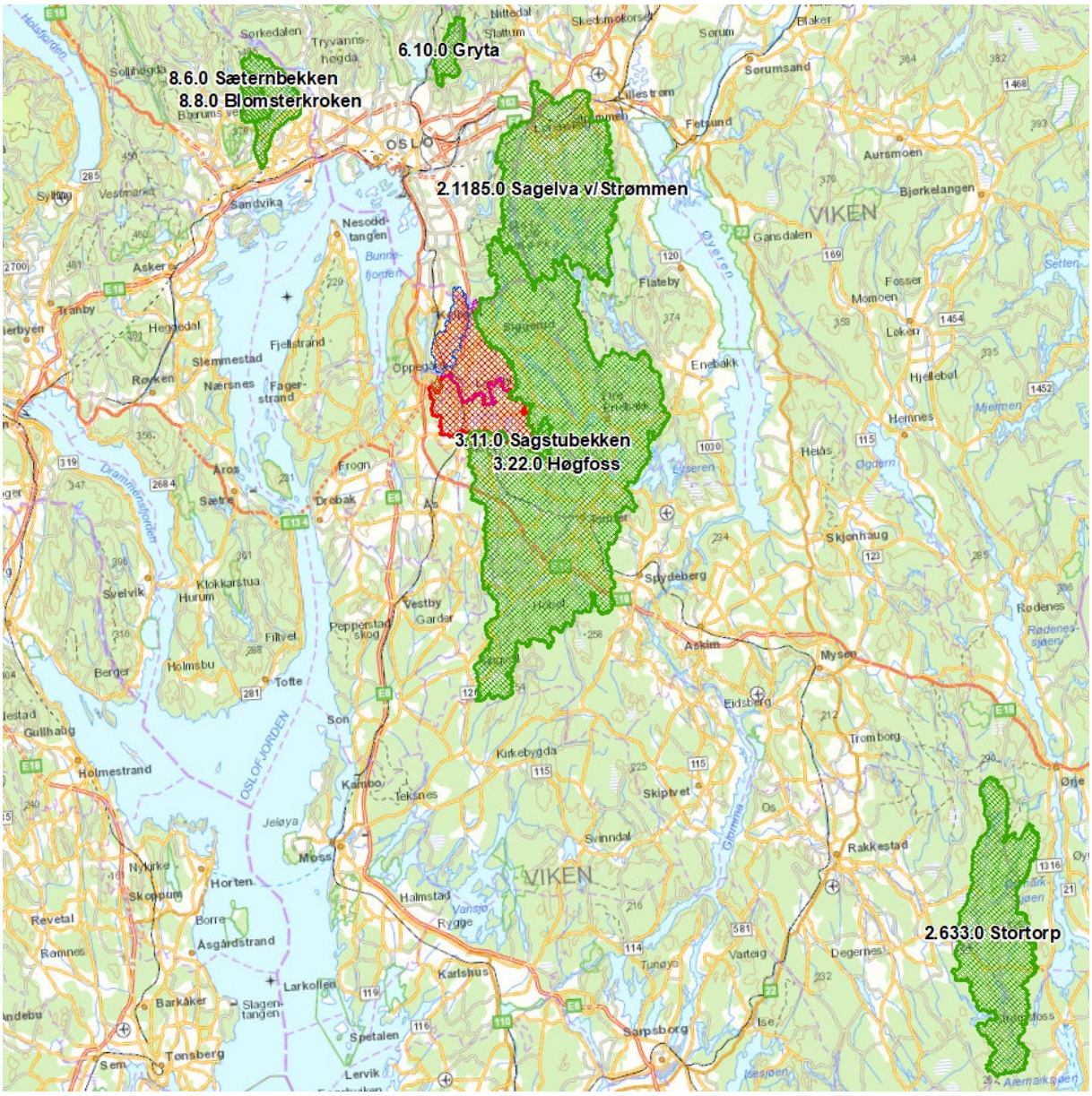
PQRUT-modellen er en annen metode for nedbør-avløpsmodellering, basert på observerte eller modellerte avrenningsforløp. Metoden benyttes gjerne i beregninger av flomforløp til magasiner med nedbørsfelt med areal mellom 1 - 200 km^2.

7.1 Benyttet analysemetodikk for tilsig til Slorene

Det er valgt å benytte metodikkene flomfrekvensanalyse og i tillegg nasjonalt formelverk, NIFS, til å beregne flomforholdene i disse bekkene.

7.1.1 Beregninger med flomfrekvensanalyse (FFA)

Det finnes få uregulerte[3] målestasjoner i nærheten med nedbørfelt av lignende størrelse som delfeltene til Dalsbekken, Sætrebekken og Greverudbekken. Noen nærliggende stasjoner er imidlertid funnet og vurdert til bruk i flomfrekvensanalysen. Disse er vist i Figur 4.



Figur 4 Grønne arealer er nedbørfelt med målestasjoner vurdert i flomfrekvensanalysen. Røde arealer er tilsigsarealet til Slorene.

[3] *Uregulert er definert som et vassdrag hvor det ikke er installasjoner (dammer, magasiner) som endrer den vannføringen det ellers ville vært i vassdraget.*

Flomfrekvensanalysen er utført i henhold til «Retningslinjer for flomberegninger» (NVE 2011). For beregning av middelflom og flommer med ulike gjentaksintervall er det benyttet NVEs programvare for ekstremverdianalyse i Hydra2.

Ut fra observerte flommer, ved de utvalgte stasjonene, er det oftest sensommer og høstflommene som skaper de største verdiene, men store flommer kan inntreffe hele året (se Figur 5). I slike tilfeller bør man derfor utføre flomfrekvensanalysen uten sesonginndeling. Det er benyttet årsflommer i denne analysen.

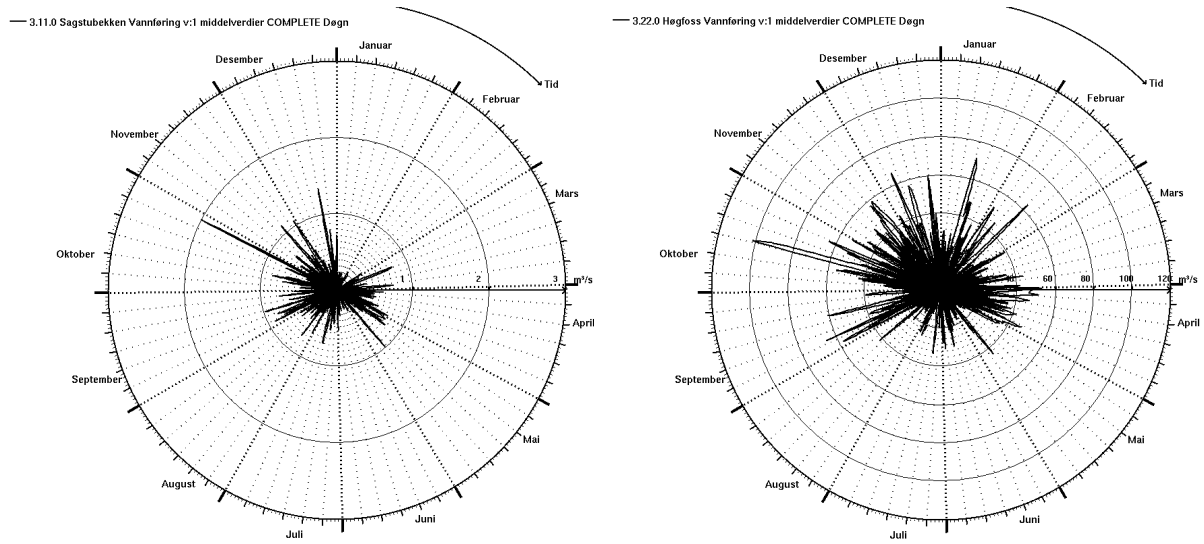
Det ble gjort beregninger med flere fordelingsfunksjoner. Resultater fra flomfrekvensanalysen for årsflommer med varighet 1 døgn er vist i Tabell 2 sammen med relevante nedbørfelt- og hydrologiske parametere for stasjonene. Når flomverdien er beregnet som døgnmiddelverdier, må også kulminasjonsverdien estimeres. I den grad data på fin tidsoppløsning finnes, anbefales det at flomfrekvensanalysen utføres på momentanflommer (kulminasjonsvannføringer). Alternativt kan forholdet mellom kulminasjonsvannføring og døgnmiddelverdi ved de største flommene i vassdraget eller i sammenlignbare felt benyttes. NVEs veileder for flomberegning presenterer observerte forholdstall mellom momentanflom og døgnmiddelflom for en rekke målestasjoner. Hvis slike data ikke foreligger anbefales det å benytte formler, basert på feltparametere, for å beregne forholdstallet mellom momentanflom og døgnmiddelflom (NVE 2011).

Høstflom:
$Q_{mom}/Q_{døgn} = 2.29 - 0.29 * logA - 0.290 * A_{se}^{0.5}$
Vårflom:
$Q_{mom}/Q_{døgn} = 1.72 - 0.17 * logA - 0.125 * A_{se}^{0.5}$

Hvor A = nedbørfelts areal og A_{se} = effektiv sjøprosent

Tabell 1 Beregnede kulminasjonsfaktorer for de vurderte nedbørfeltene.

Parameter	Dalsbekken (til steinhvelvsbrua)	Sætrebekken	Greverudbekken	Bekk fra Vinebergdalen	Totalfelt til Gjersjøen
Nedbørfelt areal (km^2)	26	20,6	10,3	0,6	81,9
Effektiv sjøprosent (%)	1,3	0,54	0,11	1,21	3,4
$Q_{mom}/Q_{døgn}$ Vårflom	1,34	1,40	1,51	1,62	1,16
$Q_{mom}/Q_{døgn}$ Høstflom	1,57	1,71	1,91	2,06	1,24



Figur 5 Årspolarplott, 3.11 Sagstubekken og 3.22 Høgfoss.

Tabell 2 Flomfrekvensanalyser på utvalgte målestasjoner, døgnmiddelflom.

VM	Felt-areal	Eff.sjø	Q N	Høyde	Måle-periode	QM		Q 5	Q10	Q 20	Q 200	Q1000
	km²	%	l/s*km²	m.oh	ant. år	m³/s	l/s*km²	l/s*km²				
2.1185 Sagelva	108,75	0,51	20,45	114-396	2015-2019	11,64	107	160	201	240	365	451
2.633 Stortorp	87,19	0,42	13,56	111-323	1997-dd	13,02	149	177	200	223	294	344
3.22 Høgfoss	299,62	0,56	18,01	47-347	1976-dd	44,17	147	187	219	249	348	416
3.11 Sagstubekken	3,34	0,03	18,68	154-239	1951-1974	0,80	240	311	368	425	608	734
6.10 Gryta	7,03	0,41	20,62	165-435	1967-2019	1,58	226	289	340	388	548	659
8.6 Sæternbekken	6,29	0,01	17,61	102-420	1971-2019	1,54	246	334	404	471	685	835
8.8 Blomsterkroken	22,59	0,29	18,74	21-458	1975-2005	6,14	272	351	415	476	673	810

Stasjon 3.11 Sagstubekken ligger i nabovassdraget. I tillegg er det enkelte stasjoner rundt Oslo som er vurdert. Dette gjelder 6.10 Gryta, 8.6 Sæternbekken og 8.8 Blomsterkroken. 2.1185 Sagelva, som ligger rett vest av Lillestrøm og drenerer Østmarka og stasjonene 3.22 Høgfoss ved Hobølelva og 2.633 Stortorp ved Rakkestadelva lenger øst.

Det er en utfordring å finne referansestasjoner som vil være like på alle parametere som på de nedbørfelt man vurderer, så kompromisser må gjøres. Stasjoner i nærheten vil sannsynligvis ha mest representative verdier på større hendelser om ikke det er store terrengmessige gradienter i området. Lik størrelse og lignende sjøprosent vil ofte gi lignende respons. Med bakgrunn i trenden med økende nedbør i den siste trettiårs perioden og en forventning om økende nedbør grunnet pågående klimaendringer vil en stasjon med måleperiode som går frem til i dag gi mer korrekte resultater.

Med bakgrunn i dette ligger følgende vurderinger til grunn. 2.1185 Sagelva, som ligger rett vest av Lillestrøm og drenerer Østmarka, har dessverre et noe for stort nedbørfelt (108,75 km^2) og altfor kort måleserie til å være et godt vurderingsgrunnlag. Det samme gjelder stasjonene 3.22 Høgfoss ved Hobølelva (300 km^2) og 2.633 Stortorp (87 km^2) ved Rakkestadelva. Den sistnevnte stasjonen, 2.633 Stortorp, vil også gi noe lave verdier fordi den drenerer et areal hvor flomverdiene generelt er lavere. Stasjonene har dog tilstrekkelig lange måleserier.

3.11 Sagstubekken er svært nærliggende men har et svært lite nedbørfelt med rask respons som nok vil gi litt høye verdier. Innerst i Oslofjorden vil de høyere områdene i Nordmarka gi en orografisk effekt på nedbør som kan gi noe høyere verdier enn her ved Gjersjøen. Sommerbyger kan imidlertid være svært så lignende begge steder. 8.8 Blomsterkroken ligger litt lenger ned i samme vassdrag som 8.6 Sæternbekken og vil ha noe dempet respons men har kortere serie. 6.10 Gryta har noe mindre nedbørfelt, men lignende effektiv sjøprosent og en lang og god måleserie og vil være et funksjonelt valg som referansestasjon. I et noe større nedbørfelt vil verdiene være noe mer dempet og er justert noe ned med tanke på det.

Anbefalte spesifikke flomverdier for flommer med forskjellige gjentaksintervaller (Q_5, Q_{10}, Q_{20}, Q_{200} og Q_{1000}) er gitt i Tabell 3. Flommens kulminasjonsverdi for de forskjellige delfeltene er estimert fra forholdet mellom flommens kulminasjonsvannføring (Q_{mom}) og største døgnmiddelvannføring ($Q_{døgn}$) beregnet for hver enkelt felt i Tabell 4.

*Tabell 3 Anbefalte spesifikke arealverdier i l/s*km² for døgnflommer med gitte gjentaksintervall.*

Gjentaksintervall	Q_M	Q_5	Q_{10}	Q_{20}	Q_{200}	Q_{1000}
Døgnverdi fra FFA (l/s*km²)	225	275	325	375	525	650

*Tabell 4 Beregnet kulminasjonsvannføring for de enkelte delfelt i m³/s og l/s*km².*

Gjentaksintervall	Q_M	Q_5	Q_{10}	Q_{20}	Q_{200}	Q_{1000}
Dalsbekken (m³/s)	9.18	11.23	13.27	15.31	21.43	26.53
*Dalsbekken (l/s*km²)*	*353*	*432*	*510*	*589*	*824*	*1021*
Sætrebekken (m³/s)	7.93	9.69	11.45	13.21	18.49	22.90
*Sætrebekken (l/s*km²)*	*385*	*470*	*556*	*641*	*898*	*1112*
Greverudbekken (m³/s)	4.43	5.41	6.39	7.38	10.33	12.79
*Greverudbekken (l/s*km²)*	*430*	*525*	*621*	*716*	*1003*	*1242*
Bekk fra Vinebergdalen (m³/s)	0.28	0.34	0.40	0.46	0.65	0.80
*Bekk fra Vinebergdalen (l/s*km²)*	*464*	*567*	*670*	*773*	*1082*	*1339*
Totalfelt til Gjersjøen (m³/s)	22.85	27.93	33.01	38.08	53.32	66.01
*Totalfelt til Gjersjøen (l/s*km²)*	*279*	*341*	*403*	*465*	*651*	*806*

7.1.2 Beregninger med nasjonalt formelverk for flomberegning i små nedbørfelt, NIFS

NVE 13/2015 beskriver utarbeidelsen av et nasjonalt formelverk for beregning av middelflom og flommer med høyere gjentaksintervall for små umålte nedbørfelt i Norge.

Analysene ga et formelverk hvor middelflommen, QM, estimeres ved to kovariater. Disse to er middeltilsiget (middelvannføring i perioden 1961-90 i m³/s) og effektiv sjøprosent. 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 av de 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*km²) og effektiv sjøprosent.

Formelen for beregning av forholdstallet mellom en flom, Q(T), med gjentaksintervall T og middelflom, QM, er som følger:

$$Q(T)/Q_m = 1 + 0.308AVR\_6190^{-0.137}\left[\Gamma(1+k)\Gamma(1-k) - (T-1)^{-k}\right]e^{0.161k}/k \text{ der}$$
$$k = -1 + 2/\left[1 + e^{0.391 - 1.54EFF\_SJO/100}\right]$$

Formelverket gir kulminasjonsverdier. Bruk av dette formelverket gir følgende verdier for nedbørfeltene til Dalsbekken, Sætrebekken, Greverudbekken og bekken fra Vinebergdalen. Det totale nedbørfeltet til Gjersjøen er for stort til å kunne beregnes med denne metodikken.

Tabell 5 Beregnede kulminasjonsverdier med NIFS-metodikk for gitte returperioder uten klimapåslag

Gjentaksintervall	Q_M	Q_5	Q_{10}	Q_{20}	Q_{200}	Q_{1000}
Dalsbekken (m³/s)	7,04	8,88	10,59	12,44	20,48	28,68
*Dalsbekken (l/s*km²)*	*271*	*341*	*407*	*479*	*788*	*1103*
Sætrebekken (m³/s)	6,14	7,76	9,26	10,86	17,75	24,71
*Sætrebekken (l/s*km²)*	*298*	*377*	*449*	*527*	*862*	*1199*
Greverudbekken (m³/s)	3,56	4,50	5,37	6,30	10,26	14,24
*Greverudbekken (l/s*km²)*	*345*	*437*	*521*	*611*	*996*	*1383*
Bekk fra Vinebergdalen (m³/s)	0,22	0,28	0,34	0,40	0,66	0,92
*Bekk fra Vinebergdalen (l/s*km²)*	*369*	*469*	*562*	*662*	*1097*	*1540*

7.1.3 NVEs erfaringstall

Erfaringstall i NVEs retningslinje for flomberegning (NVE 2011) for største 24-timers Q1000 gir for små felt (< 50 km^2) på Østlandet verdier stort sett mellom 600 og 1200 l/s pr. km^2, med de største verdiene i meget små felt på opp mot 1500 l/s pr. km^2. Tilsvarende øker også flomverdiene når en kommer langt vest i på Østlandet.

Observasjonene ved målestasjonene har små felt og de beregnede flommene (vist i Tabell 2) ligger innenfor NVEs erfaringstall, men lavt. Erfaringer fra kraftige nedbørhendelser med påfølgende flommer i området i de senere årene kan indikere at NVEs erfaringstall generelt ligger noe lavt i dette området.

7.1.4 Konklusjon flomvannføring i tilsigsbekken til Slorene

Den beregnede kulminasjonsverdien for det samlede tilsiget ned til Slorene basert på FFA og NIFS' formelverk er vist i Tabell 6. NIFS' formelverket gir litt høyere verdier enn FFA på 1000 års flommen og generelt noe lavere for de andre gjentaksintervallene.

Tabell 6 Samlet tilsig til Slorene for gitte gjentaksintervall basert på FFA og NIFS.

Gjentaksintervall	Q_M	Q_5	Q_{10}	Q_{20}	Q_{200}	Q_{1000}
Samlet tilsig til Slorene (m^3/s) (FFA)	21.82	26.67	31.51	36.36	50.9	63.02
Samlet tilsig til Slorene (m^3/s) (NIFS)	16.96	21.42	25.56	30,00	49.2	68.55

Gitt sammenligning mot NVEs erfaringstall og erfaringer fra kraftige nedbørhendelser med påfølgende flommer i regionen i de senere årene gir dette grunn til å være noe konservativ og dermed velge metodikk som gir de største vannføringene for ekstremhendelser.

Det velges å benytte resultatene gitt i Tabell 4. Tillagt 40 % klimapåslag gir dette vannføringer som vist i xx.

