

Nr 23/2019

Tunna flomverk ovenfor Riksvegen (VV 6354), Tynset kommune

.....

Status og vurdering av behovet for oppgradering

*Jon Magnus Amundsen, Rasmus Liebig-Andersen, Bridget Rønning,
Thea Caroline Wang, Arnt Bugten, Robin Wood*



Ekstern rapport nr 23-2019

Tunna flomverk ovenfor Riksvegen (VV 6354), Tynset kommune

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Forfatter: Jon Magnus Amundsen, Rasmus Liebig-Andersen, Bridget Rønning,
Thea Caroline Wang, Arnt Bugten, Robin Wood

Trykk: NVEs hustrykkeri

Forsidefoto: Multiconsult

ISBN: 978-82-410-1857-2

Sammendrag: Multiconsult har på oppdrag for NVE kartlagt status, og vurdert behovet for oppgradering, for 32 flomverk i 16 kommuner i Akershus, Hedmark, Oppland og Oslo. Arbeidet ble utført i 2018. Denne rapporten inneholder resultater fra Tunna flomverk ovenfor Riksvegen i Tynset kommune. Flomverket består av 2 parseller, som til sammen er ca. 700 m. Det beskytter et område på ca. 21 daa, hvorav 19 daa er fulldyrket jord. Det er stedvis registrert undergraving mot elven.

Emneord: Flomverk, Tynset kommune

Norges vassdrags- og energidirektorat
Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstua
0301 OSLO

Telefon: 22 95 95 95
Epost: nve@nve.no
Internett: www.nve.no

Forord

Langs de store hovedvassdragene på Østlandet ble det i tidsperioden 1960-1990 bygd omfattende flomsikringsanlegg for å beskytte infrastruktur, bebyggelse og landbruksarealer. Anleggene sikrer i dag svært store samfunnsverdier, men det finnes ikke fullgod oversikt over tilstanden til de fleste av dem. Anleggenes alder tilsier at det er behov for en systematisk gjennomgang, for å fremskaffe et grunnlag for mer omfattende vedlikehold og eventuell oppgradering. På bakgrunn av dette startet Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) i 2016 opp et toårig prosjekt kalt «Flomverk og pumpestasjoner i Region Øst - Status og behov for oppgradering».

Ansvar for tilsyn og vedlikehold av flomsikringsanleggene er formelt gitt til kommuner og grunneiere gjennom «Forskrift om kommunalt tilsyn med flomanlegg mv.», men erfaring har vist at dette ansvaret ivaretas i svært ulik grad. NVE har derfor tatt et ansvar for å skaffe oversikt over tilstanden på de viktigste anleggene.

Multiconsult ASA har på oppdrag for NVE gjennomført feltregistreringer på 32 flomverk i 16 kommuner sommeren 2018, og utarbeidet en rapport for hvert flomverk med tilhørende pumpestasjon. Multiconsult sin underleverandør, Xylem Water Solutions, har utført tilstandsvurderinger på 2 tilhørende pumpestasjoner. Berørte kommuner og flomverkslag har alle bidratt med viktig lokalkunnskap, og uten denne kunnskapen ville ikke registreringene latt seg gjennomføre med samme presisjon og kvalitet.

NVE vil i oppfølgingen av resultatene fra denne statuskartleggingen ha dialog med aktørene som har ansvar lokalt, og med nasjonale aktører som deltok i finansieringen da anleggene ble etablert.

Det ble også i 2017 foretatt registreringer, på henholdsvis 19 flomverk og 12 pumpestasjoner. Vi har gjennom prosjektet fått en god oversikt over tilstanden på svært mange av de store flomsikringsanleggene i Region Øst.

Oslo, januar 2019


Grethe Helgås

fung. direktør Skred- og vassdragsavdelingen


Paul Christen Røhr

regionsjef

RAPPORT

Tunna ovf. Riksvegen flomverk (VV 6354), Tynset kommune

Status og vurdering av behov for oppgradering

OPPDRAUGSGIVER

NVE

EMNE

Flomverk og pumpestasjoner i Region Øst;
status og behov for oppgradering.

Tiltaksnummer 6354

DATO / REVISJON: 19. okt. 2018/ 00

DOKUMENTKODE: 130615-RiEn-RAP-035



Multiconsult

Denne rapporten er utarbeidet av Multiconsult i egen regi eller på oppdrag fra kunde. Kundens rettigheter til rapporten er regulert i oppdragsavtalen. Tredjepart har ikke rett til å anvende rapporten eller deler av denne uten Multiconsults skriftlige samtykke.

Multiconsult har intet ansvar dersom rapporten eller deler av denne brukes til andre formål, på annen måte eller av andre enn det Multiconsult skriftlig har avtalt eller samtykket til. Deler av rapportens innhold er i tillegg beskyttet av opphavsrett. Kopiering, distribusjon, endring, bearbeidelse eller annen bruk av rapporten kan ikke skje uten avtale med Multiconsult eller eventuell annen opphavsrettshaver.

RAPPORT

OPPDAG	Flomverk og pumpestasjoner i Region Øst; status og behov for oppgradering	DOKUMENTKODE	130615-RiEn-RAP-035
EMNE	Tunna ovf. Riksvegen flomverk	TILGJENGELIGHET	Åpen
OPPDRAAGSGIVER	NVE	OPPDRAAGSLEDER	Thea Caroline Wang
KONTAKTPERSON	Grete Hedemann Aalstad	UTARBEIDET AV	Jon Magnus Amundsen Rasmus Liebig-Andersen Bridget Rønning Thea Caroline Wang Arnt Bugten Robin Wood
		ANSVARLIG ENHET	1087 Oslo Hydrologi

SAMMENDRAG

Multiconsult har på oppdrag for NVE kartlagt status, og vurdert behovet for oppgradering, for 34 flomverk i 17 kommuner i Akershus, Hedmark, Oppland og Oslo. Arbeidet ble utført i 2018.

Denne rapporten inneholder resultater fra Tunna ovf. Riksvegen flomverk i Tynset kommune.

Flomverket består av 2 parseller, som samlet utgjør ca. 700 m, og beskytter et område på ca. 21 daa, hvorav 19 daa er fulldyrket jord.

Det er stedvis registrert undergraving mot elven.

00	19.10.2018	Rapport	AGB/TCW/JMA/BER/RA	JMA/TCW/AGB	RW
REV.	DATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET AV	KONTROLLERT AV	GODKJENT AV

INNHALDSFORTEGNELSE

Begrepsliste	5
1 Bakgrunn for prosjektet	6
2 Faktadel	7
2.1 Nøkkelinformasjon om Tunna ovf. Riksvegen flomverk	7
2.2 Teknisk oppbygning	8
2.3 Større skader, rehabiliteringer og oppgraderinger	9
2.4 Hva sikres av flomverket?	9
2.4.1 Eksisterende sikkerhetsnivå	10
2.4.2 Konsekvenser av flom for bygninger og arealer i sikringsområdet	11
2.5 Utbyggingsplaner i sikringsområdet	13
2.6 Kommunens tilsyns- og beredskapsrutiner	13
3 Feltregistreringer	14
4 Vurderinger	18
4.1 Tilsyn og beredskap	18
4.2 Teknisk tilstand	18
4.3 Anbefalt sikkerhetsnivå	19
4.4 Behov for vedlikehold og rehabilitering	19
4.5 Plassering av nødoverløp	19
5 Kostnadsoverslag	21
5.1 Kostnadsoverslag for rehabilitering av flomverket (eksisterende sikkerhetsnivå)	21
6 Referanser	22

Vedlegg 1 - Stabilitetsanalyse

Vedlegg 2 – Kart over flomverk med pel nummer

Begrepsliste

Begrep	Forklaring
Erosjon	Erosjon innebærer at partikler rives løs av vannets krefter og transporteres til et annet sted. Erosjon oppstår når det fjernes mer materiale enn det tilføres.
Hydraulisk grunnbrudd	Grunnbrudd som følge av hydrauliske krefter fra grunnvannet. Begrepet overlapper med <i>sandkoking</i> , men brukes i denne rapporten for sandkoking i et større omfang.
Høyre side	Høyre side av elven sett medstrøms.
Indre erosjon	Erosjon inne i/gjennom løsmasser som følge av strømmende vann.
Lekkasje	Her: Større vanngjennomstrømning gjennom flomvollen enn det som regnes å være naturlig. Det vil være noe vannsig gjennom de fleste flomvoller ved stor forskjell i vannstand på flomvollens vannside og luftside.
Lavpunkt	Areal som ligger lavere enn den beregnede flomvannstanden, men som ikke står i direkte forbindelse med elven.
Nødoverløp	Her: Et overløp over eller gjennom flomverket, på et forhåndsutvalgt sted, som har til hensikt å slippe vann kontrollert inn på luftsiden av flomverket.
Oppgradering	Her: Heving av sikkerhetsnivå på sikringsanlegget.
Piping	Prosess forårsaket av indre erosjon i løsmasser. Piping beskriver når en lekkasje gjennom en fylling gradvis øker som følge av at finstoff blir vasket ut og det etableres en definert lekkasjevei.
Rehabilitering	Istandsettelse/gjenoppbygging av en konstruksjon/anlegg for å opprettholde tiltenkt funksjon og sikkerhetsnivå.
Sandkoking	Sandkoking på luftsiden av flomverk skyldes erosjon av kanaler i grunnen, hvor vannet fører med seg sand. Dette er forårsaket av forskjell i grunnvannstrykk (stor hydraulisk gradient) på vann- og luftside, i tillegg til løsmassenes beskaffenhet og permeabilitet. Visuelt ligner fenomenet på vann og sand som koker. Kan medføre hydraulisk grunnbrudd.
Setninger	Her: En langsom sammensynkning av terreng som følge av mekanisk belastning eller utvasking av dypereleggende masser.
Setninger i erosjonssikring	Setninger som følge av utvasking av finstoff bak erosjonssikringen, setninger som følge av undergraving/erosjon langs tåa av erosjonssikringen eller setninger som følge av erosjon i selve erosjonssikringen.
Sikkerhetsfaktor	Her: Geoteknisk begrep som beskriver sikkerhet mot utglidninger for et gitt skjærplan.
Sprekkdannelse	Her: Sprekker i flomverket som oppstår som følge av belastninger eller setninger. Eksempler på belastninger kan være trafikklast, vanntrykk e.l.
Undergraving	Erosjon som undergraver overliggende fylling, erosjonssikring e.l.
Utglidning	Her: Utglidning av løsmasser (deler av flomvollen).
Vedlikehold	Her: Regelmessig foretak for å opprettholde sikringsanlegget i henhold til samme standard som da det ble bygget. F.eks. skjøtsel av vegetasjon.
Venstre side	Venstre side av elven sett medstrøms

1 Bakgrunn for prosjektet

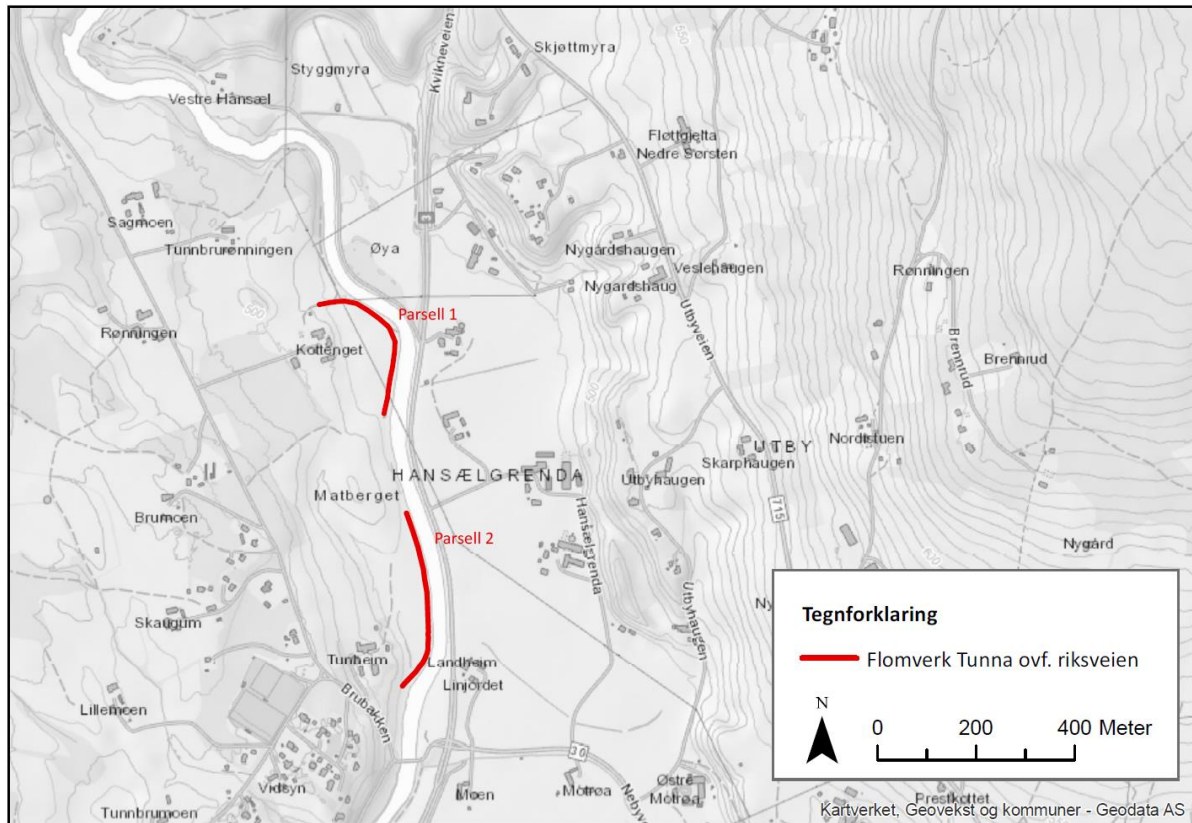
I tidsperioden 1960-2005 ble det bygget en rekke omfattende flomsikringsanlegg langs de store vassdragene på Østlandet for å beskytte infrastruktur, bebyggelse og landbruksarealer. Alderen på anleggene tilsier at både flomverk og pumpestasjoner kan ha behov for rehabilitering og oppgraderinger for å kunne opprettholde sin tiltenkte funksjon. I 2017 igangsatte derfor NVE et toårig prosjekt med formål å bistå kommunene med å framskaffe en oversikt over tilstanden til anleggene.

På oppdrag for NVE har Multiconsult systematisk gjennomgått en rekke anlegg og utført kartlegging, innmåling, tilstandsvurdering og vurdering av behov for rehabilitering eller oppgradering. Resultatet av Multiconsults arbeid danner grunnlag for å vurdere behovet for rehabiliteringer og eventuelle oppgraderinger av flomverkene.

2 Faktadel

2.1 Nøkkelinformasjon om Tunna ovf. Riksvegen flomverk

Forbygningen ved Tunna ovf. Riksvegen (VV 6354) ligger 3,5 km nordøst for Tynset sentrum i Tynset kommune. På Tunnas vestre bredd ligger det to parseller med flomvoll, som utgjør til sammen ca. 700 m. Verket beskytter jordbruksområder.



