

Flomsikring i Nesbyen
kommune

Forprosjektrapport
for sikring av
Nesflata, Rukkedøla og Steinmogutu

05.10.2025
revidert 24.10.2025

Oppdragsgiver: NVE
Norges vassdrags- og energidirektorat
Region sør
Anton Jenssens gate 7
3103 Tønsberg

Forfatter: Lindschulte
Ingenieurgesellschaft mbH Ammersee
Billerberg 10
82266 Inning am Ammersee

Dokumentoversikt

Rapport

- Vedlegg 1: Tegninger i henhold til tegningsliste
- Vedlegg 2: Samtidighetsanalyse
- Vedlegg 3: Geoteknisk datarapport 50517-01-R, Romerike Geoteknikk AS
- Vedlegg 4: Kvalitetssikring bunndata Hallingdalselva
- Vedlegg 5: Feltarbeid grunnvannsbrønner og pumpetester
- Vedlegg 6: Modellering overvannsavrenning
- Vedlegg 7: Hydraulikk sikring Nesflata
- Vedlegg 8: Hydraulikk sikring Rukkedøla
- Vedlegg 9: Grunnvannsmodellering
- Vedlegg 10: Vurderingsmatrise 29.05.2024, Notat vurderingsmatrise 22.07.2024
- Vedlegg 11: Kostnadsoverslag
- Vedlegg 12: Pumpestasjoner

Rapport

1.	Prosjektansvarlig	1
2.	Bakgrunn og formål med prosjektet	1
2.1	Prosjektets beliggenhet	1
2.2	Bakgrunn og formål med flomsikring	2
2.3	Tidligere studier og undersøkelser.....	2
2.4	Deltakere i prosjektet	3
3.	Datagrunnlag	3
4.	Eksisterende forhold.....	4
4.1	Generelt / planleggingsprinsipper.....	5
4.2	Samfunnsstruktur	5
4.3	Hydrologiske data	6
4.3.1	Hydrologi	6
4.3.2	Flomverdier	6
4.3.3	Samtidighet av flom og lokal nedbør	7
4.4	Geologiske og hydrogeologiske forhold	9
4.4.1	Innledning og datagrunnlag.....	9
4.4.2	Geologi	10
4.4.3	Borprofiler	12
4.4.4	Hydrogeologi	13
4.5	Spesifikasjoner for hydraulisk dimensjonering.....	15
4.5.1	Dimensjonerende vannføringer.....	15
4.5.2	Fribord	15
4.5.3	Massetransport, erosjon og avsetninger	15
4.6	Verneområder.....	16
4.7	Landbruk.....	16
4.8	Eksisterende flomsikring.....	16
4.9	Infrastruktur for forsyning.....	16
4.10	Infrastruktur for samferdsel.....	16
4.11	Kabler, ledninger og teknisk infrastruktur	17
5.	Overvannsavrenning	18
5.1	Modellering av avrenningen på overflaten	18

5.2	Eksisterende tilstand – klimajustert 200-års nedbør med 60 minutters varighet	18
5.3	Planlagt tilstand – klimajustert 200-års nedbør med 60 minutters varighet	22
5.4	Sammendrag overvannsavrenning.....	25
6.	Hydraulisk modell og hovedfunn	26
6.1	Hydraulisk modellering.....	26
6.2	Resultater Nesflata for dimensjonerende vannføring	26
6.3	Resultater Rukkedøla for dimensjonerende vannføring	28
7.	Undersøkelse av ulike alternativer for flomsikring	31
7.1	Generelt	31
7.2	Delprosjekter for planlegging av tiltak.....	31
7.2.1	Rukkedøla, sikring langs elva	31
7.2.2	Hallingdalselva, sikring av Nesflata	32
7.2.3	Bru over Rukkedøla – Hajem bru	32
7.2.4	Rukkedøla oppstrøms.....	32
7.2.5	Steinmogutu	33
7.2.6	Flomparken.....	33
7.3	Trasé for sikring av Rukkedøla.....	34
7.4	Alternative traséer for sikring av Nesflata	35
7.4.1	Alternativ 1 (Liten løsning).....	36
7.4.2	Alternativ 2 (Middels løsning)	36
7.4.3	Alternativ 3 (Stor løsning)	36
7.4.4	Alternativ 2+ og 3+ (Middels / Stor løsning pluss).....	36
7.4.5	Sammenligning av alternativene	36
7.5	Valgt trasé for sikring av Nesflata.....	38
8.	Grunnvannsmodellering	40
8.1	Grunnvannsmodell	40
8.2	Grunnlag for simulering av alternativer.....	41
8.3	Sikring av Rukkedøla.....	41
8.3.1	Simulerte sikringsalternativer langs Rukkedøla	41
8.3.2	Virkninger av sikringsalternativene.....	43
8.3.3	Resultater og anbefaling	44
8.4	Sikring av Nesflata	45

