

Nr 21/2019

## Trehjørningen flomverk (VV I309), Hamar kommune og Ringsaker 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 21-2019

### Trehjørningen flomverk (VV 1309), Hamar kommune og Ringsaker 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:** 978-82-410-1855-8

**Sammenheng:** 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 Trehjørningen flomverk i Hamar og Ringsaker (litt) kommuner. Verket ligger på begge sider av Flagstadelva, og beskytter et område på ca. 0,6 km<sup>2</sup> med 38 bygg. Østre del av verket sikrer Trehjørningen næringspark og vestre del sikrer Gålåsholmen næringsområde. Flomverket er planlagt oppgradert.

**Emneord:** Flomverk, Hamar kommune, Ringsaker kommune

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

Telefon: 22 95 95 95  
Epost: [nve@nve.no](mailto:nve@nve.no)  
Internett: [www.nve.no](http://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

# Trehjørningen flomverk (VV 1309), Hamar og Ringsaker kommune

## Status og vurdering av behov for oppgradering

OPPDRAKSGIVER

NVE

EMNE

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

Tiltaksnummer 1309

DATO / REVISJON: 12. des. 2018/ 01

DOKUMENTKODE: 130615-RiEn-RAP-032



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

OPPDRAG	<b>Flomverk og pumpestasjoner i Region Øst; status og behov for oppgradering</b>	DOKUMENTKODE	130615-RiEn-RAP-32
EMNE	Trehjørningen flomverk	TILGJENGELIGHET	Åpen
OPPDRAGSGIVER	<b>NVE</b>	OPPDRAGSLEDER	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 Trehjørningen flomverk i Hamar og Ringsaker kommune.

Flomverket ligger på begge sider av Flagstadelva, og beskytter et område på 0,6 km<sup>2</sup>. Østre del av verket sikrer Trehjørningen næringspark med 38 bygg, mens vestre del sikrer Gålåsholmen næringsområde.

Verket er planlagt oppgradert.

01	12.12.2018	Revidert rapport etter tilbakemeldinger fra NVE	AGB/TCW/JMA/BER/RA	TCW/JMA/AGB	RW
00	31.10.2018	Rapport	AGB/TCW/JMA/BER/RA	TCW/JMA/AGB	RW
REV.	DATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET AV	KONTROLLERT AV	GODKJENT AV

## INNHOLDSFORTEGNELSE

<b>Begrepsliste</b> .....	<b>5</b>
<b>1 Bakgrunn for prosjektet</b> .....	<b>6</b>
<b>2 Faktadel</b> .....	<b>7</b>
2.1 Nøkkelinformasjon om Trehjørningen flomverk .....	7
2.2 Teknisk oppbygning .....	8
2.3 Større skader, rehabiliteringer og oppgraderinger .....	8
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 .....	15
2.5 Utbyggingsplaner i sikringsområdet .....	18
2.6 Kommunens tilsyns- og beredskapsrutiner .....	19
<b>3 Feltregistreringer</b> .....	<b>20</b>
3.1 Østre flomverk .....	22
3.2 Vestre flomverk .....	25
<b>4 Vurderinger</b> .....	<b>27</b>
4.1 Tilsyn og beredskap .....	27
4.2 Teknisk tilstand .....	27
4.3 Anbefalt sikkerhetsnivå .....	28
4.4 Plassering av nødoverløp .....	28
<b>5 Referanser</b> .....	<b>30</b>

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 luftsidens 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/gjenoppretting av en konstruksjon/anlegg for å opprettholde tiltenkt funksjon og sikkerhetsnivå.
Sandkoking	Sandkoking på luftsidens 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 trafikklaster, vanntrykk e.l.
Undergraving	Erosjon som undergraver overliggende fylling, erosjonssikring e.l.
Utglidning	Her: Utglidning av løsmasser (deler av flomvollen).
Vedlikehold	Her: Regelmessig tiltak 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.

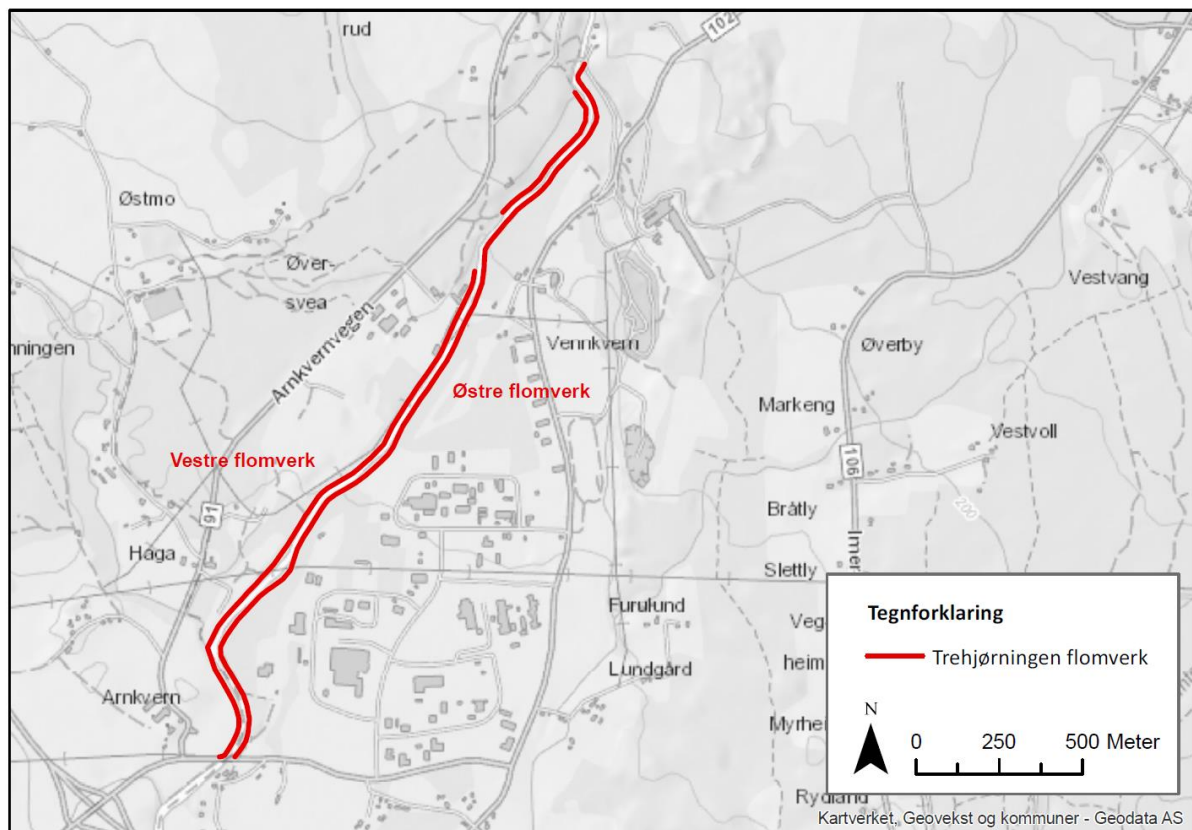
På oppdrag for NVE har Multiconsult systematisk gjennomgått en rekke anlegg og utført kartlegging, innmåling, tilstandsvurdering og vurdering av behov for rehabilitering eller oppgradering. Resultatet av Multiconsults arbeid danner grunnlag for å vurdere behovet for rehabiliteringer og eventuelle oppgraderinger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

## 2 Faktadel

### 2.1 Nøkkelinformasjon om Trehjørningen flomverk

Trehjørningen flomverk (VV1309) strekker seg ca. 2,5 km på hver side av Flagstadelva, og går fra Vang Vannverk i nord til Arnkvernveien i sør. Sikringstiltaket ligger hovedsakelig i Hamar kommune, men på de nederste 400 m av strekningen utgjør elven grensen mellom Hamar og Ringsaker kommune.

Verket sikrer først og fremst industriområder på begge sider. Verket har i større grad blitt vedlikeholdt og rehabilitert på den østre bredden, som beskytter Trehjørningen Næringspark, og omtales her som østre flomverk. På den vestre bredden av Flagstadelva, består sikringsanlegget av to parseller som beskytter Gålåsholmen næringsområde.



Figur 1: Oversiktskart (basert på profilmålinger)

Tiltaksnummer	Flomverkets navn	Lengde
1309	Østre flomverk	2540 m
1309	Vestre flomverk	1800 m + 570 m

Trehjørningen flomverk har blitt planlagt, bygget og utbedret i flere omganger. Det ble planlagt forbygning av strekningen første gang i 1918 for å beskyttet dyrket mark, men arbeidene ble ikke iverksatt før i 1935. Det ble senere utarbeidet reviderte planer i 1937, 1939 og 1944. Disse arbeidene ble trolig ferdigstilt rundt 1955. Etter en storflom i 1956 ble det utarbeidet en ny plan i både 1957 og 1958. Det er usikkert når disse arbeidene ble gjennomført, men det ble i 1966 planlagt

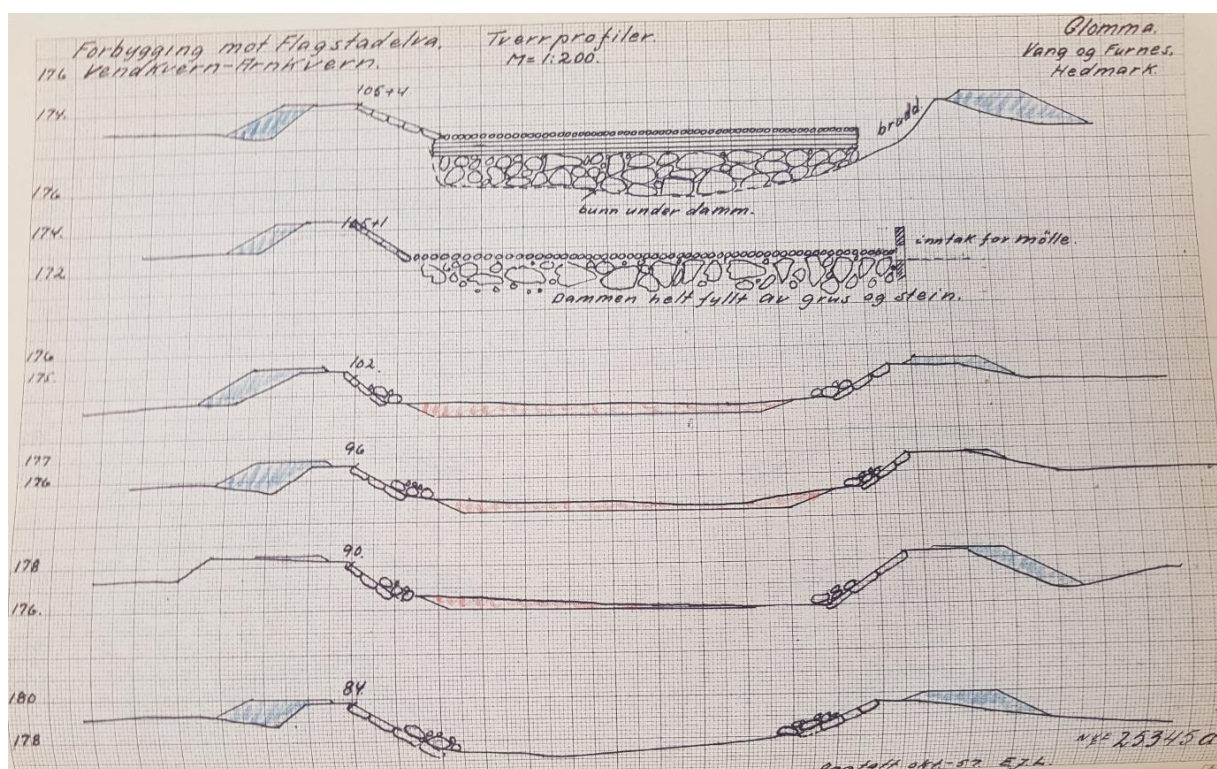
utbedringsarbeider av setninger i flomverket. Det ble trolig også gjennomført mindre arbeider etter 1976. NVE avsluttet arbeidet med flomverket i 1982.