Figur 1: Oversiktskart (basert på profilmålinger)

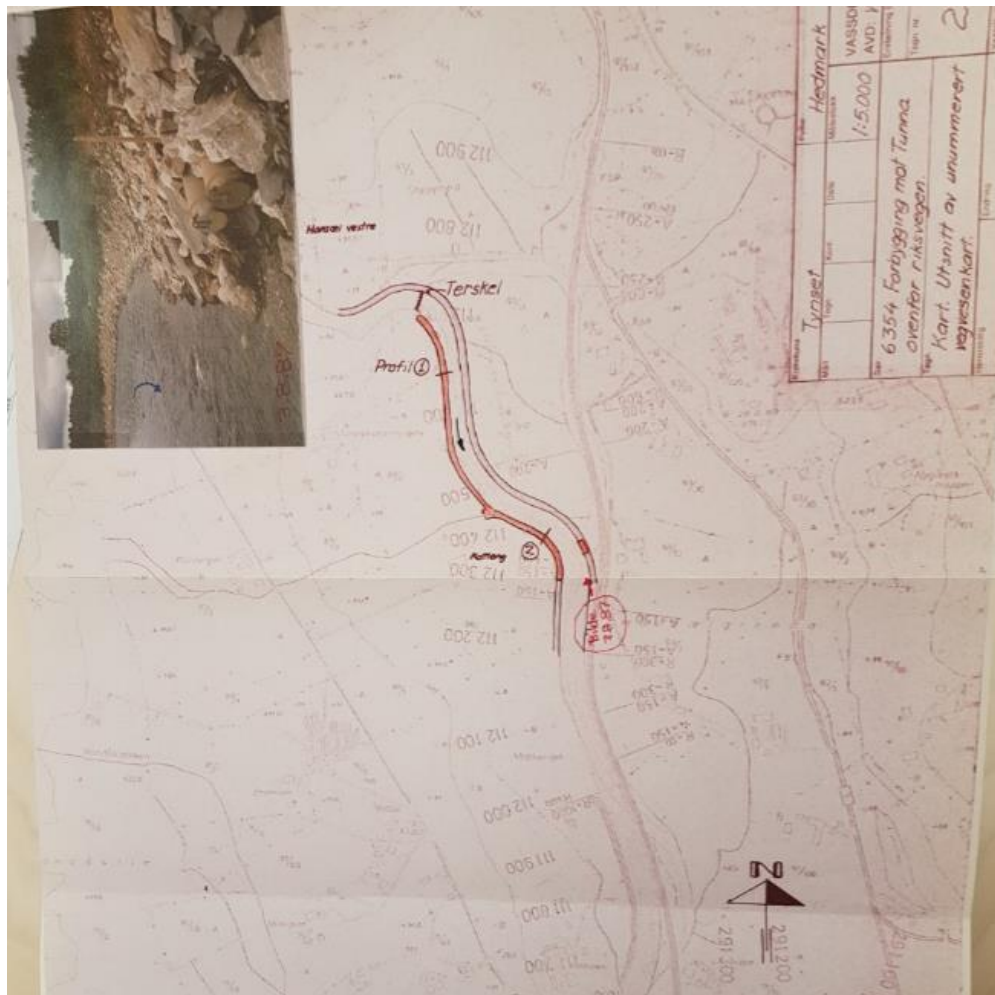
NVE utarbeidet en plan for sikringen langs elven i 1969 og tiltaket ble bygget i perioden 1973 – 1978. Tiltaket besto da av flomverk på begge sider av elven. Senere ble et østre løp av Tunna, fra Vestre Hansæl til Kottenget, stengt igjen med fyllinger i øvre og nedre ende. På østre bredd av elven oppstod det bruddskade i skråningen og den gamle flomfyllingen stod i fare. NVE planla derfor utbedringsarbeider i plan datert desember 1986. Tilleggsplanen omfattet da også forbygning av vestre bredd med sprengt stein på strekningen Vestre Hansæl til Kottenget. Det finnes lite dokumentasjon på utførelsen av arbeidet, men anlegget ble avsluttet fra NVE sin side i 1999.

I dag fremstår verket som en ren erosjonssikring på den østre bredden. På den vestre bredden er det kun erosjonssikring oppstrøms Kottenget, mens det er flomvoll ved Kottenget (parsell 1) og fra Matberget til Tunheim (parsell 2). Mellom de to parsellene er det høyereliggende terreng.

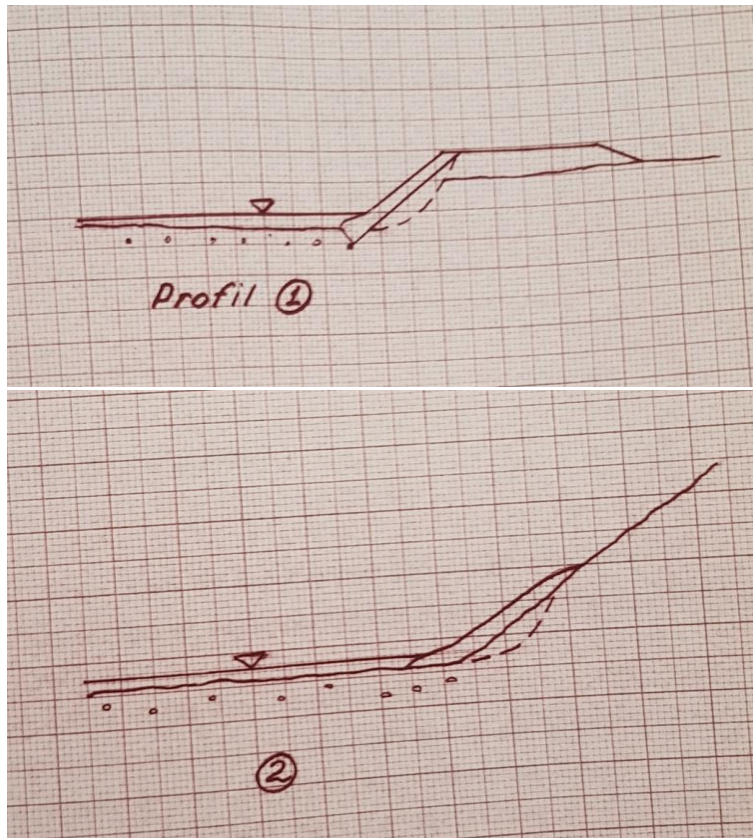
Parsell	Navn	Lengde
Parsell 1	Kottenget	340 m
Parsell 2	Matberget - Tunheim	375 m

2.2 Teknisk oppbygning

Det foreligger svært lite informasjon om oppbygningen av flomverket. Skråningshelningen på vannsiden beskrives planert ut til 1:1,5 og erosjonssikringen utført med 0,3 – 0,6 m tykt dekke sprengstein i ordnet røys.



Figur 2: Plantegninger for planlagt forbygging for Tunna ovf. Riksvegen flomverk (Tegning fra NVEs arkiv, datert 1986)



Figur 3: Prinsippskisser av planlagt forbygning. For plassering av profilene se figur 2 (Tegning fra NVEs arkiv, datert 1986).

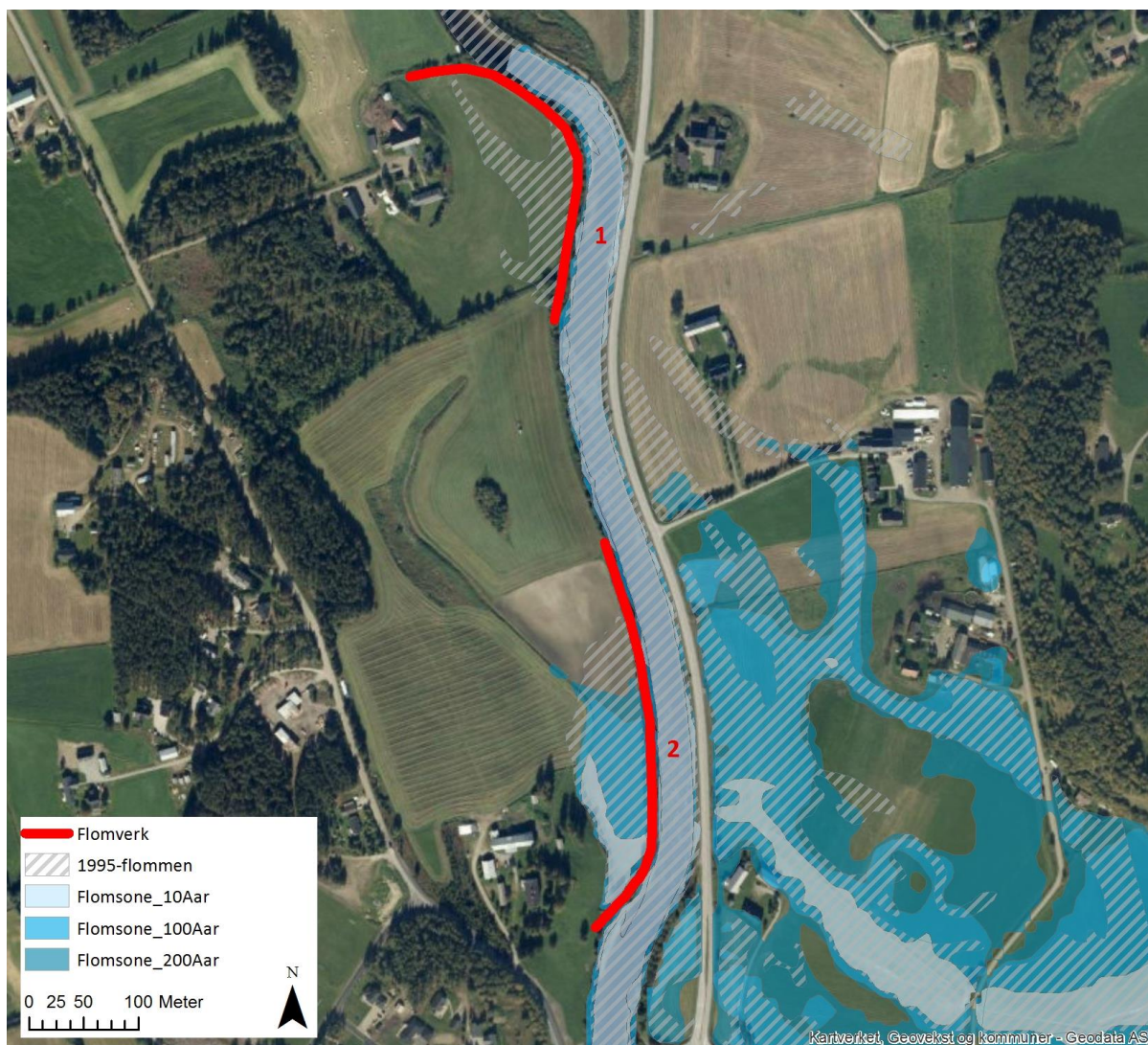
2.3 Større skader, rehabiliteringer og oppgraderinger

Etter at det opprinnelige verket ble ferdigstilt i 1978 ble et sideløp på østsiden av Tunna stengt igjen med fyllinger. Dette førte til større belastninger på flomverket og det oppsto bruddskader i forbygningen på begge sider av elven. Dette ble utbedret etter plan fra 1986 ved å forbygge vestre bredd med sprengt stein I tillegg ble ca. 20 m utrast forbygning rehabilitert på østre bredd ved Kottenget. Det finnes lite dokumentasjon på oppgraderingen/rehabiliteringen.

2.4 Hva sikres av flomverket?

Flomverket ved Tunna vises i kartet på Figur 4. Kartet viser utbredelsen av flomsone (inklusive lavpunkt) for flommer av ulike gjentaksintervall i henhold til NVEs flomsonekart¹ samt utbredelsen av flommen under flommen i 1995.

¹ Kilde: NVE 2017. Flomsone, Norges vassdrags- og energidirektorat – 12.05.2017



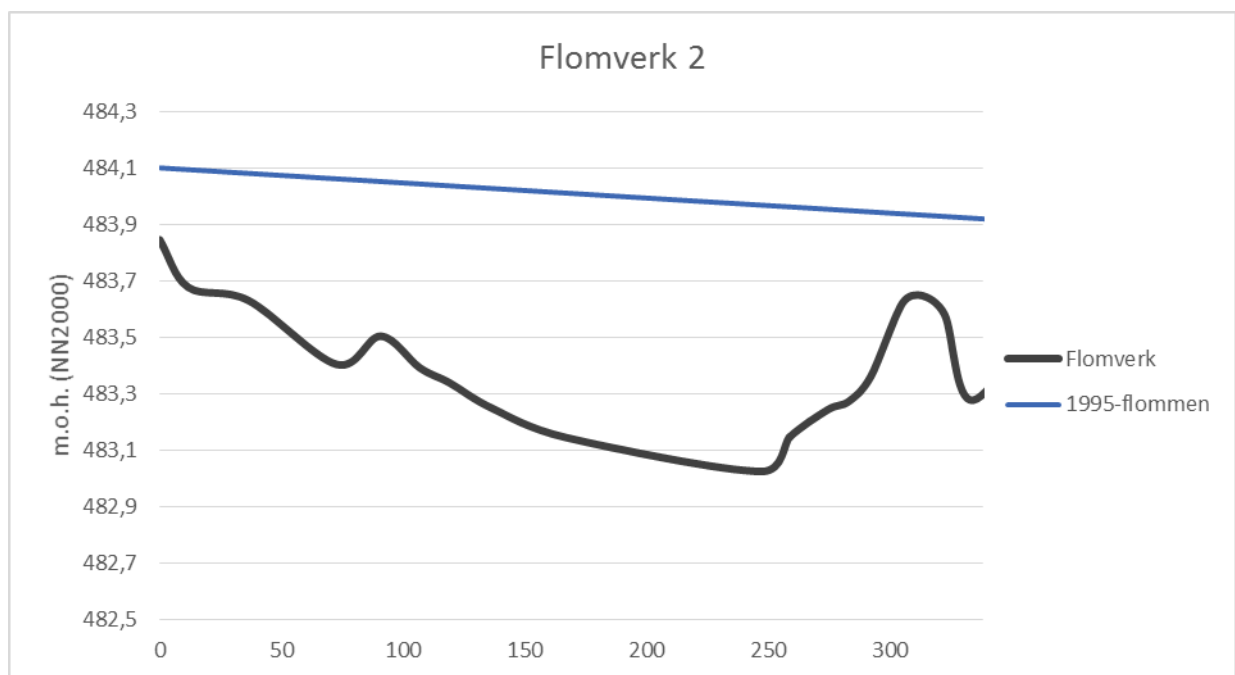
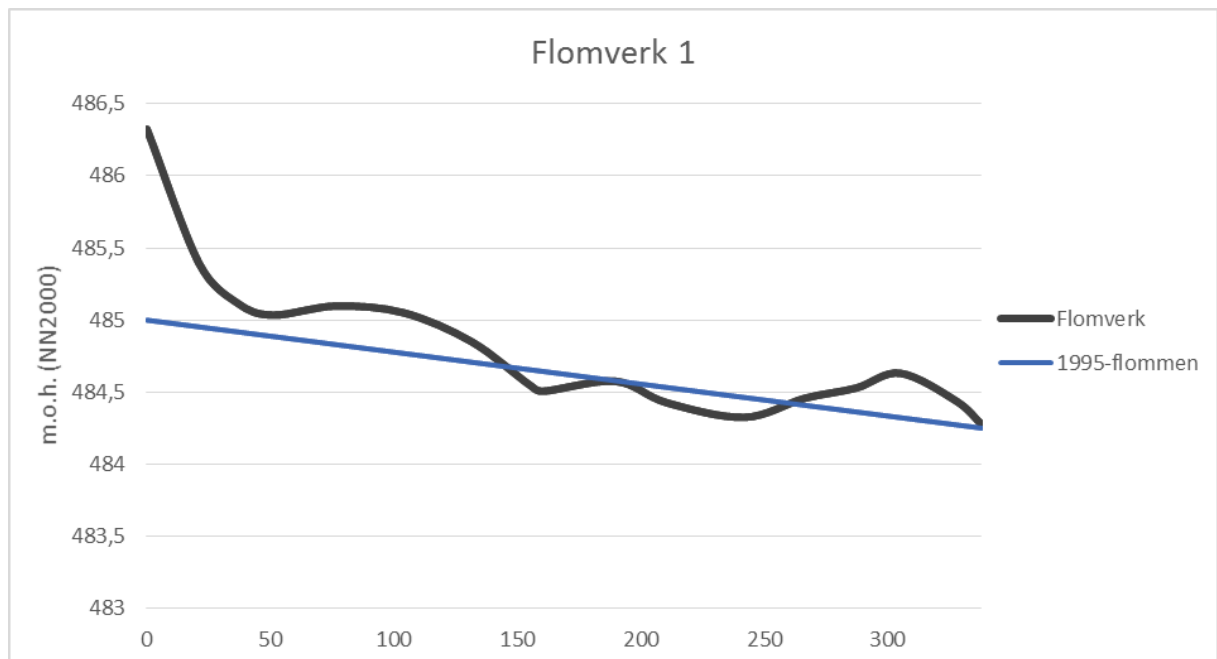
Figur 4: Kartet viser flomverket samt utbredelsen av flomsone/lavpunkt for ulike gjentakintervall i en situasjon uten sikringstiltak og flomutbredelsen under 1995 flommen (Kilde: NVE 2017). Flomsoneene er overlappende iht. tegnforklaringen. Utbredelsen av de sjeldnere, større hendelsene illustreres av de mørkere nyanser, som dekker større områder, da inkludert de lysere områdene.