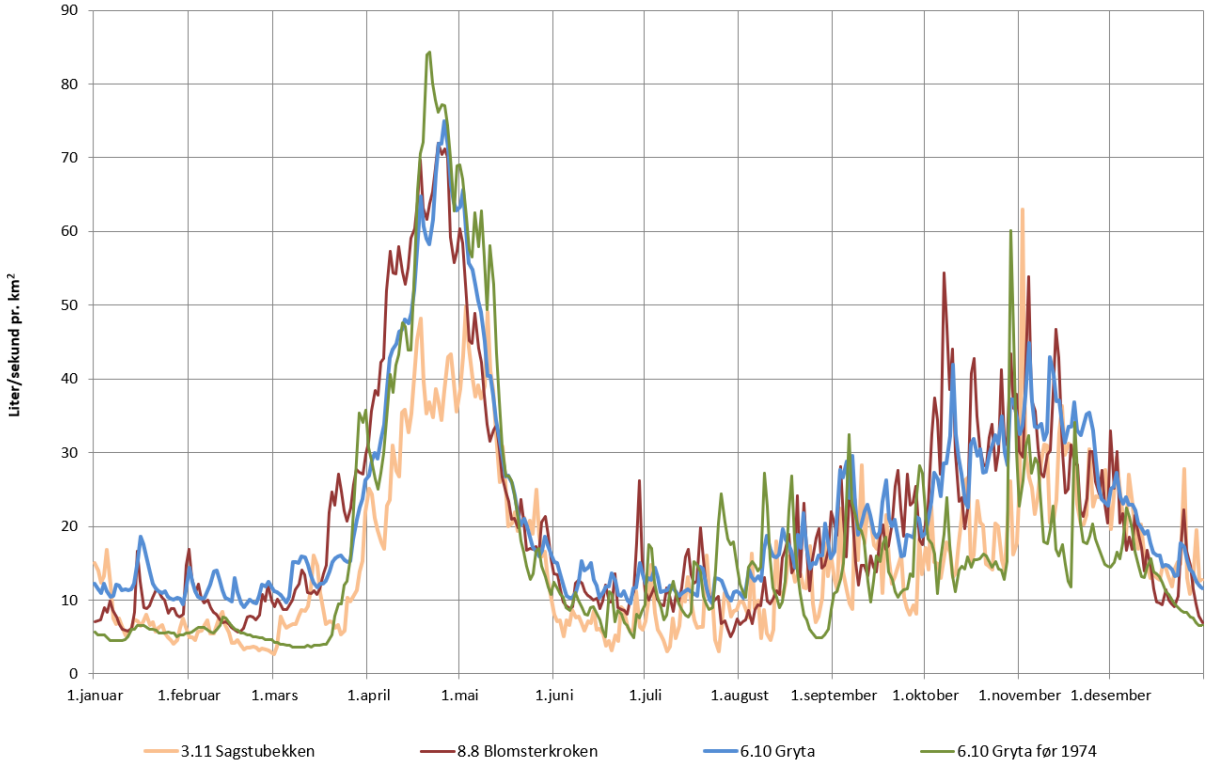
Tabell 7 Benyttede flomvannføringer for gitte gjentaksintervall, inkludert 40% klimapåslag (Kulminasjonsverdier)

Gjentaksintervall	Q_M	Q_5	Q_{10}	Q_{20}	Q_{200}	Q_{1000}
Dalsbekken (m^3/s)	12.85	15.72	18.58	21.43	30.00	37.14
Sætrebekken (m^3/s)	11.10	13.57	16.03	18.49	25.89	32.06
Greverudbekken (m^3/s)	6.20	7.57	8.95	10.33	14.46	17.91
Bekk fra Vinebergdalen (m^3/s)	0.39	0.48	0.56	0.64	0.91	1.12

7.1.5 Vannføringer ved Slorene for typiske sesongverdier

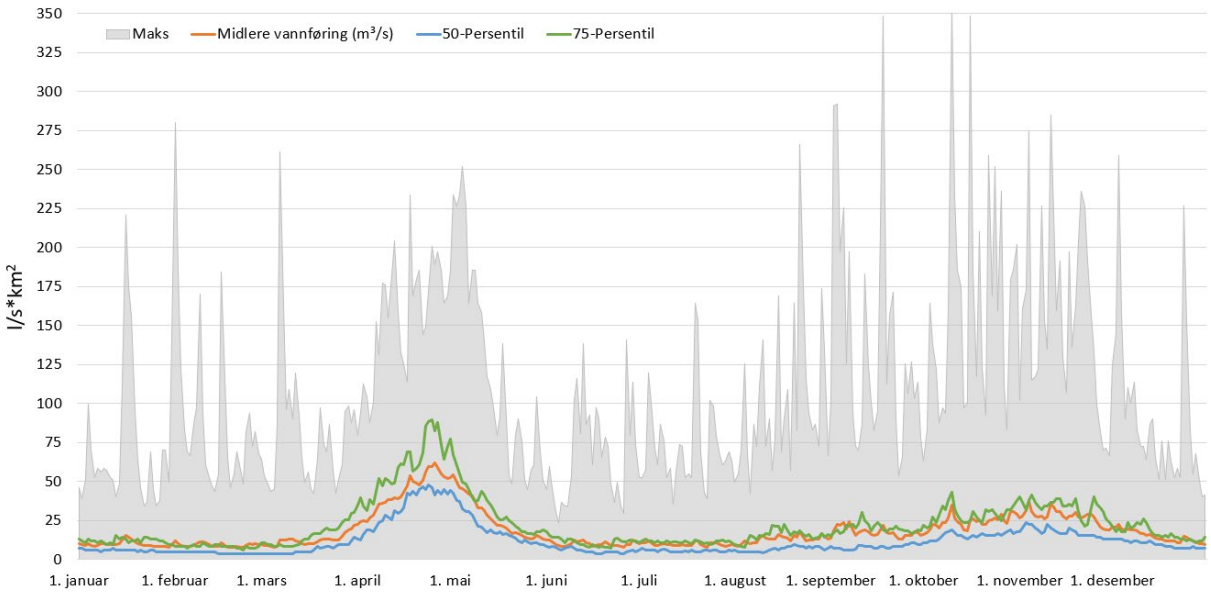
I tillegg til beregninger av flomverdier er det også utarbeidet en vannføringsserie for vurdering av vannførings-variasjonene gjennom året og for å gi et estimat på en «normal» stor vannføringshendelse på hhv. vår og høst. Det har vært et ønske fra oppdragsgiver om også å foreta en vurdering av påvirkningen i Slorene også av slike normalhendelser.

Observasjoner ved den mest nærliggende målestasjonen, 3.11 Sagstubekken, som dessverre kun har data frem til 1974, er sammenlignet med de andre vurderte målestasjonene for å finne en representativ serie for vannføring med oppdaterte data frem til i dag. Dette for å kunne ha et bedre datagrunnlag som også dekker de klimatiske endringer vi har observert over de siste årtiene. Midlere spesifikke døgnverdier vist i Figur 6.



Figur 6 Midlere spesifikke døgnverdier, over året, for vurderte målestestasjoner

Sett i forhold til observasjonene i 3.11 Sagstubekken ser vi i figuren at vannføringene ved 6.10 Gryta og 8.8 Blomsterkroken vil gi noe forhøyede vannføringer på våren i forbindelse med snøsmelteepisoder da disse nedbørfeltene ligger noe høyere enn for Sagstubekken og Dalsbekken. På sensommer og tidlig høst ser vi også at vannføringene generelt har steget i perioden etter 1974. 6.10 Gryta før og etter 1974, som er sluttidspunktet for måleserien ved 3.11 Sagstubekken, gir klare indikasjoner på dette.



Figur 7 representative verdier for maksimal, midlere, 50- og 75 persentil spesifikk døgnmiddelverdi for avrenning i Dalsbekken.

De mest ekstreme hendelsene forekommer på høsten men en midlere flomhendelse er noenlunde lik både vår og høst, marginalt større om våren men dette vil være avhengig av snømengde og smeltestart. Maksimal beregnet spesifikk døgnverdi er plottet i Figur 7 sammen med aktuelle persentiler.

Tar vi utgangspunkt i 75-persentilen som en «normal» flomhendelse kan vi gi en døgnverdi på en normal vårflom på 75 l/s · km^2 og en normal høstflom på 45 l/s · km^2. Dette gir verdier i tilløpsbekken som vist i Tabell 8 gitt kulminasjonsfaktorene i Tabell 1. Statistisk sett vil dette være verdier som er en god del under middelflom selv om det kan anses som en stor vannføring. Disse verdier ble brukt sammen med verdiene beregnet og gitt i Tabell 7 til vannlinjeberegningene.

Tabell 8 Beregnet vannføring i m^3/s i nedbørfeltene ved normalt stor vannføring på vår og høst.

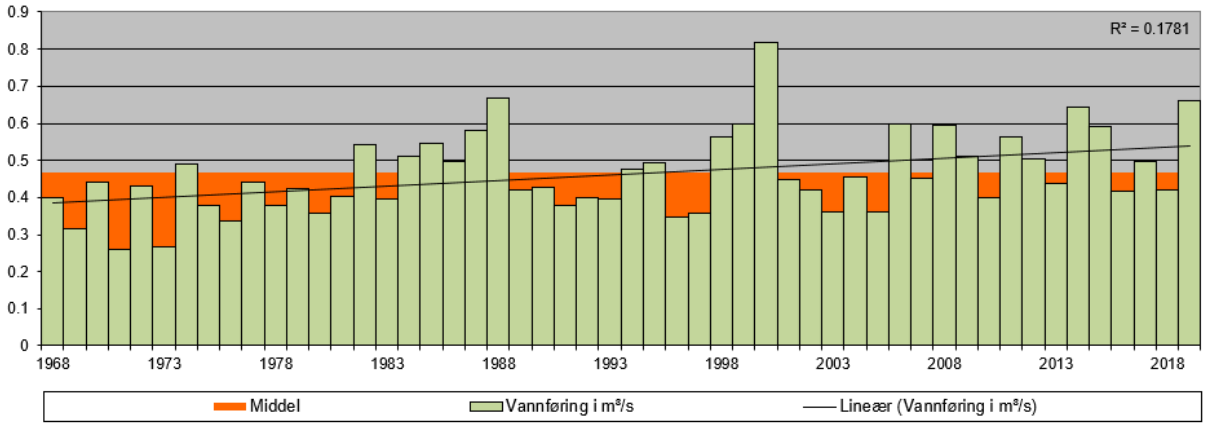
	Dalsbekken	Sætrebekken	Greverudbekken	Bekk fra Vinebergdalen	Totalfelt til Gjersjøen
Vår	2.61	2.47	1.38	0.09	6,55
Høst	1.84	1.30	0.70	0.04	3,88

På bakgrunn av disse arealskalerte dataene er det også kort gjort en vurdering av endring/variasjon av middel-vannføringen over tid i Dalsbekken. Årlig middelavrenning er vist i Figur 8.

Man ser store variasjoner fra år til år med tidlig 70-tall som «tørre» år med lav avrenning, til år 2000 med høy middelvannføring grunnet den særdeles våte flomhøsten. 2018 med den kraftige tørkesommeren er lav men skiller seg imidlertid ikke vesentlig ut fra andre tørre år.

Visuelt kan det se ut til å være en generell jevn økning, et inntrykk som forsterkes ved bruk av en lineær trendlinje i Excel som vist i figuren. Korrelasjonskoeffisienten R gir imidlertid ikke stor tyngde til denne sammenhengen. Imidlertid er den generelle nedbørsøkningen i regionen over de siste hundre år på ca. 20 % noe som gjenspeiles i økende middelverdi over tid.

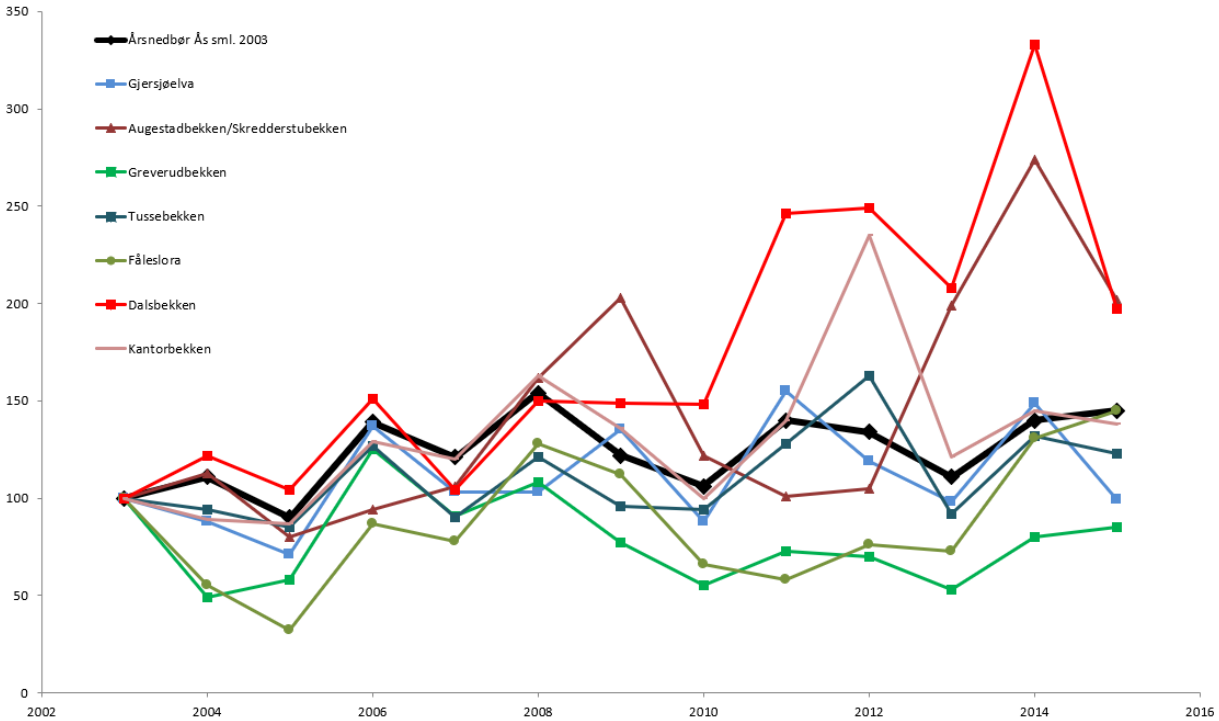
Det er imidlertid korttidsnedbøren som øker mest. Det vil si nedbør som kommer på kortere tidsrom enn ett døgn. I Oslo har timenedbøren i løpet av et år økt med ca. 60 prosent på 50 år og det er særlig i Sør-Norge og på Østlandet at økningen har vært tydeligst. Dette vil imidlertid ikke nødvendigvis gjenspeiles i den årlige middelverdien.



Figur 8 Årlig beregnet middelavrenning i Dalsbekken (m^3/s)

Det er gjort en del målinger i regi av NIVA/Oppegård kommune i en rekke mindre bekker i området i forbindelse med et økologisk overvåkningsprogram, deriblant i Dalsbekken. Figur 9 viser en årlig variasjonen rundt en gitt «nullpunkts verdi» i 2003. Figuren sier da i prinsippet noe om endring over tid for disse målestasjonene.

Vi har dessverre lite informasjon knyttet til vannstandsobservasjoner, vannføringskurver, måleusikkerhet ol. for disse stasjonene og det vil derfor være stor usikkerhet knyttet til bruk av disse dataene. I tillegg viser data i figuren fra Dalsbekken en trend som i liten grad gjenspeiles i nedbørdata eller andre målestasjoner i området. Uten en større analyse av grunnlagsdataene og en vurdering av mulige bruksendringer i nedbørfeltet, endringer i avløpsnett, tette flater eller andre påvirkningskilder er disse dataene ikke tatt videre i bruk. Det anbefales imidlertid å opprette eller videreføre et målenett i kommunens vassdrag som kan benyttes i senere analyser.



Figur 9 Endring i årlig middelverdi siden 2003 for hydrologiske målestasjoner i Oppegård (Figur fra Aamodt,R., Oppegård kommune)

7.2 Beregning av totaltilsig, avløpsflom og vannstandsstigning i Gjersjøen

For beregning av flomforløp og vannstandstigning i Gjersjøen er det benyttet en nedbør/avløpsmodell (PQRUT) som regner nedbørdata om til avløp vha. feltparametere for det aktuelle feltet. Modellen er beskrevet nærmere i NVE (2011). I denne beregningen er det benyttet en regnearkversjon av modellen, utarbeidet av Sweco.

Parameterne til en hydrologiske flommodell skal helst bestemmes ved kalibrering mot observerte vannføringer (NVE 2011). Siden det ikke finnes observerte vannføringer fra det aktuelle feltene til magasinet, er modell-parameterne teoretisk bestemt ut fra feltparametere for nedbørfeltet og vist i Tabell 10.

De tre modellparameterne er bestemt ut fra følgende ligninger (NVE 2011):

Øvre tømmekonstant $K_1 = 0{,}0135 + 0{,}00268 \cdot H_L - 0{,}01665 \cdot \ln A_{SE}$

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

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

Feltparametere som inngår i ligningene finnes i oversikten for totalfeltet til Gjersjøen i Tabell 1 og i Tabell 9 nedenfor. Effektiv sjøprosent er beregnet for tilløpsarealet til magasinet. Feltaksens lengde er bestemt som en rett linje fra hovedelvas innløp i magasinet til det mest fjerne punktet på vannskillet i hovedelvas delfelt.

Tabell 9 Feltparametere til bruk i nedbør/avløpsmodell PQRUT og rutingmodell

Feltparametere			Gjersjøen
Areal lokalfeltet	A	(km²)	81,90
HRV / høyde inntak		(kote)	40,20
Areal magasinet		(km²)	2,6435
Spesifikk avrenning	QN	(l/s pr. km²)	15,6
Effektiv sjøprosent	A_{SE}	(%)	0,332[4]
Feltaksens lengde	L_F	(km)	9,30
Forskjell 75%-25%	H_{50}	(m)	47
Reliefforholdet	H_L	(m/km)	5,05

Tabell 10 Modellparametere til bruk i nedbør/avløpsmodell PQRUT og rutingmodell

Delfelt	Øvre tømmekonstant K_1 (time^{-1})	Nedre tømmekonstant K_2 (time^{-1})	Terskelverdi T (mm)
Gjersjøen	0,0454	0,0175	23,50

Det er valgt å beregne tilløpsflommer med tidsskritt 1 time og varighet 72 timer. Magasinet er forholdsvis stort og det er behov for en forholdsvis lang flomhendelse for at magasinet skal kulminere.

Dette tilsier at flomvannføring i tilløpsbekker kan ha kulminert før magasinets maksimale kulminerings-vannstand inntreffer.

Det er ikke foretatt ekstremnedbørberegninger for dette prosjektet men er benyttet en tidligere beregning foretatt av Meteorologisk institutt for et område litt lenger nord (Drettvann 12,5 km, i Østmarka) fra 2014.

[4] Denne inkluderer ikke magasinets areal

Vanlige IVF kurver gir ikke tilstrekkelig oppløsning, lengde eller er dekkende for de største gjentaksintervallene. Den nærmeste meteorologiske målestasjonen (SN17980 Ljabruveien) har i tillegg noe kort tidsserie og verdiene virker noe lave. Den meteorologiske stasjonen (SN18020) på Lambertseter ligger litt lenger nord, har en dobbel så lang tidsserie og de observerte verdiene her i god overensstemmelse med ekstremnedbørsberegningen. IVF kurver er vist i vedlegg.

Det er månedene juni, juli og august som har de største sesongverdiene og vil bli benyttet. Nedbørsverdien er et punktestimat og må derfor arealreduseres for å beskrive den totale nedbørsmengden for nedbørfeltet.

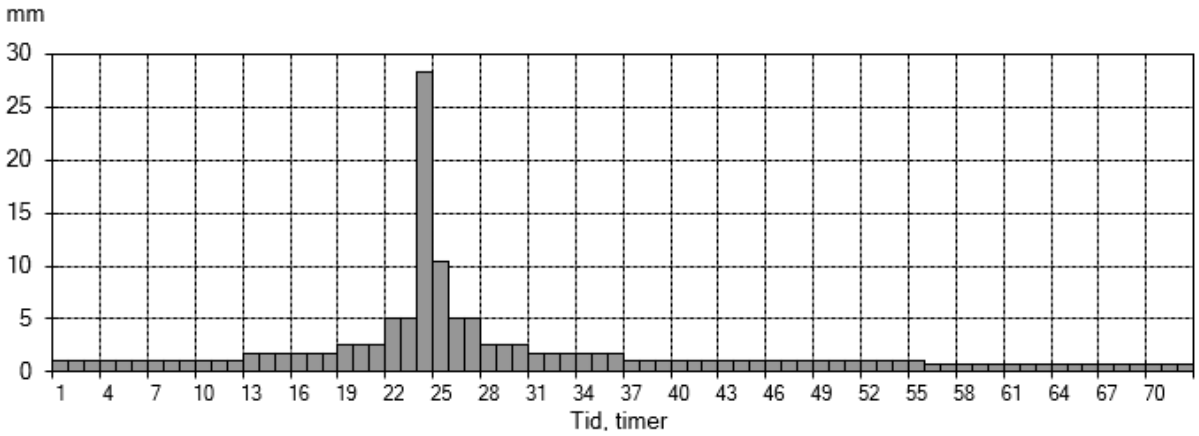
I tabellen er også arealreduksjonsfaktorene (ARF) oppgitt for nedbørfeltet til Gjersjøen (82 km^2).

Maksimal observert 24 timers nedbør i området (valgte stasjoner i perioden 1864-2013) er 100 mm målt ved 17850 Ås den 31.10.1880.

Nedbørforløp på 72 timer er konstruert rundt høyeste nedbørintensitet ut fra nedbørverdiene i tabellen, med maksimum etter 24 timer. Som eksempel er det vist benyttet nedbørforløp Q200 for Gjersjøen i Figur 10.

Tabell 11 Nedbørsverdier (juni, juli, august) for gitte gjentaksintervall. Estimert verdi i kursiv.

Antall timer (n)	**1**	**2**	**6**	**12**	**24**	**48**	**72**	**96**
ARF-faktor	**0,81**	**0,86**	**0,91**	**0,93**	**0,95**	**0,96**	**0,97**	**0,97**
M5	*16*	*21*	*35*	*45*	53	*63*	*72*	*82*
M10 (mm)	20	25	40	50	60	75	85	95
M25 (mm)	25	30	45	55	70	90	100	110
M200 (mm)	35	45	65	80	100	125	140	155
M1000 (mm)	45	60	90	110	135	170	190	210



Figur 10 Nedbørforløp Q200

Tabell 12 viser resultatet for de forskjellige gjentaksintervaller for tilløpsflommer til Gjersjøen beregnet med nedbør/avløpsmodell. Startvannføringen ble satt til 2 ganger årsmiddelvannføringen. Erfaringstall i NVEs retningslinje for flomberegning (NVE 2011) for største 24-timers Q1000 verdi i middels store felt (50 - 500 km^2) på Østlandet ligger flomverdiene stort sett mellom 350 - 1100 l/s pr. km^2, under 500 l/s pr. km^2 lengst øst og over 1000 l/s pr. km^2 aller lengst vest i området. De beregnede verdier for Gjersjøen ligger bra plassert innenfor disse erfaringstallene. QM er beregnet som flomfrekvensfaktor QM/Q5=0,81.

Tabell 12 Beregnede flomverdier med nedbør/avløpsmodell for Gjersjøen.