Det er betydelig sedimenttransport i elven og det har tidligere også vært knyttet problemer til isoppstuvning.

Hamar kommune har fått utarbeidet flomberegninger, flomsonekart og vurdering av massetransport for Flagstadelva. Kommunen har varslet NVE om oppstart av planarbeidet (april 2018) og prosjekt for å skissere nytt flomvern.

## 2.2 Teknisk oppbygning

Den opprinnelige forbygningen langs Flagstadelva bestod av å etablere en 25 m bred kanal med oppbygning av flomvoller på begge sider av elven. Flomvollene ble planlagt med 3 m kronebredde og skråningshelning 1:2 på vannside og luftside. Vollene ble planlagt erosjonssikret med plastring, og den opprinnelige planen beskriver flomvollene som maksimum 2,5 m over eksisterende terreng. Disse arbeidene ble trolig utført med hest og kjerre.



Figur 2: Planlagt forbygning langs Flagstadelva (Tegning fra NVEs arkiv, datert oktober 1952)

## 2.3 Større skader, rehabiliteringer og oppgraderinger

Opp gjennom årene har flere flomhendelser ført til skader og rasering langs Flagstadelva. Dette har resultert i at flomverket har en lang historikk for planlagte utbedringer og oppgraderinger.

Flommen i september 1956 beskrives som en ekstraordinær storflom, da flomhendelsen førte til at både Arnkvern og Vendkvern mølledam ble tatt av vannmassene. I tillegg oppstod det betydelige skader på verket. I 1957 ble det utarbeidet en plan for reparasjonsarbeider, og planen omfattet

utbedring av skadene samt opprensning i elveleiet. Ny storflom høsten 1957 førte imidlertid til ytterligere skader på verket, og det ble funnet nødvendig å utvide planens omfang. I tillegg til reparasjon av verkene, omfattet utbedringsarbeidene sikring av mølleinntaksdam, steinkledning av enkelte strekk og utvidelse av fyllingen på tidligere forbygget strekning.

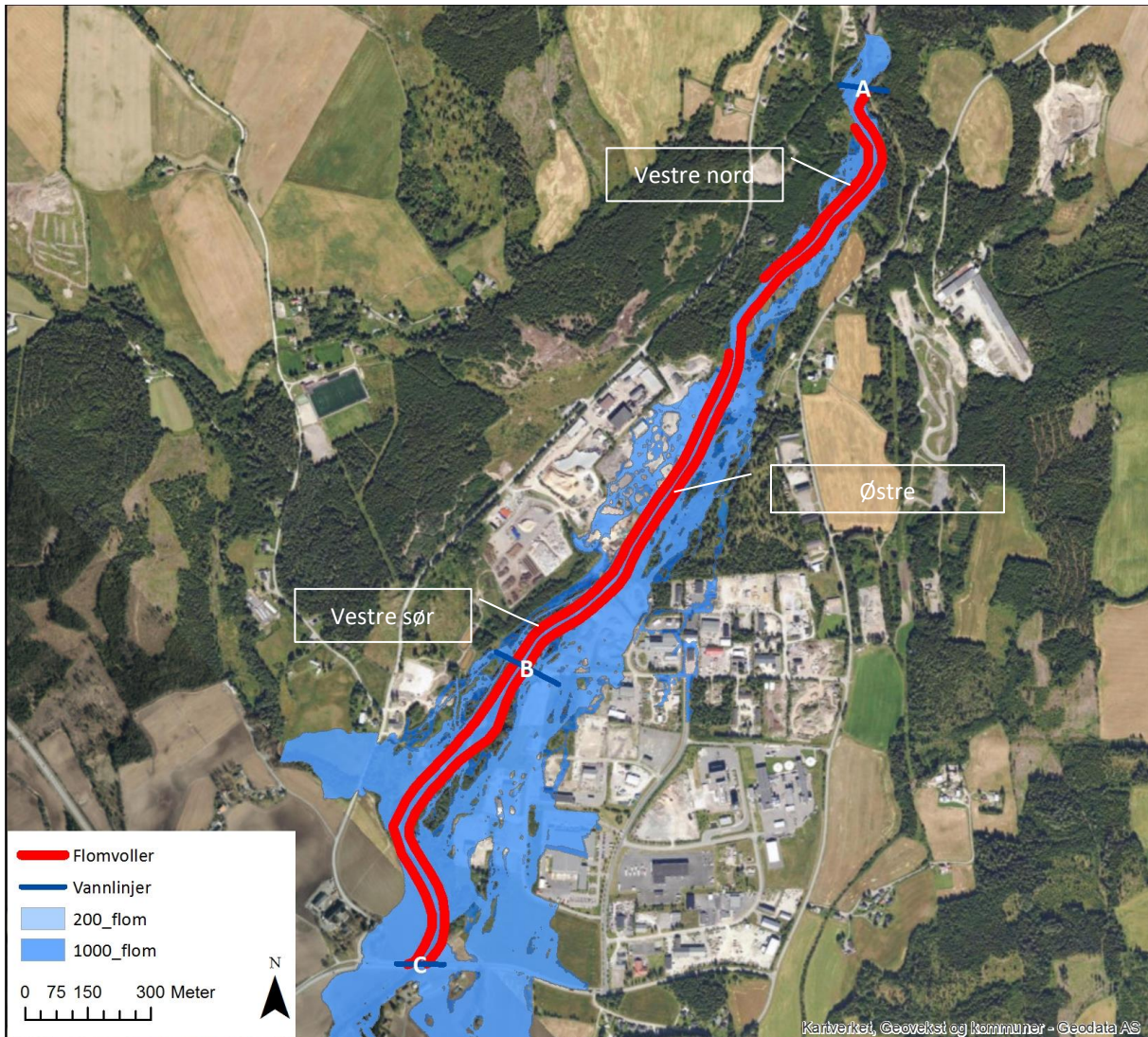
Flagstadelva gikk også flomstor i mai 2017. Etter flommen ble det gravd ut masser som ble plassert langs elvekanten. I tillegg ble det fjernet trær og vegetasjon som elven hadde revet med seg.

Hamar kommune har i 2018 varslet oppstart av planarbeid for å gjennomføre oppgradering av verket for ytterligere å sikre eksisterende og nytt industriområde. Hovedtiltakene som er planlagt gjennomført er:

- Nytt flomvern på grensa mellom grøntområde og industriområde, omfatter industriområdene på østsiden og vestsiden av Flagstadelva.
- Ny flomvoll for nytt planlagt industriområde, på østsiden av Flagstadelva.
- Sperredam/løsmasseterskel v/Lierberget hoppbakke, ca. 3 km oppstrøms dagens verk.

## 2.4 Hva sikres av flomverket?

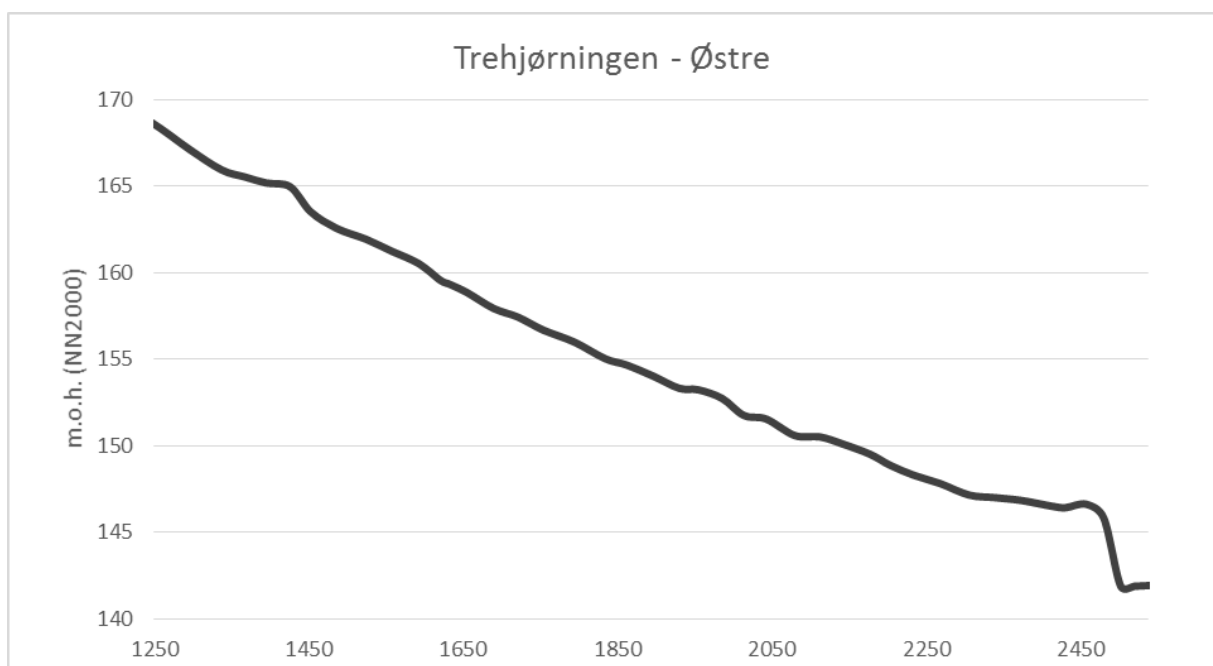
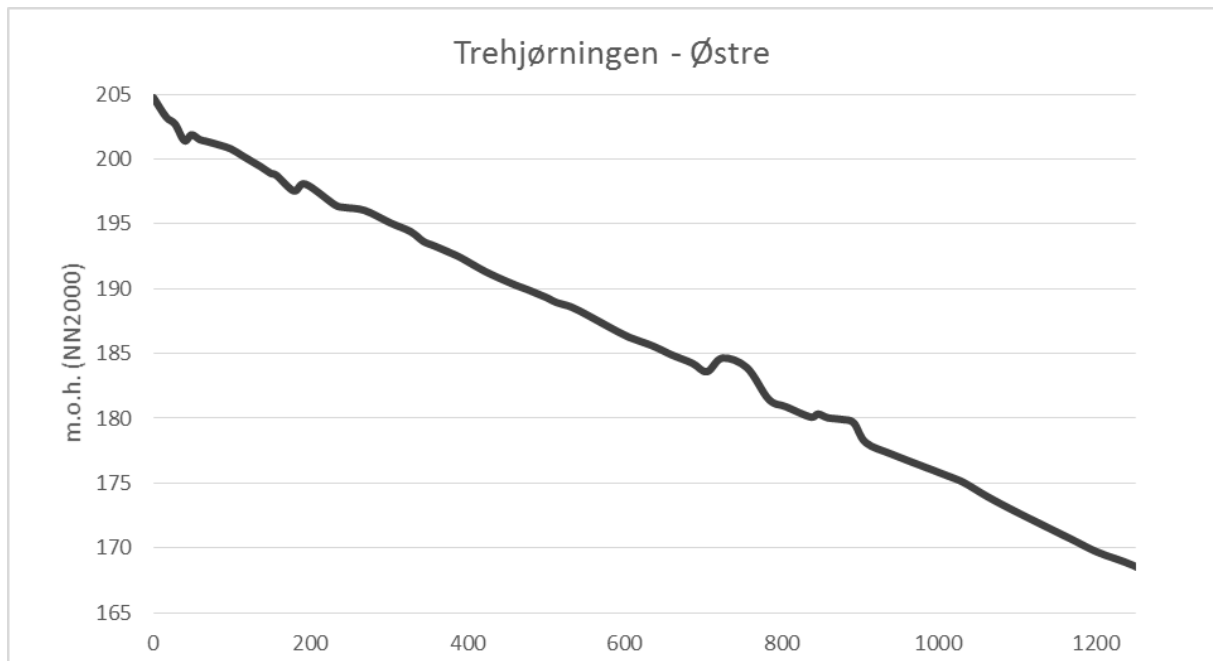
Flomverkene ved Trehjørningen vises i kartet i Figur 3. NVE har ikke utarbeidet flomsonekart for vassdraget, men flomsoneer for Trehjørningen er utarbeidet på bestilling fra Hamar kommune (utført av Sweco, 2015). Disse beregningene er lagt til grunn for angivelse av vannstand og anslått utbredelse av flommer med 200- og 1000-års gjentaksintervall.