8.4.1	Simulerte sikringstiltak.....	45
8.4.2	Resultater	46
8.5	Usikkerhet ved beregning av lekkasjevannmengder	47
8.5.1	Usikkerhetsanalyse.....	47
8.5.2	Konklusjon	49
9.	Flomsikringstiltak	50
9.1	Beskrivelse av delprosjektet Rukkedøla	50
9.1.1	Beskrivelse av traséen inklusive begrensninger.....	50
9.1.2	Foreslått teknisk løsning.....	53
9.1.3	Drenssystem.....	54
9.1.4	Virkninger.....	56
9.1.5	Utvidelse av elveprofil	56
9.1.6	Muligheter og risikoer	57
9.2	Beskrivelse av delprosjektet Nesflata	58
9.2.1	Beskrivelse av traséen inklusive begrensninger.....	58
9.2.2	Foreslått teknisk løsning.....	58
9.2.3	Drenssystem.....	59
9.2.4	Virkninger.....	60
9.2.5	Muligheter og risikoer	60
9.3	Kostnadsoverslag	61
9.4	Andre momenter	62
9.4.1	Landskapsarkitektonisk utforming	62
9.4.2	Økologi	64
10.	Håndtering av bakvann.....	65
10.1	Bakgrunn, grunnlag og prinsipp.....	65
10.2	Oversikt over pumpestasjoner.....	66
11.	Virkninger av sikringstiltakene	68
11.1	Overskridelse av dimensjonerende flom.....	68
11.2	Konsekvenser oppstrøms og nedstrøms	68
11.3	Grunnerverv.....	68
11.4	Bolig-, bosettings- og utviklingsplanlegging	68
11.5	Offentlig sikkerhet og samferdsel.....	68
11.6	Miljø.....	69

11.7	Landbruk	69
11.8	Teknisk infrastruktur	69
11.9	Kabler og ledninger	69
12.	Utførelse av byggearbeidet	70
12.1	Byggemetoder og byggbarhet Rukkedøla – byggetrinn 1	70
12.2	Byggemetoder og byggbarhet Nesflata – byggetrinn 2	72
12.3	Byggemetoder og byggbarhet bakvannshåndtering – byggetrinn 3	72
13.	Sammendrag og konklusjoner	73

Liste over forkortelser

BA	Byggetrinn
LISAS	Lindschulte Ingenieurgesellschaft mbH Ammersee
D	Varighet av nedbørhendelse
DN	Innvendig diameter i mm
DTM	Digital terrengmodell
Fv.	Fylkesvei
IVF	Intensitet-varighet-frekvens
MET	Meteorologisk institutt
moh	Meter over havet
m.u.t.	Meter under terreng
NGU	Norges Geologiske Undersøkelser
PN	Nominelt trykk i bar
PSA	Pumpestasjon
RN	RN
Rv. 7	Riksvei 7

1. Prosjektansvarlig

Prosjektansvarlig for flomsikring av Nesbyen er:

Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)