NVEs flomsonekart er utarbeidet med grunnlag i terrengdata, og illustrerer både lavtliggende områder (lavpunkt) og områder med direkte flomfare. Utbredelsen av flomsoneer som vises her betyr at området *potensielt* er i fare, *dersom* det er åpning for vanninntrengen. Her er terrenget (inkludert sikringstiltak) avgjørende. Flomsonekartet for Tynset avsluttes ved Kottenget, og det finnes ikke tverrprofiler eller vannlinjeberegninger lenger oppstrøms. Flomareal fra 1995- flommen (estimert 200-års gjentakintervall for Østerdalen, NVE 1995) viser imidlertid utbredelse utover det som er gitt i NVEs flomsonekart for 200-årsflom. Flomarealet for 1995-flommen er derfor inkludert her. Denne analysen har til hensikt å vurdere eksisterende sikringstiltak og nåværende sikringsnivå samt vurdere utsatte områder.

2.4.1 Eksisterende sikkerhetsnivå

I forbindelse med befaring og vurdering av flomverket, er det foretatt innmåling av kronehøyden langs flomverket (se Figur 5). Siden NVEs flomsonekart og vannlinjeberegninger avsluttes ved Kottenget er det ikke mulig å sammenlikne høydeprofilene i flomverkenes lengderetning med

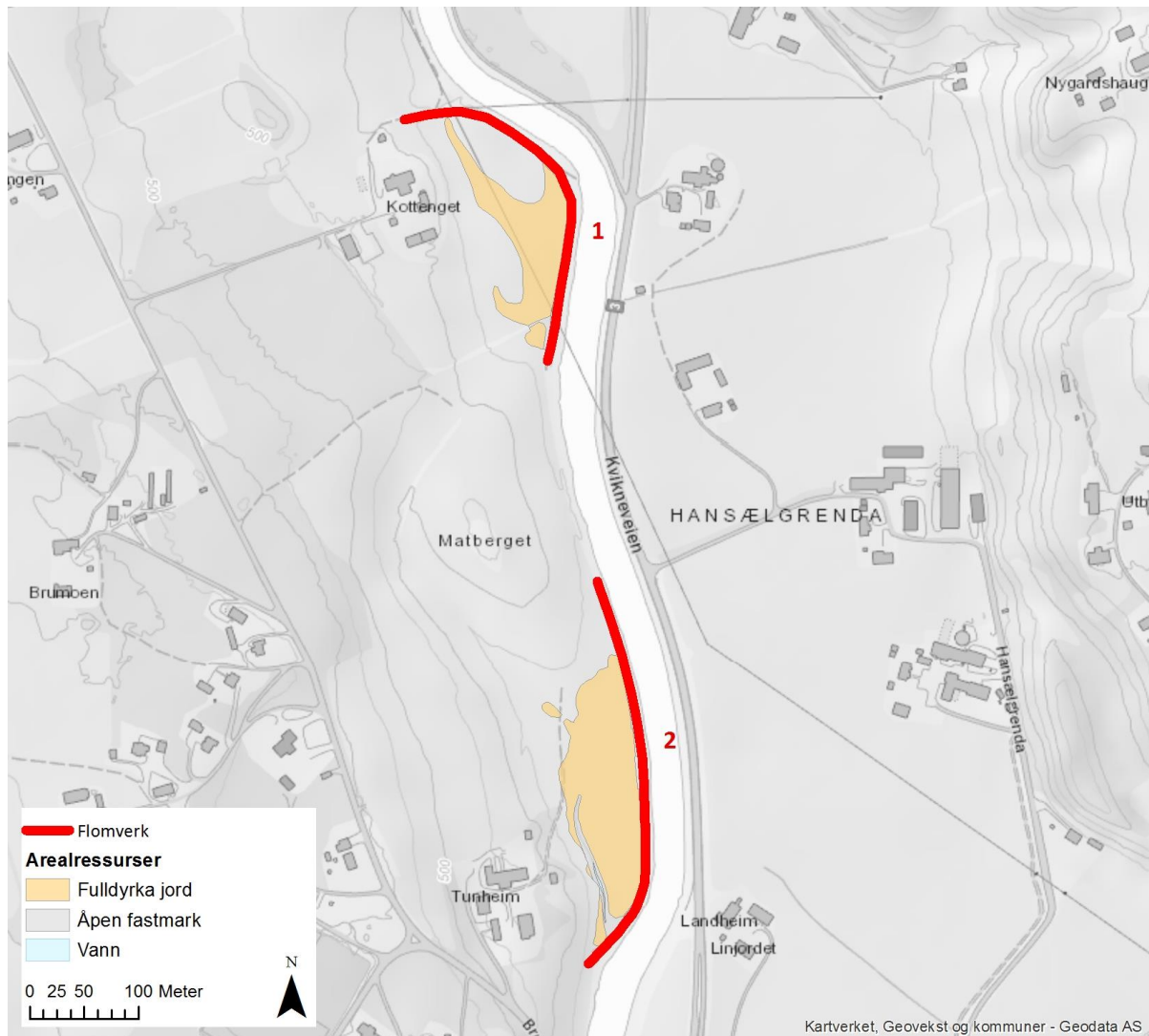
modellerte vannstander fra NVE. I stedet er flomverkernes lengdeprofiler vist sammen med omtrentlig registrerte vannstander i vassdraget under flommen i 1995.



Figur 5: Innmålte lengdeprofiler for flomverkene. Profilene vises fra oppstrøms til nedstrøms ende av flomverket, dvs. at pel nr. 0 begynner seg i oppstrøms ende.

2.4.2 Konsekvenser av flom for bygninger og arealer i sikringsområdet

Området som flomverket beskytter er analysert for samfunnsverdier. Denne analysen er utført for området til utbredelsen til en 200-års flom samt 1995-flommen (se Figur 4). Dette dekker et område på 20,9 daa. Området er analysert for eksisterende bygg (med ulike formål), arealressurser (AR5) samt viktig infrastruktur som jernbane og transmisjonsnett.



Figur 6: Analyseområdet for samfunnsverdier ved Tunna ovf. Riksvegen med arealbruk og bygningsformål.

Ingen bygg kan potensielt rammes av flom i området. Omfanget av arealer som potensielt rammes av flom er oppsummert i Tabell 1. Arealet er oppsummert innen hver arealbrukskategori samt for totalen. Arealenheten daa tilsvarer 1 000 m².

Tabell 1 – Omfanget av potensielt flomutsatte arealressurser og annen arealbruk innenfor definerte kategorier (kilde: NIBIO, 2017).

Arealbruk	Sum grunnareal [daa]
Fulldyrka jord	19,2
Åpen fastmark	1,7
Total	20,9

2.5 Utbyggingsplaner i sikringsområdet

Kommuneplanens arealdel 2015-2027 er tilgjengelig på kommunens nettside www.tynset.kommune.no. I følge kommuneplanens arealdel er områdene som sikres av flomverket kategorisert som areal for nåværende Landbruks-, natur og friluftsmål samt reindrift (LNRF-areal). Det er også satt av en kantsone for nåværende friareal langs vassdraget og deler av området ligger i hensynssone for flomfare.

Kommunen bekrefter i møte (18.06.2018) at det ikke er kjennskap til utbyggingsplaner i sikringsområdet.

2.6 Kommunens tilsyns- og beredskapsrutiner

Tilsynsrutiner

Tynset kommune har per i dag begrenset kjennskap til verket, men det foreligger en tilsynsrapport for befaring av sikringstiltaket datert august 2014. Det ble under denne befaringen registrert en mindre skade på tiltaket, men det er ikke kjent om dette har blitt fulgt opp i ettertid.

Det er i hovedsak grunneiere som besørger vedlikeholdsarbeid, som f.eks. skjøtsel av vegetasjon.

Beredskapsrutiner

Tynset kommune har utarbeidet en generell beredskapsplan som fastsetter hovedprinsippene for beredskap i kommunen. Beredskapsplanen er basert på en helhetlig risiko- og sårbarhetsanalyse for Tynset kommune som ble utarbeidet i 2016. Analyserte hendelser for kommunen omfatter blant annet ekstreme lokale nedbørmengder/flom. Ved en krisesituasjon etableres kommunal kriseledelse; kriseledelsens organisering og primære oppgaver er definert i beredskapsplanen. Kriseledelsen har en overordnet funksjon og skal som hovedregel ikke delta på skadestedet som en del av redningsberedskapen, men lede, koordinere og prioritere kommunens totale innsats og utnytte alle tilgjengelige kommunale ressurser. Videre inneholder beredskapsplanen klare retningslinjer for bruk av lokaler, samband, varsling, kommunikasjonskanaler, medie håndtering og evakuering.

Kommunen har tilgjengelige sandsekker og pumper som kan benyttes under flomsituasjoner.

3 Feltregistreringer

Det ble utført befaring på Tunna ovf. Riksvegen flomverk den 19.06.2018. Tilstede på befaringen var Thea Caroline Wang og Rasmus Liebig- Andersen. Kjell Erik Bangen fra Tynset kommune har bidratt med opplysninger.

Registrering i felt har bestått av registrering av høyde for flomvollene og funn på verkene (utglidninger, erosjon, vegetasjon, etc.). Registrering av observasjoner ble utført digitalt ved bruk av ESRI app ArcGIS Collector sammen med det GPS-baserte måleinstrumentet Leica Zeno 20.

Følgende liste er brukt for registrering i felt:

Tegn på lekkasje gjennom flomverk

1. Indre erosjon

Ytre skader på flomverk

1. Undergraving mot elven
2. Sprekkdannelser
3. Dyrehi
4. Kjørespor utenfor adkomstvei
5. Setninger
6. Utglidning

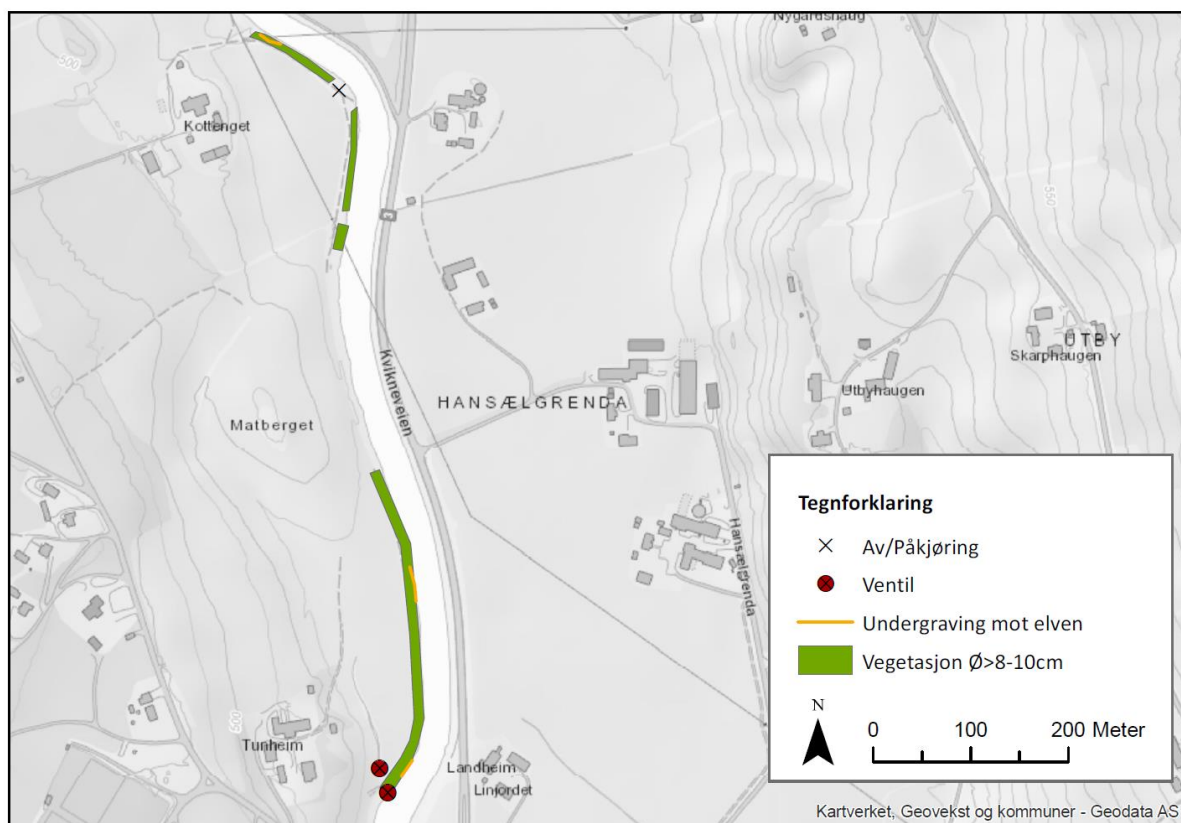
Andre registreringer på flomverk

1. Manglende framkommelighet for kjøretøy
2. Vegetasjon som har større diameter enn 8-10 cm ved roten
3. Manglende erosjonssikring

Skader på erosjonssikring

1. Steiner mangler
2. Vegetasjon som har større diameter enn 8-10 cm ved roten
3. Undergraving mot elven

En oppsummering av tilstanden på flomverket er presentert i detaljert kart med markerte observasjoner i Figur 7. Observasjonene er også levert i digitalt format som vedlegg til denne rapporten.



Figur 7: Observasjoner ved Tunna ovf. Riksvegen flomverk.

Verket består i dag av to parseller på den vestre bredden av Tunna. Parsell 1, ved Kottenget, er ca. 340 m lang, mens parsell 2 ved Tunheim er ca. 370 m. lang. Mellom de to parsellene er det høyereliggende terreng. Tilstanden på de to parsellene fremstår som relativt lik.

Begge parseller er stort sett skjøttet på luftsiden og på toppen av verket, men det er større trær og busker på vannsiden av verket stort sett langs hele strekket, se Figur 9. Parsell 2 er noe mer tilgrodd på toppen av verket. Det er ikke definert vei på toppen av vollen, men adkomst med jordbrukskjøretøy bør være mulig.