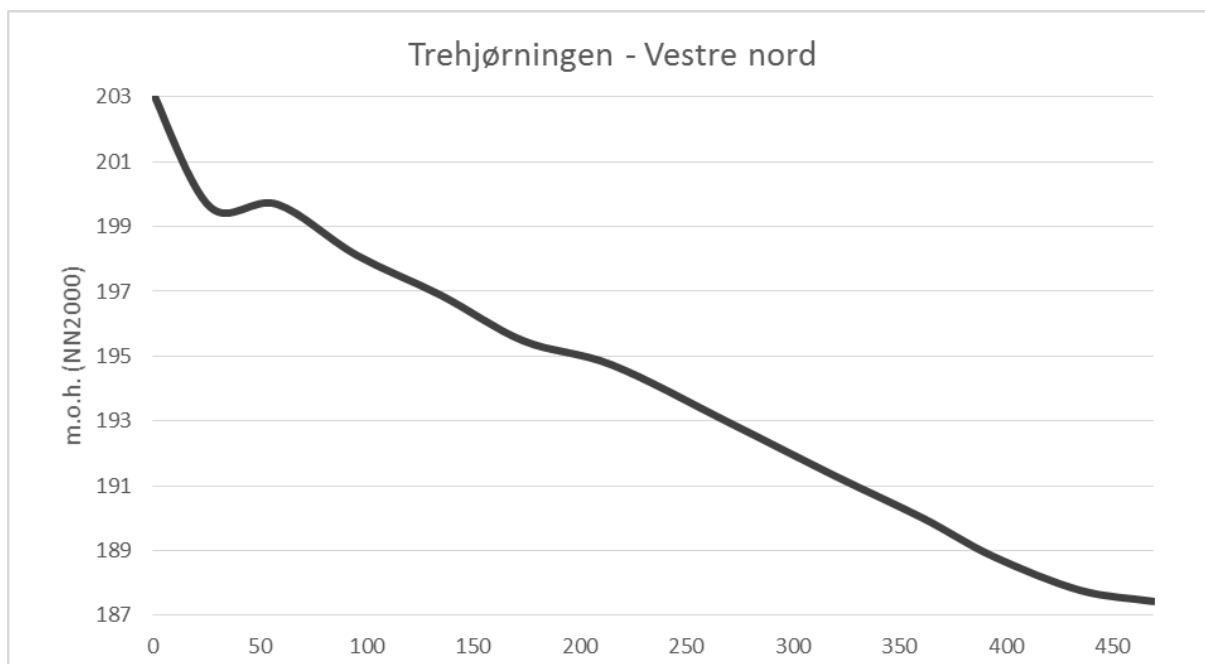
Figur 3: Kartet viser flomtiltaket samt utbredelsen av flomsoneer for ulike gjentaksintervall i en situasjon uten sikringstiltak. Flomsoneene er overlappende iht. tegnforklaringen. Utbredelsen av de sjeldnere, større hendelsene illustreres av de mørkere nyanser, som dekker større områder, da inkludert de lysere områdene. Punktene A-C markerer hvor det er sammenliknet flomvannstand med høyden på flomverket.

#### 2.4.1 Eksisterende sikkerhetsnivå

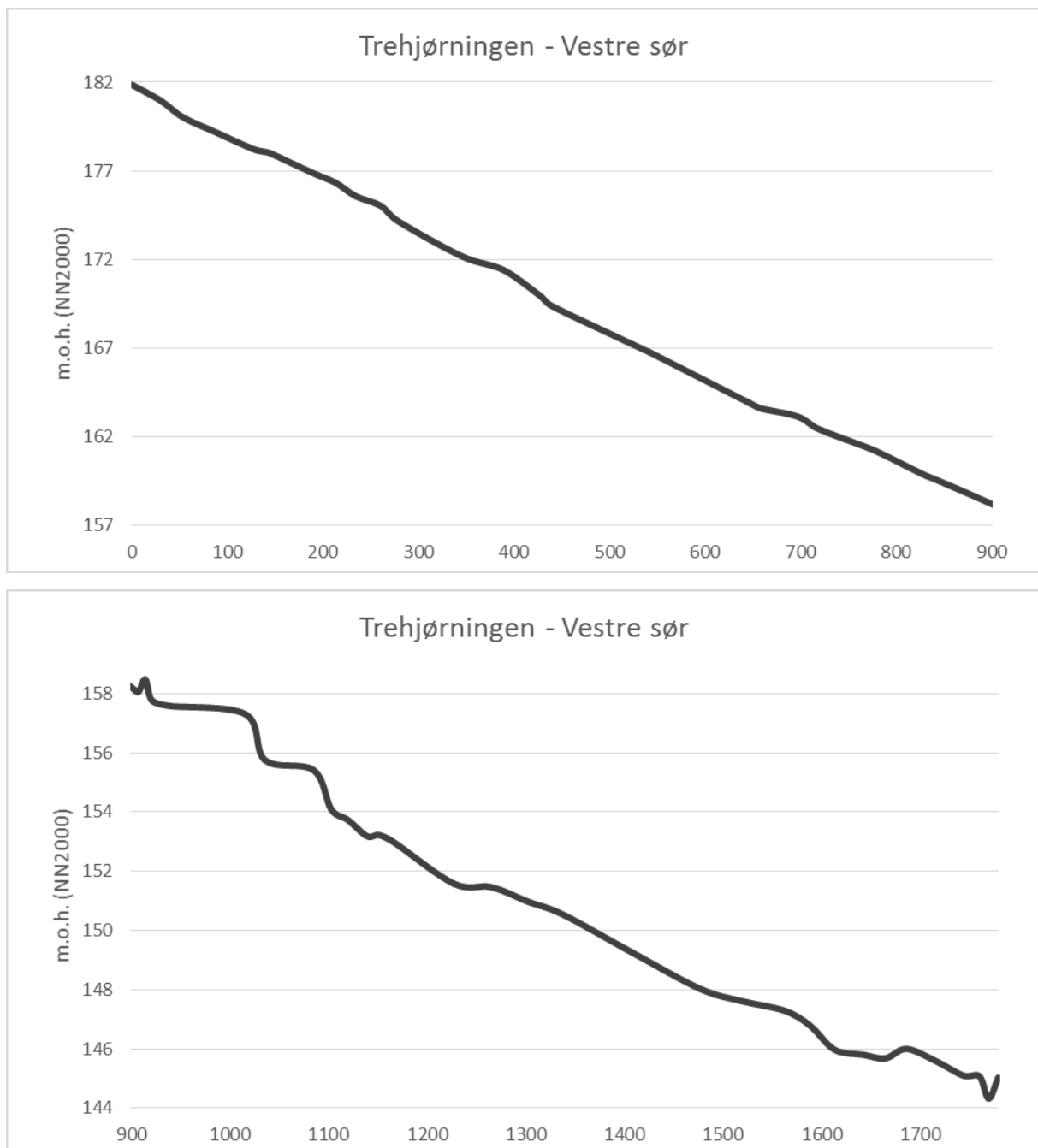
I forbindelse med befaring og vurdering av flomvollene, er det foretatt innmålinger av kronehøyden langs verkene, se figurene 4-6.



Figur 4: Lengdeprofil for «østre flomverk». Profilet vises fra oppstrøms til nedstrøms ende av flomverket, dvs. at pel nr. 0 befinner seg i oppstrøms ende.



Figur 5: Lengdeprofil for flomverket «vestre nord». Profilet vises fra oppstrøms til nedstrøms ende av flomverket, dvs. at pel nr. 0 befinner seg i oppstrøms ende.



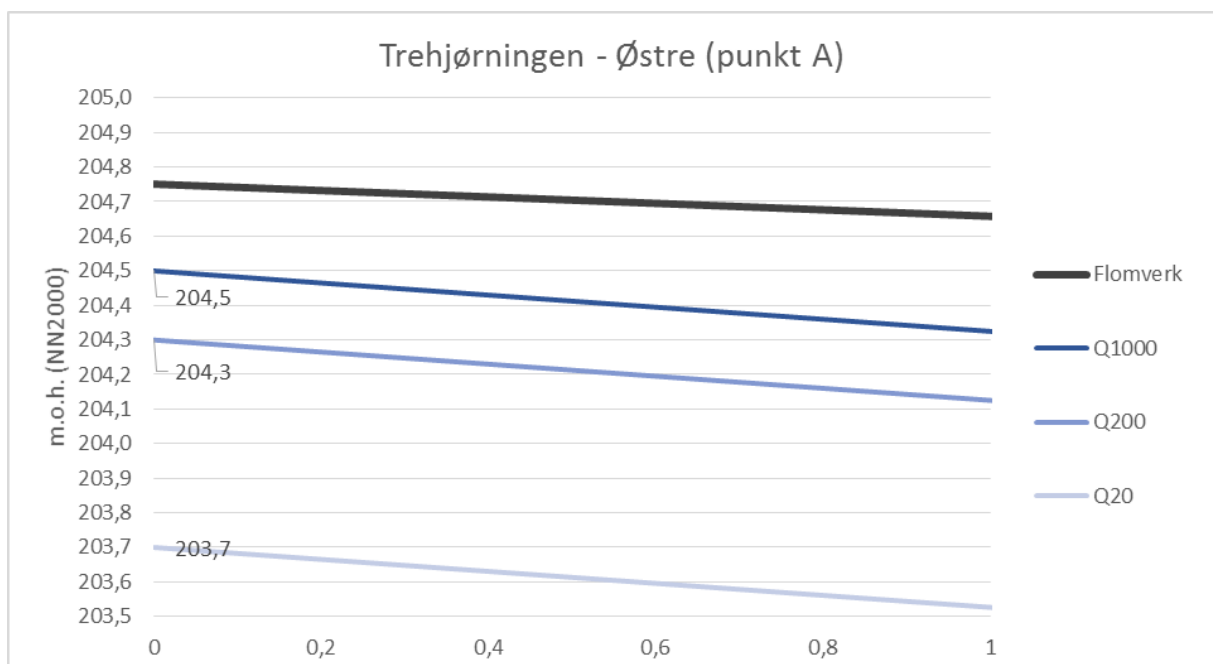
Figur 6: Lengdeprofil for flomverket «vestre sør». Profilet vises fra oppstrøms til nedstrøms ende av flomverket, dvs. at pel nr. 0 befinner seg i oppstrøms ende.