Region sør

Anton Jenssens gate 7

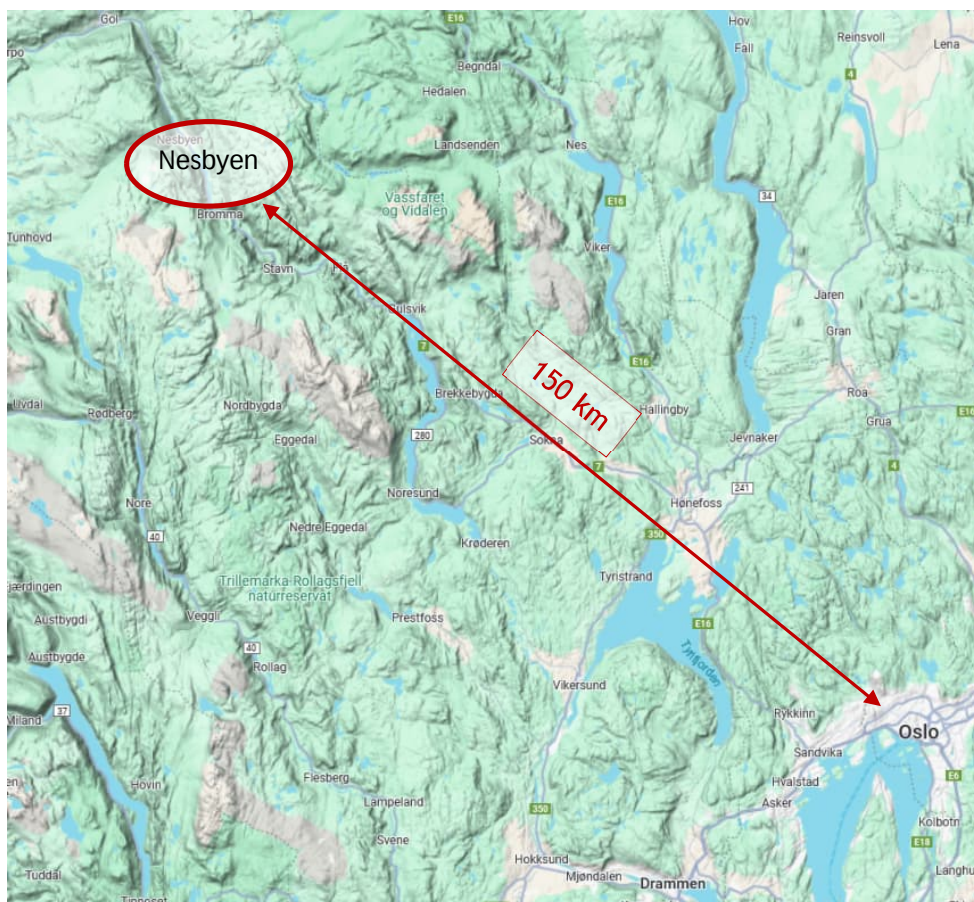
3103 Tønsberg

NVE fungerer som teknisk og kontraktsmessig kontakt for konsulentene og Nesbyen kommune, som deltar i prosjekteringsgruppa.

2. Bakgrunn og formål med prosjektet

2.1 Prosjektets beliggenhet

Nesbyen kommune ligger i Hallingdal ved samløpet mellom elvene Rukkedøla og Hallingdalselva, ca. 150 km nordøst for Oslo (Figur 2.1).



Figur 2.1: Oversiktskart med prosjektets beliggenhet (kilde: Google Maps)

2.2 Bakgrunn og formål med flomsikring

I Hallingdal kan det oppstå flommer hele året, og de største flommene kommer vanligvis i forbindelse med snøsmeltingen om våren. Store flommer kan også oppstå som følge av kraftige nedbørshendelser. Et eksempel på dette er ekstremværet «Hans» i 2023 (Figur 2.2).

I begynnelsen av august 2023 førte nedbør forårsaket av ekstremværet Hans til store skader bl.a. på Østlandet. Historiske nedbørsrekorder ble slått, noe som førte til katastrofale forhold i Skandinavia og Baltikum pga. jordskred, flom og skader på infrastruktur og eiendom.



Figur 2.2: Dronebilde av Nesbyen under flommen i august 2023 (kilde: NVE, foto: Thomas Mørch)

På bakgrunn av denne hendelsen skal Nesbyen i Hallingdal sikres mot flom. Målet med forprosjektet er å finne frem til mulige flomvolltraséer og konsepter for flomsikring av Nesbyen, og å komme frem til en egnet løsning for helhetlig flomsikring. Det teknisk og økonomisk best egnede flomsikringskonseptet (foretrukket, valgt alternativ) vil deretter bli anbefalt til politikerne og lagt frem fagmyndighetene til behandling. Det valgte alternativet utarbeides videre i detaljprosjekteringsfasen og vil etter godkjenning av reguleringsplanen, som utarbeides parallelt til flomsikringsprosjektet, bli fulgt opp videre mot gjennomføringsfasen.