Flomverkene er erosjonssikret langs hele strekningen med stor sprengstein, se Figur 8. Det er registrert undergraving mot elven og skadet erosjonssikring flere steder, se f.eks. Figur 10.

I nedstrøms ende av parsell 2 er det registrert et rør, Ø100 mm, med tilbakeslagsventil som drenerer området på flomverkets luftsiden. Det er ansamlet noe vegetasjon ved inntaket.

Det er enkel adkomst til parsell 1 fra gården ved Kottenget, mens for nedstrøms flomverk er det adkomst via jordbruksvei fra Brubakken.



Figur 8: Erosjonssikring, ved parsell 1, ved Tunna ovf. Riksvegen. (Bilde: Multiconsult)



Figur 9: Nedstrøms ende av parsell 2, sett fra pel nr. 2-340 (Bilde: Multiconsult)



Figur 10: Skadet erosjonssikring ved parsell 1, pel nr. 1-50, se vedlegg 2 (Bilde: Multiconsult).

4 Vurderinger

4.1 Tilsyn og beredskap

Kommunen har i dag noe kjennskap til verket, og det antas at nyeste kommunale tilsyn ble gjennomført i 2014 ut i fra foreliggende tilstandsrapport. Tilsyn bør gjennomføres hvert 5. år eller i etterkant av større flomhendelser i henhold til NVEs anbefalinger for tilsyn av sikringstiltak i vassdrag.

Tynset kommune har nylig gjennomført en helhetlig ROS-analyse og kommunenes generelle beredskapsplan dekker flomsituasjoner. Kommunen har tilgjengelige sandsekker og pumper til bruk under flomsituasjoner. For optimal ressursbruk i beredskapssituasjoner anbefales at man har opprettet dialog med grunneiere som kan ha behov for dette i forbindelse med sikringstiltak på sin eiendom.

Det er lett adkomst til parsell 1 om det skulle oppstå behov for å iverksette tiltak på denne strekningen. For parsell 2 er det adkomst via jordbruksvei.

4.2 Teknisk tilstand

Vedlikehold og skjøtsel av vegetasjon på toppen og på luftsiden er generelt bra, men det er registrert større vegetasjon på store deler av verkets vannside. Mindre vegetasjon kan bidra til å hindre erosjon på verket, men det er viktig at vegetasjonen skjøttes regelmessig for å sikre at den ikke vokser seg for stor. Større vegetasjon har potensiale til å skade erosjonsbeskyttelsen og forårsake ustabilitet (spesielt hvis store trær blåses over ende). Når vegetasjonen dør og røttene råtner bort vil de etterlate hull og svake soner som er ekstra utsatt for lekkasje og piping. Vegetasjon større en 8-10 cm i diameter bør derfor fjernes. Det påpekes at dette kun gjelder vegetasjon som står på/i selve sikringsanlegget, da øvrig vegetasjon kan være verdifull kantvegetasjon for naturmiljøet. Det bør renskes ved inntaket til røret i nedstrøms ende av parsell 2.

Det er registrert flere strekk med undergraving mot elven og der erosjonssikringen er skadet. Dette ansees ikke som kritisk for flomverkets funksjon per i dag, og det er lite sannsynlig at dette vil gi fare for brudd ved de neste flomhendelser, men dersom dette får utvikle seg kan situasjonen forverres. Det anbefales derfor at dette utbedres.

Flomverkenes luftsiden har blitt vurdert gjennom en stabilitetsanalyse for et typisk flomverk, se Vedlegg 1. Skråningshelningen på luftsiden for begge flomverkene er 1:2, om mulig med noen brattere partier. Kronebredden for begge flomverkene er i størrelsesorden 3-4 m. Dette samsvarer med det typiske flomverket og stabiliteten ansees som tilstrekkelig.

Flomverkenes vannside har en bratt helning på 1:1,5. Dette er brattere enn det typiske flomverket og vi kan dermed ikke konkludere rundt sikkerhetsfaktor uten ytterligere undersøkelser. Det er også noen krappe svinger som kan gjøre elven stri forbi flomverket. Ved raskt synkende flomvannstand kan det være en risiko for at høyt poretrykk i fyllingen fører utglidninger. En mer detaljert analyse og bestemmelse av sikkerhetsfaktor vil kreve mer informasjon om flomverkets indre oppbygning.

Alle flomverk har begrenset sikkerhet ved overtopping, som inntreffer når vannstanden i elven stiger over krona på flomverket. Ved en slik overtopping vil vannmasser strømme ukontrollert over krona og nedover luftsiden på flomverket med fare for erosjon og brudd i selve flomverket. Luftsiden av flomverket har normalt ingen erosjonssikring, kun vegetasjon, noe som bare gir begrenset beskyttelse mot erosjon i tilfelle vannstrømning på luftsiden. Områder der flomverket på luftsiden ikke har vegetasjon, men kun eksponert jord, vil være spesielt utsatt i tilfelle overtopping.

En annen årsak til brudd i flomverket kan være indre erosjon, som følge av:

- Erosjon langs rør gjennom flomverkene
- Hydraulisk grunnbrudd (sandkoking)
- Utvasking langs kanaler i grunnen. Disse kan ha stor permeabilitet, og oppstår gjerne i forbindelse med gamle elveleier av stein og grus
- Setninger i flomverket, der det krysser myravsetninger i gamle meanderslynger. Her kan det oppstå sprekker/kanaler med stor permeabilitet

De ovenfor nevnte årsakene til brudd kan være vanskelig å oppdage, og enkelte av dem oppstår bare under flom. Det ble ikke funnet indikasjoner på at noen av disse mulige bruddvariantene er under utvikling.

4.3 Anbefalt sikkerhetsnivå

Flomverket sikrer i dag områder klassifisert som fulldyrket mark og åpen fastmark, og det er ingen bygg i sikringsområdet. Det stilles ingen formelle krav til sikkerhetsnivå på jordbruksområder. Hvor vidt det vil være hensiktsmessig å heve flomverket ytterligere vil derfor måtte baseres på en analyse av kost/nytte-forholdet.

4.4 Behov for vedlikehold og rehabilitering

Følgende tiltak anbefales for rehabilitering av flomverkene:

- Utbedre erosjonssikring for tre strekninger (dvs. 600 m² med 10 m bredde og maks helning på 1:1,5).

4.5 Plassering av nødoverløp

Overtopping vil skje når vannstanden stiger over krona på flomverket. Ved overtopping er det fare for et ukontrollert og raskt brudd i selve flomverket, og hvis dette skjer vil det strøme en relativt stor vannføring inn i områdene på flomverkets luftsiden. Et nødoverløp er en form for overløp, lukket eller åpent, som slipper vann inn på luftsiden av flomverket. Her inkluderes også forhåndsutvalgte steder på verket som kan åpnes slik at man får en mer kontrollert strømning av vann fra vannsiden til området på luftsiden. Nødoverløp sørger for at man får etablert et vannspeil i sikringsområdet i forkant av et eventuelt brudd. Dette vil redusere strømningshastigheten i området og stabilisere flomverket mot erosjon, utglidninger og grunnvannsstrømmer under verket.

Det vil alltid være en fare for overtopping av flommer som er større enn det flomverket er dimensjonert for, men et nødoverløp kan både redusere muligheten for at flomverket blir overtoppet, og begrense skadene ved et brudd. Plassering av nødoverløp bør derfor innarbeides i kommunenes beredskapsplan.

For plassering av nødoverløp, foreslår Hydra (1999) at følgende parametere legges til grunn:

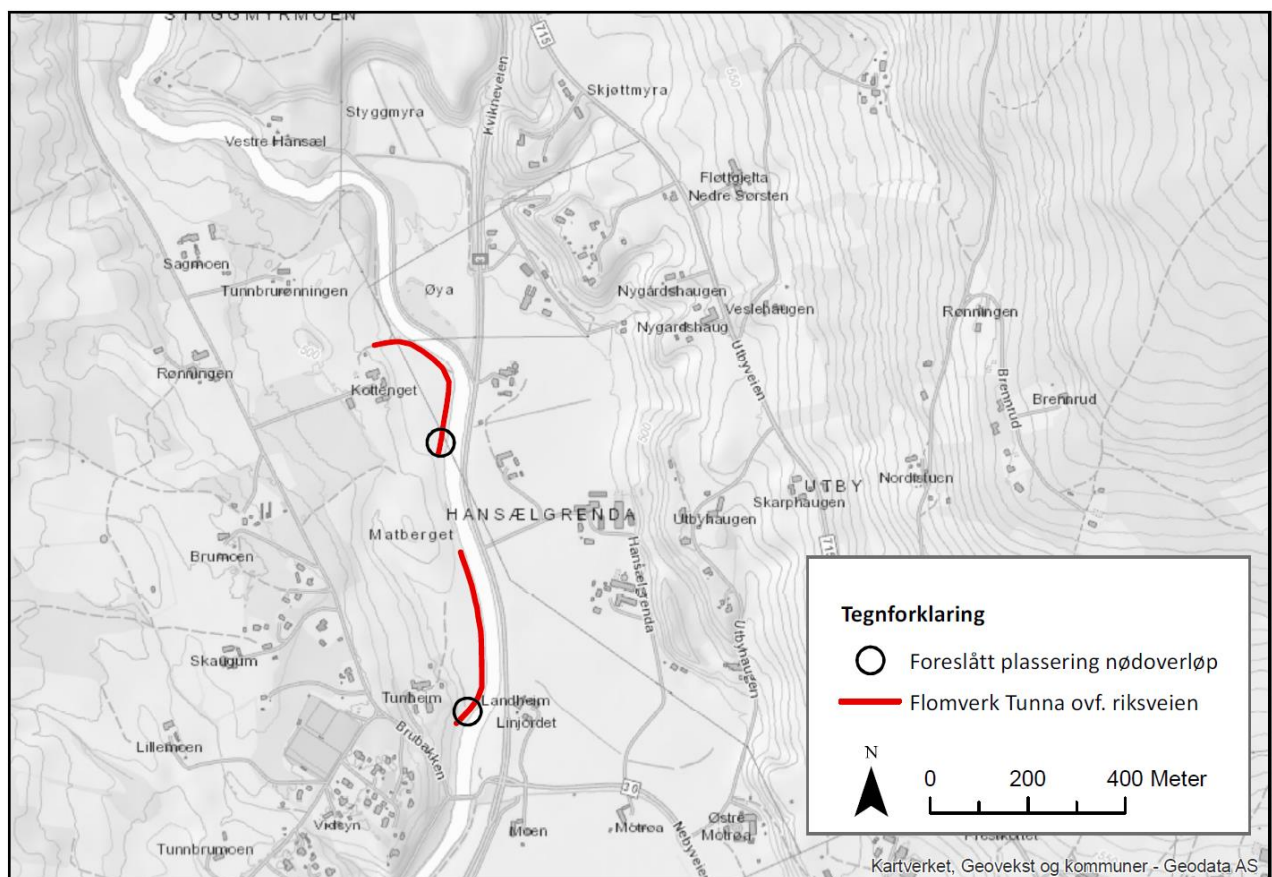
- omfang og konsekvenser av erosjon- og strømskader på innsiden av overløpet
- spredningsforløp og innfylling av vannet som passerer overløpet
- sikring og bruk av viktige bygninger, veiforbindelser m.m.

- adkomst, arbeidsforhold og mulighet for kontroll mens innfylling pågår
- adkomst og mulighet for (rimelig) reparasjon etter flommen
- lokale private og offentlige synspunkter og hensyn

Ofte vil det være best å legge et nødoverløp i nedstrøms ende av flomverket der terrenget er lavest fordi:

- Naturlig mothelning på terrenget gjør at sikringsområdet da vil fylles relativt langsomt med vann slik at erosjonsskader reduseres. I motsatt fall vil vannet kunne strømme med stor hastighet mot lavere terreng og forårsake erosjonsskader.
- Det vil være lettere å forberede en lokal seksjonering når strømkreftene er små, i de tilfeller der man ser at ikke hele området behøver å fylles.

Basert på de ovennevnte parameterne, anbefales det at nødoverløp plasseres i nedstrøms ende av hver av parsellene, se Figur 11. Med en slik plassering vil områdene på flomvollenes luftsider bli fylt opp fra nedstrøms ende, og det vil dermed ikke strømme vann med stor hastighet over jordene. Det vil være stor erosjonsfare på luftsiden av overløpene, men denne faren ansees som mindre enn den totale erosjonsfaren ved brudd. Et avgrenset område ved et nødoverløp vil vanligvis være overkommelig å erosjonssikre for å redusere potensielle erosjonsskader der.



Figur 11: Forslag til plassering av nødoverløp ved Tunna ovf. Riksvegen flomverk.

5 Kostnadsoverslag

Kostnadsestimatet er basert på NVEs *Kostnadsgrunnlag for små vannkraftanlegg* og NVEs *Kostnadsgrunnlag for vannkraft*; modifisert og forenklet for denne beregningen.

I tillegg til postene som er beskrevet i kostnadsoverslaget vil det tilkomme kostnader til prosjektering og byggeledelse, kapitalytelser som rigg og drift av anlegget samt andre uforutsette kostnader. Størrelsen på disse postene vil avhenge av arbeidenes størrelse og kompleksitet.

5.1 Kostnadsoverslag for rehabilitering av flomverket (eksisterende sikkerhetsnivå)

Rehabiliteringen omfatter erosjonssikring av 600 m² i tre strekk hvor dagens erosjonssikring er undergravet. Utbedringer kan gjennomføres ved å fjerne eksisterende erosjonssikring på strekningene før ny erosjonssikring etableres gjennom avretting og etablering av fotgrøft, utlegging av GEO-tekstil, filtermasser og erosjonssikring med sprengstein. Til slutt kan erosjonssikringen dekket med vekstmasser og tilsåes.

	Mengde	Enhetspris	Delsum
Fjerning av eksisterende erosjonssikring	300 m ³	110 kr/m ³	Kr 33 000
GEO-tekstil	600 m ²	23 kr/m ²	Kr 13 800
Filter	300 m ³	170 kr/m ²	Kr 51 000
Erosjonssikring	600 m ³	170 kr/m ²	Kr 102 000
Arrondering	800 m ²	55 kr/m ²	Kr 38 500
SUM			Kr 240 000

Rigg, drift, uforutsette kostnader og merverdiavgift vil komme i tillegg. Sum er rundet opp til nærmeste 10 000.

6 Referanser

- [1] NVE, 2017. *Produktspesifikasjon for NVEs database over kartlagte flomfareområder – flomsoner versjon 1.1*, tilgjengelig fra:
https://gis3.nve.no/metadata/produktspesifikasjoner/produktspesifikasjon_flomsoner.pdf.
Lenke til nedlastning av geodata: <http://nedlasting.nve.no/gis/?ext=-753069,5311590,3332613,8058860&ds=flomsone&> , NVE Januar 2017
- [2] NVE 1995. *Frekvensanalyse av 1995 flommen i Glomma, Gudbrandsdalslågen og Trysilelven*. Bredo Erichsen. Hydrologisk avdeling NVE. Nr. 23 1995.
- [3] Tynset kommune 2015. *Kommuneplanens arealdel 2015-2027*, tilgjengelig fra:
<https://www.kommunekart.com/>, lastet ned 09.07.18
- [4] Tynset kommune 2016. *Beredskapsplan Tynset kommune*. Revidert 29.11.2016
- [5] Kartverket 2014. *SOSI Generell objektkatalog Bygning, Versjon 4.5* – januar 2014
- [6] Kartverket 2016. *Produktspesifikasjon FKB-AR5 4.6*, Juni 2016
- [7] Hydra 1999. *Effekter av flomsikringstiltak på flomforløpet*. Hallvard Berg, Inger Karin Engen, Ingjerd Haddeland, Øyvind Høydal, Eirik Traae, Morten Skoglund, 1999

NOTAT

OPPDRAAG	Flomverk og pumpestasjoner i Region Øst; status og behov for oppgradering	DOKUMENTKODE	130615-RiEn-NOT-001
EMNE	Stabilitetsberegninger	TILGJENGELIGHET	Åpen
OPPDRAAGSGIVER	NVE	OPPDRAAGSLEDER	Thea Caroline Wang
KONTAKTPERSON	Grete Hedemann Aalstad	SAKSBEHANDLER	Robin Wood
KOPI		ANSVARLIG ENHET	1087 Oslo Hydrologi

1 Geotekniske beregninger – Typisk flomverk

1.1 Generelt

Multiconsult har på oppdrag for NVE kartlagt status og vurdert behovet for oppgradering for 34 flomverk i 17 kommuner i Akershus, Hedmark, Oppland og Oslo. Arbeidet ble utført i 2018.