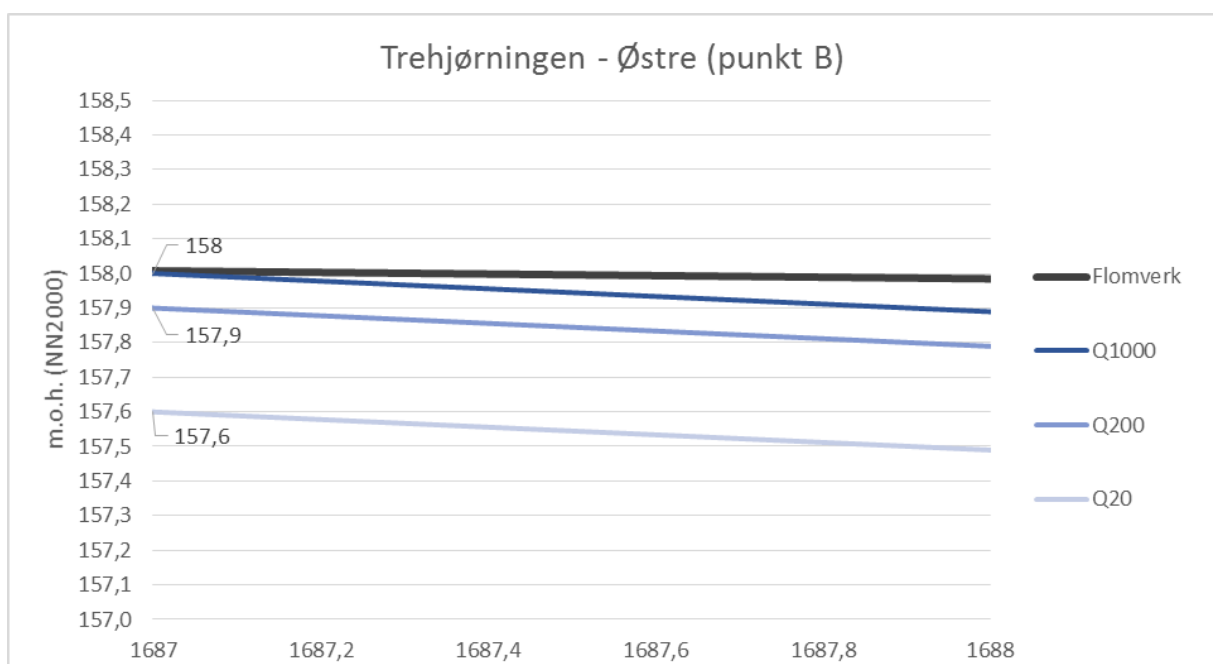
Beregninger utført av Sweco (2015) for 20-, 200- og 1000-års gjentaksintervall inkluderer vannstander for 3 representative tverrprofiler (lengst nord, ca. midt på og lengst mot sør, se Figur 3). For disse tre punktene er innmålt kronehøyde sammenlignet med ulike nivåer for flomvannstander, se figurene 7-9.

Vannstandene for de 3 punktene omfatter:

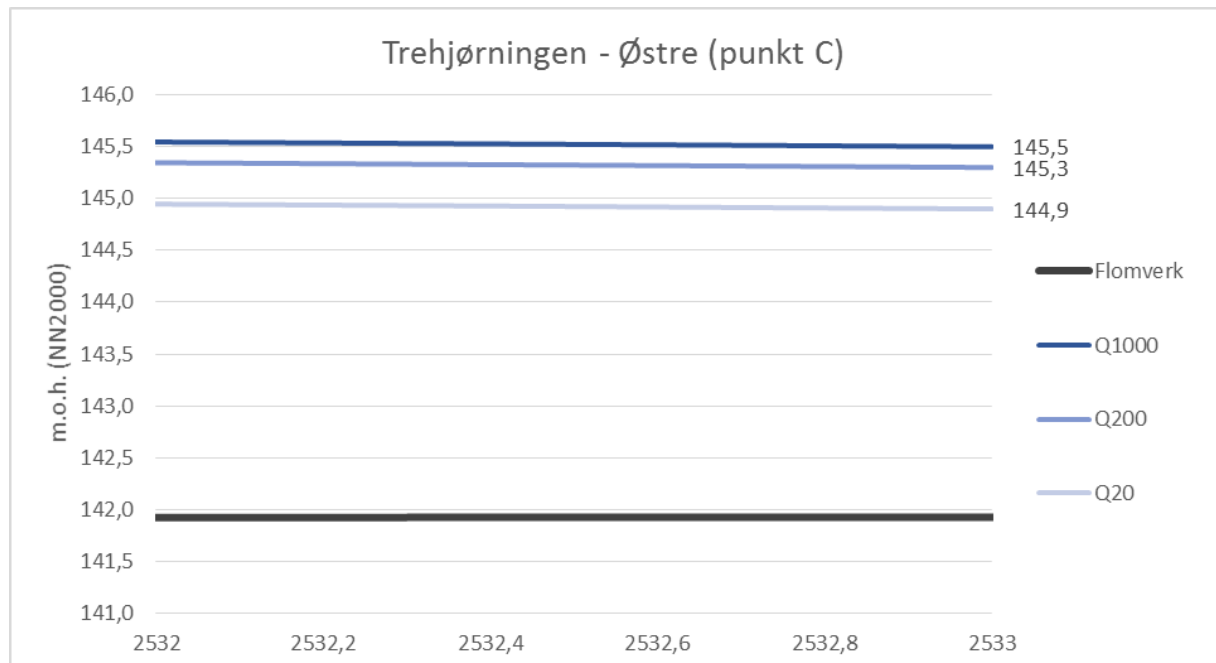
- Punkt A: Lengst nord på østre flomverk, pel 0.
- Punkt B: Midt på østre flomverk, pel 1687.
- Punkt C: Lengst sør på østre flomverk, pel 2533.



Figur 7: Vannstander og flomverkets høyde ved pel nr. 0, østre flomverk.



Figur 8: Vannstander og flomverkets høyde ved pel nr. 1687, østre flomverk.

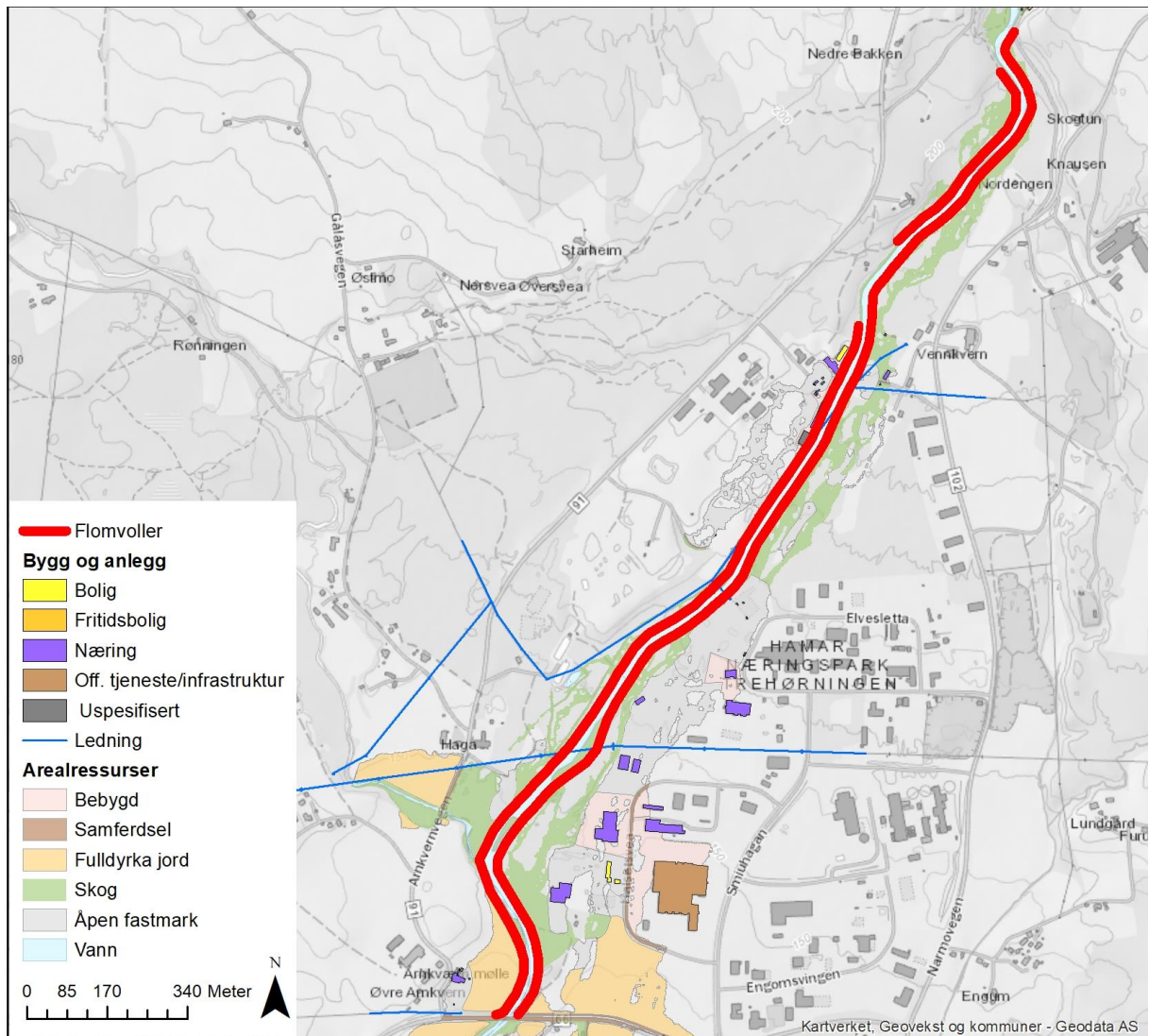


Figur 9: Vannstander og flomverkets høyde ved pel nr.2533, østre flomverk.

Figurene viser at flomverkets sikkerhetsnivå varierer betydelig nedover vassdraget. Som det fremgår av Figur 3 og Swecos rapport vil østre og vestre flomverk overtoppes flere plasser, selv ved 20-årsflom. Eksisterende sikkerhetsnivå for flomverket er derfor lavere enn 20-årsgjentaksintervall.

#### 2.4.2 Konsekvenser av flom for bygninger og arealer i sikringsområdet

Området som flomverkene beskytter er analysert for samfunnsverdier. Denne analysen er utført for utbredelsen til en 200-års flom. Ved en slik hendelse vil et område på 587 daa bli rammet. Arealenheten daa tilsvarer 1 000 m<sup>2</sup>. Området er analysert for eksisterende bygg (med ulike formål), arealressurser (AR5) samt viktig infrastruktur som jernbane og transmisjonsnett.



Figur 10: Analyseområdet for samfunnsverdier ved Trehjørningen med arealbruk og bygningsformål.

Omfanget av bygg innen standardiserte kategorier<sup>1</sup> som potensielt kan rammes av flom er oppsummert i Tabell 1 for antall bygg og grunnareal.

<sup>1</sup> Kartverket 2014. SOSI – generell objektkatalog, Fagområde Bygning versjon 4.5 (FKB-BYGG), Kartverket, januar 2014

Tabell 1 - Antall og samlet grunnareal for potensielt flomutsatte bygg innenfor standardiserte kategorier (FKB-BYGG, Kartverket 2014).

Bruksformål, detaljert	Antall	Sum grunnareal [m <sup>2</sup> ]
Uspesifisert	17	683
Annen lagerbygning	1	343
Annen forretningsbygning	1	379
Annen industribygning	5	2 078
Annen kontorbygning	1	177
Boligbrakker	3	783
Garasje, uthus, annekst til bolig	1	67
Hus for dyr/landbruk, lager/silo	1	147
Lagerhall	3	1 939
Postterminal	1	11 079
Verkstedbygning	4	5 432
<b>Total</b>	<b>38</b>	<b>23 107</b>

Omfanget av arealer som potensielt rammes av flom er oppsummert i Tabell 2. Arealet er oppsummert innen hver arealbrukskategori samt for totalen.