2.3 Tidligere studier og undersøkelser

- Flomberegning, NVE: «Flomberegning for Hallingdalsvassdraget (012.CZ)», rapport nr. 8/2024
- Geotekniske undersøkelser: Geoteknisk datarapport 50517-01-R, «Flomsikringstiltak NVE, gnr./bnr. 79/39 m.fl. i Nesbyen kommune», Romerike Geoteknikk AS, 10.10.2024
- Prøvespunting september 2024
- Notat – Vurderingsmatrise flomsikring Nesbyen, Dr. Blasy – Dr. Øverland Ingenieure GmbH, 22.07.2024

2.4 Deltakere i prosjektet

På oppdrag av NVE utvikler Lindschulte Ingenieurgesellschaft mbH Ammersee (LISAS, tidligere Dr. Blasy – Dr. Øverland Ingenieure GmbH) sammen med Rambøll Norge AS (RN), og deres partner Henning+Larsen for landskapskonseptet, planleggingen av flomsikringstiltak for tettstedet Nesbyen. I tillegg til NVE er representanter for aktuelle tekniske fag fra Nesbyen kommune involvert i prosjekteringsgruppa.

Siden landbruk og særlig den begrensede ressursen matjord spiller en viktig rolle i Norge, er konsulentfirmaet Sweco Norge AS involvert for vurderinger rundt konsekvenser av planlagte sikringstiltak for landbruksareal. Sweco jobber også med vurderinger rundt fagområdet natur.

Andre prosjektdeltakere, som energileverandører og veimyndigheter og deres konsulenter, blir konsultert i planleggingsprosessen ved behov.

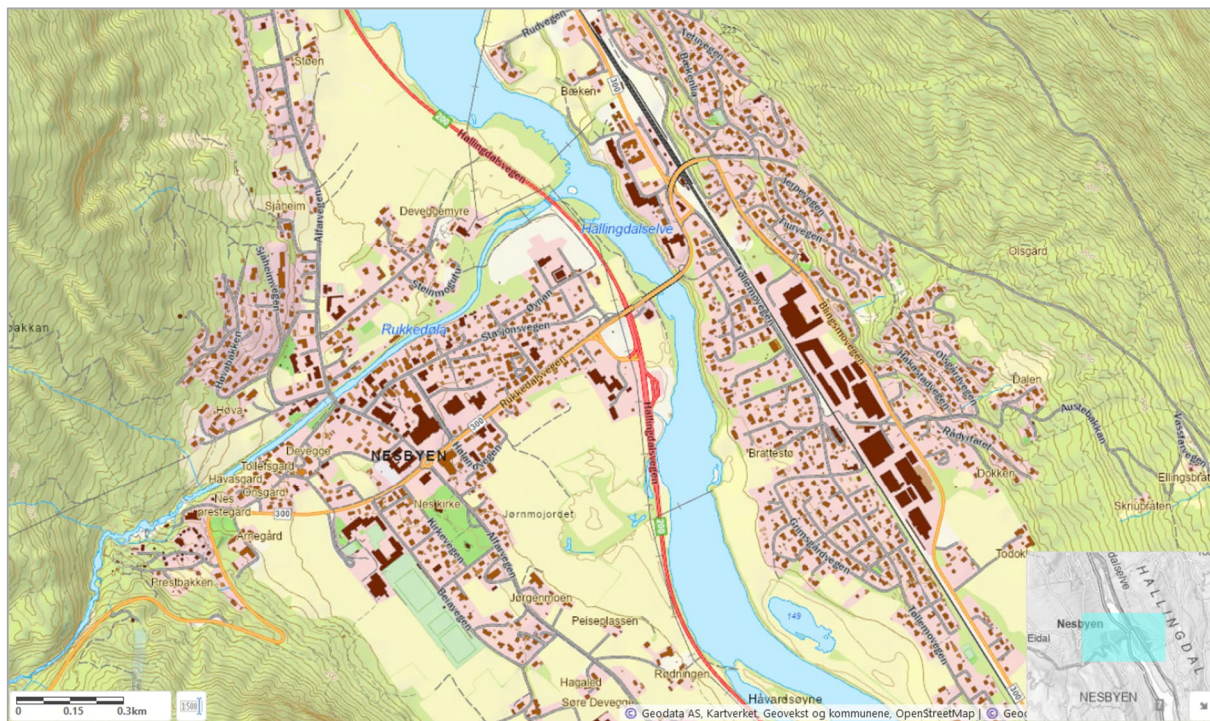
3. Datagrunnlag

Følgende dokumenter ble brukt til å utarbeide rapporten og planen:

- Digital terrengmodell 17.05.2024
- Oppmålinger / drone-flygninger fra april, mai, oktober og november 2024
- Data for avløpsnett i Nesbyen kommune, sist oppdatert 30.09.2024

4. Eksisterende forhold

Nesbyen kjennetegnes av samløpet av de to elvene Hallingdalselva og Rukkedøla (Figur 4.1).