Dette notatet vurderer stabiliteten til et typisk flomverk. Denne analysen vil bli brukt som grunnlag for en stabilitetsvurdering av de 34 flomverkene. For hvert enkelt flomverk vil vi gjennom stabilitetsvurderingen sammenligne geometri, soneinndeling og geotekniske parametere. Der det enkelte flomverk avviker fra analysen av det typiske flomverket, vil dette fremgå av vurderingen. Et eksempel på et slikt avvik kan være brattere skråninger enn det typiske flomverket.

Analysen i dette notatet vurderer kun stabiliteten til flomverkene og vurderer ikke mulige årsaker til brudd som følge av indre erosjon i grunnen, inklusive:

- Erosjon langs rør gjennom flomverkene
- Hydraulisk grunnbrudd (sandkoking)
- Kanaler i grunnen med stor permeabilitet i forbindelse med gamle elveleier av stein og grus
- Sprekker med stor permeabilitet som følge av setninger i flomverket. For eksempel der flomverket krysser myravsetninger i gamle meanderslynger.
- Mangelfull drenasjekapasitet på luftside
- Punktert plastfolie (I flomverk bygget fra 1975 til 1985)
- Glidning langs plastfolien (I flomverk bygget fra 1975 til 1985)

03	17.09.18	Oppdatering til Eurocode	ROW	BER/AGB	TCW
02	14.06.18	Oppdatering av notat for 2018	JMA	TCW	TCW
01	6.11.17	Etter kommentar fra NVE	ROW	JMA	ROW
00	26.10.17	Geotekniske beregninger – Typisk flomverk	ROW	JMA, AGB	ROW
REV.	DATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET AV	KONTROLLERT AV	GODKJENT AV

1.2 Stabilitetsberegninger

Det er gjennomført stabilitetsberegninger basert på to ulike modeller for beregning av poretrykk i flomverket. Følgende tilstander er vurdert:

- Stasjonærtilstand (Luftside)
- «Transient analysis» (Vannside og Luftside)

«Stasjonærtilstand» omfatter beregninger av stabilitet for flomverk med antagelse om at poretrykket i flomverkets ulike lag har tilpasset seg det ytre vanntrykket.

«Transient analysis» omfatter beregninger av stabilitet for flomverket med antagelse om at poretrykket i flomverket varierer under en flom. Dette er en ikke-stasjonær beregning hvor man vurderer poretrykksutviklingen over tid. Denne analysen vil blant annet kunne belyse situasjoner hvor stabiliteten er lavere; enten før eller etter at poretrykket har stabilisert seg i flomverket.

Denne analysen benytter funksjoner for «saturated/unsaturated permeability» og «Volumetric water content» for beregning av poretrykkslinjer for hvert tidsskritt.

Analysen er utført ved bruk av programmet Slide (v7.026) fra programpakken Roc-science. Sikkerhetsfaktorer er baserte på Eurokode 7-1 (NS-EN 1997-1:2004+NA:2016). Det finnes designguider for flomverk, for eksempel *NVEs Veileder for dimensjonering av erosjonssikringer av stein, 2009*, men det er ikke angitt spesifikke bestemmelser om sikkerhetsfaktorer. Derfor har Eurokoden blitt lagt til grunn som best praksis for prosjekteringsforutsetninger. Det er kun benyttet dimensjoneringsmetode 3 som forklart i NA.2.4.7.3.4.1. Behovet for sikkerhet er derfor sikkerhetsfaktor lik 1,0, eller en utnyttelse på 100% eller mindre med partialkoeffisient. Konsekvensklasse / pålitelighetsklasse (CC/RC) i henhold til tabell NA.A1 (901) er valgt som 3 (dammer).

Tabell 1: Partialkoeffisient (dimensjoneringsmetode 3) benyttet i Slide (v7.026)

Permanent Actions (A)		
Unfavourable	γ_G	1
Favourable	γ_G	1
Variable Actions (A)		
Unfavourable	γ_Q	1.3
Favourable	γ_Q	0
Material Parameters (M)		
Effective cohesion	$\gamma_{c'}$	1.25
Coefficient of shearing resistance	γ_ϕ	1.25
Undrained strength	γ_{Cu}	1.4
Weight density	γ_Y	1
Shear strength (other models)		1.25
Resistance (R)		
Earth resistance	γ_{Re}	1
Anchorage (R)		
Tensile and Plate strength	γ_a	1
Shear strength	γ_a	1
Compressive strength	γ_a	1
Bond strength	γ_a	1
Seismic		
Seismic Coefficient		1

1.3 Inngangsdata og beregninger

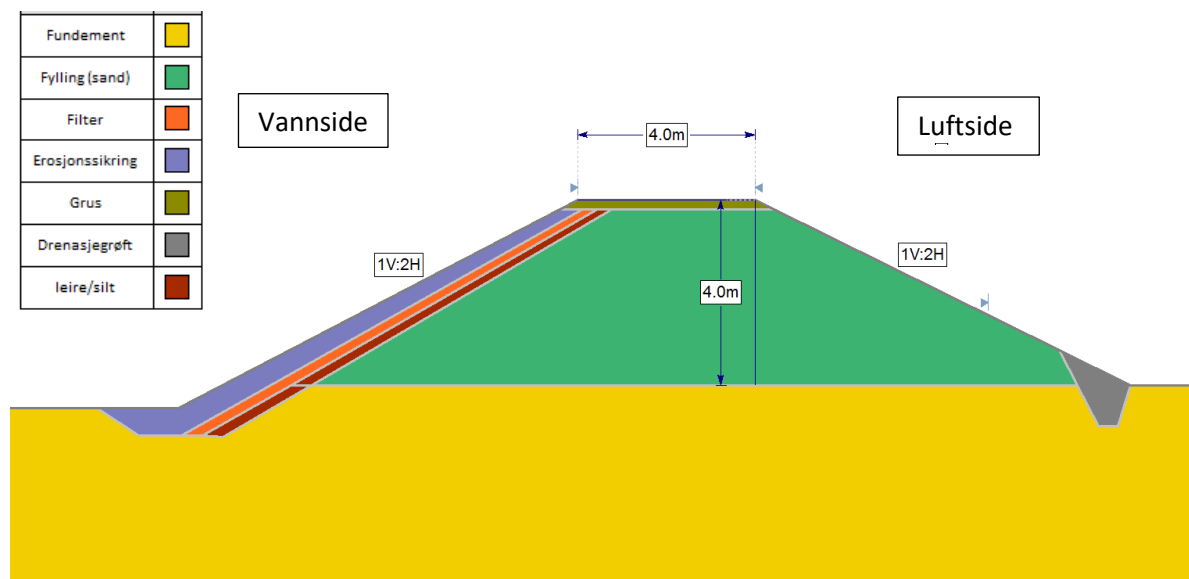
1.3.1 Analysemetode

Analysen er basert på grenselikevektsbetraktning ("General Limit Equilibrium"), og tilfredsstiller både kraft- og momentlikevekt.

1.3.2 Geometri

Basert på en gjennomgang av tegninger av alle flomverkene og NGIs rapport av 1996 er følgende geometri og oppbygning benyttet i analysen:

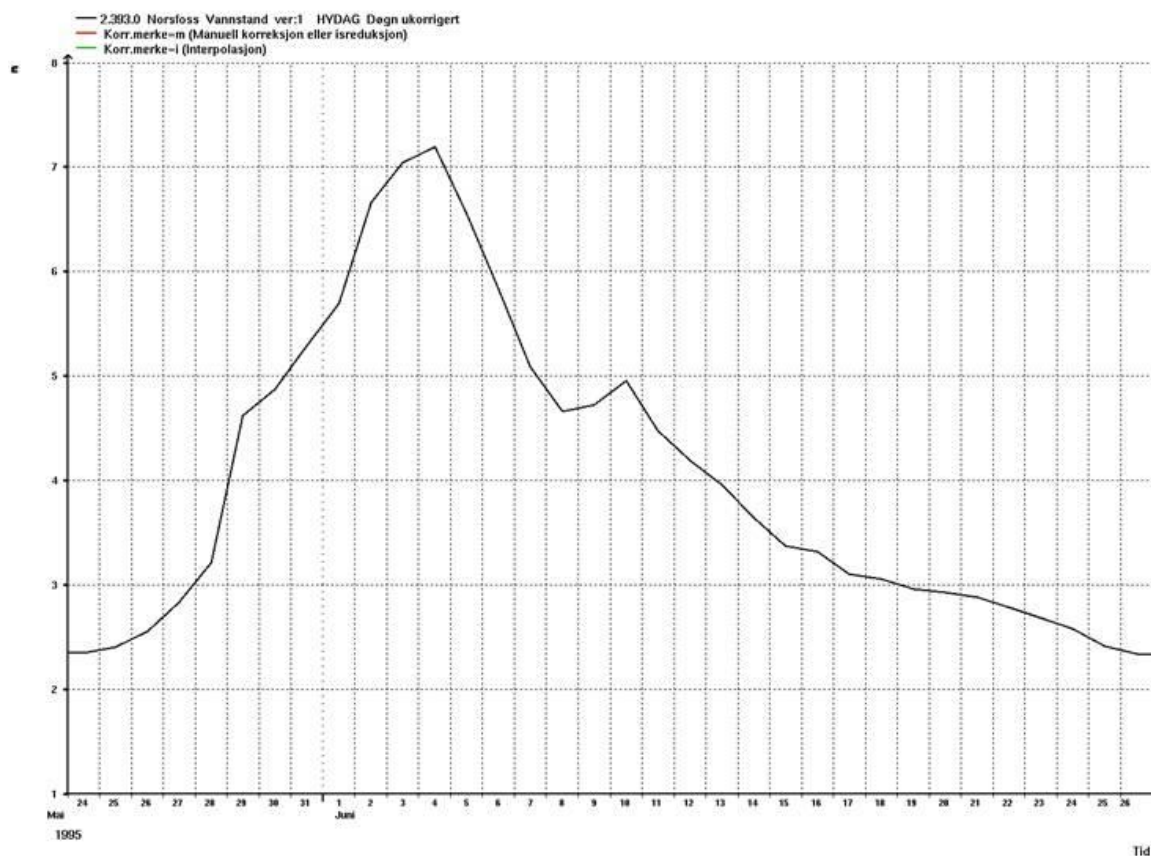
- Vannside skråning, 1V:2,0H
- Luftside skråning, 1V:2,0H
- Topp bredde – 4,0m
- Høyde – 4,0m
- Tetningskjerne av leire / silt på vannside



Figur 1: Representativt snitt av flomvoll, med soneinndeling

1.3.3 Hydrauliske forutsetninger

Ved stasjonærtilstand ble vannstanden på flomverkets vannside satt til 0,5m under toppen av flomverket. «Transient analysis»-beregningene er utført basert på hydrografen for 1995-flommen hvor vannstanden i elva steg og avtok med nesten samme rate (ca. 0,5 meter pr. døgn). Også her ble høyeste vannstand den samme som for stasjonærtilstand; 0,5 m under topp flomverk.



Figur 2: Hydrogram fra 1995 flommen, ved Norsfoss i Solør

1.3.4 Geotekniske parametere

Styrkeparametere og permeabilitetsverdier benyttet i beregningen er vist i tabell 1. Parameterne som er basert på erfaringsverdier er hentet fra følgende kilder:

- 1) Brudd i flomverk langs Glomma, Geoteknisk analyse og vurdering, 1 juli 1996, NGI
- 2) Håndbok V220 – Geoteknikk i vegbygging, Juni 2014, Statens vegvesen - Figur 2.39

Tabell 2: Geotekniske styrkeparametere.

Materiale	Beskrivelse	Parameter	Kommentar / kilde
1 Fundament (Naturlig grunn)	Vekt	20 kN/m ³	Fra NGI rapport
	Kohesjon	0 kPa	
	Friksjon	34°	
	Mettet permeabilitet	10 ⁻⁴ m/s	
2. Fylling (sand)	Vekt	18 kN/m ³	Håndbok V220 – Friksjon
	Kohesjon	0 kPa	
	Friksjon	36°	Fra NGI rapport – permeabilitet
	Mettet permeabilitet	10 ⁻⁴ m/s	
3. Filter (Grus)	Vekt	20 kN/m ³	Fra NGI rapport
	Kohesjon	0	
	Friksjon	38°	
	Mettet permeabilitet	10 ⁻⁴ m/s	
4. Erosjonssikring	Vekt	18 kN/m ³	Fra erfaringstall - Konservativt anslått (Steinene er antatt mindre ordnet som plastringsstein på en dam)
	Kohesjon	0 kPa	
	Friksjon	42°	
	Mettet permeabilitet	10 ⁻¹ m/s	
5. Drenasjegrøft	Vekt	23 kN/m ³	Fra NGI rapport
	Kohesjon	0 kPa	
	Friksjon	38°	
	Mettet permeabilitet	10 ⁻² m/s	
6. leire/silt	Vekt	20 kN/m ³	Erfaringstall
	Kohesjon	0 kPa	
	Friksjon	32°	
	Mettet permeabilitet	10 ⁻⁶ m/s	

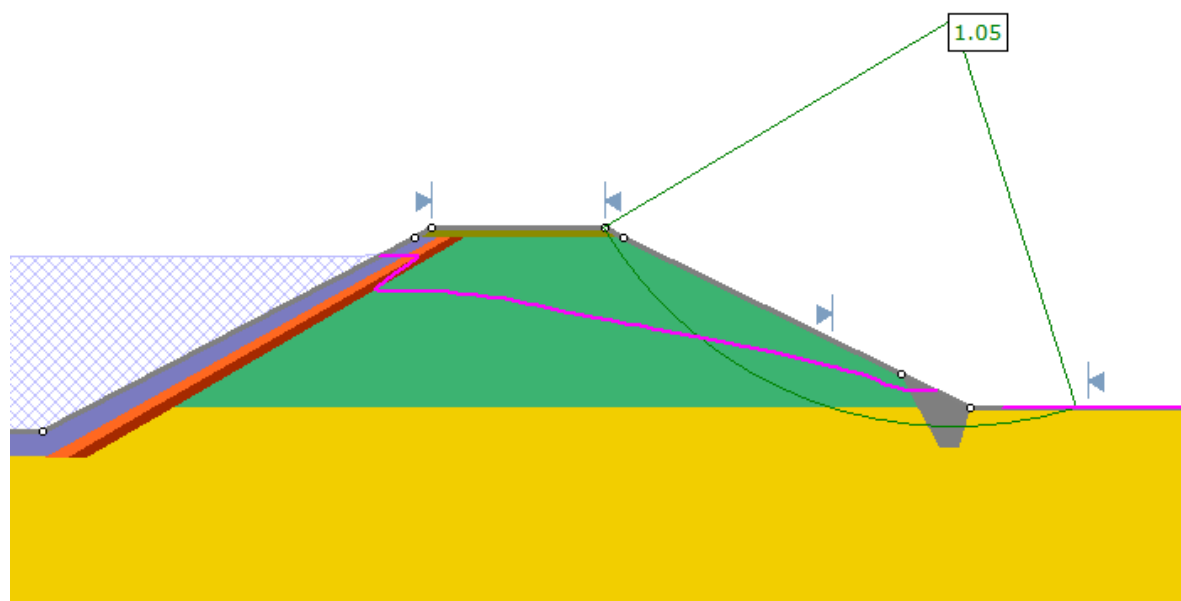
1.4 Beregninger og resultater

Tabell 3 Resultatene av analysen.