Gjentaksintervall	QM		Q5		Q10		Q25		Q200		Q1000	
Gjersjøen	m^3/s	l/s pr. km^2	m^3/s	l/s pr. km^2	m^3/s	l/s pr. km^2	m^3/s	l/s pr. km^2	m^3/s	l/s pr. km^2	m^3/s	l/s pr. km^2
Tilløpsflom døgnmiddel	21,43	262	26,46	323	31,91	390	38.72	473	56,60	691	78,44	958
Tilløpsflom, Kulminasjon	25,48	311	31,45	384	37,07	453	44,20	540	65,63	801	92,22	1126

Sammenlignes resultatene for tilløpsflom med resultater fra analysene med NIFS og FFA ligger nedbør/avløps modellen marginalt høyere. Stor reguleringsevne i magasinet Gjersjøen demper imidlertid avløpsflommen kraftig som vist i Tabell 13.

Dammen i Gjersjøen er en betongdam med topp kote innmålt til kote 40,20 (NN2000) den 8.4.2020 med CPOS GPS. På skilt ved dammen er det oppgitt en HRV i magasinet til kote 39,64 (NN54), tilsvarende 39,79 i nytt høydesystem NN2000. Denne høyden kan imidlertid ikke være korrekt. Det er også foretatt kontroller mot lasermålinger. Disse kontroller gir maksimalt noen få cm avvik mot målinger foretatt med CPOS under befaringen.

Overløpet har en total lengde på 9 m, og er delt opp i 2 felter. Over deler av overløpsterskelen går det en gangbane. Pilaren mellom feltene er 0,5 m bred. I tillegg er det en pilar på østre landfeste av overløpet som gangbanen ligger an på. Fotografi av overløpet er nedenfor i Figur 11.

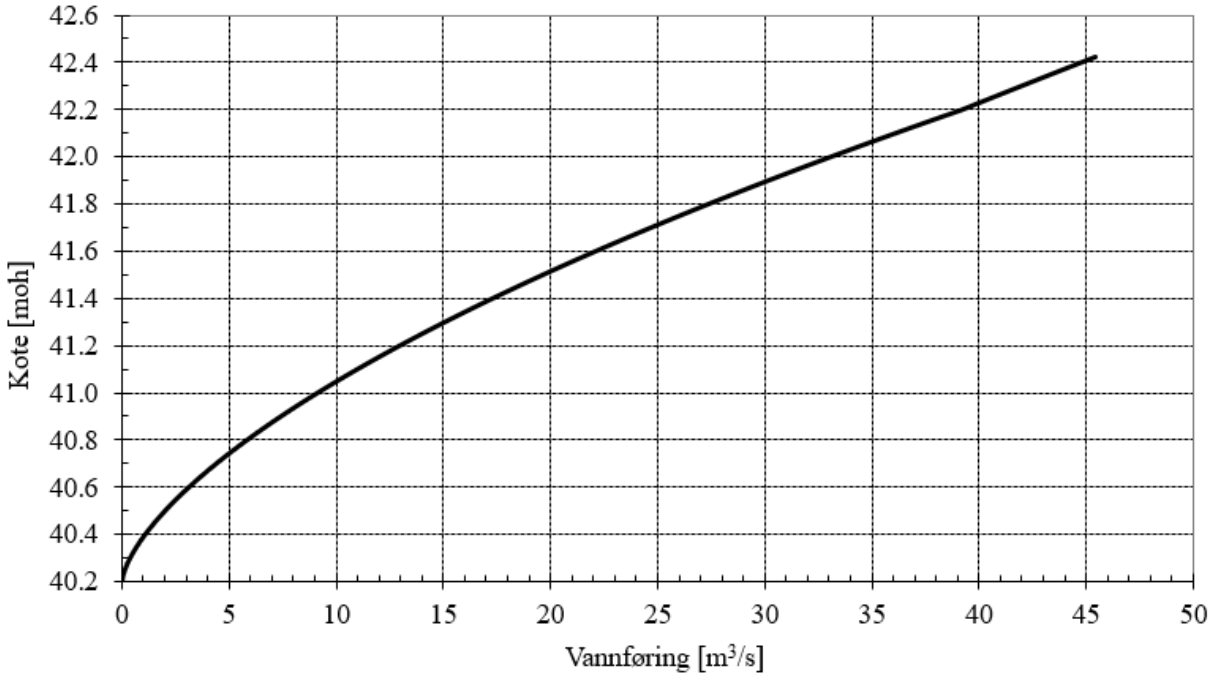
Figur 11 Utløpsdam i nordenden av Gjersjøen

Effektiv lengde på overløpet er beregnet til 8,5 m, der pilar med bredde 0,5 m er fratrukket den totale lengden på overløpet. Pilaren mellom overløpsfeltene er skarpkantet, og det er derfor regnet med sidekontraksjon i hver ende av overløpet. Overløpet er og skarpkantet, bredt og flatt og det er i hht. retningslinjer for flomløp (NVE 2005) regnet med en overløpskoeffisient som starter på 1,4 ved begynnende overløp og som øker lineært til 1,8 ved vannstand 2 m høyere. Vertikal lysåpning til underkant av gangbanen er på 1,5 m.

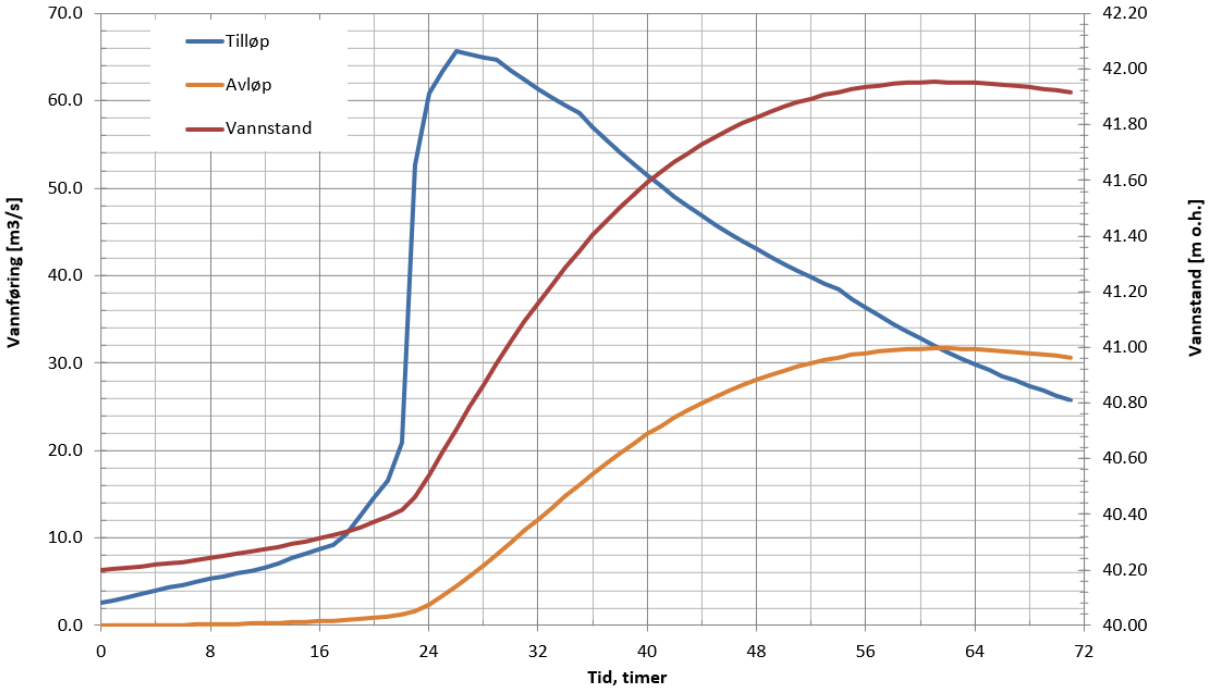
Det er skog langs magasinet, og det ville ved en regulær flomberegning ha blitt vurdert med delvis tilstopping av overløpet. For bruk i denne analysen antas det imidlertid at overløpet ikke tilstoppes.

20 meter oppstrøms dammen krysser Gjersjø bru over vannet (se Figur 14). Underkant av denne broen er 1,30 meter over høyden på damkrone så ved vannstander fra 41,50 kan denne muligens påvirke avløpet og dermed vannstandsstigningen i Gjersjøen noe. Tverrsnittet under broen er imidlertid såpass mye større enn tverrsnittet ved dammen slik at påvirkningen nok er liten.

Vannføringskurven er vist nedenfor i Figur 12. Flomforløp av Q200 er vist i Figur 13.



Figur 12 Vannføringskurve utløp av Gjersjøen



Figur 13 Flomforløp Q200 i Gjersjøen

For andre flomstørrelser er verdier beregnet og gitt i Tabell 12. Disse vil danne grunnlag som nedre grense-betingelse i vannlinjeberegningene.

Tabell 13 Beregnede avløpsflomverdier med nedbør/avløpsmodell og ruting for Gjersjøen.

Gjentaksintervall	QM		Q5		Q10		Q25		Q200		Q1000	
Gjersjøen	m^3/s	l/s pr. km^2	m^3/s	l/s pr. km^2	m^3/s	l/s pr. km^2	m^3/s	l/s pr. km^2	m^3/s	l/s pr. km^2	m^3/s	l/s pr. km^2
Avløpsflom, døgnmiddel	9,17	112	12,07	147	15,69	192	20,29	248	31,35	691	46,26	565
Avløpsflom, Kulminasjon	9,52	116	12,40	151	15,99	195	20,53	251	31,68	387	47,22	577
Vannstand i Gjersjøen	41,02		41,17		41,34		41,54		41,95		42,44	
Vannstand med 40 % klimapåslag	41,27		41,46		41,68		41,93		42,46		43,08	

Figur 14 Gjersjø bru

8 Vannlinjeberegning

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

Vannlinjeberegninger kan utføres ved hjelp av ulike hydrauliske datamodeller. De vanligste beregningene er endimensjonale, og brukes der vannet følger et godt definert løp i en retning. Hvis vannet strømmer i flere

retninger, for eksempel ut over flomsletter, tilbake fra flomsletter eller kutter over meandersvinger, kan man også benytte to- eller tredimensjonale strømningsmodeller. Disse er ofte tyngre i bruk og krever større mengde med terreng- og hydrauliske parametere. Kombinasjoner av disse kan også benyttes.

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

Denne rapporten skal i hovedsak vurdere fare for oversvømmelse og mulig skade på turveien langs Dalsbekken, på Steinhvelvsbrua (fotgjengerbro) som krysser bekken og den generelle påvirkningen og de vannstands-variasjoner man kan påregne i våtmarksområdet Slorene.

Hverken turveien, Steinhvelvsbrua eller våtmarksområdet utgjør noe kritisk infrastruktur og det er derfor valgt å beregne hvor høyt vannet vil stå ved flere mindre flomstørrelser, middelflom (Q_M), 5-årsflom (Q_5), 10-årsflom (Q_{10}) og 20-årsflom med klimapåslag.

I tillegg er det beregnet vannstand ved normalflommer med en kulminasjonsverdi i Dalsbekken på 2.6 m^3/s ($Q_{Vår}$) og en med en kulminasjonsverdi på 1.5 m^3/s ($Q_{Høst}$). Det benyttes tilsvarende flomstørrelser i de andre bekkene som renner inn i Slorene.

Ved regulering av et område er det også påkrevet å vite hvor høyt vannet vil stå ved en 200-årsflom (med klimapåslag). Det er derfor også beregnet vannstand for en slik 200-årsflom med nødvendig klimapåslag.

8.1 Beregningsprogram

Beregningen av vannstander ved ønskede vannføringer i området er utført ved hjelp av den hydrauliske modellen HEC-RAS 5.0.7 (US Army Corps of Engineers).

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

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

Endimensjonal modellering, hvor programmet beregner gjennomsnittlig vannstand og vannhastighet i hver profil, er blant annet brukt for å vurdere kapasiteten til Steinhvelvsbrua. Tverrprofilene brukt til modellering er vist i Figur 16.

8.2 Grunnlag og forutsetninger

Grunnlagsbehov og forutsetninger for vannlinjeberegningene er gitt nedenfor:

- Vannføringer (se kapittel 7)
- Modellert område
- Elvas geometri
- Elvas ruhet / strømningsmotstand
- Grensebetingelser

8.2.1 Kartdata og elvas geometri

En beskrivelse av elva, terrengets form og planlagte terrengendringer legges inn i beregningsmodellen. Laserdata (Follo 2014) med 5 pkt. oppløsning er benyttet for området. Disse dataene gir samlet en meget nøyaktig beskrivelse av terrenget. Under befaring ble det gjort enkelte innmålinger ved bruk av CPOS-GPS for terrengmåling (Spectra Precision, Survey Pro v. 5.7.2).

I tillegg til noen tverrprofiler ble Steinhvelvsbrua og pumpestasjonen målt inn. Området er tett begrodd med skog som gir noe redusert nøyaktighet på GPS signalet. Området ved Steinhvelsbrua er i tillegg skjermet fra GPS signal pga. fjell på begge sider av dalen samt E18 broen som ligger og skygger over området.

Laser kan ikke penetrere E18 broen og terrenget måtte derfor interpoleres. Laser kan heller ikke penetrere vann. Utarbeidet terrengmodell er justert for dette. Det ble antatt at det var en vanndybde på ca. 30-40 cm når laserdataene ble tatt.

Basert på denne informasjonen samt FKB data på bygninger er en digital terrengmodell med meget fin oppløsning (0,25 x 0,25 meter) laget med hjelp av modulene 3D-Analyst og Spatial Analyst i GIS program-varen ArcGIS 10.8.

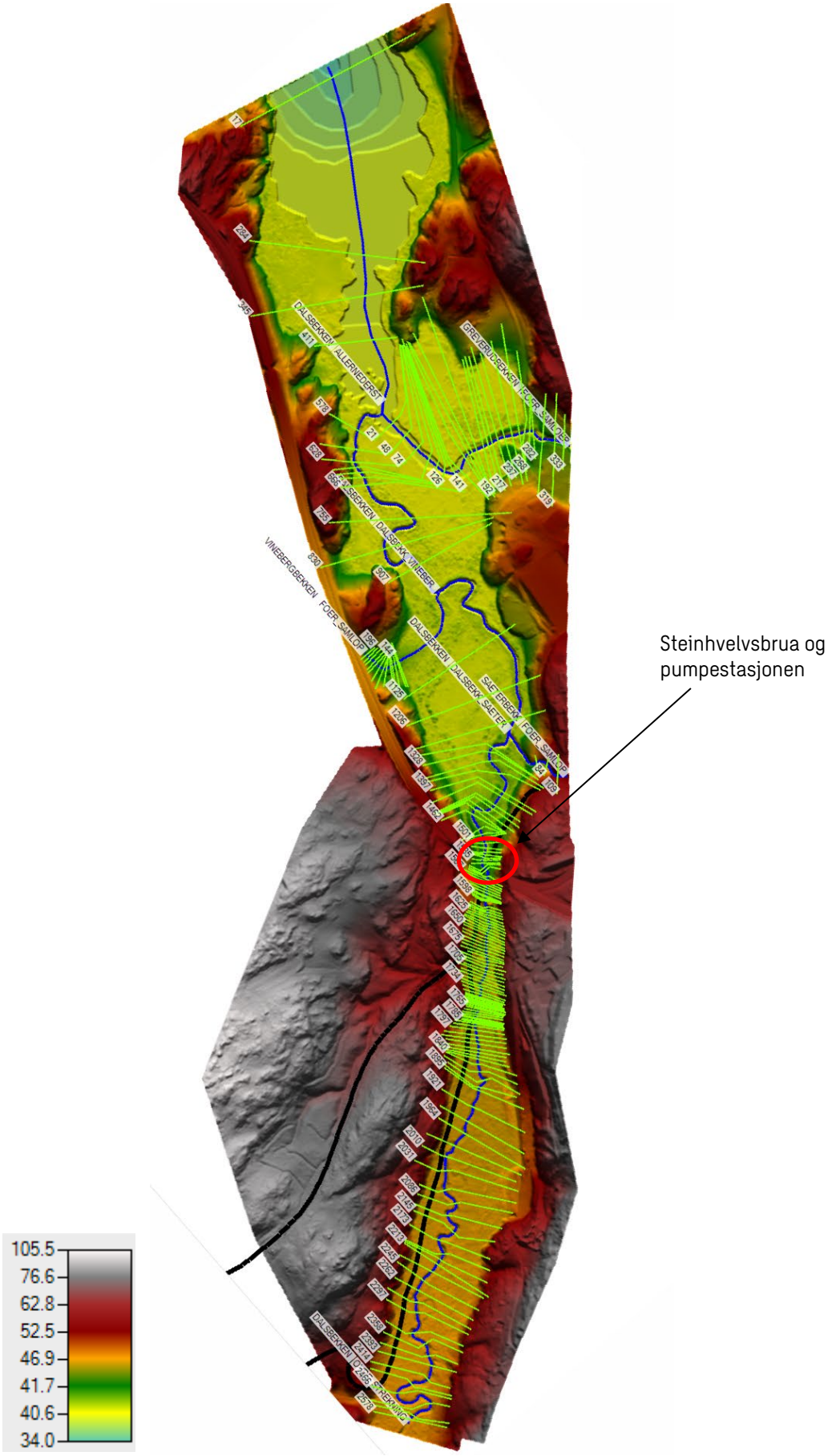
Fra oppdragsrapporten (Terratec 2014) er det oppgitt en kontroll av høydenøyaktighet mellom laserdataene og kontrollpunkter med en høydefeil på om lag ± 7 cm.

8.2.2 Modellert elvestrekning

Modellert strekning av Dalsbekken, Sæterbekken, Greverudbekken og Vinebergslora og området i Slorene ned til Gjersjøen er vist sammen med benyttede tverrprofiler i Figur 16. Den modellerte bekkestrekningen er beskrevet med total 184 tverrsnitt på den 2,5 kilometer lange strekningen. Dette gir en midlere avstand mellom hvert profil på omlag 15 meter.

På den modellerte strekningen er det spesielt to strukturer med stor betydning for modelleringen som kort beskrevet tidligere, den gamle pumpestasjonen og Steinhvelvsbrua. I tillegg er det en bro over Greverudbekken rett før innløp i Slorene som også er lagt inn i modellen (Figur 19).

Figur 15 Fra venstre til høyre: Steinhvelvsbrua, kanalen rett oppstrøms for brua. Typisk profil av bekken på den flate sørlige delen av delstrekningen (Bilder: Sweco)



Figur 16 Modellert av Dalsbekken og tilliggende bekker og våtmarksområde Slorene.

Vi har ikke målsatte tegninger av broen, så broen og «lysåpningen» under ble målt inn under befaring. Lysåpningen er av elliptisk karakter med bredde 3.60 m og en høyde på 1.4 m. Det er om lag 2.3 meter fra topp bro til bunnen av bekk. Selve broen er 16.3 m lang og 4.6 m bred.

Figur 17 Pumpestasjon (vann og avløp)

Åpningen under/gjennom pumpestasjonen har en bredde på 3,7 meter og en varierende høyde med 3,17 meter på ene siden og 1,36 meter på den andre. Detalj er vist i Figur 18.

Figur 18 Lysåpning under/gjennom pumpestasjon.

Mindre, «løse gangbroer av plank» over Dalsbekken på strekningen gjennom Vinebergslora anses å ikke påvirke modelleringen.

Figur 19 Bro over Greverudbekken.

8.2.3 Ruhet

I beregningsmodellen må bekkens og terrengets ruhet (strømningsmotstand) uttrykt ved Mannings koeffisient, n, benyttes.

Utforming og ikke minst vegetasjonsmengden i bekkeløpet er svært varierende nedover bekken og det vil neppe være helt korrekt å benytte en felles verdi for hele strekningen. Den vil sannsynligvis også være varierende gjennom sesongen, med en høyere ruhet på sensommer og høst enn tidlig vår, på grunn av tilvekst av vegetasjon i bekkeleiet.

Mannings n for bekkeleie og bekkebunn er satt basert på empiriske verdier som referert i Chow 1959. For flomslettene, på de oversvømte arealene av elvebredden over normalt flomnivå, er Manningstallet generelt satt til n = 0.075. Elveløpet i den øvre delen av Dalsbekken og de øvrige sidebekkene, før utløp i Vinebergslora, er n satt til 0,045. Det er forholdsvis mye vegetasjon i og langs bekkene og det er derfor benyttet verdier i øvre del av normalområdet.

8.2.4 Kalibrering

Det er ikke foretatt direkte målinger av flomvannstand og flomvannføring i bekken og modellen er derfor ikke kalibrert mot sammenhengende vannstander og vannføringer. Det kan om ønskelig ved en senere anledning gjøres innmålinger av sammenhengende vannføring og vannstand for ytterligere å kunne forbedre modell-resultatene.

8.2.5 Grensebetingelser for den hydrauliske beregningen

Resultatene fra flomberegningene og vurderingene av vannstandsstigning i Gjersjøen, som vist i kapittel 7.1.4, 7.1.5 og 0 er brukt som input i den hydrauliske modellen. Det er kjørt modellberegninger med en mindre vår- og høstflom, QM, Q5, Q10, Q20 og Q200 med klimapåslag for å vurdere når kapasiteten i systemet overskrides og hvilke effekter dette eventuelt vil ha for vannstandstigninger i bekker og våtmarksområder.

Benyttede vannføringer i modellen er vist i tabellen under.