Figur 4.1: Oversiktskart over Nesbyen ved samløpet mellom Hallingdalselva og Rukkedøla (kilde: NVE-Atlas)

Mens Hallingdalselva kjennetegnes ved sitt lange løp, store nedbørsfelt og til dels slak elvegradient, har Rukkedøla mer karakter av et bratt, mindre vassdrag. Rukkedøla renner gjennom et juv oppstrøms Nesbyen og ned en foss, før den renner forbi sentrum og ut i Hallingdalselva gjennom fire sirkulære kulverter under rv. 7. Vannstanden i Rukkedøla stiger relativt raskt under flom. I tillegg til det raske, relativt korte flomforløpet, har elva potensialet til å føre med seg trestammer og betydelige mengder løsmasser. Det er dermed fare for økt flomvannstand som følge av avlagringer og tilstopping. Masseavsetninger under flom på strekningen fra nedstrøms Hajem bru til samløpet med Hallingdalselva er tidligere observert, sist under «Hans». Fare for avsetning og tilstopping er stor ved kulvertene under rv. 7 (Figur 4.2). Når det er store vannføringer i begge elver samtidig er konsekvensen imidlertid begrenset, siden Hallingdalselva overtopper riksveien, og Rukkedøla treffer på bakvannet lengre oppstrøms. Etter «Hans» ble masseavsetningene i Rukkedøla gravd ut med mål å gjenskape bunnivået fra før flommen.



Figur 4.2 Rukkedøla, kulverter under riksvei 7. Foto: LISAS, mai 2024.

Ettersom prosjektet ble utviklet som følge av katastrofen forårsaket av stormen «Hans», er det bare begrenset med langsiktige analyser tilgjengelig. Mye av dataene ble nylig samlet inn og analysert som en del av prosjektets planleggingsprosess.

4.1 Generelt / planleggingsprinsipper

I tillegg til å oppnå sikringsformålet handler planleggingen også om å innpasse flomsikringstiltakene i bybildet og fremtidig utvikling av Nesbyen kommune. Det skal også tas hensyn til interesser i forhold til private eiendommer og bevaring av verdier. I tillegg skal det jobbes for å finne bærekraftige løsninger. Inngrep og arealbruk på privat eiendom og landbruk skal minimeres så langt mulig.

Ettersom Nesbyen er preget av turisme, må det også tas hensyn til dette behovet, og flomsikringen skal innlemmes i landskapet. Utarbeidelse av landskapskonseptet og landskapsarkitektonisk tilpasning av den tekniske løsningen gjennomføres av landskapsarkitektene i Hennig+Larsen.

Generelt er de tekniske løsningene basert på prinsippene om kostnadseffektivitet og bærekraft. Det er også viktig å utvikle en ressursbesparende løsning og å vurdere balansen mellom kostnad og nytte.