Tilfelle	Damside	Vannstand	Beregnet SF
Stasjonært tilstand	Luftside	0,5 m under toppen	1,05
"Transient analysis"	Luftside	0,5 m under toppen	1,05
	Vannside		1,25
	Luftside	Ugunstig (se, Figur 4 og Figur 5)	1,05
	Vannside		1,12

1.4.1 Stasjonært tilstand luftside,

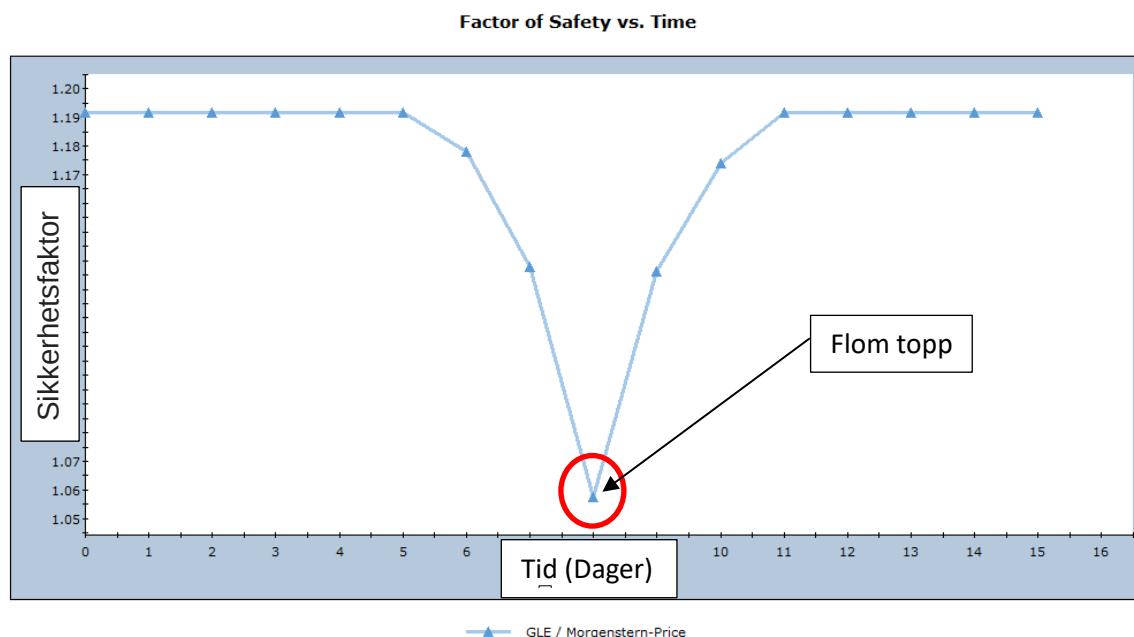
Sikkerhetsfaktoren under stasjonært tilstand er 1,3. Det betegner imidlertid verste tilfelle for flomverkets luftside. Sikkerhetsfaktoren er påvirket av fyllingens friksjonsvinkel, helning og soneinndeling (permeabilitetsforskjell mellom tetning, fyllmateriale og drenasjegrøft). En større forskjell mellom permeabiliteten fra vannside til luftside vil øke sikkerhetsfaktoren og omvendt. Permeabiliteten og tykkelsen av soner benyttet i analysen er på den konservative siden. Dette fører til at porevannstrykket er relativt høyt i flomverket, som vist på figuren nedenfor.



Figur 3: Stasjonært tilstand - Luftside

1.4.2 «Transient analysis» luftside,

Analysen viser at sikkerhetsfaktoren er minst ved flomtoppen. Under normal vannføring i elva er sikkerhetsfaktoren ca. 1,5 og faller til 1,3 ved flomtoppen og går deretter tilbake til 1,5 når flommen passerer. Den laveste sikkerhetsfaktoren er lik analysen for stasjonært tilstand. En tykkere tetning eller mindre permeabel tetning vil bety at faktorsikkerheten faller mindre under flommen, da poretrykklinjen i flomverket vil ligge lavere.

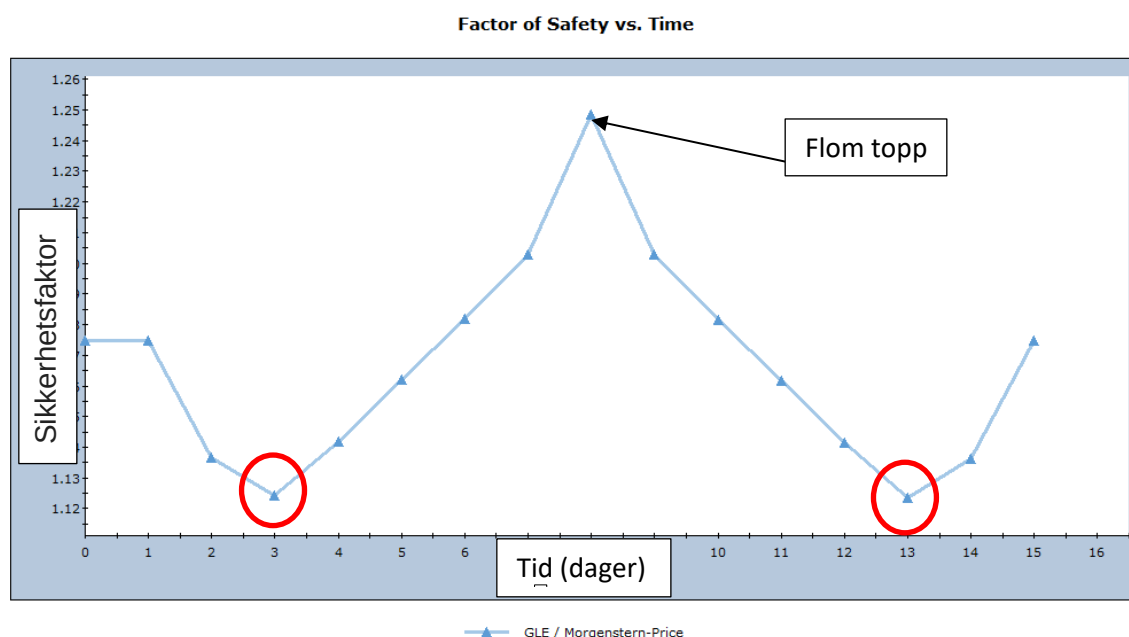


Figur 4: «Transient analysis» luftside, sikkerhetsfaktor mot tid (ugunstigste situasjon markert med en rød sirkel)

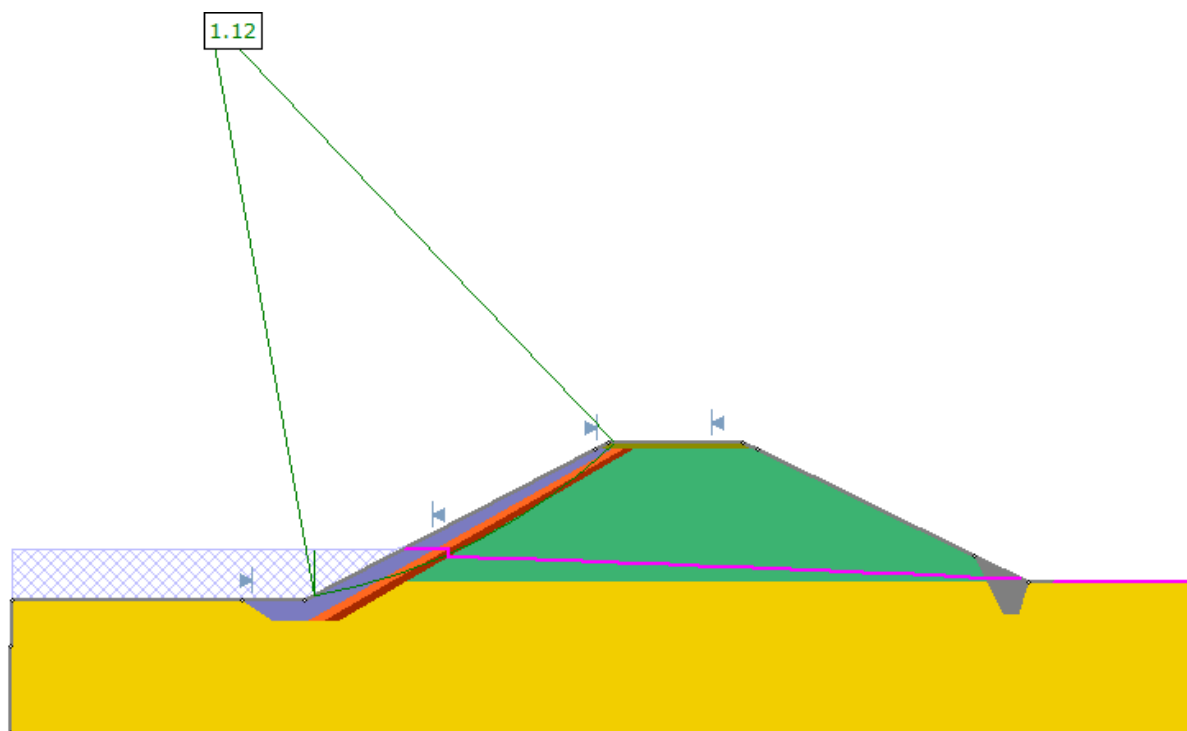
1.4.3 «Transient analysis» vannside,

Sikkerhetsfaktoren på vannsiden er lavest under flomstart (3 dager) og i løpet av flommens slutt (13 dager). Dette skyldes at effekten av økt poretrykk i de nedre delene av flomverket er mer destabiliserende enn den stabiliserende effekten av vannet. Når vannstanden øker vil den stabiliserende effekten av vannet øke og sikkerhetsfaktoren vil også øke (se dag 8).

Det vil med andre ord ikke oppstå en situasjon der man har høyt poretrykk i fyllingen uten en stabiliserende effekt fra høy vannstand; et scenario som er vanlig ved rask nedtapping ved fyllingsdammer. Hvis permeabiliteten skulle være mindre eller høyere, ville sikkerhetsfaktoren ikke bli påvirket så lenge hastigheten på vannstandsendingene og vannstandsstigningen er lik.



Figur 5: «Transient analysis» vannside, sikkerhetsfaktor mot tid (ugunstigste situasjoner markert med en rød sirkel)



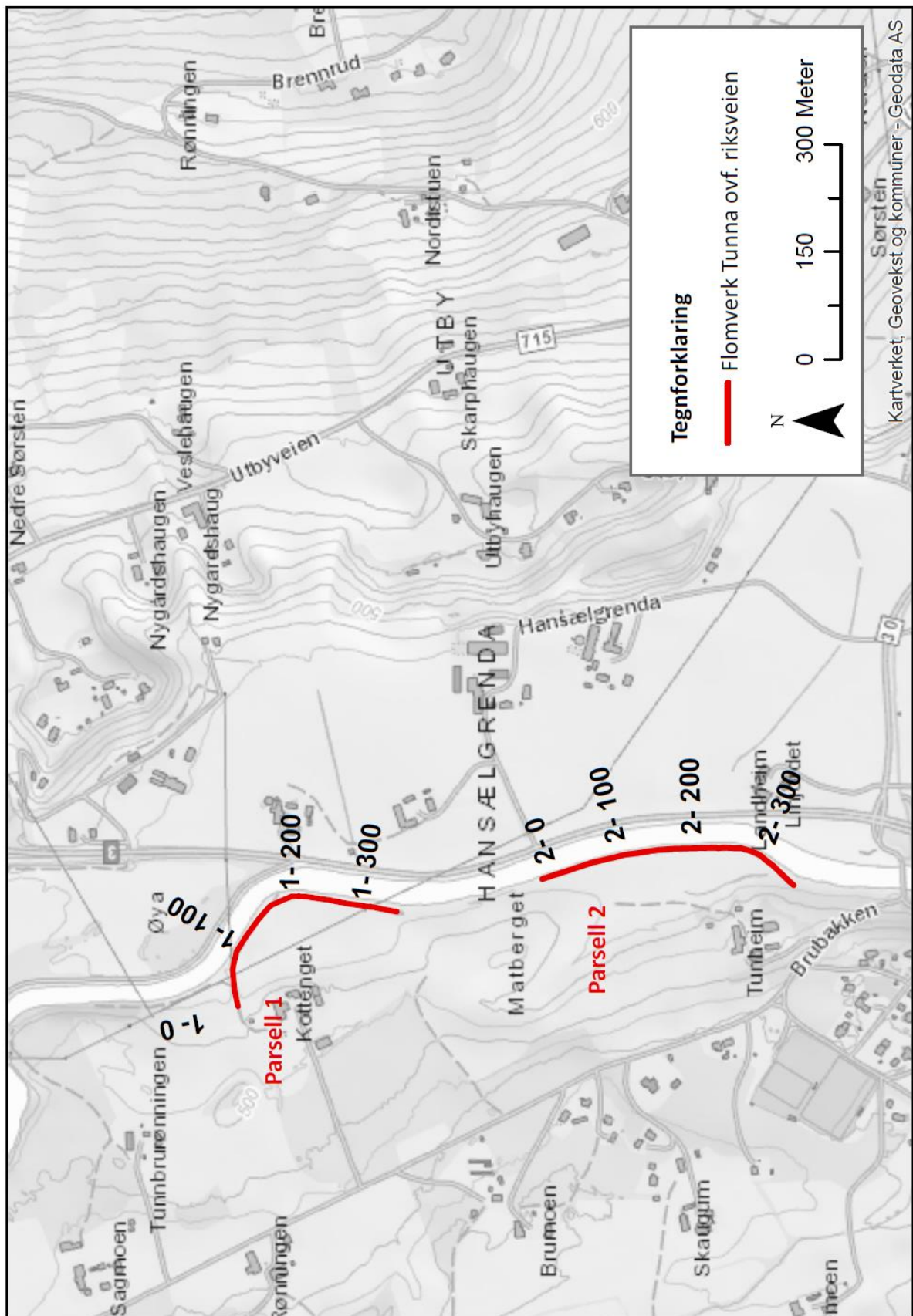
Figur 6: «Transient analysis» vannside, Etter 13 dager

1.5 Konklusjon

Analysen viser at det typiske flomverket har en sikkerhetsfaktor på mer enn 1,0 i alle tilfeller og det typiske flomverket anses derfor å være tilstrekkelig stabilt gitt de antagelsene.

De 34 flomverkene har blitt vurdert mot denne analysen ved å sammenligne geometrien og materialene som brukes til å konstruere flomverket mot parameterne som brukes i denne analysen. Den overordnede geometrien er lettere å bekrefte enn materialparameterne ettersom alle flomverk er befart, mens materialparameterne og soneinndeling er basert på nøyaktigheten og kvaliteten på historisk informasjon fra blant annet arkivsøk.