Tabell 2 – Flomutsatte arealressurser (AR5) oppsummert (Kilde: NIBIO, 2017)

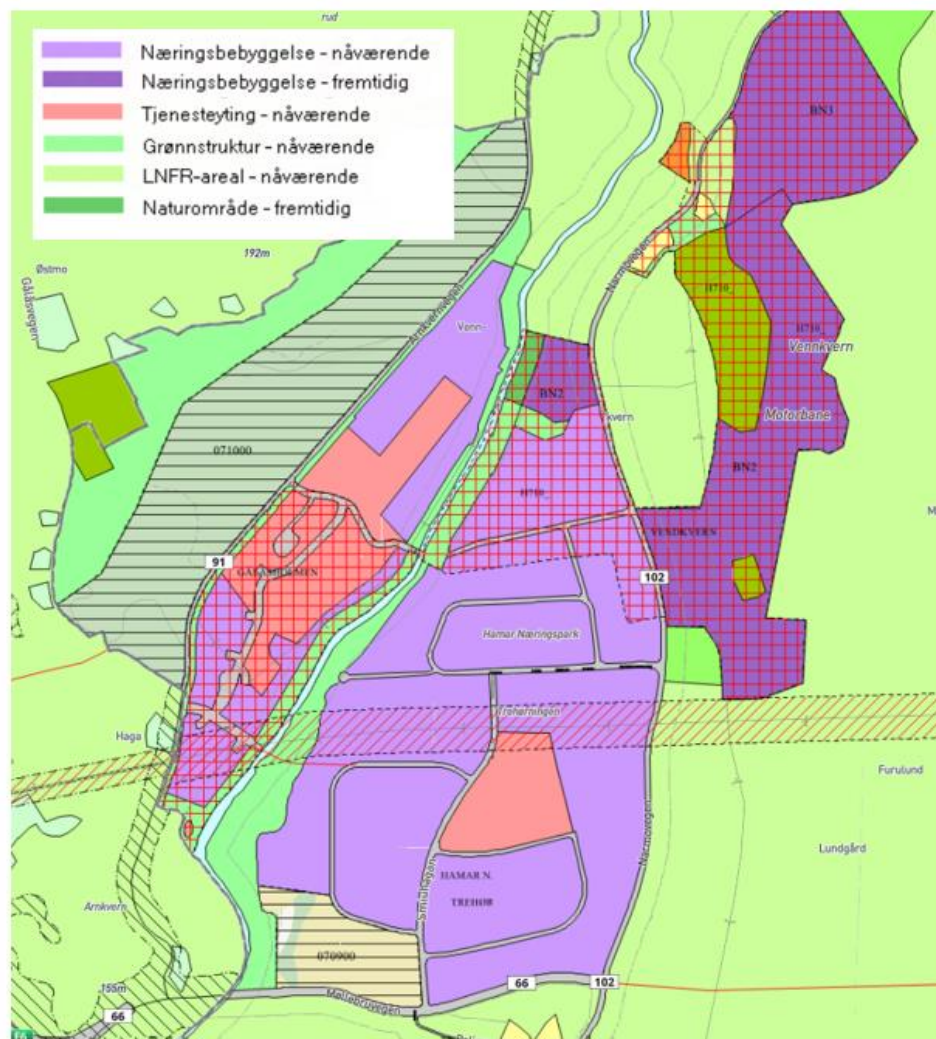
Arealbruk	Sum grunnareal [daa]
Bebygd	40,0
Ferskvann	53,3
Fulldyrka jord	182,9
Samferdsel	9,5
Skog	178,5
Åpen fastmark	122,8
<b>Total</b>	<b>587,0</b>

## 2.5 Utbyggingsplaner i sikringsområdet

Kommuneplanens arealdel 2014-2025 for Ringsaker er tilgjengelig fra kommunens nettside [www.ringsaker.kommune.no](http://www.ringsaker.kommune.no), og kommuneplanens arealdel 2018-2030 for Hamar er tilgjengelig fra kommunens nettside [www.hamar.kommune.no](http://www.hamar.kommune.no). Gjeldende arealplan viser at områdene som sikres av flomverket primært er kategorisert som nåværende eller fremtidig *Næringsbebyggelse*, *Offentlig eller privat tjenesteyting*, og *Landbruks-, natur- og friluftsmål samt reindrift*. Deler av området nærmest elven er kategorisert som nåværende og fremtidig *Grønnstruktur*, *naturområde*, *turdrag*, *friområde* og *park*.

Gjennom søndre del av området går det et høyspentanlegg, med tilhørende arealkategori hensynssone for høyspentanlegg. Deler av området er kategorisert som båndlagt område som er regulert eller skal reguleres til bevaring med hjemmel i plan og bygningsloven.

Det foreligger reguleringsplaner for både Gålåsholmen og Trehjørningen næringspark, reguleringsplanene omfatter primært industriområder, næringsbebyggelse og områder til kommunalteknisk virksomhet. Ved Trehjørningen næringspark er det et område regulert som fjernvarme-anlegg.



Figur 11: Kommuneplanens arealdel ved Trehjørningen (Kilde: [www.kommunekart.com](http://www.kommunekart.com))

## 2.6 Kommunens tilsyns- og beredskapsrutiner

### Tilsynsrutiner

Flomproblematikk knyttet til Flagstadelva ved Trehjørningen er godt kjent for kommunene og det er iverksatt flere tiltak for både kartlegging av flomfare i området og utbedring av sikringstiltaket. Hamar kommune opplyser i kommunemøte (12.02.2018) at det ikke er kjennskap til at det føres noe regulert tilsynsarbeid for flomverket. Kommunen har likevel en person som følger opp flomverket (per 2018 er dette Torger Vea), og som også sørger for at det utføres tilsyn ved behov, særlig etter større flommer. Det iverksettes også jevnlig tiltak for vedlikehold, f.eks. rensk av trær som har blitt dratt med elven og uttak av masser etter behov.

### Beredskapsrutiner

Hamar kommune har utarbeidet en generell beredskapsplan som fastlegger hovedprinsippene for beredskapsarbeid i kommunen. Planen tydeliggjør kommunens strategier innenfor beredskapsfeltet og gir føringer til de kommunale virksomhetenes egne beredskapsplaner. Beredskapsplanen er tilgjengelig internt for kommunen. Kommunen utarbeider også jevnlig ROS-analyser i samarbeid med de ulike kommunale virksomhetene, som blant annet analyserer risiko for mulige hendelser og identifiserer sannsynlighet, sårbarhet, konsekvenser og tiltak.

Kommunens tekniske etat har utarbeidet prosedyrer og tiltak for å håndtere lokale flomsituasjoner, med tilhørende beredskapsplan. Ved alvorlige hendelser kan det videre etableres kommunal kriseledelse der et større beredskapsapparat blir mobilisert.

### 3 Feltregistreringer

Det ble utført befarings på Trehjørningen flomverk den 27.04.2018. Tilstede på befaringsen var Thea Caroline Wang og Jon Magnus Amundsen fra Multiconsult, Grete Hedemann Aalstad og Simon Sørli fra NVE, og Torger Veia fra Hamar kommune.

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***

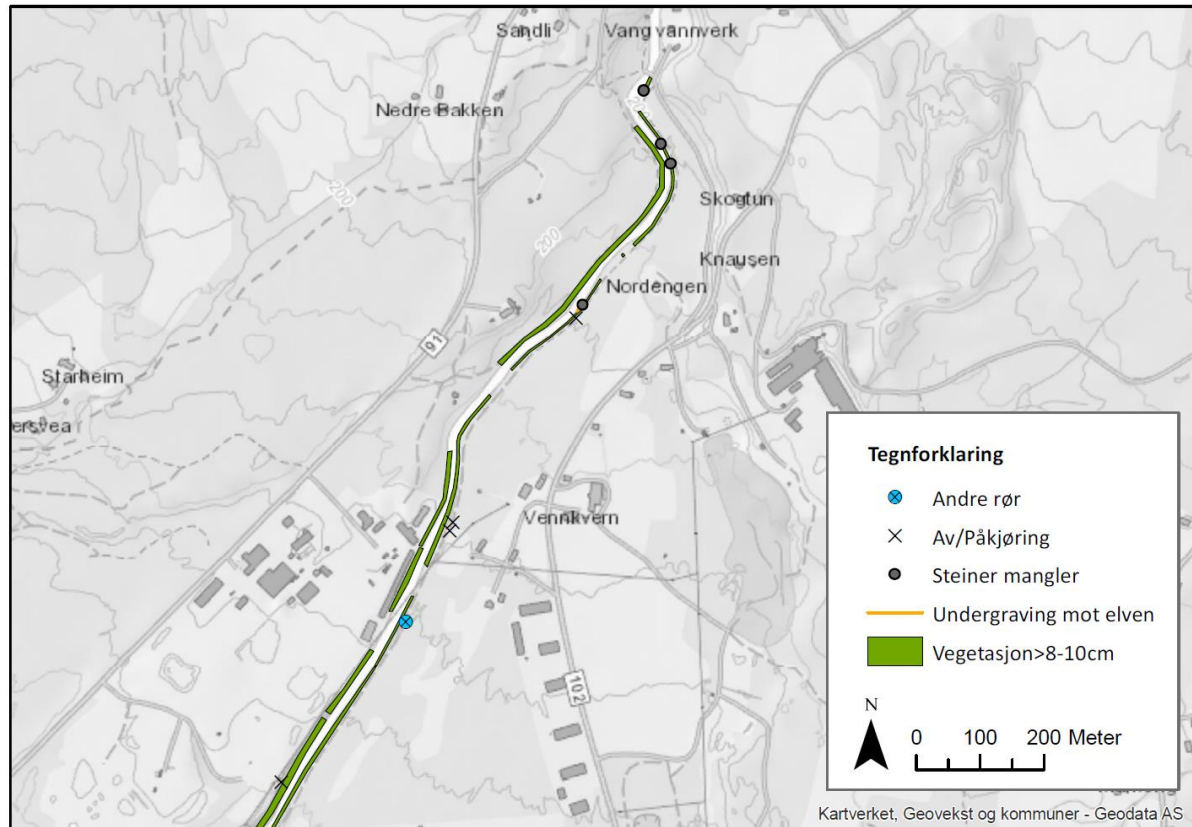
1. Ventiler/ Andre rør gjennom verk
2. Manglende framkommelighet for kjøretøy
3. Vegetasjon som har større diameter enn 8-10 cm ved roten
4. Manglende erosjonssikring

#### ***Skader på erosjonssikring***

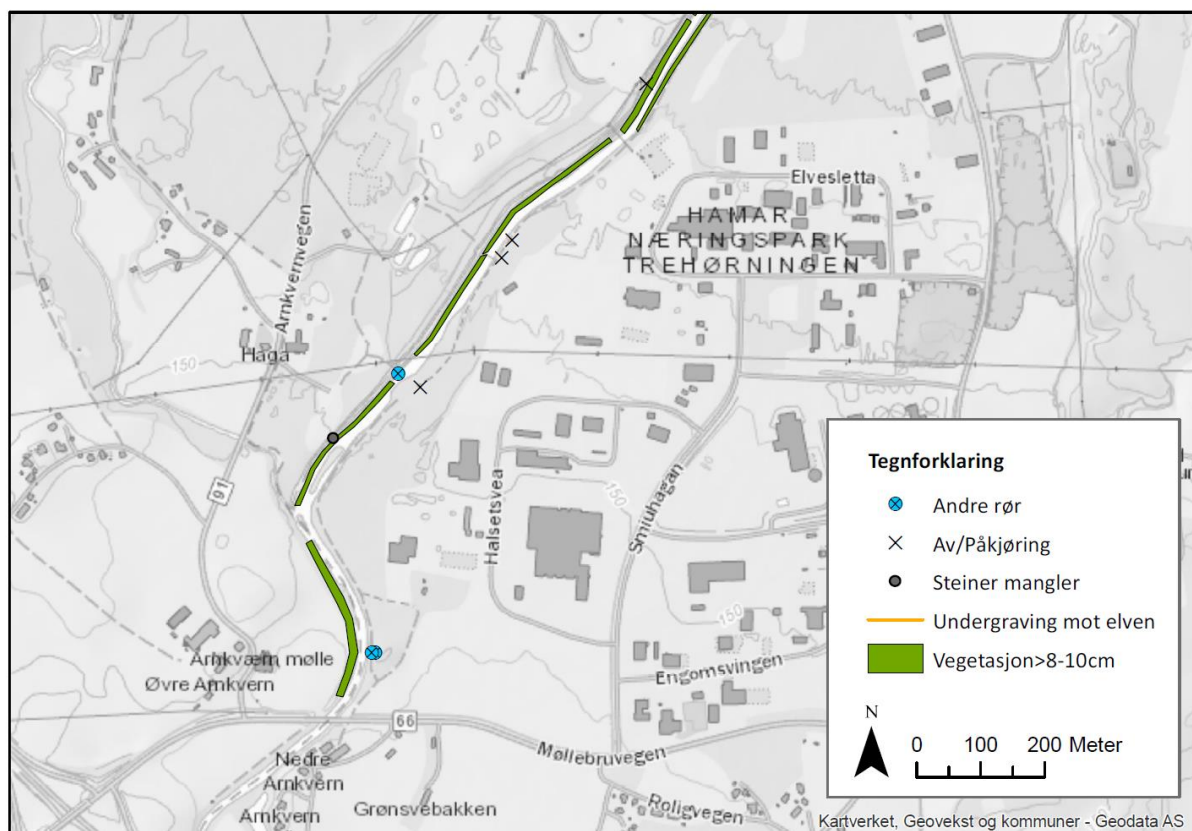
1. Steiner mangler
2. Vegetasjon som har større diameter enn 8-10 cm ved roten
3. Undergraving mot elven

En oppsummering av tilstanden på flomverkene er presentert i detaljerte kart med markerte observasjoner i Figur 12 og Figur 13. Registreringene er også levert i digitalt format som vedlegg til denne rapporten.