4.2 Samfunnsstruktur

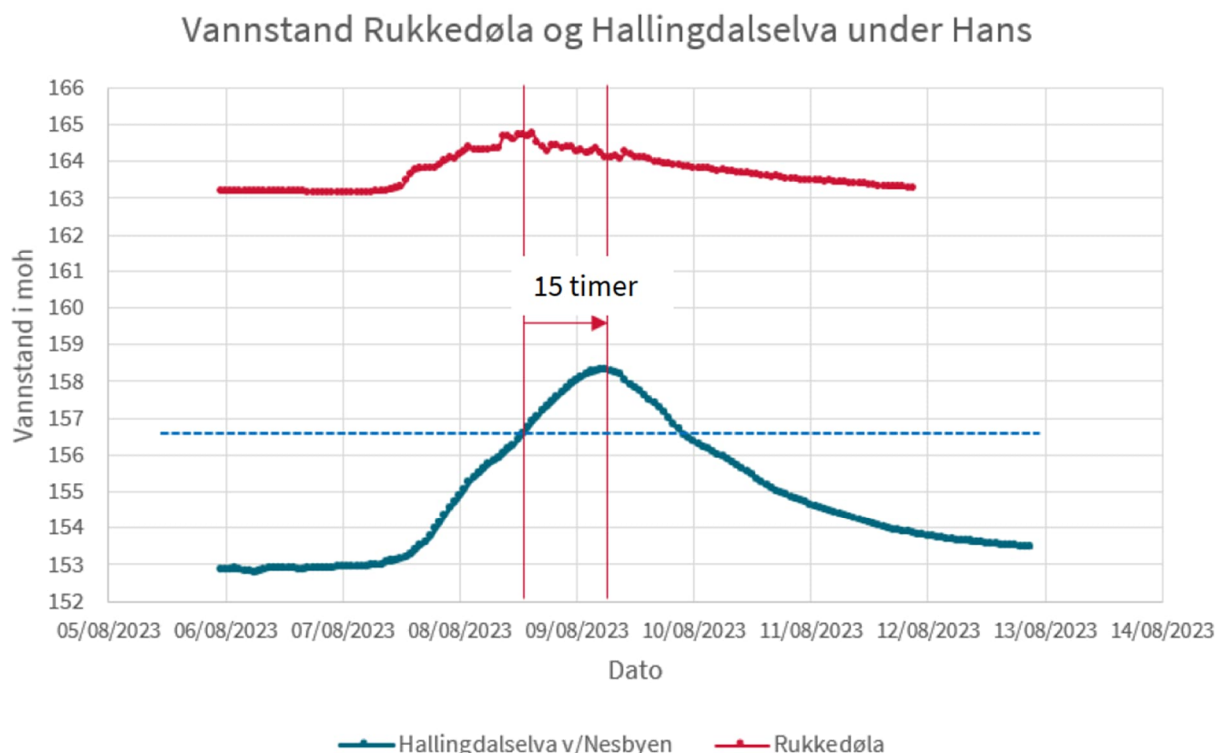
Nesbyen kommune ligger i det norske fylket Buskerud. Med 3300 innbyggere og et areal på 810 km² er befolkningstettheten 4 innbyggere per km².

Kommunen er preget av jordbruk, skogbruk og småbedrifter. En annen bærebjelke i Nesbyen er turismen, som er attraktiv for friluftaktiviteter gjennom hele året.

4.3 Hydrologiske data

4.3.1 Hydrologi

I perioden fra 7. august til 9. august 2023 kom mellom 50 og 60 mm nedbør per døgn i et nedbørfelt på 3600 km² for Hallingdalselva og 300 km² for Rukkedøla ved Nesbyen. Samlet sett kom det mellom 90 og 160 mm nedbør i løpet av de tre dagene. Gjennomsnittlig nedbør var 127 mm i denne perioden. Flomtoppene for Rukkedøla og Hallingdalselva nådde størrelser på henholdsvis rundt 185 m³/s og 1400 m³/s, noe som tilsvarer en 100-årsflom i begge elver. Observerte vannstander ved Nesbyen vises i Figur 4.3.



Figur 4.3: Vannstand Rukkedøla og Hallingdalselva under ekstremværet Hans (kilde: NVE)

4.3.2 Flomverdier

Vassdraget, beregning av flomverdier på ulike steder i Hallingdalselva samt sidefelt, flomsituasjonen i august 2023, påvirkningen av reguleringen av vassdraget med mere er beskrevet og vurdert i detalj i NVE-rapport nr. 8/2024 "Flomberegning for Hallingdalsvassdraget (012.CZ)".

Nærmeste vannmerke ligger i Hallingdalselva ved Bergheim, ca. 15 km nedstrøms tettstedet Nesbyen. Målestasjonen 12.97 Bergheim har observert vannføring siden 1920. Vannføringskurven er vurdert av NVE til å være bra ved store vannføringer. Vassdraget har vært påvirket av vannkraftregulering siden 1941. Den største observerte flommen er den under ekstremværet «Hans» i august 2023.

Flommer forekommer typisk i månedene mai til oktober. Ofte er det flom om våren i forbindelse med snøsmelting. Men store flommer har også forekommet både om sommeren og høsten.

Flomverdier er oppsummert i Tabell 4.1. Verdiene for punktet Hallingdalselva før samløp med Rukkedøla er beregnet ved å trekke Rukkedølas flomverdier fra dem for punktet Hallingdalselva nedenfor Rukkedøla.