Tabell 14 Vann

føringer i HECRAS modellen

Flow Change Location				Profile Names and Flow Rates						
	River	Reach	RS	Q Vår	Q Høst	QM	Q5	Q10	Q20	Q200
1	DALSBEKKEN	OVRE_STREKNING	2578	2.61	1.84	12.85	15.72	18.58	21.43	30
2	DALSBEKKEN	DALSBEKK_SAETEI	1259	5.08	3.14	23.95	29.29	34.61	39.92	55.89
3	DALSBEKKEN	DALSBEKK_VINEBE	907	5.17	3.18	24.34	29.77	35.17	40.56	56.8
4	DALSBEKKEN	ALLERNEDERST	345	6.55	3.88	30.54	37.34	44.12	50.89	71.26
5	GREVERUDBEKKEN	FOER_SAMLOEP	333	1.38	0.7	6.2	7.57	8.95	10.33	14.46
6	SAETERBEKK	FOER_SAMLOP	109	2.47	1.3	11.1	13.57	16.03	18.49	25.89
7	VINEBERGBEKKEN	FOER_SAMLOP	196	0.09	0.04	0.39	0.48	0.56	0.64	0.91

Det er ikke utført vannføringsmålinger med tilhørende vannstandregistreringer som kan benyttes for å sette øvre grensebetingelser i bekkene. Øverst på bekkestrekningene er derfor den naturlige helningen på elveleiet benyttet som grensebetingelse.

Som nedre grensebetingelse er det dels benyttet vannstand fra sammenfallende flomstørrelse i Gjersjøen, men også foretatt beregninger med stor lokal flom i innløpsbekkene men med lavere vannstander i Gjersjøen for å illustrere lokal flomstiging i Slorene før eventuell flomkulminasjon i Gjersjøen.

Alle beregnede vannstander og høyder er gitt i NN2000.

8.2.6 Sensitivitetsanalyse

Det er utført en sensitivitetsanalyse[5] ved å skalere Manning's n +/- 10% for bekken. Dette gir en endring i vannstand på i størrelsesorden +/- 5 cm.

[5] *Sensitivitetsanalyse – beregning av hvor følsom modellen er for variasjon i en parameter, som f.eks. ruhet*

8.3 Resultater

Det deles opp i resultater i for den øvre, søndre delen av Dalsbekken, for området fra rett oppstrøms Steinhvelvsbrua og forbi denne samt videre nedstrøms ned mot Gjersjøen.

8.3.1 Oppstrøms pumpestasjon

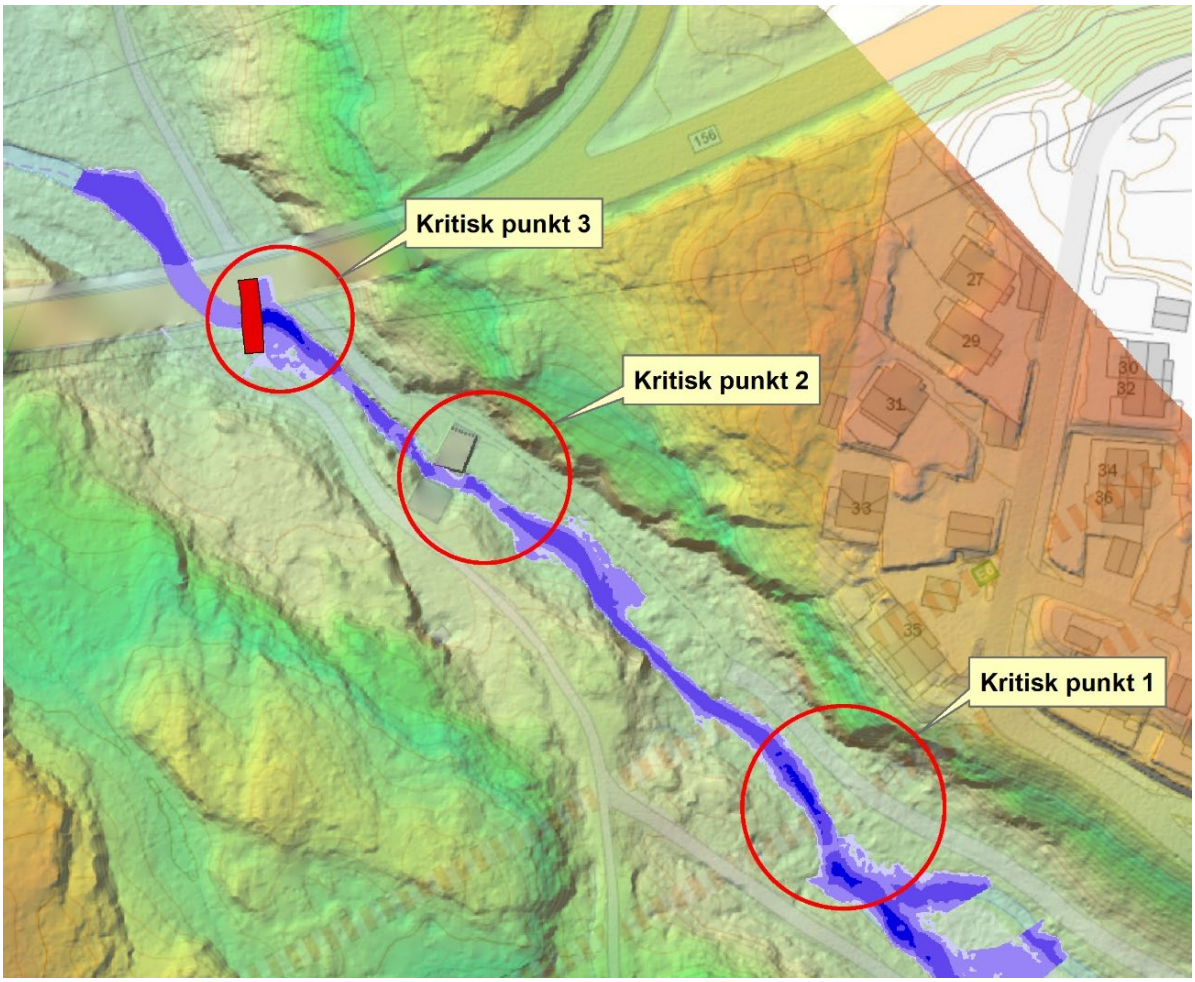
Beregningene viser at det spesielt finnes et kritisk punkt hvor dalen snevres inn (Figur 20, kritisk pkt. 1) og bekken faller nedover nordover i dalen. Ved dette punktet finnes det også en terskel, «et grunt område», i bekken som også fører til oppstuvning av vann. Her stuves vannet opp og det kan føre til at den flate sørlige delen av området oversvømmes under flom.

Litt lenger nedstrøms (ca. 100 m) ved pumpestasjonen (Figur 20, kritisk pkt. 2) er det også et punkt hvor vannet stuves opp. Ved pumpestasjonen snevres bekken inn og vannet må renne gjennom en trang kanal under pumpestasjonen. Pumpestasjonen kan slik sett virke som en barriere for vannet under større flommer.

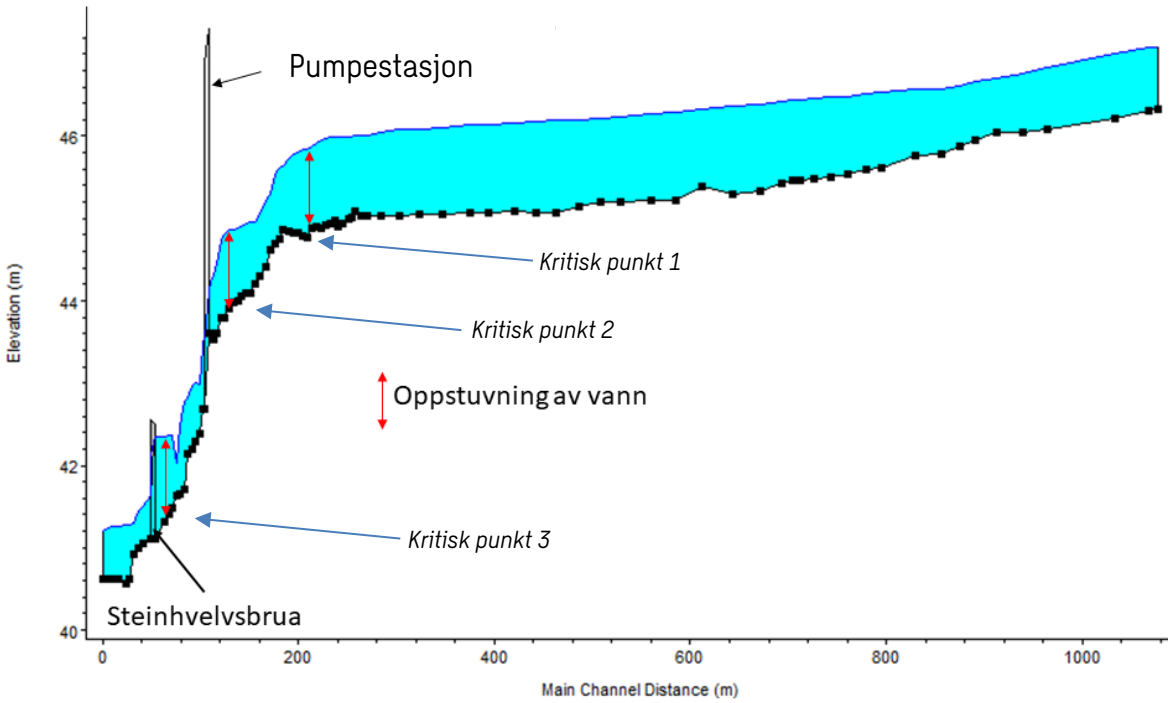
Ved kritisk pkt.3, Steinhvelvsbrua, er kapasiteten ved større flommer begrenset og vil virke oppstuvende for vannet ovenfor.

I Figur 21 illustreres vannstandssprangene som skyldes kapasitetsbegrensningene beskrevet over.

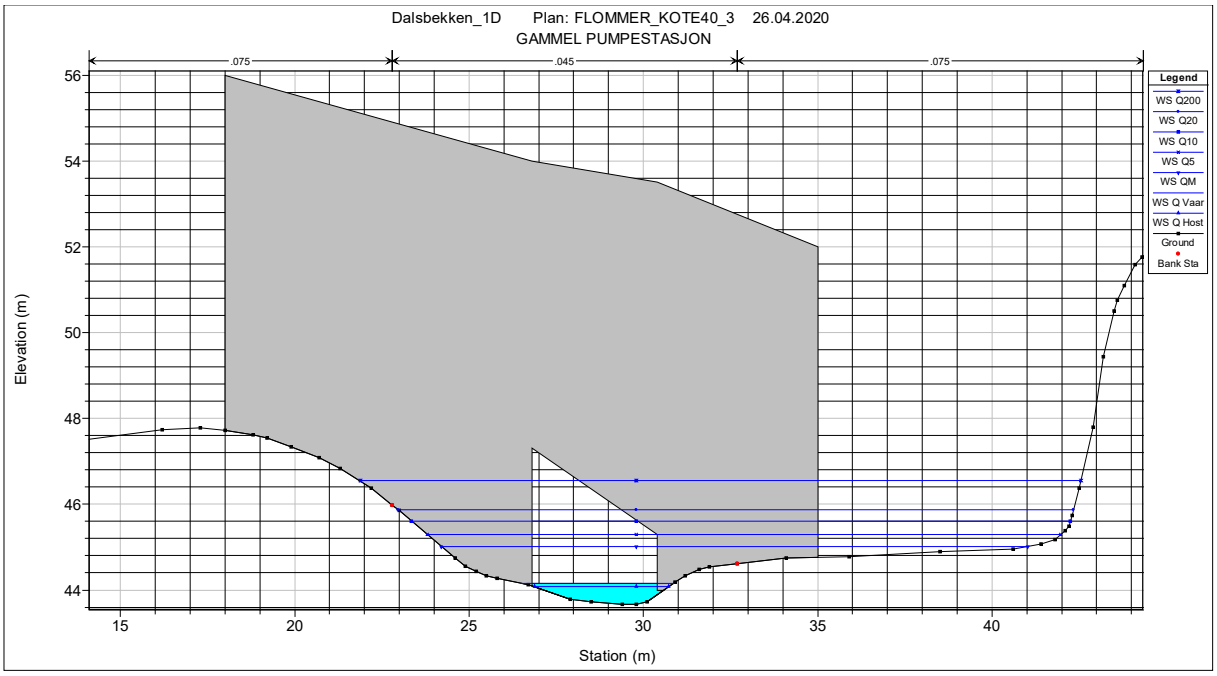
Figur 22 plotter alle beregnede vannstander oppstrøms innløpet til kanalen under pumpestasjonen. Som det fremgår av figuren vil alle flomvannføringer større enn QM renne over og forbi pumpestasjonen på høyre side.



Figur 20 Nordlig del av den vurderte øvre delstrekningen med modellert vannstand i meter for QVår. Kritiske punkter hvor vannet stuves opp er markert med røde sirkler. Mørkere blå farge indikerer større dybde på vannet.



Figur 21 Bunnprofilen av Dalsbekken på den sørlige delstrekningen med modellert vannstand for $Q_{Vår}$. Figuren illustrerer vannstandsprang grunnet kapasitetsbegrensninger i bekkeleie og under konstruksjoner.

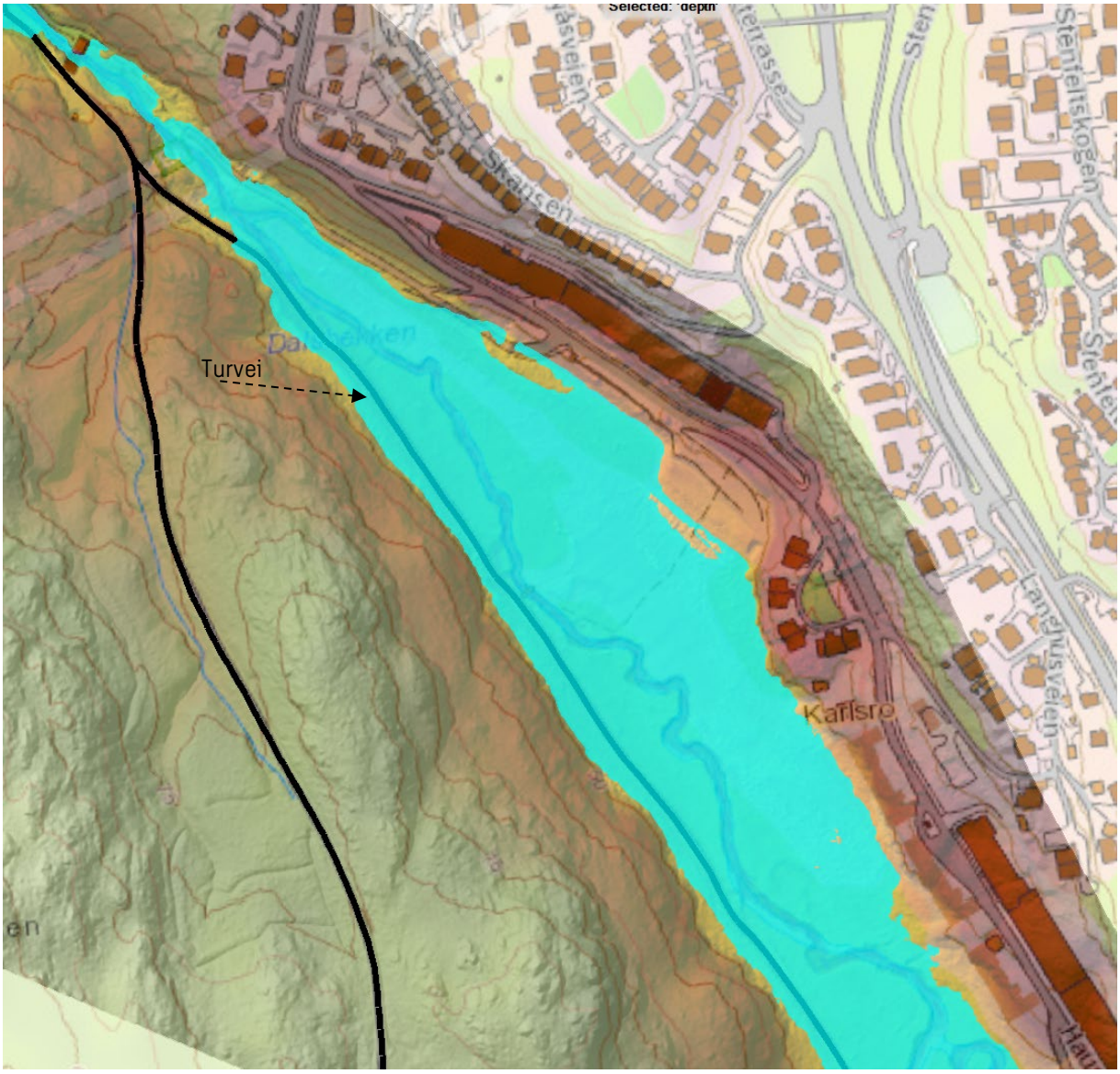


Figur 22 Beregnet vannstand oppstrøms gammel pumpestasjon for vurderte flomstørrelser.

Tabell 15 Beregnet vannstand ved innløp under pumpestasjonen.

	Qhøst	Qvår	Q_M	Q_5	Q_{10}	Q_{20}	Q_{200}
Vannstand (moh)	44,17	44,29	45,43	45,65	45,88	46,10	46,71
Vannføring (m^3/s)	1,84	2,61	12,85	15,72	18,58	21,43	30,00
Hastighet (m/s)	1,28	1,28	0,91	0,87	0,84	0,82	0,81

Beregningen viser at turveien langs øvre del av Dalsbekken berøres helt fra forholdsvis små flomstørrelser. Selv en mindre vårflom på 2,6 m^3/s vil stedvis komme inn på og delvis over turveien på enkelte plasser. Ved vannføringer rundt middelflom[6] med klimapåslag (12,85 m^3/s) vil store deler av dalen stå under vann som vist i kartet i Figur 23 under.



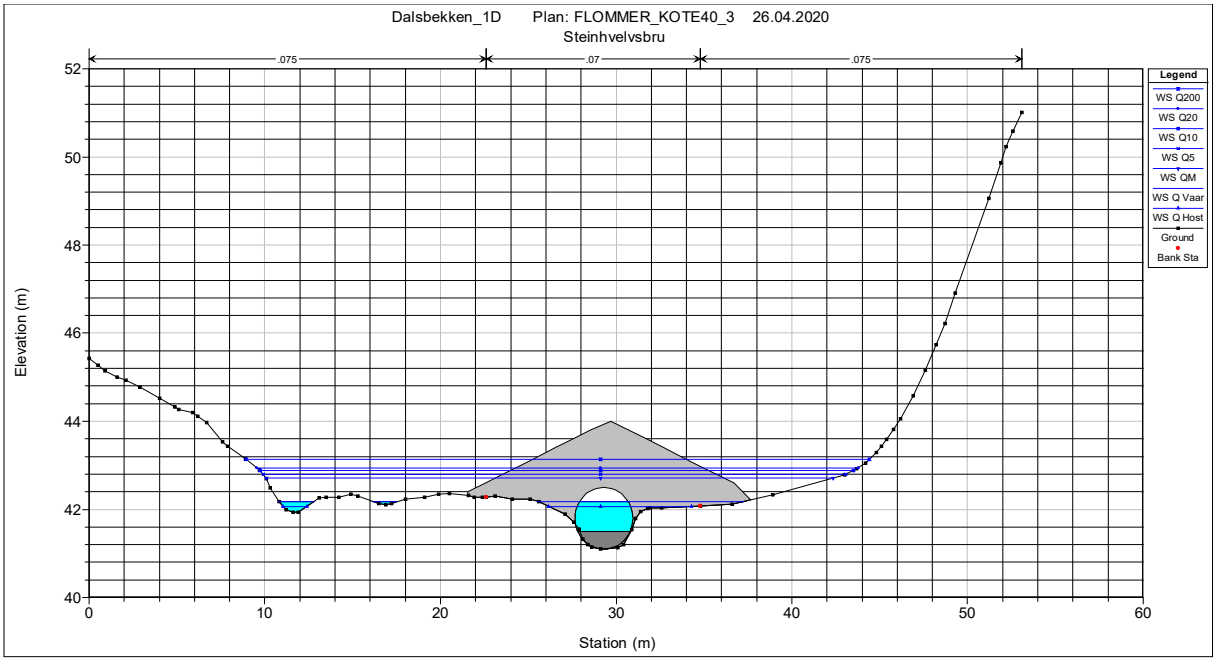
Figur 23 Vanndekket areal ved QM med klimapåslag i den søndre delen av Dalsbekken. Turvei er markert med svart linje og vises at tydelig oversvømmes ved denne flomstørrelsen.

8.3.2 Ved Steinhvelvsbrua og videre nedstrøms

Fra pumpestasjonen renner vannet i en trang (ofte bare 2-3 m bred) kanal ned til Steinhvelvsbrua (Figur 20, kritisk punkt 3). Foran denne brua stuves vannet opp og fører til at kapasiteten under brua raskt overstiges. Allerede ved mindre flommer renner derfor vannet over kantene av kanalen og forbi brua.

[6] *En middelflom er en flom som må forventes å inntreffe såpass jevnlig at dette ofte vil være et absolutt minimum som naturlig sikringsnivå. Se beskrivelse av flomstørrelser i Kapittel 7.*

Figur 24 viser beregnet vannstand for alle flommene ved Steinhvelvsbrua. Steinhvelvsbrua vises på figuren noe mindre buet enn i virkeligheten av modelltekniske årsaker. Reelt tverrsnitt er imidlertid bibeholdt i modellen.



Figur 24 Beregnet vannstand oppstrøms innløp til Steinhvelvsbrua for alle flomstørrelser inkludert klimapåslag

Tabell 16 Beregnet vannstand ovenfor Steinhvelvsbrua når det er lav vannstand i Gjersjøen (kote 40,3) (normal sommersituasjon).