Østre verk er 2540 m langt og beskytter Trehjørningen næringspark. Vestre verk består av to parseller, nordre parsell på ca. 570 m, og søndre parsell på ca. 1800 m og beskytter Gålåsholmen næringsområde.



Figur 12: Observasjoner ved Trehjørningen flomverk (østre og vestre), øvre del.



Figur 13: Observasjoner ved Trehjørningen flomverk (østre og vestre), nedre del.



### 3.1 Østre flomverk

Langs oppstrøms ende av østre verk er det stor vegetasjon på vannsiden. Kommunen opplyser under befaring at ved store vannføringer drar elven med seg vegetasjon og trær fra elvekantene. Elven er også svært masseførende. Det har flere ganger blitt utført vedlikeholdsarbeid i form av opprensning av vegetasjon og masseuttak fra elveløpet.



Figur 14: Oppstrøms ende av østre flomverk (Bilde: Multiconsult).

Oppstrøms ende av verket er erosjonssikret, og det er generelt plastring utført i forband med stor stein. Det er lite setninger og linjeføringen fremstår som om plastringen var nylig utført, til tross for at dette er en 60 år gammel steinsetting. Det er enkelte steder registrert skader på erosjonssikringen i form av manglende steiner, se Figur 15. Ved pel nr. 1000 og videre nedstrøms blir erosjonssikringen stadig mer tildekket med vekstmasser, og observasjoner taler for at erosjonssikringen i større grad er utført med ørmasser.



Figur 15: Skadet erosjonssikring og manglende steiner i oppstrøms ende av østre verk. (Bilde: Multiconsult)

Ved pel nr. 950 og 1050 er det opparbeidet terskler i elven, se Figur 16. Ved pel nr. 1000 er det registrert et  $\varnothing 1000$  mm rør som drenerer bakvann fra luftsiden av flomverket. I forbindelse med røret er det en ledevoll på luftsiden som leder vann til rørintaket. Ved pel nr. 2430 ligger det et større rør,  $\varnothing 2000$  mm som også drenerer området bak flomvollen.

Omtrentlig midt på verket, ved pel nr. 1900, har flomverket og elvebunnen blitt gravd ut for etablering av rør over under elven. Her er flomverket bygget opp igjen, se Figur 17. Det er primært bygget opp av finere masser, og det er noe setninger i massene som kan skyldes dårlig komprimering. Det gjenstår noe avsatte masser som skaper en liten øy i elven. Tverrsnittet er derfor noe smalere akkurat her.

Langs nedre deler av verket er det lagt opp masser som har blitt tatt ut av elven etter jevnlig opprensning av elveløpet.

Det er enkel adkomst til hele verket via bilvei på toppen av verket.



Figur 16: Terskel i elven ved pel nr. 950. (Bilde: Multiconsult).



Figur 17: Nylig rehabilitert flomsikring ved pel nr. 1900 (Bilde: Multiconsult).

### 3.2 Vestre flomverk

Vestre flomverk har tett vegetasjon langs store deler av verket både på vannside og luftside. Det er vanskelig adkomst til hele flomverkets lengde på grunn av mye vegetasjon, med unntak av enkelte korte strekk inntil industriområdet. Figur 18 viser tett vegetasjon over flomverket og er representativt for store deler av verket.



Figur 18: Bilde fra vestre flomverk, ca. ved pel nr. 2200 (Bilde Multiconsult)

Det vestre flomverket fremstår som lite/ikke vedlikeholdt. Dette skyldes trolig begrensede konsekvenser sammenlignet med overtopping av det østre flomverket.

Ved pel nr. 1600 er det registrert et rør med vingemurer og rist (prefabrikkert «bekkeinntak»), se Figur 19.

Det er trolig eldre erosjonssikring langs hele parsellen, men avlagrede sedimenter/masser fra elven ligger utenpå flere steder.

Det er enkel adkomst til verket via industriområdet i vest, mens ferdsel på verket er vanskelig på grunn av mye og stor vegetasjon.



Figur 19: Rørintak på vestre flomverk, pel nr. 1600 (Bilde: Multiconsult).

## 4 Vurderinger

### 4.1 Tilsyn og beredskap

Kommuneansatte har vist god oversikt over og kjennskap til historikken til flomverket i kommunemøtet (12.02.2018) og på befaringen (27.04.2018). Kommunen har en person som følger opp flomverket, og som også sørger for at det utføres tilsyn ved behov. Det anbefales at tilsyn dokumenteres, gjerne ved bruk av NVEs tilsynsskjema for sikringstiltak i vassdrag.

Det er enkel adkomst til østre verk via bilvei på toppen av verket. Det er enkel adkomst til vestre verk via industriområdet i vest, mens ferdsel på verket er vanskelig på grunn av mye og stor vegetasjon.

### 4.2 Teknisk tilstand

Vedlikehold av østre flomverk er generelt bra, men det er stor vegetasjon på vannsiden langs store deler av verket i øvre ende. Ved vestre verk er det stor og tett vegetasjon på både vann- og luftside av verket. 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 om man velger å beholde disse traseene av eksisterende flomverk. Det påpekes at dette kun gjelder vegetasjon som står på/i selve sikringsanlegget, da øvrig vegetasjon kan være verdifull kantvegetasjon for naturmiljøet.

Da det for tiden pågår arbeider med planlegging og prosjektering av nytt sikringstiltak på strekningen er det ikke utført en inngående vurdering av konsekvenser og behov for rehabilitering basert på observasjonene i kapittel 3. Anbefalt oppgradering dekkes i større detalj av tidligere utarbeidede rapporter for Hamar kommune og pågående skisseprosjekt.

Det bemerkes dog at elven er svært masseførende. Massetransporten kan potensielt føre til skader på erosjonssikringen/flomsikringen og gi variasjoner i elveløpet under stor vannføring. Under befaring opplyses det om at samme vannføring i elven kan gi svært forskjellige konsekvenser, alt etter hvor mye masser som følger med flomvannet. Dimensjonering av nytt flomverk og eventuelle tiltak knyttet til massetransport bør derfor ta stilling til hvordan massetransporten i elven skal håndteres. I tillegg er det kjente hendelser knyttet til isproblematikk og erosjon, som man må hensynta ved skissering av nytt tiltak.

Det gjennomføres per i dag jevnlig opprensning av elveløpet, og massene fjernes eller legges opp mot sideskråningene på luftsiden av flomverket. Denne deponeringen har kun positive effekter for flomverket, da det vil gi fritt løp for elven og oppbygging av flomvollen.

Ved pel nr. 1900 er flomverket nylig gravd opp og rehabilitert etter legging av rør under elven. Ny oppbygging var på befaringstidspunktet ikke tilstrekkelig utført med tanke på steinstørrelser, erosjonssikring og komprimering av massene. Dersom iverksetting av arbeid med nytt tiltak forsinkes, bør det vurderes om dette skal utbedres i mellomtiden.

Ved fire lokaliteter (tre ved østre- og ett ved vestre verk) ble det funnet mindre skader i erosjonssikringen og for en litt lengre strekning (ved østre verk) ble det funnet undergravet erosjonssikring. Dette bør utbedres om man velger å ivareta disse strekningene som del av nytt flomverk.

Den geotekniske stabiliteten til flomvollene er ikke vurdert. Flomvollene har en beskjeden høyde, noe som vil virke positivt på stabiliteten. Nye tiltak vil trolig omfatte betydelig høyere flomvoller og stabiliteten her må ivaretas i det pågående arbeidet med nytt flomverk.

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 for eksisterende flomverk ved Trehjørningen.

### 4.3 Anbefalt sikkerhetsnivå

I sikringsområdet finnes det i dag flere bygg som etter Byggteknisk forskrift (TEK 17) § 7-2 «Sikkerhet mot flom og stormflo» vil inngå i F2. Dersom man skal bygge et nytt F2- bygg må man dokumentere at dette har sikkerhet mot henholdsvis 200-års. Byggteknisk forskrift gjelder imidlertid kun for ny bebyggelse og påbygg på eksisterende bebyggelse. Det anbefales likevel at man prosjekterer ny flomsikring for å sikre opp til 200-års gjentaksintervall, pluss en sikkerhetsmargin (typisk 0,5 m).

Med tanke på elvens bratte helning og betydelige massetransport, vil masseavsetninger og variasjoner i elveløpet påvirke vannstanden ved flomvannføringer. En heving av flomverkets sikkerhetsnivå vil derfor også måtte sees i sammenheng med massehåndtering i elveløpet.

### 4.4 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 strømme en relativt stor vannføring inn i områdene på flomverkets luftside. 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.

Flagstadelva er svært bratt langs Trehjørningen flomverk. Det er derfor ikke mulig å etablere et hensiktsmessig vannspeil bak flomverket og det vil da heller ikke være aktuelt å etablere nødoverløp for flomverket.

Det vil alltid være en fare for overtopping av flommer som er større enn det flomverket er dimensjonert for. Ved å ha gode planer og alternative tiltak for slike hendelser kan flomskadene reduseres betraktelig. Slike tiltak kan f.eks. være overdimensjonering av overvannsystemet bak flomverket (grøfter og stikkrenner), ledevoller og andre lignende tiltak.

Ved å seksjonere sikringsområdet opp med ledevoller som leder flomvann tilbake til vassdraget kan man begrense omfanget ved eventuelle overtoppinger og redusere konsekvensene. Dette kan for eksempel utgjøre en del av nødvendig drenering av overvann.