Tabell 4.1: Kulminasjonsvannføringer [m³/s] i Hallingdalsvassdraget for aktuelle beregningspunkter uten og med klimapåslag (kilde: NVEs flomberegning rapport 8/2024)

Uten klimapåslag	QM	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100	Q200	Q500	Q1000
Rukkedøla ved Hallingdalselva	69	99	126	146	179	199	218	245	266
Hallingdalselva før samløp Rukkedøla	436	558	654	753	873	1160	1254	1558	1644
Hallingdalselva ved Bergheim	530	687	814	937	1095	1405	1521	1857	1966
Med klimapåslag	QMk	Q5k	Q10k	Q20k	Q50k	Q100k	Q200k	Q500k	Q1000k
Rukkedøla ved Hallingdalselva	86	129	152	183	214	238	262	294	319
Hallingdalselva før samløp Rukkedøla	541	716	850	1165	1324	1624	1733	1870	1973
Hallingdalselva ved Bergheim	656	882	1043	1394	1589	1917	2054	2228	2359

4.3.3 Samtidighet av flom og lokal nedbør

Dersom det under en flomhendelse i Hallingdalselva inntreffer en nedbørshendelse som fører til oppstuvning i avløpssystemet, er drenering av overflatevann bare mulig i begrenset grad eller ikke i det hele tatt («oppdemningshendelse»). Oversvømmelser forårsaket av tilbakeslag kan minimeres ved hjelp av tiltak for håndtering av bakvann (avledning av lekkasjevann under flomverket og overvann gjennom drenssystem og pumpestasjoner). Ved dimensjonering av anlegg for håndtering av bakvann legges det til grunn at det ikke skal skje oftere enn én gang på 200-år at avløpssystemet overbelastes som følge av lokal nedbør under en flomhendelse. Målet er å finne mengden av lokal nedbør som systemet for håndtering av bakvann skal dimensjoneres for.

Utførte analyser

Som en del av samtidighetsanalysen (se vedlegg 2) er det gjennomført omfattende ekstremstatistiske analyser på grunnlag av tilgjengelige nedbør- og vannføringsdata for årene 1925 til 2023.

Først ble den generelle forekomsten av intens nedbør analysert. Modelleringsresultatene ble sammenlignet med intensitet-varighet-frekvens-verdiene fra Meteorologisk institutt (IVF-MET-verdier). IVF-MET-verdiene, med tilhørende 95 % konfidensintervall, er et resultat av statistisk analyse av nedbørsdata for årene 1967 til 1986. Sammenligning med de oppdaterte beregningene tillater følgende konklusjoner for returperioder på 100 til 200 år:

- For korte varigheter på 10 til 20 minutter har IVF-MET-verdiene en tendens til å underestimere de faktiske intensitetene. Det oppdaterte og utvidete datagrunnlaget indikerer nedbørsverdier som kan ligge i den øvre enden av 95 % konfidensintervallene.
- For middels og lange varigheter på 30 til 720 minutter bekreftes IVF-MET-verdiene av det oppdaterte datagrunnlaget.

For det andre ble det undersøkt kun nedbørshendelser som inntraff under tidligere flommer i Hallingdalselva. På grunn av den begrensede dataserien er det stor usikkerhet i den statistiske beskrivelsen av disse hendelsene ved tilpasning av den statistiske modellen. Ekstrapolering av nedbørsmengder med 100- eller 200-års gjentaksintervall ved bruk av de justerte ekstremverdifordelingene er ikke tillatt.

En sammenligning av de empiriske fordelingene som følger (A) av hele datasettet av nedbørhendelser og (B) av nedbørhendelser som er begrenset til perioder med oppdemming, viser følgende:

- For varigheter mindre enn 60 minutter kan det antas en betydelig reduksjon i nedbørsmengden under oppdemmingshendelsene.
- Med økende varighet konvergerer de empiriske fordelingene for begge stikkprøvene; langvarig intens nedbør og flom- eller oppdemmingshendelser inntreffer samtidig.