	Qhøst	Qvår	Q_M	Q_5	Q_{10}	Q_{20}	Q_{200}
Vannstand (moh)	42,07	42,18	42,71	42,80	42,88	42,95	43,14
Vannføring (m^3/s)	1,84	2,61	12,85	15,72	18,58	21,43	30,00
Hastighet (m/s)	0,57	0,60	0,81	0,87	0,91	0,96	1,07

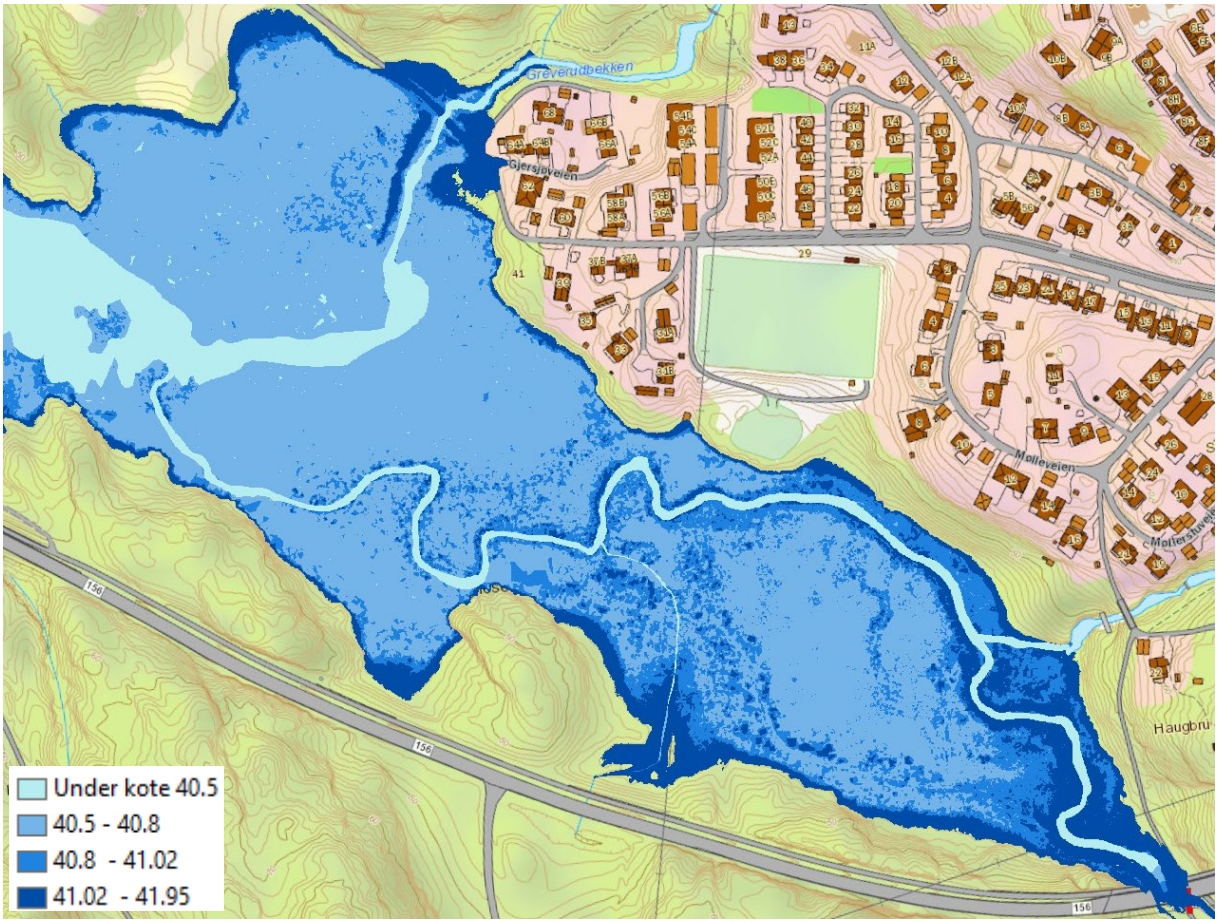
Tabell 16 viser beregnet vannstand og vannhastighet ved Steinhvelvsbrua for alle modellerte flomstørrelser. Som beskrevet i kapittel 1 ble det i den opprinnelige rapporten kun vurdert lokal flom i Dalsbekken og det ble ikke sett på en eventuell sammenfallende flomhendelse med vannet Gjersjøen lenger nedstrøms, eller tatt hensyn til Sætrebekken og Greverudbekken som renner inn i Dalsbekken nedstrøms Steinhvelvsbroen.

I denne reviderte rapporten er analyseområdet kraftig utvidet og tabellen ovenfor inkluderer påvirkningen fra disse nedstrøms forholdene.

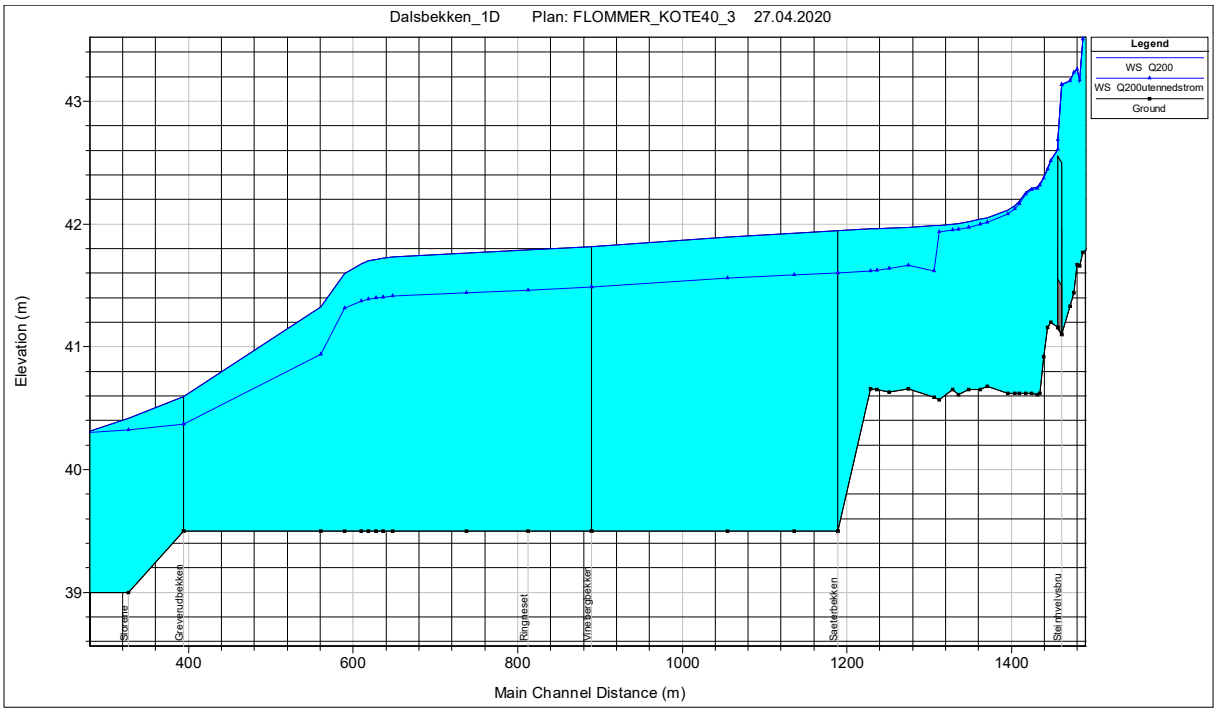
Gjersjøen er regulert til drikkevannsforsyning og har en HRV på 40,20 som beskrevet i kapittel 7.2. I Tabell 16 er beregningen foretatt med en lav vannstand i Gjersjøen (kote 40,3). Dette tilsvarer en normal sommersituasjon med lite vannføring ut av Gjersjøen.

Arealene i området mellom selve Gjersjøen og Slorene/ Vinebergslora ligger særdeles lavt i terrenget med mesteparten av det «tørre landet» mellom kote 40.3 og 40.8, som vist i kartet i Figur 25. Som vi også kan se av Figur 26 er bunnen av Dalsbekken på maksimalt kote 40.30 nesten helt opp mot Steinhvelvsbrua.

Figuren viser også at påvirkningen <u>ovenfor</u> Steinhvelvsbroen og nedenfor utløpet av Greverudbekken og Sætrebekken er tilnærmet lik 0.



Figur 25 Vanndekket areal forårsaket av flomvannstander i Gjersjøen (se Tabell 13). Fargene i forklaringen er underliggende terrenghøyde. Det vil si at ved en lav vannstand på under 40,5 vil kun areal med lys blå farge være dekket av vann. Ved en ekstrem vannstand på 41,95 (tilsvarende Q200 i Gjersjøen) vil vanndekket areal strekke seg helt ut til det mørkeblå.

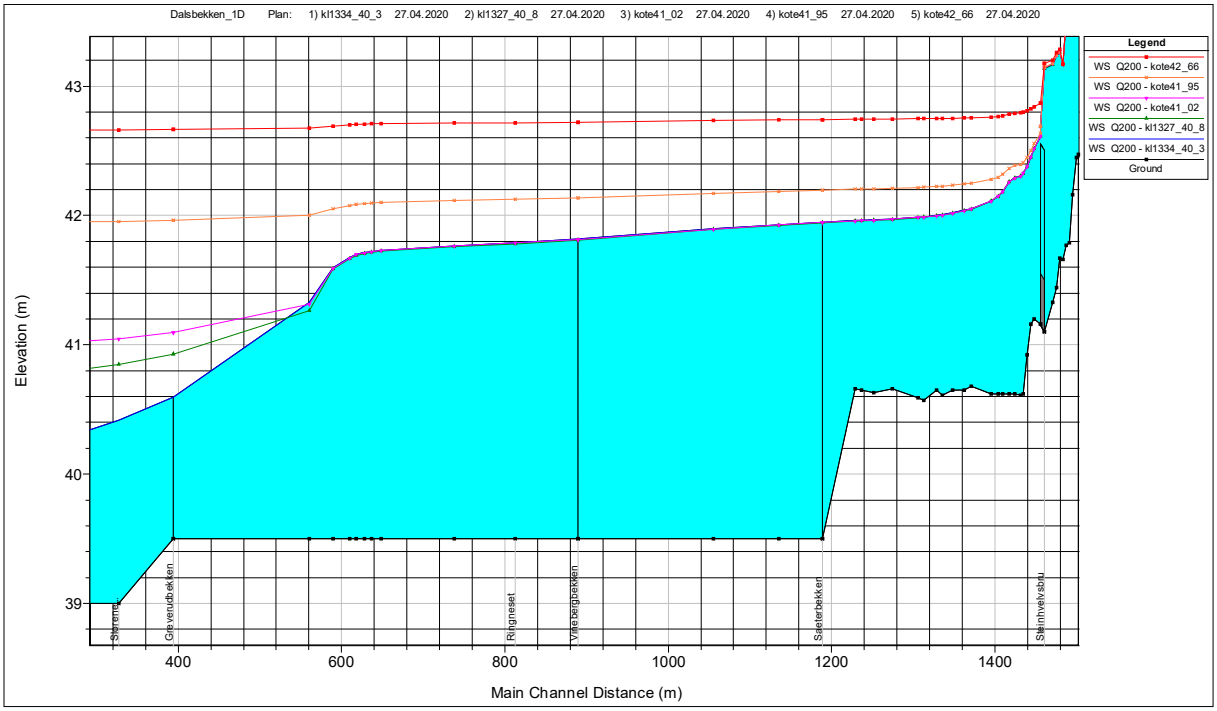


Figur 26 Vannstand ved Q200 kun i Dalsbekken(blå linje) og Q200 i alle tilløpsbekker (blått areal). Vannstand i Gjersjøen er på kote 40,3.

Det er gjort beregninger med alle vurderte initiale flomvannstander i Gjersjøen og det er først ved en vannstand på Q200 uten klimapåslag (kote 41.95) i Gjersjøen at vannstanden ved innløpet til Steinhvelvsbrua begynner å påvirkes. 1 cm høyere ved Q200 uten klimapåslag og 3 cm høyere ved Q200 med klimapåslag (42,66) i Gjersjøen.

Profilplott for vannstanden i nedre del av Dalsbekken og Vinebergslora for en lokal Q200 flom med forskjellig initialvannstand i Gjersjøen er vist i Figur 27. Ved en slik ekstrem vannstand i Gjersjøen vil vannet stå så høyt ved Steinhvelvsbrua at det også vil påvirke vannstanden ved mindre flomstørrelser i Dalsbekken. Uansett vil imidlertid alle disse flomvannføringene og flomvannstandene i utgangspunktet føre til at kapasiteten under Steinhvelvsbrua er overskredet og store deler av bru og turvei vil stå under vann som vist i Figur 24.

Påvirkningen av tilløp fra de andre bekkene nedstrøms, samt vannstanden i Gjersjøen, er imidlertid av betydning for vannstanden i Vinebergslora. Figur 26 viser forskjellen mellom en hendelse med et Q200 tilløp kun i Dalsbekken og et med Q200 i alle tilløpsbekkene. Vannstanden mellom Gjersjøen, gjennom Slorene og Vinebergslora, og opp til litt ovenfor samløpet med Sæterbekken vil ligge om lag 30 cm høyere hvis man tar hensyn til høy vannføring også i de andre tilløpsbekkene i området. Dette vil ha betydning for vurderingene knyttet til vanndekket areal og strømningsmønster i dette området.



Figur 27 Vannstand nedstrøms Steinhvelvsbrua for en lokal Q200 flomhendelse med forskjellig initialvannstand i Gjersjøen.

8.3.3 Resultater uten bro og pumpestasjon

Det er også etter ønske fra kunde gjort en beregning hvor pumpestasjonen og Steinhvelvsbrua er utelatt fra modellen, altså hva ville vannstanden vært i vassdraget uten denne infrastrukturen. Grunnlaget for disse vurderingene er at Steinhvelvsbrua skal bevares samt at pumpestasjonen skal nedlegges og fjernes i 2022 i forbindelse med at prosjektet «ny hovedledning Ski-Haugbro» gjennomføres. Det var derfor et ønske om å se hvordan dette vil påvirke vannstand, samt hvordan det vil fungere med overløp eller andre tiltak for å gi bedre flompassasjer ved Steinhvelvsbrua. En modell uten hindringer kan også vise en tilnærmet naturtilstand (dersom man ser bort fra erosjonsproblematikken oppstrøms) og kunne fungere som en referansemodell.

Oppstrøms pumpestasjonen viser resultatene av denne modelleringen at vannstanden i elveleiet rett ovenfor ville ha blitt redusert mellom 2 og 101 cm avhengig av flomstørrelser som vist i Tabell 17.

Effekten av dette vil ha en begrenset effekt ca. 10 meter lenger oppstrøms og ingen effekt nedenfor pumpestasjonen.

Tabell 17 Beregnet vannstand oppstrøms pumpestasjonen for alle flomstørrelser dersom pumpestasjon og Steinhvelvsbrua er utelatt fra modellen.

	Qhøst	Qvår	Q_M	Q_5	Q_{10}	Q_{20}	Q_{200}
Vannføring (m^3/s)	1,84	2,61	12,85	15,72	18,58	21,43	30,00
Vannstand (med pumpestasjon)	44,17	44,29	45,43	45,65	45,88	46,10	46,71
Vannstand (uten pumpestasjon)	44,15	44,26	45,01	45,14	45,26	45,37	45,69

Rett oppstrøms Steinhvelvsbrua viser modelleringen at vannstanden ville ha blitt redusert mellom 22 og 50 cm avhengig av flomstørrelser dersom broen ikke hadde vært der. Resultatene av dette er vist i Tabell 18.

Effekten av dette oppstrøms vil være begrenset til ca. 20 meter lenger opp i elven og ingen effekt nedenfor broplasseringen. Vannstanden ville fortsatt overtoppe veibanen ved vannføringer tilsvarende QM.

Tabell 18 Beregnet vannstand oppstrøms Steinhvelvsbrua for alle flomstørrelser dersom pumpestasjon og Steinhvelvsbrua er utelatt fra modellen.

	Qhøst	Qvår	Q_M	Q_5	Q_{10}	Q_{20}	Q_{200}
Vannføring (m^3/s)	1,84	2,61	12,85	15,72	18,58	21,43	30,00
Vannstand (med bro)	42,07	42,18	42,71	42,80	42,88	42,95	43,14
Vannstand (uten bro)	41,85	41,91	42,33	42,40	42,44	42,48	42,64

Man kan også vurdere å utvide bekkeløpet til det doble gjennom veikryssingen, sett i forhold til bredden av elven under dagens bro. Dette gir kun marginale endringer på maksimalt 2 cm.

8.4 Usikkerheter i vannlinjeberegningene

Kapittel 5.1.2 omtaler beregnede vannføringer, bekkens geometri, ruhet av bekken og terrenget som deler av grunnlaget for en vannlinjeberegning. Nøyaktigheten til denne informasjonen varierer.

Terrengmodellen som ligger til grunn for området er laserdata fra 2014. I tillegg har det blitt målt inn en rekke enkeltpunkter med GPS under befaringer. Grunnet dårlig GPS dekning i området akkurat ved Steinhvelvsbrua, der overliggende E6 bru skygger for satelittsignaler, er det få innmålte tverrprofiler av den modellerte bekkestrekningen akkurat her. Målinger oppstrøms og nedstrøms dette punktet, samt laserdata anses terrengmodellen allikevel som god, men på grunn av E18 broen og den tette vegetasjon må det regnes med noen mindre avvik i modellen.

Sensitivitetsanalysen viser at en økning/reduksjon av Manning's n (ruhet) med 10 % har liten betydning for modellresultatene med endring i vannhøyde på +/- 5 cm.

Strekningen som er modellert er del av en større hydrologisk enhet som henger sammen med Gjersjøen hvor Dalsbekken renner inn. Før Dalsbekken renner inn i Gjersjøen renner bekken gjennom våtmarksområdet Slorene

hvor ytterligere to bekker, Sætrebekken og Greverudbekken, har utløp inn i Dalsbekken. Under flomsituasjoner vil det med stor sannsynlighet være høy vannføring også i disse bekkene.

Vannlinjeberegningene som nå er utført har vist at disse bekkene påvirker vannstanden i Slorene. Vannstanden i Gjersjøen styrer i tillegg vannstandsstigning i hele den nedre delen av Dalsbekken under flom.

Tidligere anbefaling om å utvide beregningen nedstrøms Steinhvelvsbrua har dermed redusert usikkerheten i beregnet vannstand ved innløpet til Steinhvelvsbrua og videre nedover mot Gjersjøen. Videre oppstrøms innløpet til Steinhvelvsbrua vil ikke disse nedstrøms forholdene påvirke vannstandsstigningen.

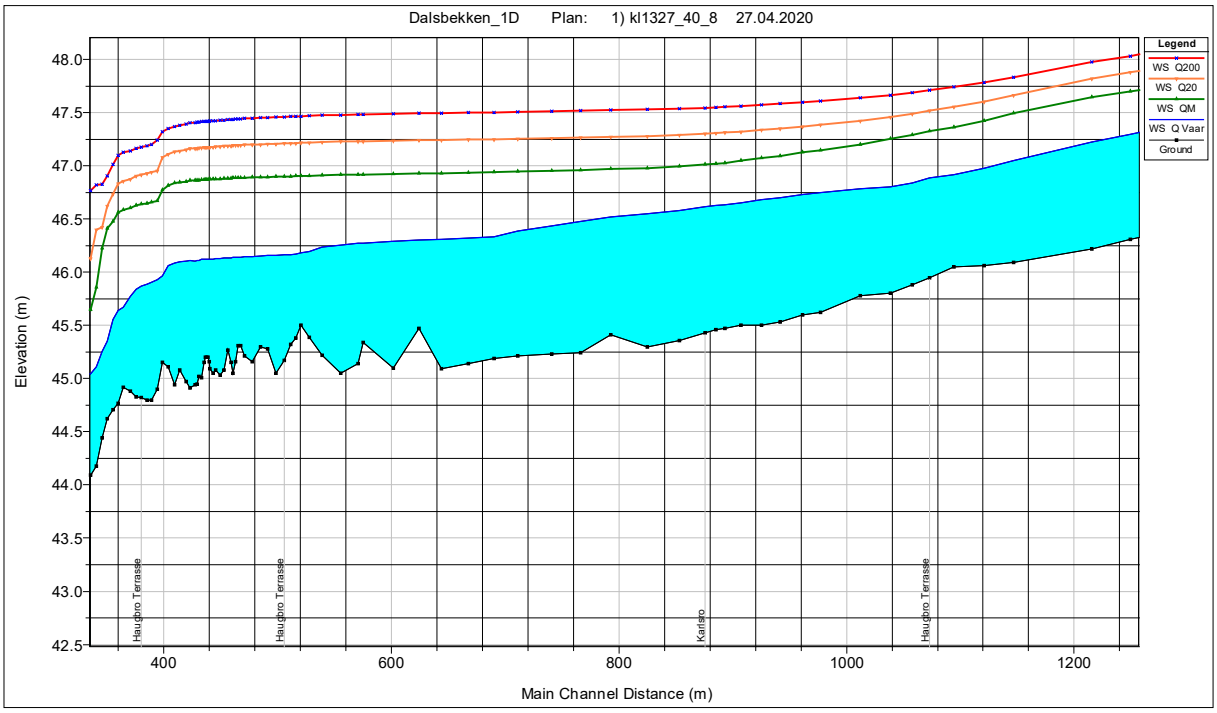
9 Tiltak mot uønsket påvirkning eller flomskader på turvei, Steinhvelvsbrua og områder nedstrøms mot Gjersjøen

Vannlinjeberegningene viser at deler av turveien langs Dalsbekken allerede blir oversvømt ved mindre flommer på rundt 2-3 m^3/s, tilsvarende normale høst- og vårflommer. Dette er flomstørrelser som er langt lavere enn middelflom og er flommer som må kunne påregnes hvert år.