Vedlegg 2



NOTAT

OPPDRAAG	Flomverk og pumpestasjoner i Region Øst; status og behov for oppgradering	DOKUMENTKODE	130615-RiEn-NOT-001
EMNE	Stabilitetsberegninger	TILGJENGELIGHET	Åpen
OPPDRAAGSGIVER	NVE	OPPDRAAGSLEDER	Thea Caroline Wang
KONTAKTPERSON	Grete Hedemann Aalstad	SAKSBEHANDLER	Robin Wood
KOPI		ANSVARLIG ENHET	1087 Oslo Hydrologi

1 Geotekniske beregninger – Typisk flomverk

1.1 Generelt

Multiconsult har på oppdrag for NVE kartlagt status og vurdert behovet for oppgradering for 34 flomverk i 17 kommuner i Akershus, Hedmark, Oppland og Oslo. Arbeidet ble utført i 2018.

Dette notatet vurderer stabiliteten til et typisk flomverk. Denne analysen vil bli brukt som grunnlag for en stabilitetsvurdering av de 34 flomverkene. For hvert enkelt flomverk vil vi gjennom stabilitetsvurderingen sammenligne geometri, soneinndeling og geotekniske parametere. Der det enkelte flomverk avviker fra analysen av det typiske flomverket, vil dette fremgå av vurderingen. Et eksempel på et slikt avvik kan være brattere skråninger enn det typiske flomverket.

Analysen i dette notatet vurderer kun stabiliteten til flomverkene og vurderer ikke mulige årsaker til brudd som følge av indre erosjon i grunnen, inklusive:

- Erosjon langs rør gjennom flomverkene
- Hydraulisk grunnbrudd (sandkoking)
- Kanaler i grunnen med stor permeabilitet i forbindelse med gamle elveleier av stein og grus
- Sprekker med stor permeabilitet som følge av setninger i flomverket. For eksempel der flomverket krysser myravsetninger i gamle meanderslynger.
- Mangelfull drenasjekapasitet på luftside
- Punktert plastfolie (I flomverk bygget fra 1975 til 1985)
- Glidning langs plastfolien (I flomverk bygget fra 1975 til 1985)

03	17.09.18	Oppdatering til Eurocode	ROW	BER/AGB	TCW
02	14.06.18	Oppdatering av notat for 2018	JMA	TCW	TCW
01	6.11.17	Etter kommentar fra NVE	ROW	JMA	ROW
00	26.10.17	Geotekniske beregninger – Typisk flomverk	ROW	JMA, AGB	ROW
REV.	DATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET AV	KONTROLLERT AV	GODKJENT AV

1.2 Stabilitetsberegninger

Det er gjennomført stabilitetsberegninger basert på to ulike modeller for beregning av poretrykk i flomverket. Følgende tilstander er vurdert:

- Stasjonært tilstand (Luftside)
- «Transient analysis» (Vannside og Luftside)

«Stasjonært tilstand» omfatter beregninger av stabilitet for flomverk med antagelse om at poretrykket i flomverkets ulike lag har tilpasset seg det ytre vanntrykket.

«Transient analysis» omfatter beregninger av stabilitet for flomverket med antagelse om at poretrykket i flomverket varierer under en flom. Dette er en ikke-stasjonær beregning hvor man vurderer poretrykksutviklingen over tid. Denne analysen vil blant annet kunne belyse situasjoner hvor stabiliteten er lavere; enten før eller etter at poretrykket har stabilisert seg i flomverket.

Denne analysen benytter funksjoner for «saturated/unsaturated permeability» og «Volumetric water content» for beregning av poretrykkslinjer for hvert tidsskritt.

Analysen er utført ved bruk av programmet Slide (v7.026) fra programpakken Roc-science. Sikkerhetsfaktorer er baserte på Eurokode 7-1 (NS-EN 1997-1:2004+NA:2016). Det finnes designguider for flomverk, for eksempel *NVEs Veileder for dimensjonering av erosjonssikringer av stein, 2009*, men det er ikke angitt spesifikke bestemmelser om sikkerhetsfaktorer. Derfor har Eurokoden blitt lagt til grunn som best praksis for prosjekteringsforutsetninger. Det er kun benyttet dimensjoneringsmetode 3 som forklart i NA.2.4.7.3.4.1. Behovet for sikkerhet er derfor sikkerhetsfaktor lik 1,0, eller en utnyttelse på 100% eller mindre med partialkoeffisient. Konsekvensklasse / pålitelighetsklasse (CC/RC) i henhold til tabell NA.A1 (901) er valgt som 3 (dammer).

Tabell 1: Partialkoeffisient (dimensjoneringsmetode 3) benyttet i Slide (v7.026)

Permanent Actions (A)		
Unfavourable	γ_G	1
Favourable	γ_G	1
Variable Actions (A)		
Unfavourable	γ_Q	1.3
Favourable	γ_Q	0
Material Parameters (M)		
Effective cohesion	$\gamma_{c'}$	1.25
Coefficient of shearing resistance	γ_ϕ	1.25
Undrained strength	γ_{Cu}	1.4
Weight density	γ_Y	1
Shear strength (other models)		1.25
Resistance (R)		
Earth resistance	γ_{Re}	1
Anchorage (R)		
Tensile and Plate strength	γ_a	1
Shear strength	γ_a	1
Compressive strength	γ_a	1
Bond strength	γ_a	1
Seismic		
Seismic Coefficient		1

1.3 Inngangsdata og beregninger

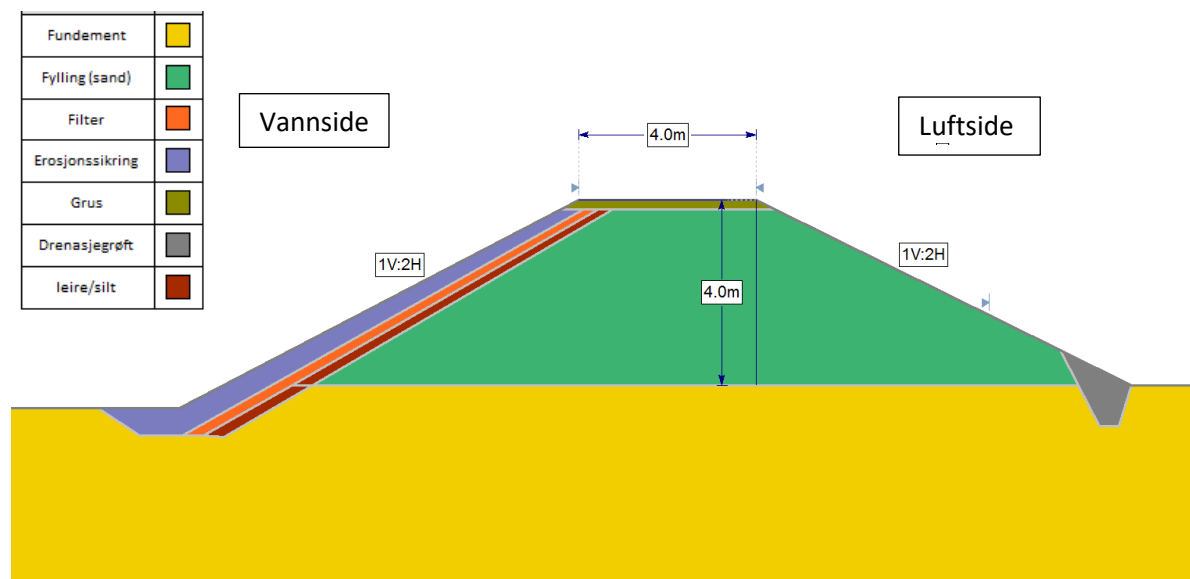
1.3.1 Analysemetode

Analysen er basert på grenselikevektsbetraktning ("General Limit Equilibrium"), og tilfredsstiller både kraft- og momentlikevekt.

1.3.2 Geometri

Basert på en gjennomgang av tegninger av alle flomverkene og NGIs rapport av 1996 er følgende geometri og oppbygning benyttet i analysen:

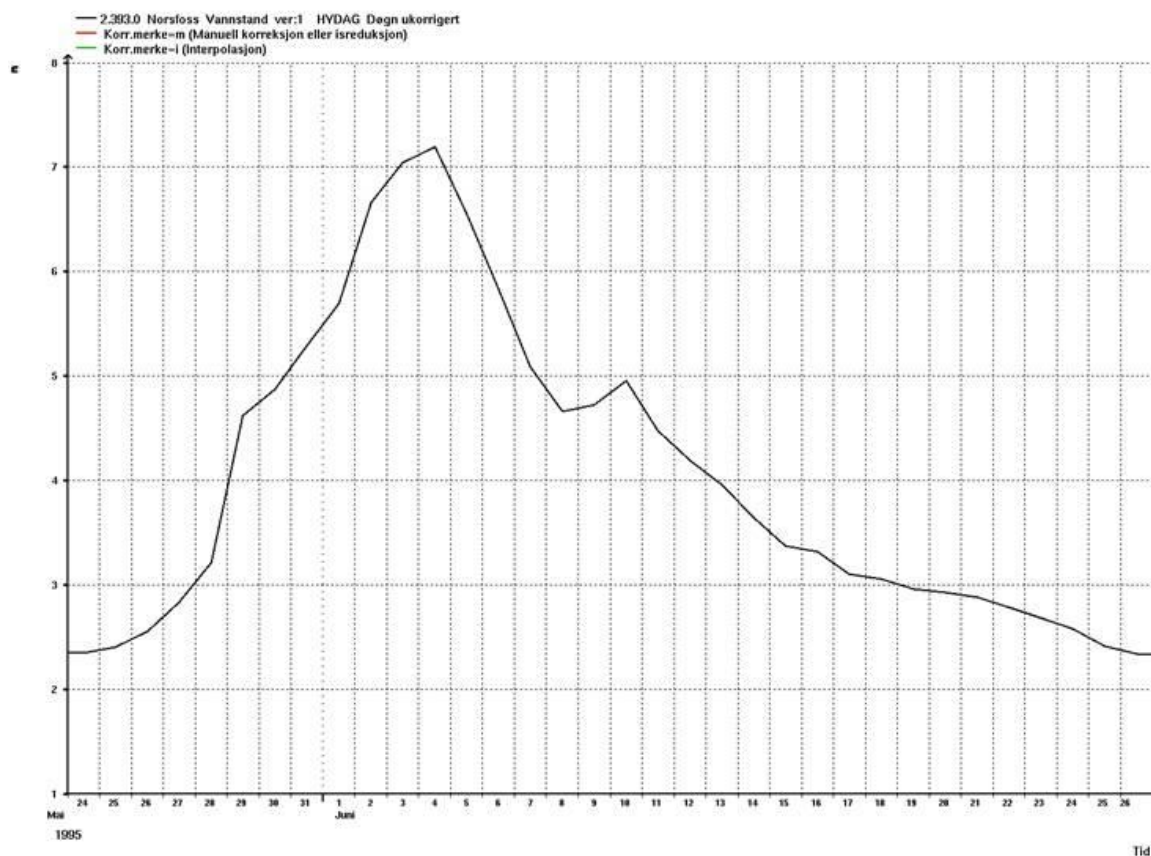
- Vannside skråning, 1V:2,0H
- Luftside skråning, 1V:2,0H
- Topp bredde – 4,0m
- Høyde – 4,0m
- Tetningskjerne av leire / silt på vannside



Figur 1: Representativt snitt av flomvoll, med soneinndeling

1.3.3 Hydrauliske forutsetninger

Ved stasjonærtilstand ble vannstanden på flomverkets vannside satt til 0,5m under toppen av flomverket. «Transient analysis»-beregningene er utført basert på hydrografen for 1995-flommen hvor vannstanden i elva steg og avtok med nesten samme rate (ca. 0,5 meter pr. døgn). Også her ble høyeste vannstand den samme som for stasjonærtilstand; 0,5 m under topp flomverk.



Figur 2: Hydrogram fra 1995 flommen, ved Norsfoss i Solør

1.3.4 Geotekniske parametere

Styrkeparametere og permeabilitetsverdier benyttet i beregningen er vist i tabell 2. Parameterne som er basert på erfaringsverdier er hentet fra følgende kilder:

- 1) Brudd i flomverk langs Glomma, Geoteknisk analyse og vurdering, 1 juli 1996, NGI
- 2) Håndbok V220 – Geoteknikk i vegbygging, Juni 2014, Statens vegvesen - Figur 2.39

Tabell 2: Geotekniske styrkeparametere.

Materiale	Beskrivelse	Parameter	Kommentar / kilde
1 Fundament (Naturlig grunn)	Vekt	20 kN/m ³	Fra NGI rapport
	Kohesjon	0 kPa	
	Friksjon	34°	
	Mettet permeabilitet	10 ⁻⁴ m/s	
2. Fylling (sand)	Vekt	18 kN/m ³	Håndbok V220 – Friksjon
	Kohesjon	0 kPa	
	Friksjon	36°	Fra NGI rapport – permeabilitet
	Mettet permeabilitet	10 ⁻⁴ m/s	
3. Filter (Grus)	Vekt	20 kN/m ³	Fra NGI rapport
	Kohesjon	0	
	Friksjon	38°	
	Mettet permeabilitet	10 ⁻⁴ m/s	
4. Erosjonssikring	Vekt	18 kN/m ³	Fra erfaringstall - Konservativt anslått (Steinene er antatt mindre ordnet som plastringsstein på en dam)
	Kohesjon	0 kPa	
	Friksjon	42°	
	Mettet permeabilitet	10 ⁻¹ m/s	
5. Drenasjegrøft	Vekt	23 kN/m ³	Fra NGI rapport
	Kohesjon	0 kPa	
	Friksjon	38°	
	Mettet permeabilitet	10 ⁻² m/s	
6. leire/silt	Vekt	20 kN/m ³	Erfaringstall
	Kohesjon	0 kPa	
	Friksjon	32°	
	Mettet permeabilitet	10 ⁻⁶ m/s	

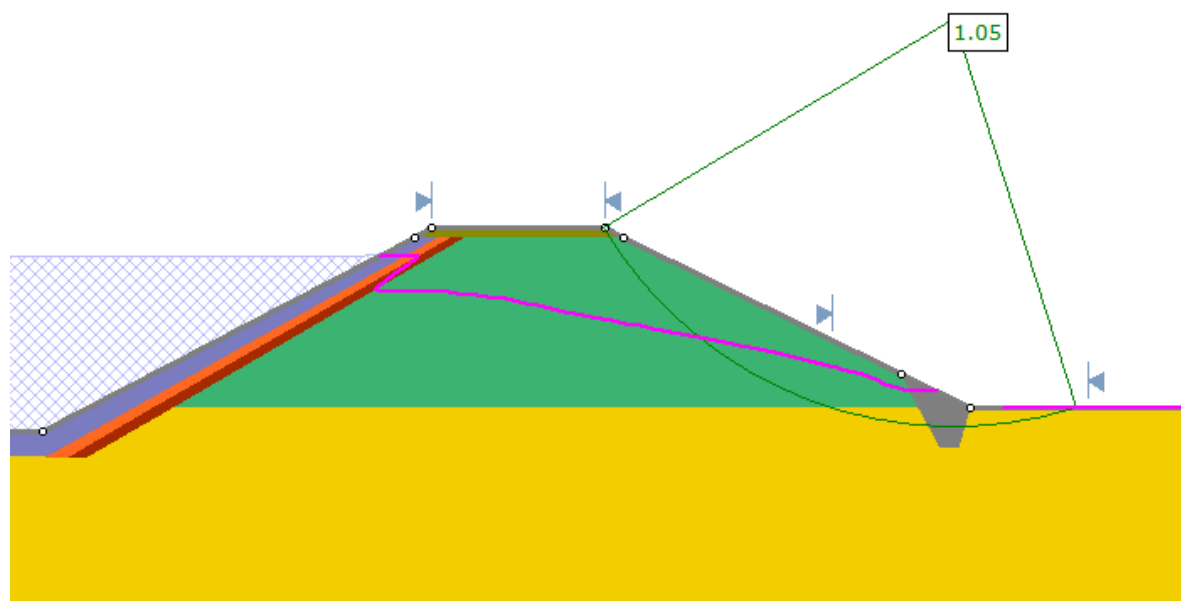
1.4 Beregninger og resultater

Tabell 3 Resultatene av analysen.