## 5 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](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] Sweco 2015. *Flomsonekartlegging i Flagstadelva, Hamar kommune*. Hydrologi og Hydraulikk, Trondheim, Sweco Norge AS
- [3] Hamar kommune 2011. *Kommuneplanens arealdel 2011-2022*, tilgjengelig fra kartverkets WMS tjeneste: <https://wms.geonorge.no/skwms1/wms.kommuneplaner?>, lastet ned 07.02.18.
- [4] Ringsaker kommune 2014. *Kommuneplanens arealdel 2014-2025*, tilgjengelig fra kartverkets WMS tjeneste: <https://wms.geonorge.no/skwms1/wms.kommuneplaner?>, lastet ned 07.02.18.
- [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	<b>Flomverk og pumpestasjoner i Region Øst; status og behov for oppgradering</b>	DOKUMENTKODE	130615-RiEn-NOT-001
EMNE	Stabilitetsberegninger	TILGJENGELIGHET	Åpen
OPPDRAAGSGIVER	<b>NVE</b>	OPPDRAAGSLEDER	Thea Caroline Wang
KONTAKTPERSON	<b>Grete Hedemann Aalstad</b>	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)

<b>Permanent Actions (A)</b>		
Unfavourable	$\gamma_G$	1
Favourable	$\gamma_G$	1
<b>Variable Actions (A)</b>		
Unfavourable	$\gamma_Q$	1.3
Favourable	$\gamma_Q$	0
<b>Material Parameters (M)</b>		
Effective cohesion	$\gamma_{c'}$	1.25
Coefficient of shearing resistance	$\gamma_{\phi}$	1.25
Undrained strength	$\gamma_{c_{cu}}$	1.4
Weight density	$\gamma_Y$	1
Shear strength (other models)		1.25
<b>Resistance (R)</b>		
Earth resistance	$\gamma_{Re}$	1
<b>Anchorage (R)</b>		
Tensile and Plate strength	$\gamma_a$	1
Shear strength	$\gamma_a$	1
Compressive strength	$\gamma_a$	1
Bond strength	$\gamma_a$	1
<b>Seismic</b>		
Seismic Coefficient		1

## 1.3 Inngangsdata og beregninger

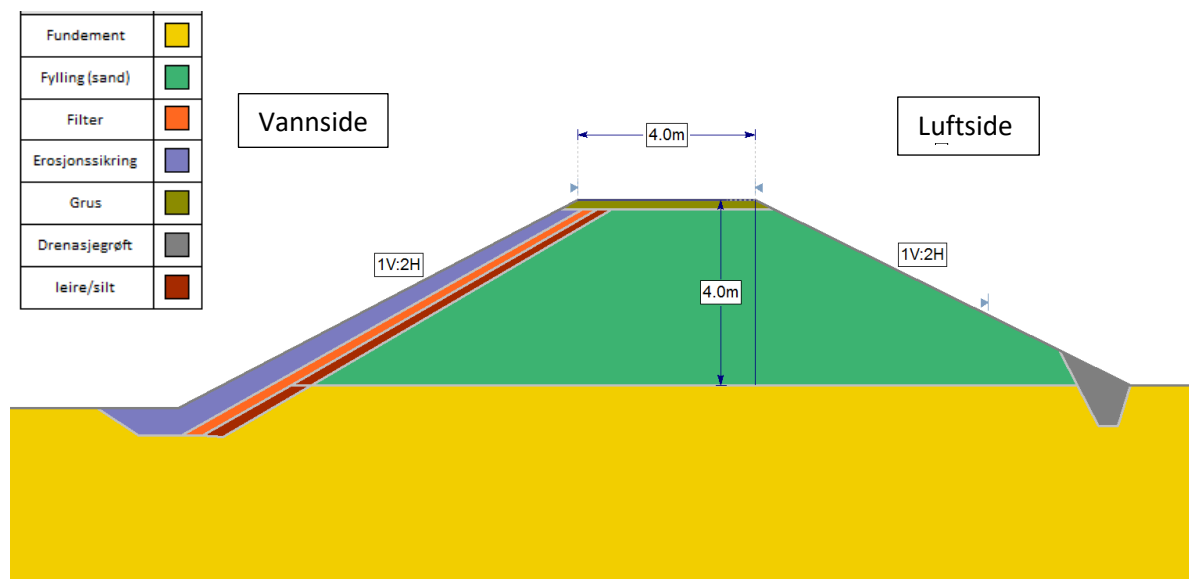
### 1.3.1 Analysemetode

Analysen er basert på grenselikevektsbetraktning ("General Limit Equilibrium"), og tilfredsstillende 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:

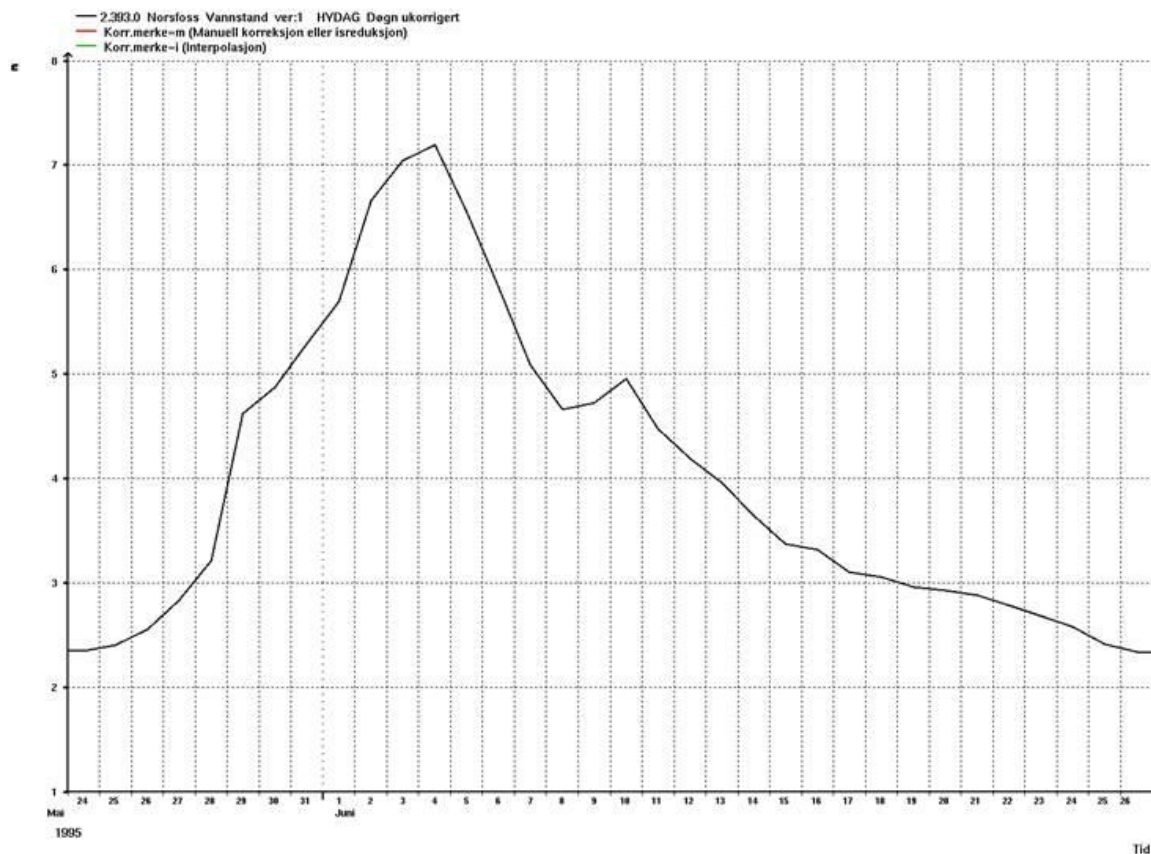
- Vannside skråning, 1V:2,0H
- Luftside skråning, 1V:2,0H
- Topp bredde – 4,0m
- Høyde – 4,0m
- Tetningskjerne av leire / silt på vannside



Figur 1: Representativt snitt av flomvoll, med soneinndeling

### 1.3.3 Hydrauliske forutsetninger

Ved stasjonært tilstand ble vannstanden på flomverkets vannside satt til 0,5 m 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 stasjonært tilstand; 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
<b>1 Fundament (Naturlig grunn)</b>	Vekt	20 kN/m <sup>3</sup>	Fra NGI rapport
	Kohesjon	0 kPa	
	Friksjon	34°	
	Mettet permeabilitet	10 <sup>-4</sup> m/s	
<b>2. Fylling (sand)</b>	Vekt	18 kN/m <sup>3</sup>	Håndbok V220 – Friksjon
	Kohesjon	0 kPa	
	Friksjon	36°	Fra NGI rapport – permeabilitet
	Mettet permeabilitet	10 <sup>-4</sup> m/s	
<b>3. Filter (Grus)</b>	Vekt	20 kN/m <sup>3</sup>	Fra NGI rapport
	Kohesjon	0	
	Friksjon	38°	
	Mettet permeabilitet	10 <sup>-4</sup> m/s	
<b>4. Erosjonssikring</b>	Vekt	18 kN/m <sup>3</sup>	Fra erfaringstall - Konservativt anslått (Steinene er antatt mindre ordnet som plastringsstein på en dam)
	Kohesjon	0 kPa	
	Friksjon	42°	
	Mettet permeabilitet	10 <sup>-1</sup> m/s	
<b>5. Drenasjegrøft</b>	Vekt	23 kN/m <sup>3</sup>	Fra NGI rapport
	Kohesjon	0 kPa	
	Friksjon	38°	
	Mettet permeabilitet	10 <sup>-2</sup> m/s	
<b>6. leire/silt</b>	Vekt	20 kN/m <sup>3</sup>	Erfaringstall
	Kohesjon	0 kPa	
	Friksjon	32°	
	Mettet permeabilitet	10 <sup>-6</sup> m/s	