Det gjøres oppmerksom på at eventuelle tiltak i og langs bekkefaret som foreslås eller nevnes videre ikke er vurdert iht. vannressursloven eller annet relevant lovverk. I forkant av eventuell utførelse må dette vurderes. I forbindelse med VA-prosjektet «Ny hovedledning Ski-Haugbro» er det også gjort en rekke vurderinger og arbeid i forbindelse med erosjonssikring og tiltak langs vassdraget oppstrøms den gamle pumpestasjonen.

Turveien vil oversvømmes oftest i den flate sørlige delen samt i området ved og rundt Steinhvelvsbrua. Hvis man vil unngå at turveien, i den sørlige øvre delen, oversvømmes i framtiden bør den heves med ca. 1 m til kote 47.5. Ved å øke turveiens høyde på dette strekket til kote 47.5 vil den også ligger tørr under en flom på opptil Q_{20} med klimapåslag. Heves det ytterligere til 47.75 dekkes også Q200 på dette strekket som vist i Figur 28.

Turveien ligger på deler av strekningen som en forhøyelse i terrenget med lavere arealer på vestsiden. Ved høy vannstand på bekkesiden vil vann trenge igjennom veifyllingen og også fylle opp dette volumet. Endres vannstanden raskt på bekkesiden kan dette gi stor forskjell i grunnvannstanden og utgjøre en risiko for grunnvannserosjon i sidene på turveien. Rørgjennomføringer/kulverter bør derfor legges slik at slik erosjon unngås, i tillegg til at det vil gi mulighet for å drenere områdene vest av veien uten at selve veikroppen vil fungere som en dam.



Figur 28 Vannstand i øvre del av Dalsbekken ved vårflom, QM, Q20 og Q200 med klimapåslag.

Nedfalne trær, gjerder som spenner over bekkeløp og samler gress og annet, bever som bygger dammer og nye vannveier vil kunne gi økt oppstuving og høyere vannstander på strekninger langs bekker og elver med ellers lite fall. Det samme vil økende tilgroing av lav undervegetasjon i og langs bekke- og elveløpet grunnet økt næringstilførsel, andre bedrede livsvilkår som høyere temperaturer eller mer nedbør, eller endret driftsmønster

eller metodikk i arealbruken i området. Økt vannstand kan gi igjen gi en økt risiko for uønsket påvirkning eller skade på infrastruktur som veier, broer eller bygninger i og langs bekken.

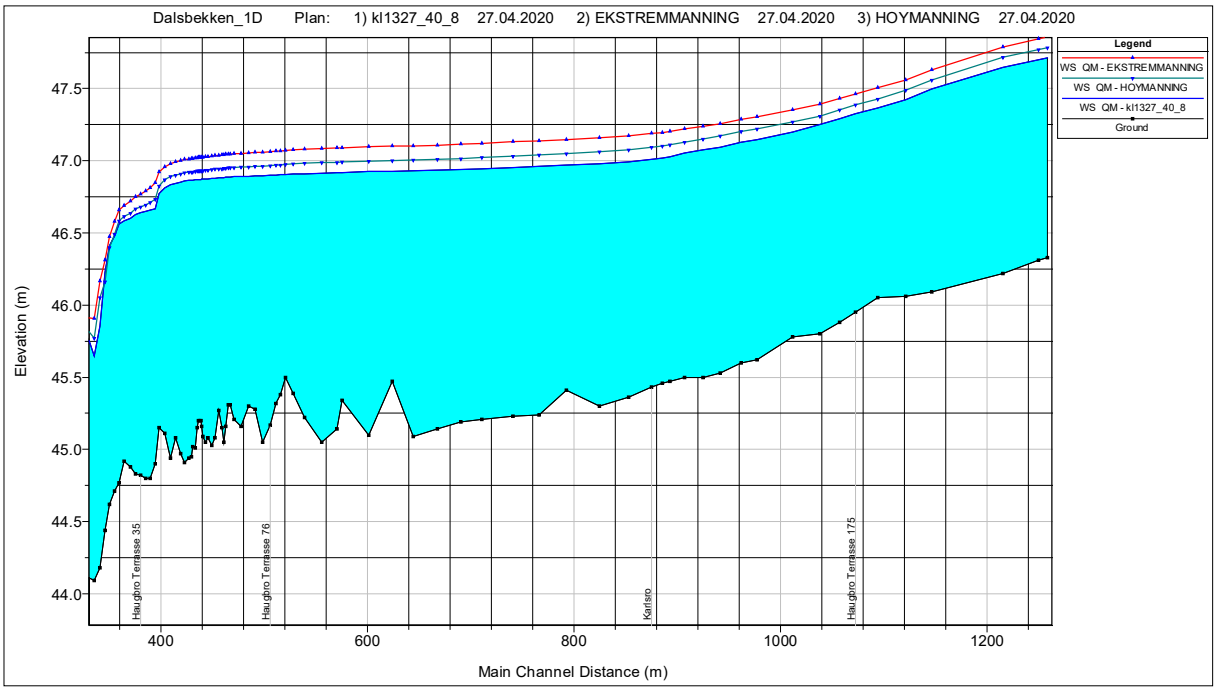
Det er ikke direkte mulig å modellere effekten av f.eks. enkelttrær eller lignende som er veltet over bekken, men man kan vurdere den generelle effekten av økt vegetasjon uttrykt som en økt ruhet i den hydrauliske modellen. Dette gjøres ved å heve Mannings n på de strekninger eller deler av vassdraget man ønsker å vurdere effekten av f.eks. slike vegetasjonsendringer.

På den øvre strekningen av Dalsbekken, oppstrøms den gamle pumpestasjonen, er det gjort beregninger for et par alternativer med økt Manning i bekkeløp og arealer på siden av bekken for å vurdere slik effekt av økende tilgroing eller endret vedlikehold i form av redusert rydding langs bekken. To alternativer er beregnet, kalt;

- Høy Manning
  - Bekkeløp med kraftig vannvegetasjon, dype høler (0.080)
  - Flomsletter med en del nedfalne trær, mindre buskvegetasjon og vannstander nedenfor grenfester på trær (0,100)

- Ekstrem Manning
  - Bekkeløp med kraftig vegetasjon, mye nedfallent tømmer (0,100)
  - Flomsletter med en del nedfalne trær, kraftig undervegetasjon med vannstander som tar tak i grenfester o.l. (0,120)

Av disse vil «Høy Manning» være det mest trolige alternativet. Men uten sammenfallende vannstands- og vannføringsmålinger under større flomepisoder er det vanskelig å verifisere eller kalibrere utsagnet. Resultatet av disse modelleringene er vist i Figur 29 under. Det generelle svaret er at «Høy Manning» gir ca. 8-10 cm høyere vannstand enn under normale forhold. «Ekstrem Manning» gir en ytterligere vannstandsøkning på om lag 10-12 cm.



Figur 29 Beregnet vannstand for QM med normal, høy og ekstrem Manning (ruhet) på den øvre delstrekningen av Dalsbekken.

Økt ruhet gir også reduserte vannhastigheter som igjen gir økt risiko for pålagring av sedimenter som tilføres området fra oppstrøms arealer. Økt pålagring igjen hever bekkebunnen og dermed vannstanden under flom.

Alle bekkeleier er i en stadig prosess med tilpasning for å oppnå likevekt i forhold til slike prosesser. Senkes bekkeleiet noe nedenfor slike områder som over tid har bygget seg opp, vil dette igjen kunne føre til økt gradient, økte hastigheter og dermed økt erosjon og transport av sedimenter videre nedover vassdraget. Dette kan igjen føre til at bekkeleiet igjen oppnår likevekt på et tidligere nivå. Mange bekker kan være i en «evig» prosess mellom slike tilstander.

At turveien oversvømmes ved Steinhvelvsbrua skyldes delvis at broen ikke er tilstrekkelig dimensjonert for vannmengder ved flom samt at veien på begge sider ligger noe for lavt til at hele kapasiteten under broen kan utnyttes før vannet renner over på en eller begge sider som illustrert i Figur 30. Kapasiteten under broen er dog svært begrenset og vil overstiges allerede ved en flomvannføring under QM som vist i Figur 24.

Under befaring i 2019 ble det observert store skader på nedstrømsiden av broen. Det antas at dette skyldes vann som strømmer forbi ved flomepisoder. For å unngå oversvømmelse av turveien og framtidige skader på broen er det flere tenkelige løsninger. Dels kan man heve turveien på begge sider av broen til ønsket sikringsnivå. For en Q20 må man da høyere enn kote 43 men dette forutsetter at det i tillegg legges rør på begge sider av broen for å ta unna tilstrekkelig vann under flom. Rett dimensjonert bro må ha kapasitet til å ta unna vannmengder som vist i Tabell 7. Før dette gjøres må det vurderes for hvilken flomstørrelse bro og eventuelle andre flomløp skal dimensjoneres for.

Figur 30 Illustrasjonsskisse av situasjon ved Steinhvelvsbrua (Bildet: endret fra Biofokusrapport, 2018).

En annen mulig løsning for å bevare Steinhvelvsbroen og redusere muligheten for skade kan være å sikre flomveier på den ene eller begge sider av broen ved å senke veien, steinsette eller støpe disse forsenkningene for å redusere risiko for erosjon og la disse fungere som flomløp under flom. Dette vil selvfølgelig redusere fremkommeligheten langs turveien under flomepisoder men dette kan eventuelt sikres ved å oppstrøms Steinhvelvsbroen anlegge en ny bro som kan fungere også ved større flomhendelser.

Det å tilpasse kanalen/elveløpet oppstrøms fra broen og gi den noe bedrede hydrauliske egenskaper ned mot broen kan også avhjelpe noe med å redusere vannhøyden ned mot broen. Dette vil imidlertid gi noe økte vannhastigheter som nok ikke er ønskelig å ha ned mot broen.

Senking av løpet under broen vil også avhjelpe noe i perioder hvor det er lav vannstand i Gjersjøen. I perioder med ekstrem vannstand i Gjersjøen vil som nevnt tidligere denne styre vannstanden også helt her oppe ved Steinhvelvsbroen.

Flommer har over tid påvirket den tekniske tilstanden til Steinhvelvsbroen. Kapasitetsmessig har vi avklart at broen ikke er tilstrekkelig dimensjonert for å ta unna nødvendige vannmengder under flom men hvorvidt dette har gitt skader i steinsettingen/sammenføyningen av broen bør avklares av ekspertise på dette området.

Oppstrøms side av broen er vist i Figur 31. Muligens kan det skjelnes en viss setning i midtpartiet på broen. Sidekanter i bekkeleiet oppstrøms bør nok også på sikt tilpasses og gi en bedre hydraulisk utforming ned mot broen.

Figur 31 Steinhvelvsbrua på oppstrøms side.

Rett nedstrøms Steinhvelvsbroen er det er en jordvoll langs vestre siden av Dalsbekken som vist i Figur 30. Vollen gir noe økt vannstand og redusert vannhastighet under mindre flommer og det kan vurderes å fjerne eller redusere denne noe. Dette ville gi vannet mer plass slik at vannhastigheten økes og vannstanden reduseres. Ved større flommer vil imidlertid denne vollen overtoppes og vann renne over mot den sørvestre delen av Vinebergslora.

Vannstanden i Gjersjøen vil under ekstreme hendelser være med å påvirke vannstanden, men i hovedsak nedenfor Steinhvelvsbrua. Aktiv regulering eller noe senking av utløpet av Gjersjøen vil være med å redusere påvirkningen på vannstanden. Permanent senkning av Gjersjøen vil imidlertid generelt påvirke våtmarks-området negativt ved å sørge for permanent lavere vannstand og dermed mindre vannutbredelse i dette området.

Lav vannstand i Gjersjøen samtidig med større lokale flommer i Dalsbekken og de andre bekkene med utløp i Slorene kan imidlertid gi noe økt vannhastighet og erosjon og transport av sedimenter videre ned mot Gjersjøen.

Høy vannstand i Gjersjøen under flomepisoder gir høy vannstand i Slorene/Vinebergslora og dermed sterkt redusert vannhastighet og dermed også redusert erosjonskapasitet og transportevne for sedimenter vekk fra dette området og videre ut i Gjersjøen.

Generelt høy vannstand i Gjersjøen vil gi økt oppbygging og pålagring i dette våtmarksområdet, heve terrenget og på sikt dermed gi et tørrere område med vegetasjon tilpasset dette. I utgangspunktet er dette en naturlig tilgroingsprosess som foregår i alle vassdrag men i dette tilfellet er den påskyndet grunnet kunstig vannstands-heving med dam i Gjersjøen.

Det har også kort vært diskutert muligheter for og effekter av eventuelle fordrøyningsmagasiner langs bekken for om mulig redusere flomtoppene og også massetransport (partikler og næringsstoffer) i vassdraget. Generelt krever dette betraktelige volumer og dermed arealer for ha vesentlig effekt i vassdrag så store som dette. Eksempelvis vil det samlede volumet på én time, fra en vannføring tilsvarende QM, utgjøre 5 «fotballbaner» fylt med 1 meter vann. For en flom tilsvarende Q200, vil dette være øket til 12 «fotballbaner» på én time.

Størst effekt vil det imidlertid ha ved å redusere eller forsinke avrenningen ned mot selve hovedløpet av bekken. Dette kan oppnås ved bruk av fangdammer, kvistdammer[7] eller mindre tiltak i sidebekker eller arealer ned mot hovedløpet.

Avrenning kan også begrenses ved tilpasning av arealbruk, redusere andelen åpne ikke-vegeterte arealer, bruk av drenerende grus/dekke på parkeringsarealer, tak ol. Begrense bruk av overvannsløsninger i urbane deler som bringer vann direkte ut i bekkeløpene; frikobling av taknedløp, bruk av grønne tak, regnbed og andre blå-grønne løsninger.

Det bør i tillegg søkes å bevare tilstrekkelig kantvegetasjon for å hindre erosjon og massetransport.

Åpne dreneringsveier i form av rydding av bekke- og elveløp er en avveining mellom å unngå uønsket oppstuvning og vannstander som gir skade, kontra det at oppstuvning gir fordrøyning og noe redusert flomtopp. Observasjon, registrering og justering av tiltak basert på observasjonene som gjøres vil uansett være påkrevet.

Det er ikke mulig å tallfeste helt nøyaktig hvor mange centimeter de forskjellige tiltakene vil ha av effekt uten å ha direkte målinger før og etter tiltaket ved ønsket flomstørrelse. I tillegg vil det være avhengig av nøyaktig plassering og utførelse av tiltaket.

Modelleringene har vist at det ved å øke ruheten i vassdraget, dvs. en antagelse om flere trær, kratt og lignende på elvebreddene samt mer tilvekst og nedfalne trær i selve bekkeløpet, kan gi rundt 10 cm høyere vannstand på den øvre strekningen. Ved å rydde elvebredder og bekkeløp helt for vegetasjon vil det gi en reduksjon på rundt 5 cm. Effekten av å fjerne vegetasjon i stor grad vil dermed være liten og effekten av slike tiltak vil være marginal for de utsatte strekningene av turveien og Steinhvelvsbrua.

Bevaring av vegetasjon i kantsonen og på elvebreddene anses imidlertid som viktig for å redusere risiko for uønsket erosjon i elvebreddene og sideveis forflytning av elveleiet. Disse bør i stor grad få stå i fred. Nedfalne trær som ligger i og over elveleiet bør imidlertid jevnlig ryddes unna for å opprettholde frie vannveier og unødig oppstuvning av vann.

Tiltak som senking av elvebunn vil i større grad være mer effektivt enn fjerning av vegetasjon men må gjøres over lange strekninger hvis det skal ha noen effekt på den øvre strekningen. Lokalt kan dette imidlertid ha synlig effekt ved Steinhvelvsbrua hvor det er større fall på en kort strekning. Her nede vil imidlertid vannstands-forholdende i Gjersjøen ha stor innvirkning.

[7] Kvistdammer er små fangdammer, terskler laget av stedegent materiale (mindre trestokker, kvist o.l.) i mindre sidebekker. Se eksempler i «Naturfareprosjektet Dp. 5 Flom og vann på avveie», rapport 28/2014

10 Vurdering av hydrologi i andre rapporter (Biofokusrapporten)

BioFokus utarbeidet i 2018 en rapport med innspill til skjøtselsplan for Slorene våtmarksområde i Gjersjøen (Biofokus, 2018). I kapittel 7.1 i denne rapporten beskrives det tiltak for å heve vannstanden i våtmarks-området. I Tabell 19 er disse tiltakene vurdert med hensyn til deres effekt på vannstand under flom.

Tabell 19 Kort beskrivelse og vurdering av tiltakene nevnt i kapittelet 7.1 i Biofokusrapporten 2018-16.

Tiltak i Biofokusrapporten	Swecos hydrologiske vurdering
Vannstandsregulering Gjersjøen Den viktigste faktoren for vannbalansen i Slorene er trolig vannstanden i Gjersjøen. Vannstanden reguleres ved utløpet av vannet. En liten heving av vannstanden i Gjersjøen vil sette oppbyggingen av deltaet i Slorene, og dermed gjengroingen, tilbake. Et ideelt vann-nivå i Gjersjøen bør vurderes nærmere, og med vurdering fra annen fagkompetanse.	*Det er riktig at vannstanden i Gjersjøen er en viktig faktor for vannstanden i Slorene. Vannstander i Gjersjøen på opp mot kote 40,80 gir vannstands-hevning over det meste av terrenget i Slorene og Vinebergslora uten spesielt høye vannføringer i tilløpsbekkene.* *Stor flom i tilløpsbekkene (> QM) gir vannstander i indre deler av Slorene og Vinebergslora over dette nivået (> 40,8) selv ved lave vannstander i Gjersjøen.* *Ved generell heving av vannstanden i Gjersjøen vil vannstanden i våtmarksområdet økes.* *Permanent heving av vannstanden i Gjersjøen/ Slorene har vist seg, etter disse utvidede beregningene, til ikke å påvirke vannstanden ved Steinhvelvsbrua og videre oppover før ved helt ekstreme vannstander (> Q200, kote 41,95) i Gjersjøen. Et slikt tiltak vil dermed i begrenset grad føre til at området ved Steinhvelvsbrua oversvømmes hyppigere.*
Tetting av grøft på sørsiden av Vinebergslora En grøft på sørsiden av Vinebergslora bidrar muligens til drenering av våtmarksområdet ut i Gjersjøen, og grøften bør derfor tettes. Dette gjøres ved å lage et antall propper punktvis langs grøften. Den eksakte utstrekningen av grøften må kartlegges for å avgjøre antall og plassering av propper. Det mest effektive vil være å lage propper av tettpakket leire.	*Dette tiltaket vil i liten grad kunne øke den generelle vannstanden i Vinebergslora og Slorene. Vannlinjeberegningene viser at dette ikke gir hyppigere oversvømmelse av området ved Steinhvelvsbrua.* *Effekten av dette tiltaket på flomregimet og flomvannstanden vil generelt være liten.*
Fjerning av deler av jordvoll i Dalsbekken Det er vinteren 2016 laget flere åpninger gjennom massene som er lagt opp på bekkekanten ved Dalsbekken øst i Slorene. For å hindre at også disse åpningene tilslammes pånytt og for ytterligere å forbedre vanngjennomstrømningen bør mer av vollen fjernes. Åpninger (ned til naturlig bakkenivå i våtmarken) i minimum 10 meters bredde vil kunne sikre god vanngjennomstrømning i flomperioder også på lenger sikt.	*Som beskrevet tidligere i denne rapporten er det anbefalt det å fjerne eller redusere denne vollen slik at vannet for mer plass under flom. Dette tiltak vil redusere vannhøyden ved Steinhvelvsbrua under flom og samtidig sørge for en bedre vanngjennomstrømning av våtmarksområdet. Effekten på vannstanden i området er imidlertid liten og er avhengig av nedstrøms forhold ved flomtidspunkt.*

Flompassasjer forbi Steinhvelvsbrua Steinhvelvsbrua virker ikke helt dimensjonert for å ta unna vann i Dalsbekken i flomsituasjoner. For å unngå skader på brufundamentene uten å gjøre tiltak og inngrep i våtmarken nedstrøms eller i bekken oppstrøms bør en gjøre tiltak ved selve brua for å ta unna vannet akkurat her. Det kan vurderes å legge to rør under turveien, et på hver side av brua. For å få plass til rørene og for å få disse i riktig høyde må turveien eventuelt heves noe.	*Som vist i denne rapporten er Steinhvelvsbrua ikke tilstrekkelig dimensjonert for å ta unna vann i Dalsbekken i flomsituasjoner fra middelflom, QM, og oppover. Mulige tiltak som kan utføres ved broen er beskrevet i kapittel 9 i denne rapporten.*
Sedimentasjonsbasseng ved Steinhvelvsbrua Det kan vurderes å anlegge et sedimenteringsbasseng (fangdam) oppstrøms for Steinhvelvsbrua for å hindre næringstilførsel og sedimenter som kan skade brua. Dette vil også hindre tap av matjord, som kan hentes opp av fangdammen.	*Deler av den trange kanalen mellom pumpestasjon og broen kan om ønskelig omgjøres til et sedimenteringsbasseng. Men på grunn av terrenget og for å unngå skader på pumpehuset under flom er dette en forholdsvis ugunstig plassering og virkningen under en flomsituasjon anses å være minimal. I et stort vassdrag som dette er behovet for volum og areal stort hvis det skal lages et sedimentasjons-/fordrøynings-basseng som skal ha vesentlig virkning* *Mesteparten av sedimentene samles per i dag i den flate sørlige delen av den vurderte delstrekning. Sedimentene fra landbruksområdet oppstrøms Dalsbekken sørger for at bekkebunnen i dette området heves over tid og vannstanden økes.* *Det burde derfor etableres sedimentasjons-bassenger i nærheten av kilden, i dette tilfelle ved mindre bekker som renner gjennom landbruks-arealer inn til Dalsbekken.* *Denne type tiltak er kort beskrevet i denne rapporten i kapittel 9.*
Terskel i Dalsbekken Et annet tiltak som evt. kan vurderes på sikt er å etablere en terskel i Dalsbekken nedstrøms Vineberg-slora som hever vannstanden i våtmarksområdet. Dette vil kunne gi en jevnere mating av grunnvanns-nivået i de øvre deler av flatene. Terskelen kan bygges som en steinsatt terskel med en tett membran, eller ved å presse ned en stålplate til frostsikker dybde på tvers i elveløpet.	*En slik terskel vil heve vannstanden i våtmarks-området. I tillegg vil det føre til at vannet stuves noe opp under flom. Dette vil ikke påvirke forholdene ved Steinhvelvsbrua så sant ikke terskelen settes veldig høyt (> kote 41,5).*

11 Oppsummering

Flomberegninger har vist at turveien er utsatt for oversvømmelse allerede under mindre flommer. Sesongmessige flommer på så lavt som > 2,5 m^3/s vil gi sporadisk stengte strekninger av turveien.