Tilfelle	Damside	Vannstand	Beregnet SF
Stasjonært tilstand	Luftside	0,5 m under toppen	1,05
"Transient analysis"	Luftside	0,5 m under toppen	1,05
	Vannside		1,25
	Luftside	Ugunstig (se, Figur 4 og Figur 5)	1,05
	Vannside		1,12

1.4.1 Stasjonært tilstand luftside,

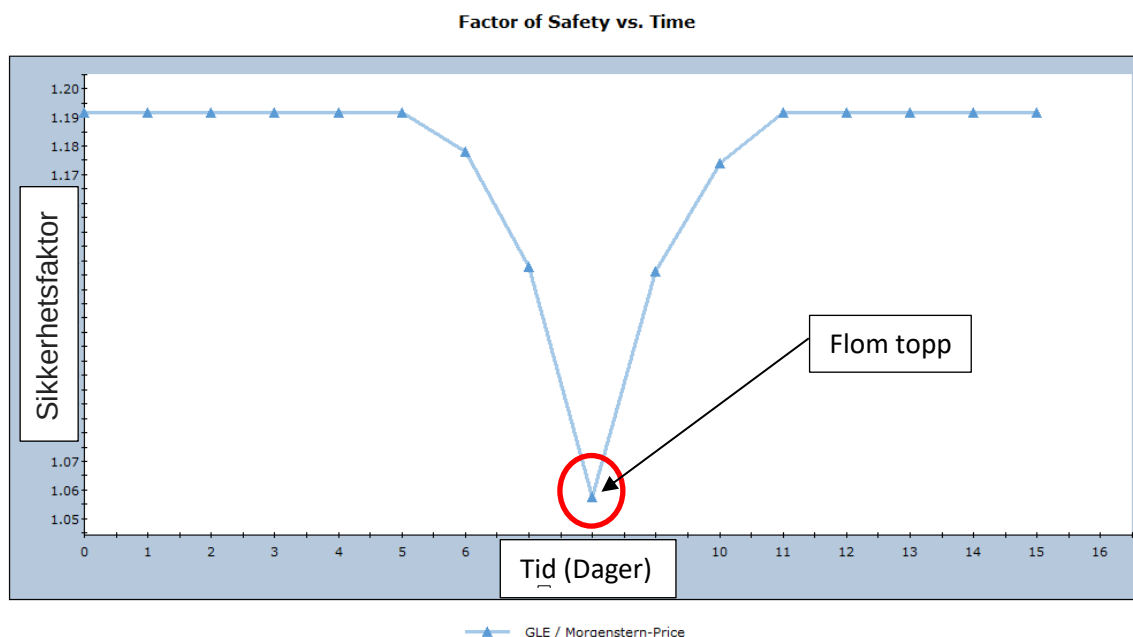
Sikkerhetsfaktoren under stasjonært tilstand er 1,3. Det betegner imidlertid verste tilfelle for flomverkets luftside. Sikkerhetsfaktoren er påvirket av fyllingens friksjonsvinkel, helning og soneinndeling (permeabilitetsforskjell mellom tetning, fyllmateriale og drenasjegrøft). En større forskjell mellom permeabiliteten fra vannside til luftside vil øke sikkerhetsfaktoren og omvendt. Permeabiliteten og tykkelsen av soner benyttet i analysen er på den konservative siden. Dette fører til at porevannstrykket er relativt høyt i flomverket, som vist på figuren nedenfor.



Figur 3: Stasjonært tilstand - Luftside

1.4.2 «Transient analysis» luftside,

Analysen viser at sikkerhetsfaktoren er minst ved flomtoppen. Under normal vannføring i elva er sikkerhetsfaktoren ca. 1,5 og faller til 1,3 ved flomtoppen og går deretter tilbake til 1,5 når flommen passerer. Den laveste sikkerhetsfaktoren er lik analysen for stasjonært tilstand. En tykkere tetning eller mindre permeabel tetning vil bety at faktorsikkerheten faller mindre under flommen, da poretrykklinjen i flomverket vil ligge lavere.

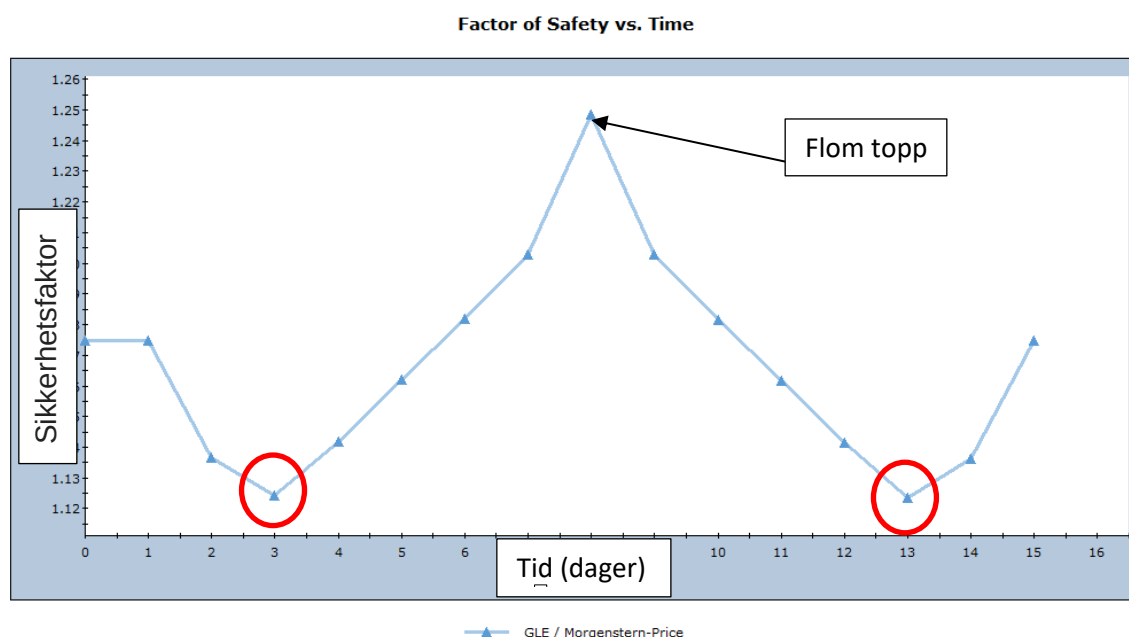


Figur 4: «Transient analysis» luftside, sikkerhetsfaktor mot tid (ugunstigste situasjon markert med en rød sirkel)

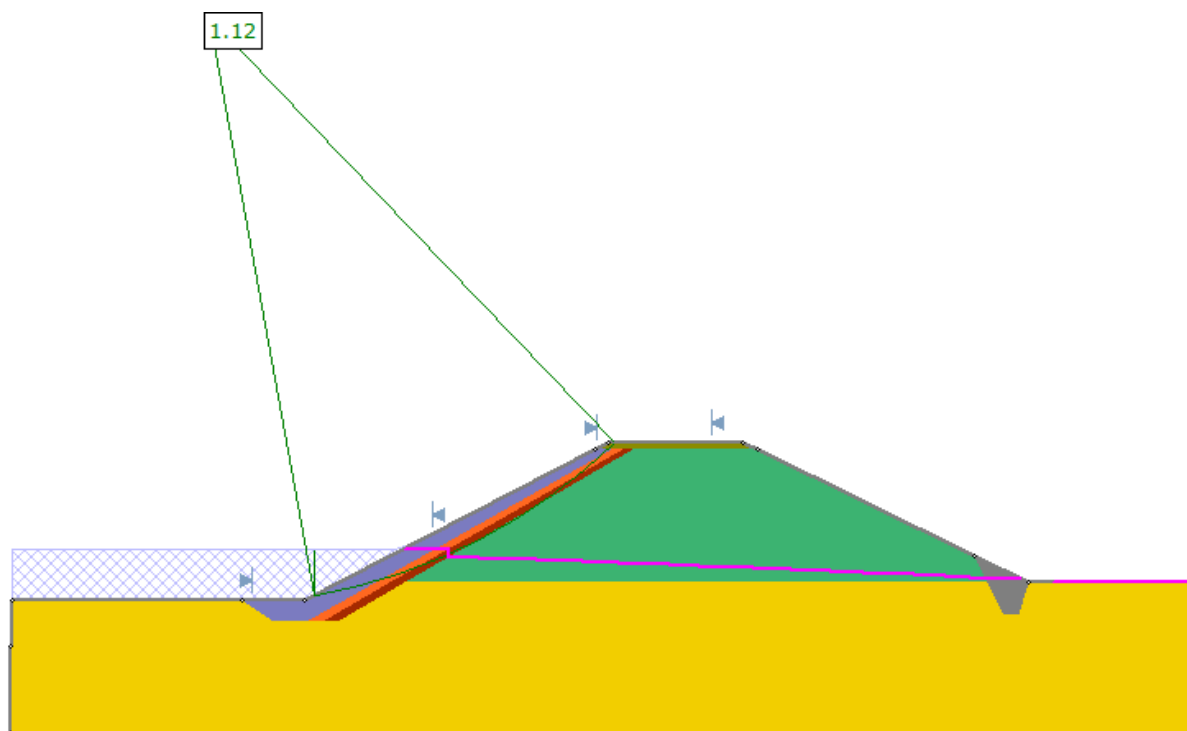
1.4.3 «Transient analysis» vannside,

Sikkerhetsfaktoren på vannsiden er lavest under flomstart (3 dager) og i løpet av flommens slutt (13 dager). Dette skyldes at effekten av økt poretrykk i de nedre delene av flomverket er mer destabiliserende enn den stabiliserende effekten av vannet. Når vannstanden øker vil den stabiliserende effekten av vannet øke og sikkerhetsfaktoren vil også øke (se dag 8).

Det vil med andre ord ikke oppstå en situasjon der man har høyt poretrykk i fyllingen uten en stabiliserende effekt fra høy vannstand; et scenario som er vanlig ved rask nedtapping ved fyllingsdammer. Hvis permeabiliteten skulle være mindre eller høyere, ville sikkerhetsfaktoren ikke bli påvirket så lenge hastigheten på vannstandsendingene og vannstandsstigningen er lik.



Figur 5: «Transient analysis» vannside, sikkerhetsfaktor mot tid (ugunstigste situasjoner markert med en rød sirkel)



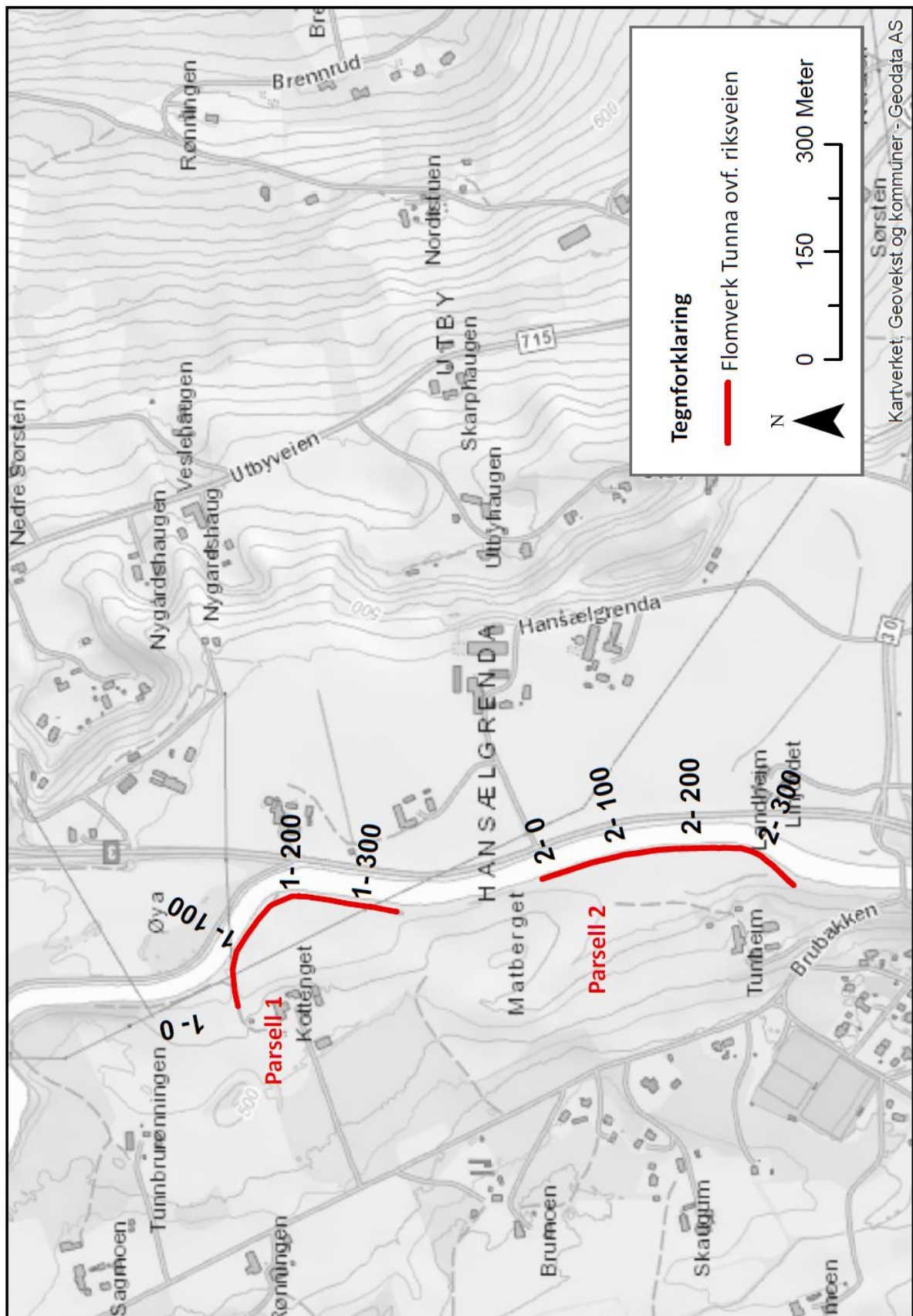
Figur 6: «Transient analysis» vannside, Etter 13 dager

1.5 Konklusjon

Analysen viser at det typiske flomverket har en sikkerhetsfaktor på mer enn 1,0 i alle tilfeller og det typiske flomverket anses derfor å være tilstrekkelig stabilt gitt de antagelsene.

De 34 flomverkene har blitt vurdert mot denne analysen ved å sammenligne geometrien og materialene som brukes til å konstruere flomverket mot parameterne som brukes i denne analysen. Den overordnede geometrien er lettere å bekrefte enn materialparameterne ettersom alle flomverk er befart, mens materialparameterne og soneinndeling er basert på nøyaktigheten og kvaliteten på historisk informasjon fra blant annet arkivsøk.

Vedlegg 2





NVE

Norges vassdrags- og energidirektorat

.....

MIDDELTHUNSGATE 29
POSTBOKS 5091 MAJORSTUEN
0301 OSLO
TELEFON: (+47) 22 95 95 95

www.nve.no