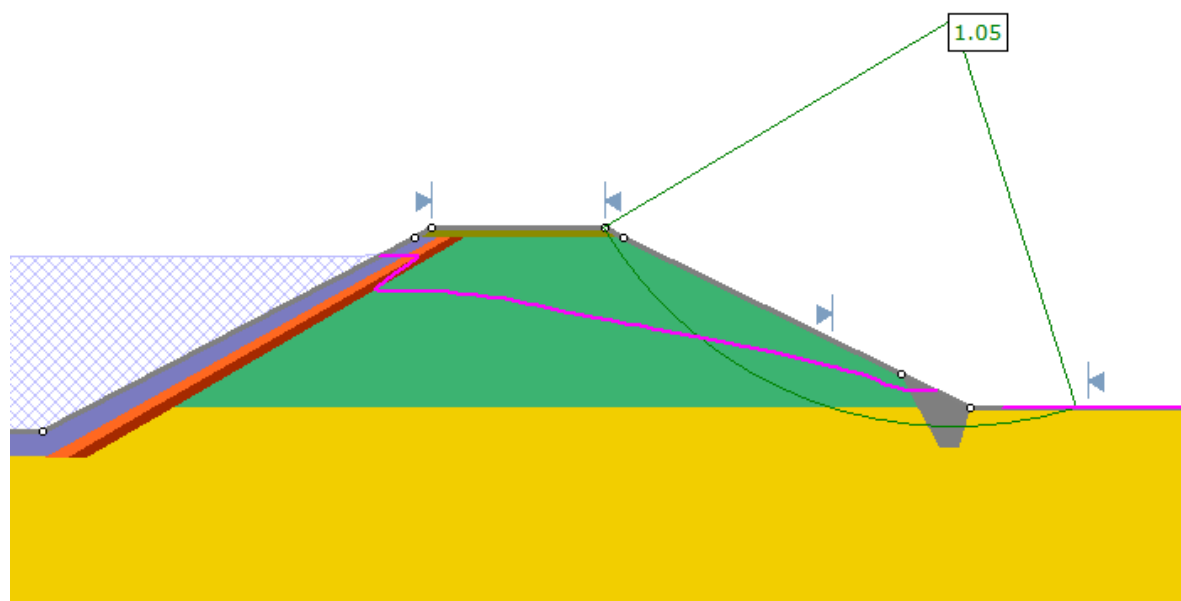
## 1.4 Beregninger og resultater

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,

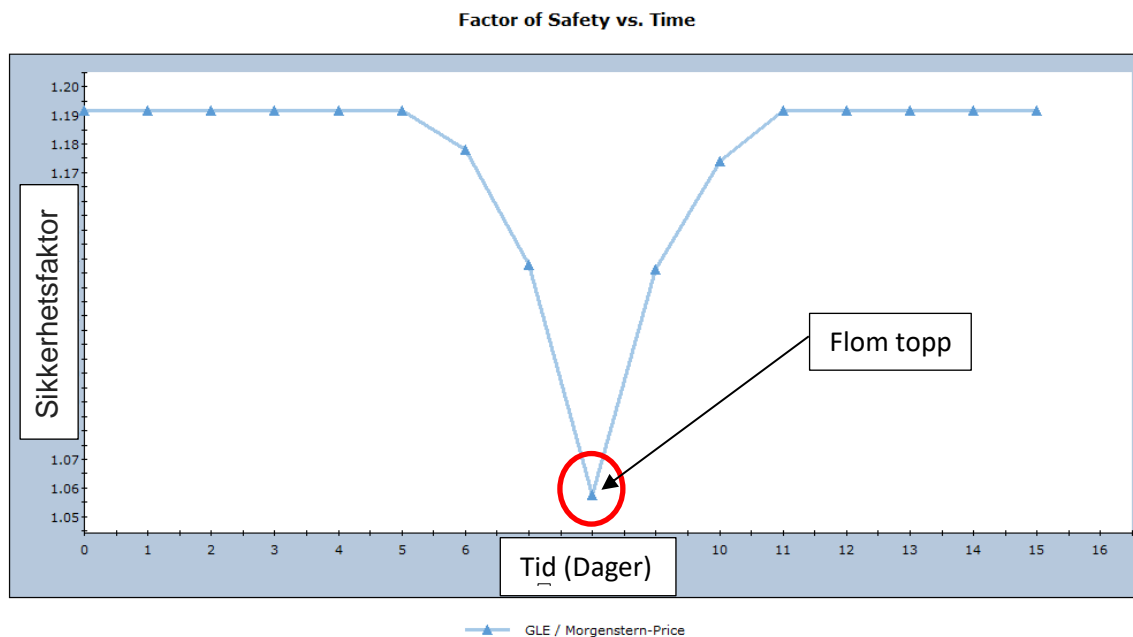
Sikkerhetsfaktoren under stasjonært tilstand er 1,3. Det betegner imidlertid verste tilfelle for flomverkets luftside. Sikkerhetsfaktoren er påvirket av fyllingens friksjonsvinkel, helning og soneinndeling (permeabilitetsforskjell mellom tetning, fyllmateriale og drenasjegrøft). En større forskjell mellom 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.

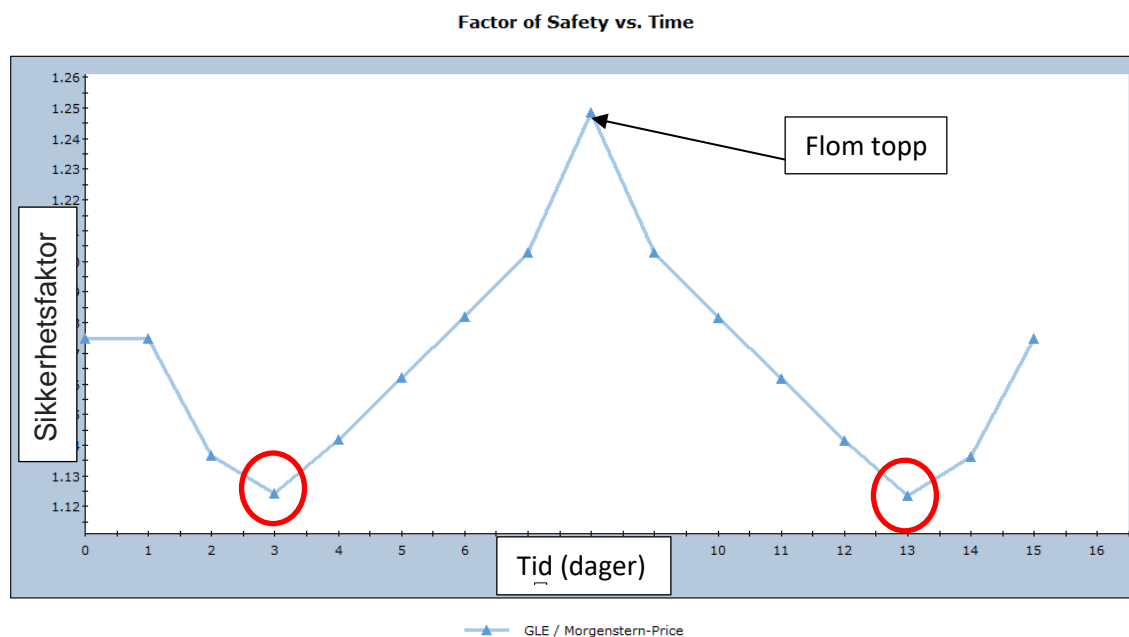


Figur 4: «Transient analysis» luftside, sikkerhetsfaktor mot tid (ugunstigste situasjon markert med en rød sirkel)

#### 1.4.3 «Transient analysis» vannside,

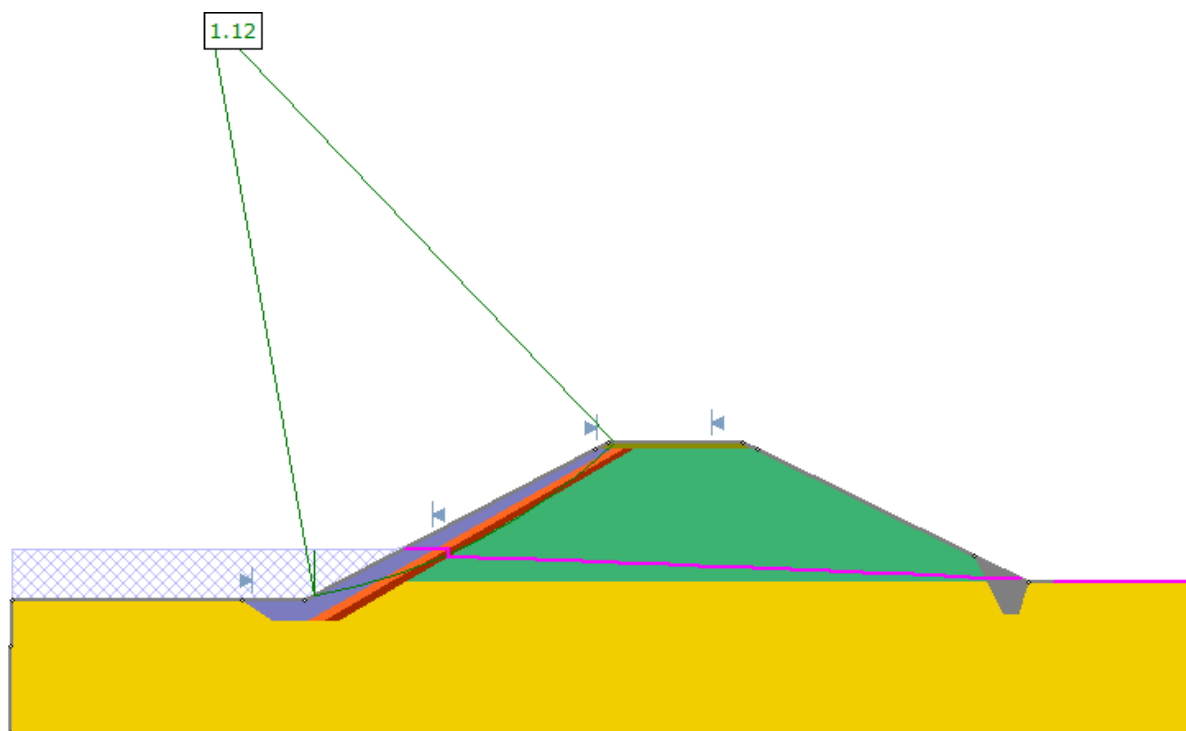
Sikkerhetsfaktoren på vannsiden er lavest under flomstart (3 dager) og i løpet av flommens slutt (13 dager). Dette skyldes at effekten av økt poretrykk i de nedre delene av flomverket er mer destabiliserende enn den stabiliserende effekten av vannet. Når vannstanden øker vil den stabiliserende effekten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





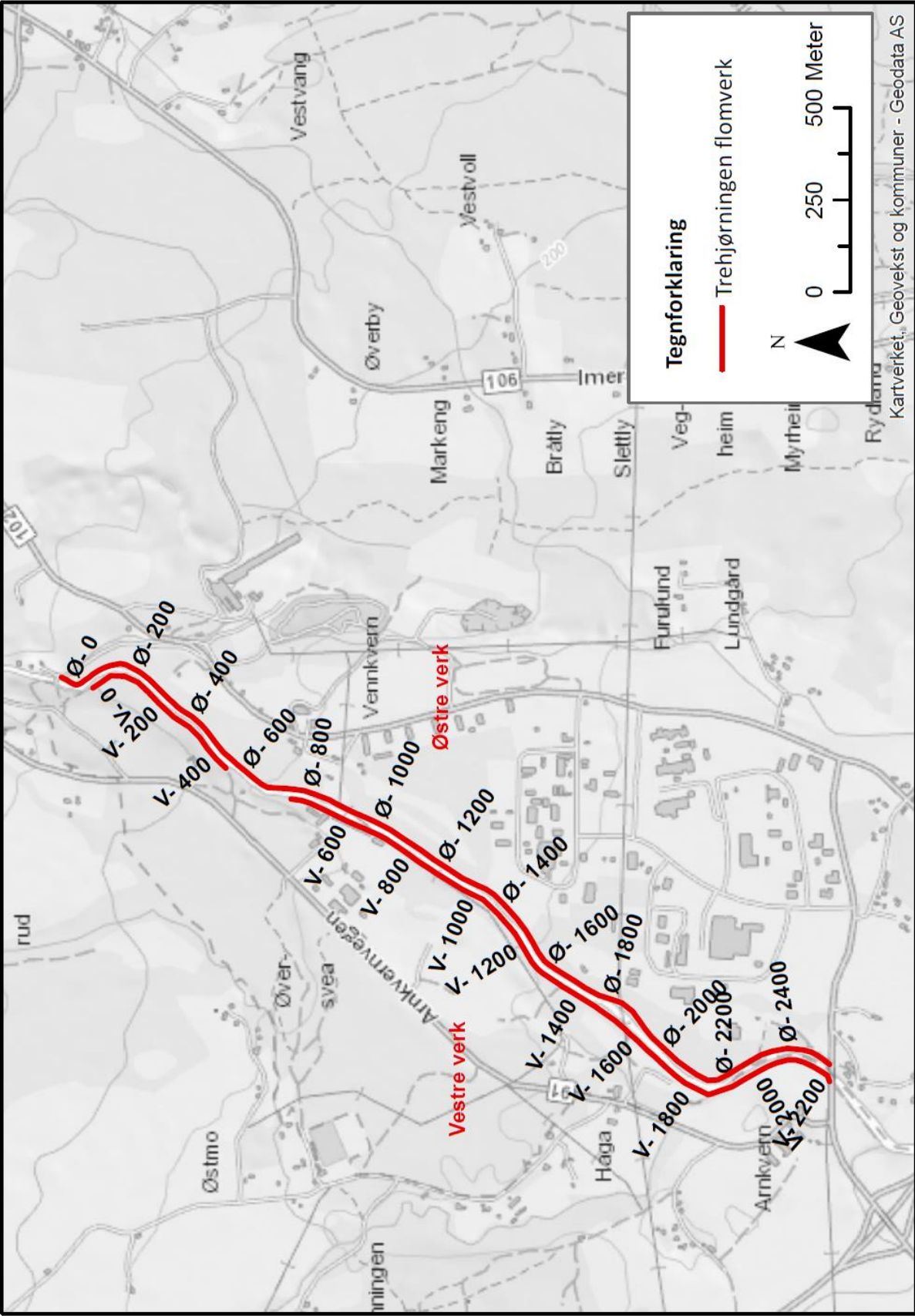
Figur 6: «Transient analysis» vannside, Etter 13 dager

## 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](http://www.nve.no)