For å unngå oversvømmelse av turveien på den øvre sørlige strekningen anbefales det derfor å heve den med ca. 1 m til kote 47.5 for å være sikret imot flomstørrelser opp mot en 20-årsflom (Q20). Heves den ytterligere 25 cm til kote 47,75 vil veien i hovedtrekk være sikret opp mot 200-årsflommen (Q200).

Beregninger viser at Steinhvelvsbrua ikke er dimensjonert til å håndtere vannmengder selv fra mindre flomhendelser med en kulminasjonsvannføring på mer enn 2.5 m^3/s. Vannføringer over dette vil overtoppe veibanen på en eller begge sider av broen. Rapporten gir noen forslag til hvordan tiltak ved broen kan gjøres slik at den i større grad kan tåle flom og at turveien ikke blir oversvømt.

Pumpestasjon som ligger oppstrøms Steinhvelvsbrua er også svært utsatt for flom og vannføringer over ca. 10 m^3/s, noe under QM, vil ved økende flomstørrelser renne forbi pumpestasjonen på dens høyre side og ned veien et stykke før den renner tilbake inn i elveløpet.

Det er også foretatt vannlinjeberegninger hvor både pumpestasjonen og Steinhvelvsbrua er tatt ut av modellen. Dette har positiv innvirkning og vil senke vannstanden rett oppstrøms både pumpestasjonen og broa, men vil ikke hindre flomvannføring i å overtoppe turstien ved Steinhvelvsbrua uten andre tiltak.

Flomberegningene og vannstandsberegningene i denne rapporten tar hensyn til vannstandsregulering i Gjersjøen i tillegg til fordelt avløp og sammenfallende flomhendelser i Sætrebekken og Greverudbekken som renner inn i Dalsbekken/Vinebergslora/Slorene nedstrøms Steinhvelvsbrua.

Når det oppstår flom i Dalsbekken er det meget stor sannsynlighet for at det også er høy vannføring i disse andre tilløpsbekken. Dette gir økt vannstand i Vinebergslora/Slorene men vannlinjeberegningene viser at dette ikke påvirker vannstanden ved Steinhvelvsbrua før ved helt ekstreme vannstander >Q200.

Vurdering av tiltakene beskrevet i kapittel 7.1. i Biofokusrapporten 2018-16 viser at noen av disse kan føre til økning av vannstand lokalt i Vinebergslora/Slorene under flom. Disse tiltakene er heving av vannstanden i Gjersjøen, tetting av grøft ved Vinebergslora og en terskel i Dalsbekken.

Effekten av disse tiltakene på vannstanden under flom ved Steinhvelvsbrua har ved vannlinjeberegningene vist seg å ikke påvirke før ved helt ekstreme vannstander > Q200. Vi er enige i at tiltaket med å fjerne jordvollen vil hjelpe med å senke vannstand under flom, men dette vil kunne være marginalt og er svært avhengig av nedstrøms forhold.

Heving av vannstanden permanent i Gjersjøen vil oftere gi høyere flomvannstand nedstrøms Steinhvelvsbrua. Lavere vannstand i Gjersjøen vil gi større gradient i dalsbekken fra Steinhvelvsbrua og nedover og vil gi noe bedre kapasitet i flomsituasjoner. Effekten vil imidlertid være begrenset til perioder hvor det oppstår flom i sidebekkene mens det fortsatt er lav vannstand i Gjersjøen.

Oppstuvning og påvirkning av vegetasjon i og langs bekkeløpet er beskrevet og beregnet i rapporten. Effekten av tett vegetasjon i motsetning til mindre ru forhold i bekkeløpet er beregnet til å ha en effekt på vannstanden i de øvre deler av den vurderte strekningen av Dalsbekken på opp mot 20 cm. Høyde på turveien i dag og flom-forholdene i området viser imidlertid at veien overtoppes allikevel ved relativt hyppige flomhendelser med lave gjentaksintervall.

Det er imidlertid god erfaring på at rydding og vedlikehold langs bekkeløp generelt hindrer oppstuvning og reduserer vannstanden. Dette må imidlertid veies opp mot ønsket effekt på fordrøyning og mulig lavere flomtopp lenger nedstrøms. Effekten av slike tiltak på denne bekkestrekningen er imidlertid svært beskjeden.

12 Referanser og litteratur

Biofokus 2018. Slorene våtmarksområde, Akershus – grunnlag for skjøtselsplan. Biofokusrapport 2018- 16.

Chow, V.T., 1959, Open-channel hydraulics.

Fergus et.al. 2010 Vassdragshåndboka. Håndbok i vassdragsteknikk.

Førland, E.J., Mamen, J., Dyrrdal, A.V., Grinde, L. og Myrabø, S., 2015: Dimensjonerende korttidsnedbør. MET rapport 24-2015 / NVE rapport nr 134-2015.

Glad, P.A., Reitan, T. og Stenius, S. 2015 Nasjonalt formelverk for flomberegning i små nedbørfelt. Revisjon av rapport 62-2014. NVE rapport 13/2015.

Hanssen-Bauer I., E. J. Førland, I. Haddeland, H. Hisdal, S. Mayer, A. Nesje, J.E.Ø. Nilsen, S. Sandven, A.S. Sandø, A. Sorteberg og B. Ådlandsvik (2015): Klima i Norge 2100.

Lawrence, D. 2016 Klimaendring og framtidige flommer i Norge. Rapport NVE 81/2016.

Lindholm, Oddvar, et al. 2008. Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering, Norsk Vann Rapport 162/2008.

NCCS 2019 Klimapåslag for korttidsnedbør, anbefalte verdier for Norge. Rapport 5/2019.

NVE 2011 Retningslinjer for flomberegninger. NVE Retningslinjer 04/2011.

NVE 2014. Aktive vannføringsstasjoner i Norge. Rapport nr. 71 - 2014

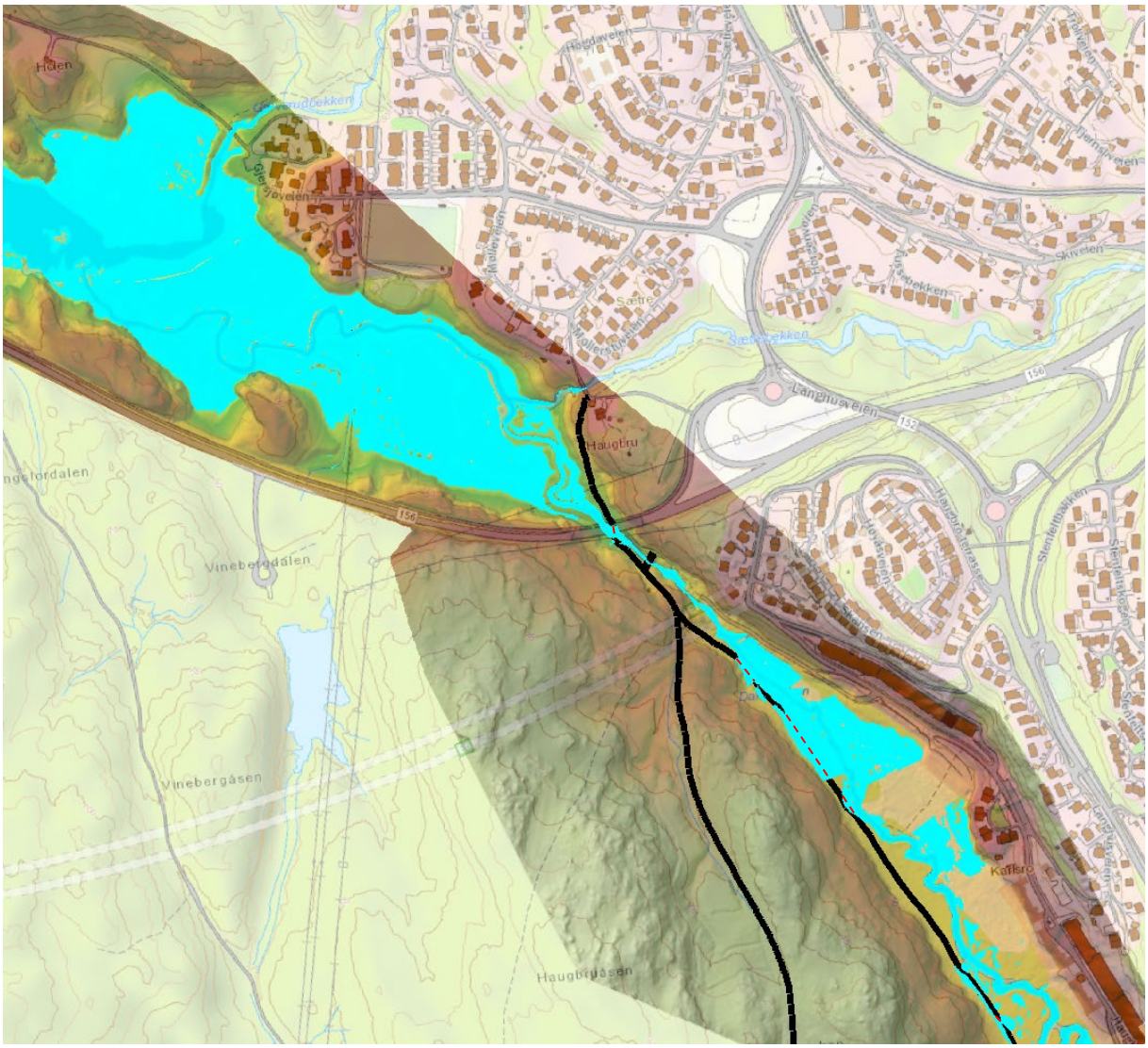
Statens vegvesen 2018 *Vegbygging.* Håndbok N200.

Terratec 2014 Laserdata Follo 5Pkt LACHOA41.

Ødemark, K., Førland, E., Mamen, J., Elo, C.A., Dyrdal, A.V. og Myrabø, S. 2012 Ekstrem korttidsnedbør på Østlandet fra pluviometer og radar data. Met.no 14/2012.

13 Vedlegg

Vedlegg 1 Flomsonekart – Initialvannstand i Gjersjøen på kote 40,8



Figur 32 Flomsonekart for sesongflom (Qvår). Turvei i sort, stiplet rød der den er oversvømmet.

Figur 33 Flomsonekart for middelflom (QM). Turvei i sort, stiplet rød der den er oversvømmet.

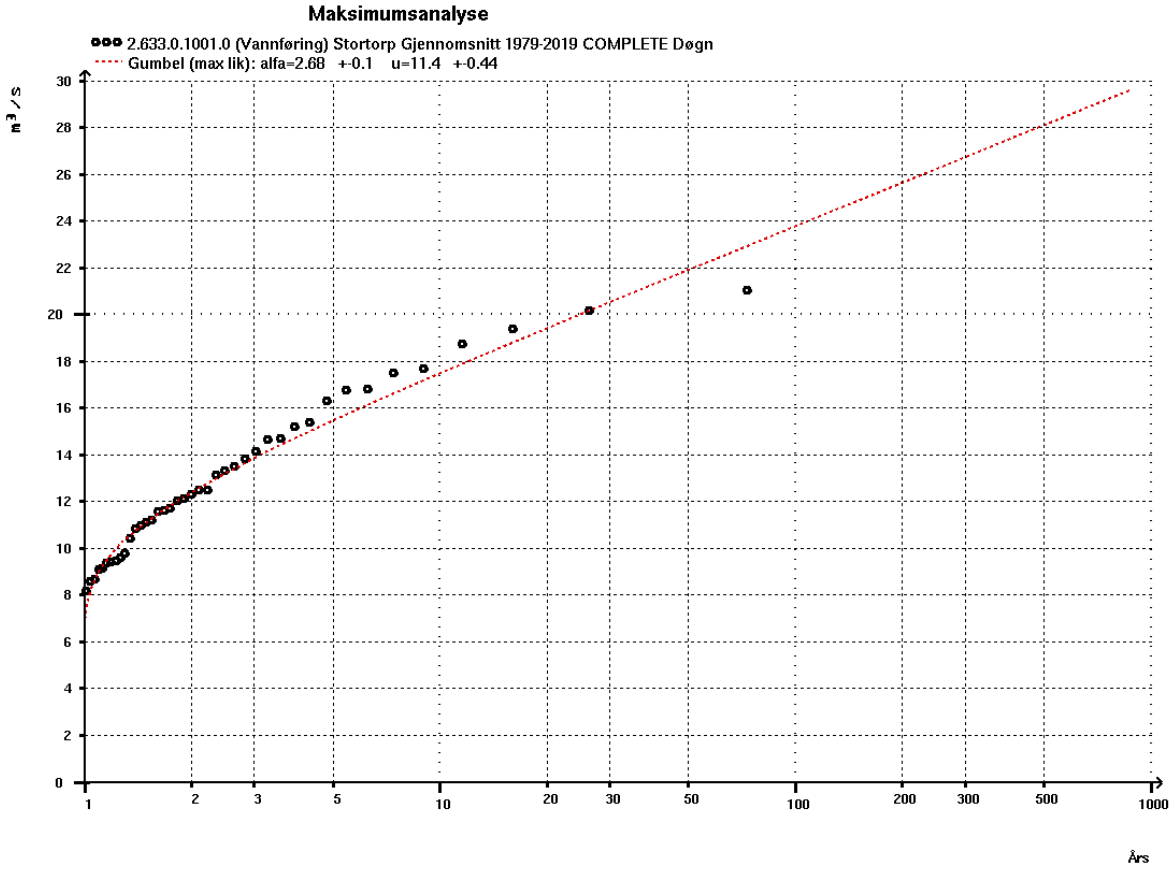
Figur 34 Flomsonekart for 5-årsflom (Q5). Turvei i sort, stiplet rød der den er oversvømmet.

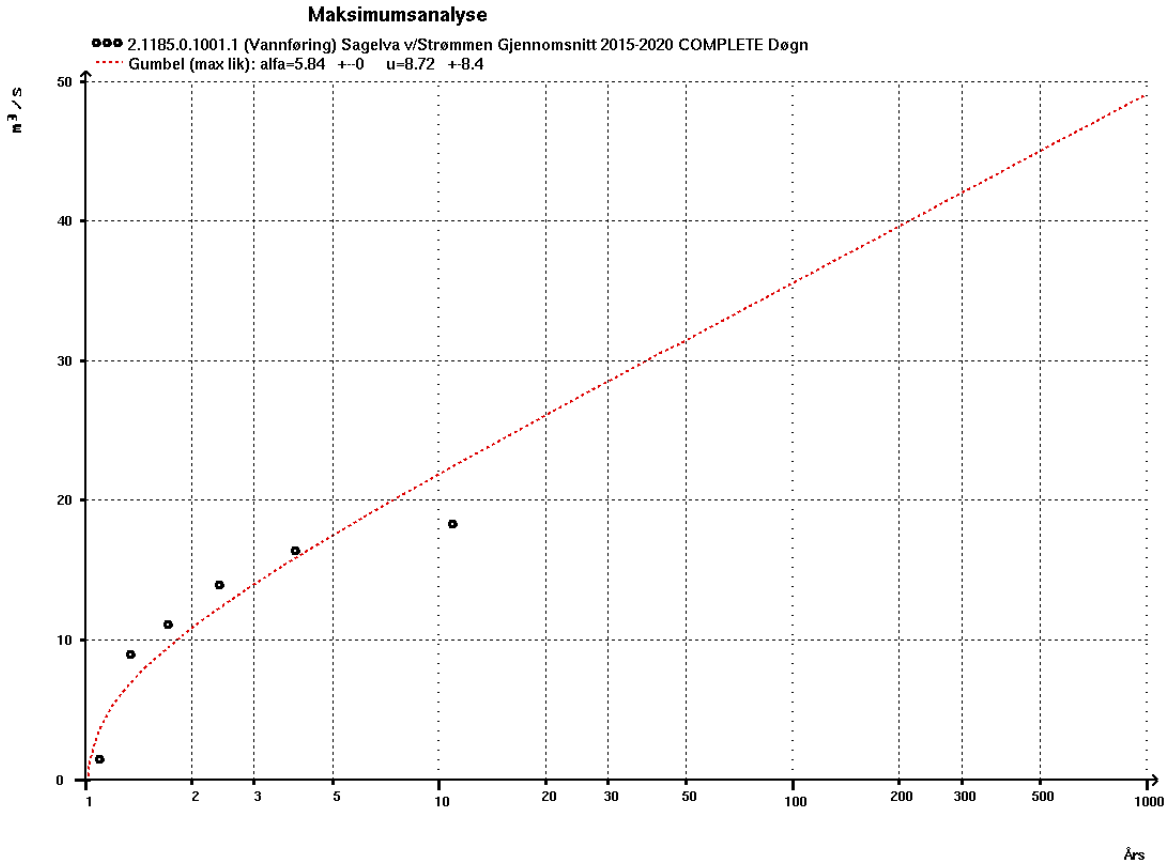
Figur 35 Flomsonekart for 10-års flom (Q10). Turvei i sort, stiplet rød der den er oversvømmet.

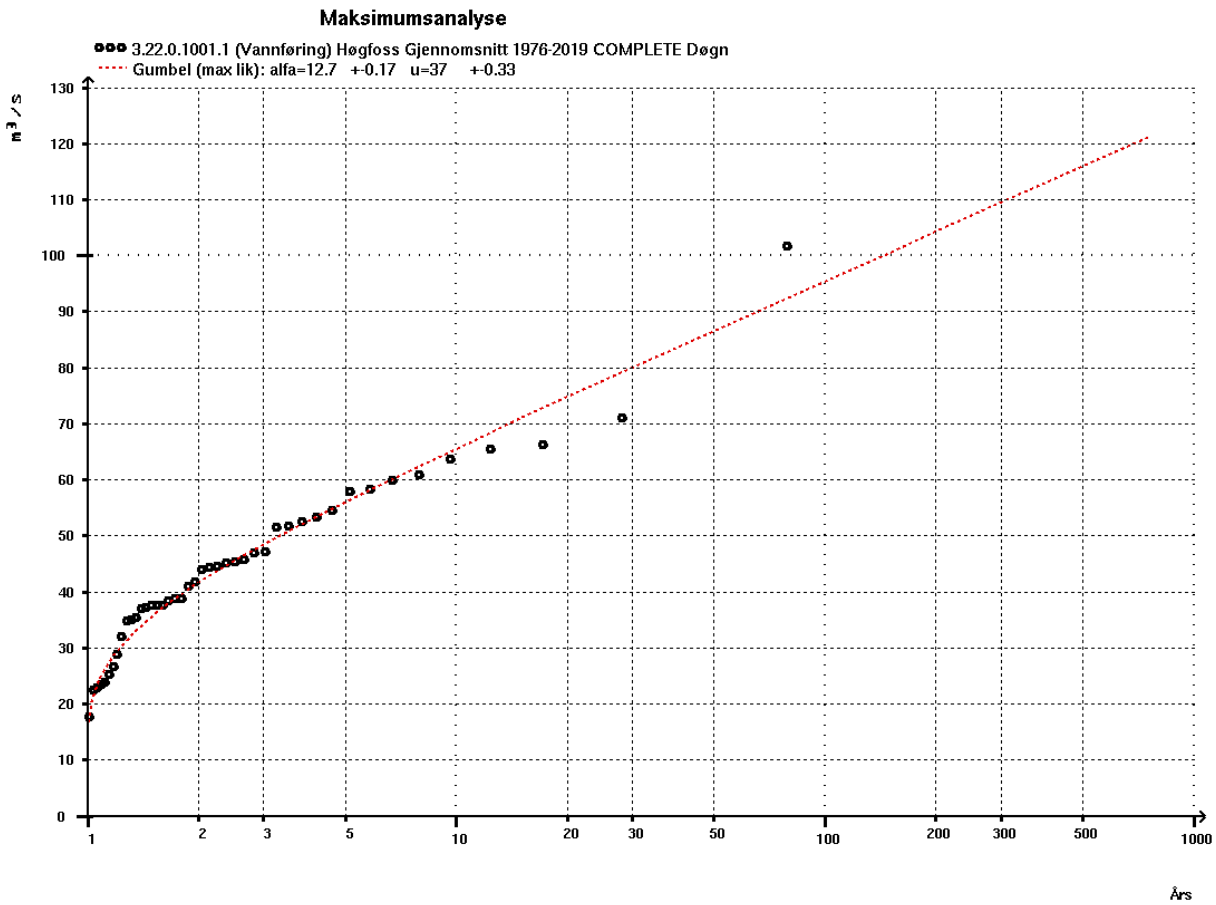
Figur 36 Flomsonekart for 20-årsflom (Q20). Turvei i sort, stiplet rød der den er oversvømmet.

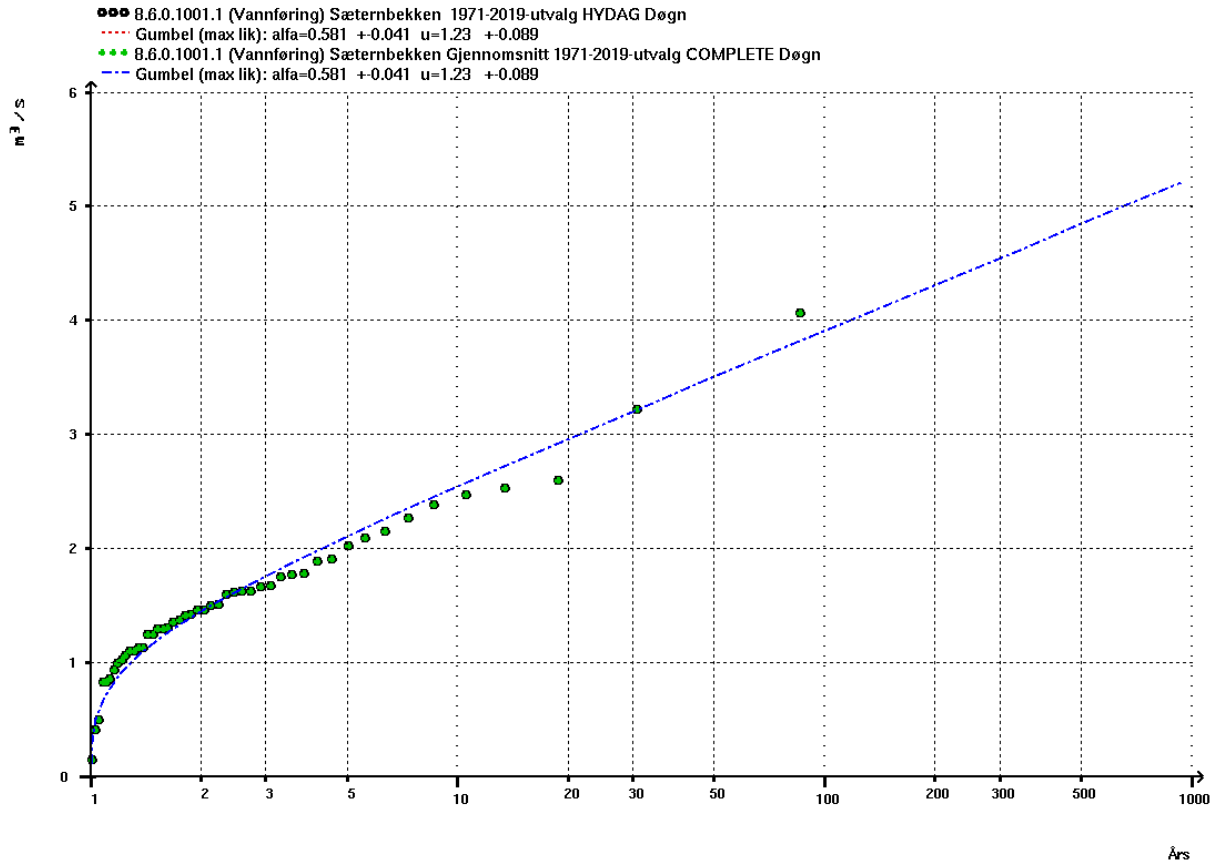
Figur 37 Flomsonekart for 200-årsflom (Q200). Turvei i sort, stiplet rød der den er oversvømmet.

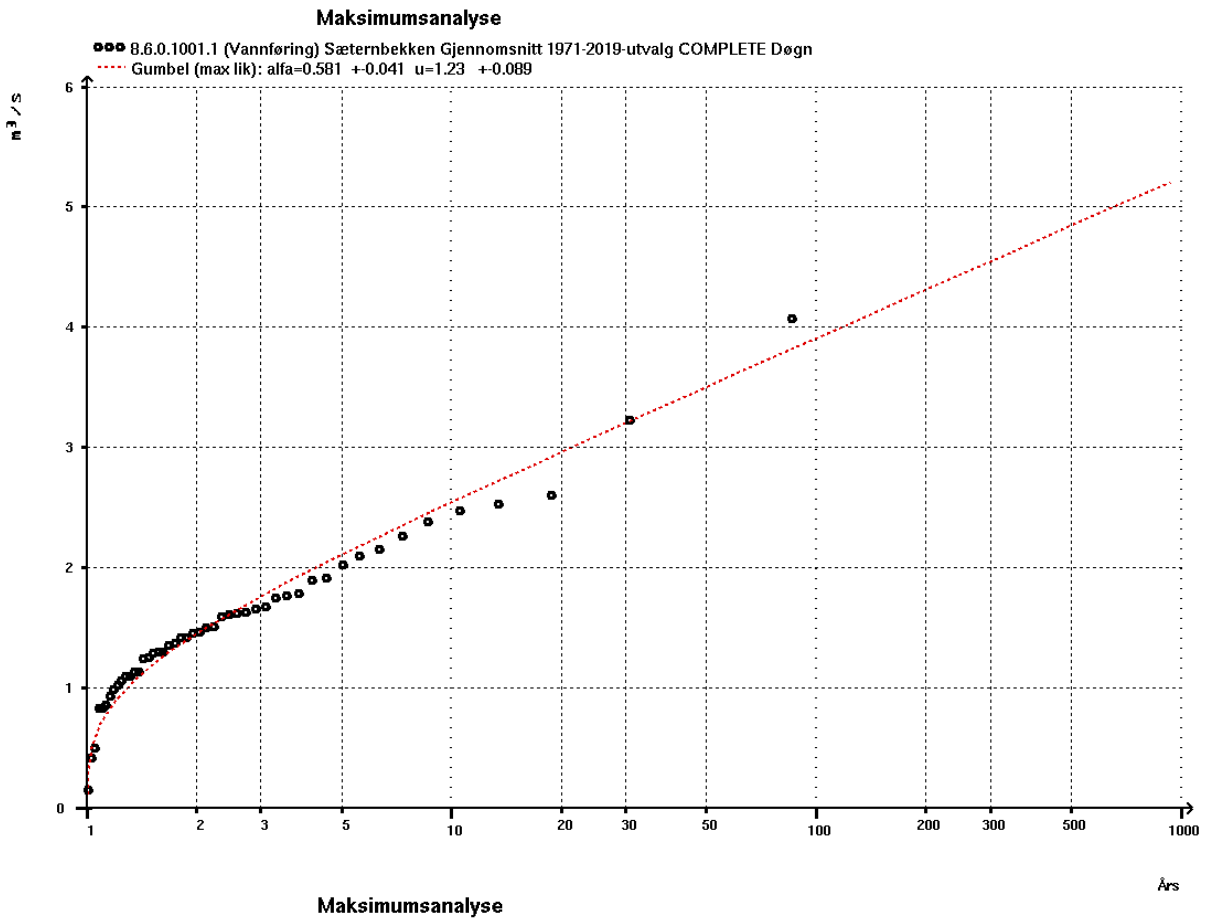
Vedlegg 2 Flomfrekvensanalyse

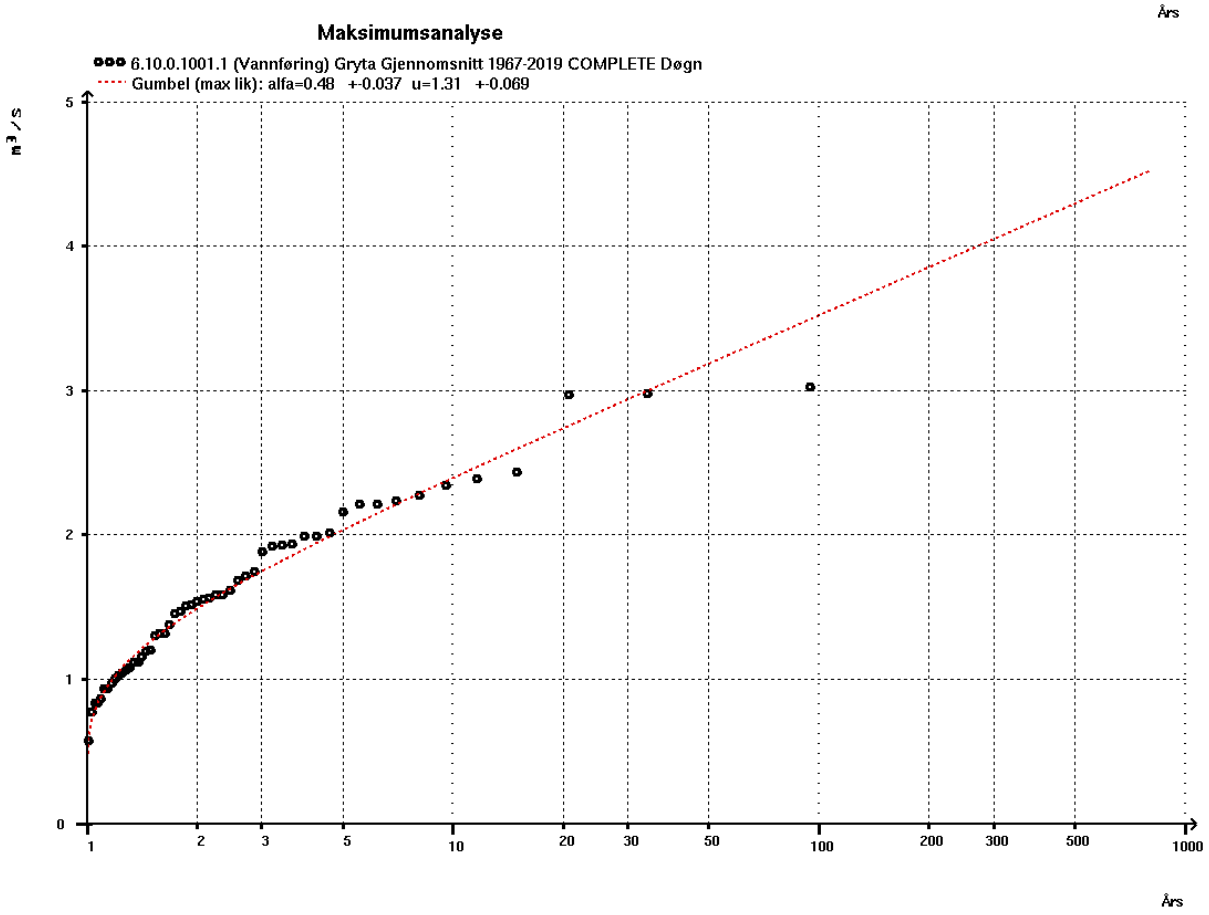


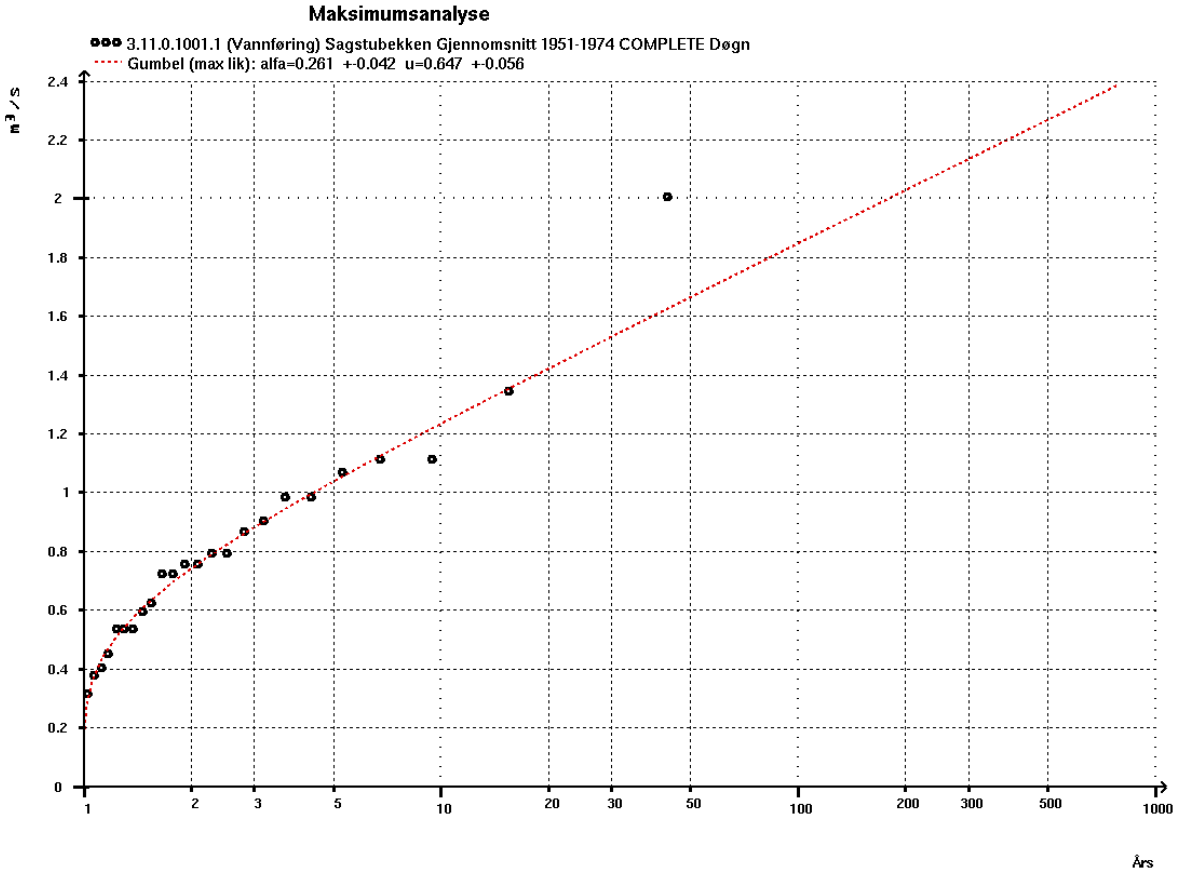
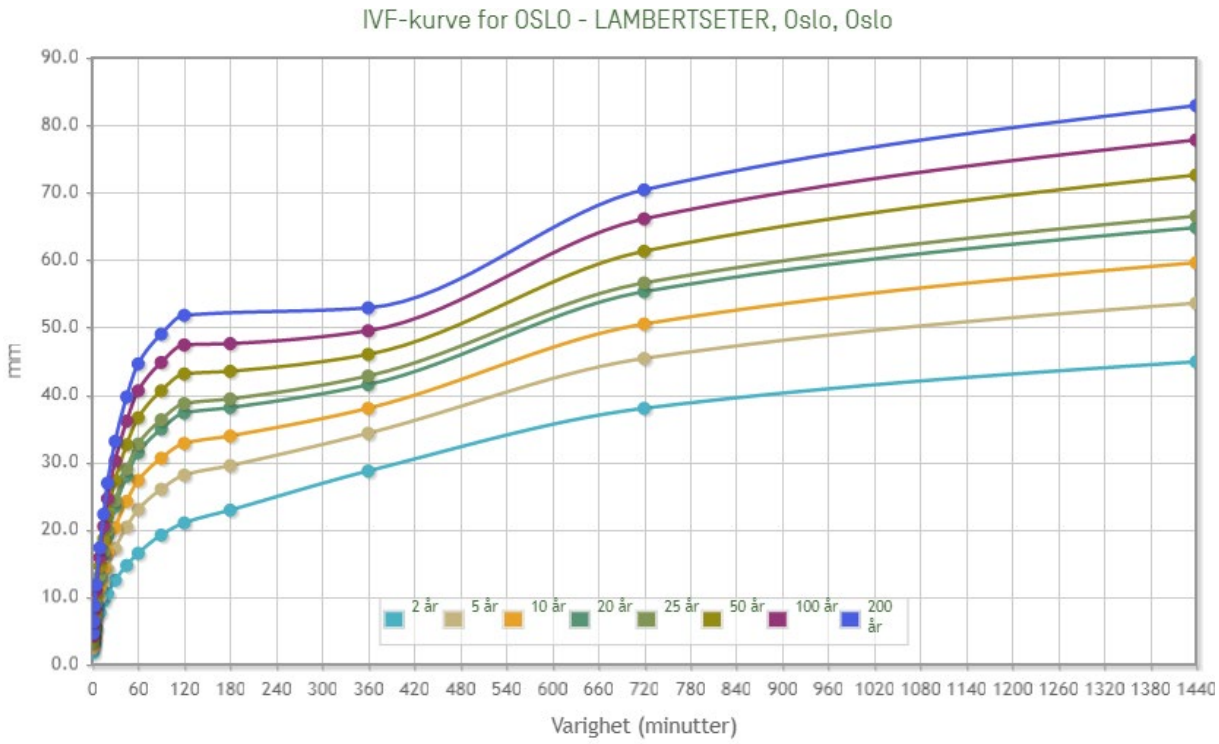
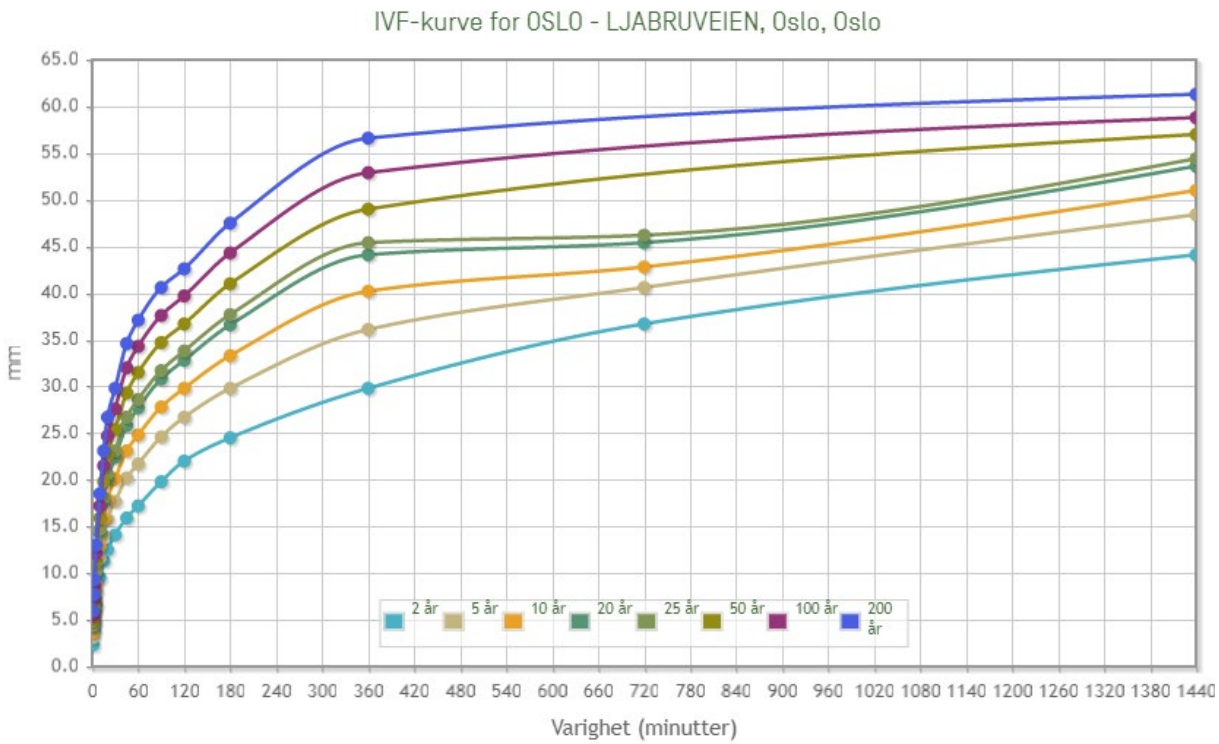



Maksimumsanalyse
3.22.0.1001.1 (Vannføring) Høgfoss Gjennomsnitt 1976-2019 COMPLETE Døgn
Gumbel (max lik): alfa=12.7 +-0.17 u=37 +-0.33
m³/s
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130
1
2
3
5
10
20
30
50
100
200
300
500
1000
Års


8.6.0.1001.1 (Vannføring) Sæternbekken 1971-2019-utvalg HYDAG Døgn
Gumbel (max lik): alfa=0.581 +-0.041 u=1.23 +-0.089
8.6.0.1001.1 (Vannføring) Sæternbekken Gjennomsnitt 1971-2019-utvalg COMPLETE Døgn
Gumbel (max lik): alfa=0.581 +-0.041 u=1.23 +-0.089
m³/s
0
1
2
3
4
5
6
1
2
3
5
10
20
30
50
100
200
300
500
1000
Års


Maksimumsanalyse
8.6.0.1001.1 (Vannføring) Sæternbekken Gjennomsnitt 1971-2019-utvalg COMPLETE Døgn
Gumbel (max lik): alfa=0.581 +-0.041 u=1.23 +-0.089
m³/s
0
1
2
3
4
5
6
1
2
3
5
10
20
30
50
100
200
300
500
1000
Års


Maksimumsanalyse
6.10.0.1001.1 (Vannføring) Gryta Gjennomsnitt 1967-2019 COMPLETE Døgn
Gumbel (max lik): alfa=0.48 +-0.037 u=1.31 +-0.069
m³/s
0
1
2
3
4
5
1
2
3
5
10
20
30
50
100
200
300
500
1000
Års


Maksimumsanalyse
3.11.0.1001.1 (Vannføring) Sagstubekken Gjennomsnitt 1951-1974 COMPLETE Døgn
Gumbel (max lik): alfa=0.261 +-0.042 u=0.647 +-0.056
m³/s
2.4
2.2
2
1.8
1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
1
2
3
5
10
20
30
50
100
200
300
500
1000
Års

Vedlegg 3 IVF kurver