Utleddning av dimensjonerende nedbør

Basert på de presenterte resultatene kan 200-års nedbørverdier under flomhendelser estimeres som følger, avhengig av nedbørens varighet (D) (Figur 4.4):

D = 10 min og D = 20 min:

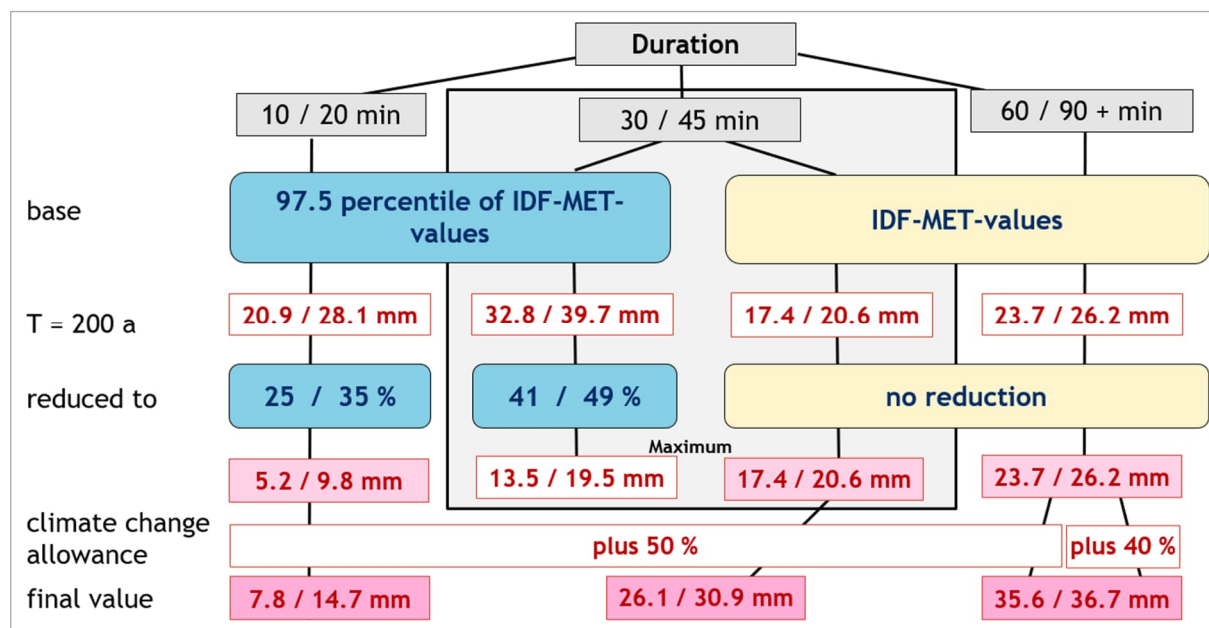
For disse varighetene kan man generelt forvente at nedbørsmengden vil nå omtrent 97,5-persentilen av IVF-MET-kurvene (henholdsvis 20,9 mm og 28,1 mm). Hvis nedbørhendelsene begrenses til periodene med oppdemming, kan man anta en reduksjon til henholdsvis 25 % og 35 % av den opprinnelige nedbørsmengden. Det betyr at 5,2 mm og 9,8 mm kan brukes som 200-årsnedbør for disse varighetene under oppdemmingshendelser.

D = 60 min og D = 90 min (og lenger):

For disse varighetene bekrefter ekstremverdianalysene basert på utvidet datagrunnlag IVF-MET-kurvene, som beskriver den generelle forekomsten av intens nedbør. Hvis nedbørhendelsene begrenses til periodene med oppdemming, kan man imidlertid ikke lenger anta en reduksjon i nedbørsmengdene. De tilhørende empiriske fordelingene av stikkprøvene viser allerede en tilnærming av nedbørsverdiene fra et gjentaksintervall på 30 år. Det betyr at det kan antas 23,7 mm for D = 60 min og 26,2 mm for D = 90 min.

D = 30 min og D = 45 min:

For varighetene som ligger imellom velges det den maksimale nedbørsmengden som følger av resultatet for de tilstøtende varighetene. Nedbørsmengdene fra IVF-MET-kurvene på 17,4 mm (D = 30 min) og 20,6 mm (D = 45 min) benyttes her som maksimum av IVF-MET-verdiene (17,4 og 20,6 mm) og de reduserte 97,5-persentilene (13,5 og 19,5 mm).



Figur 4.4: Bestemmelse av dimensjonerende nedbør for planlegging av håndtering av bakvann ved lokal nedbør samtidig med flom i vassdraget.

Ved planlegging av sikringstiltak og infrastruktur skal nedbøren økes med et klimapåslag. Nedbør med 200-års gjentakintervall og varighet like eller mindre enn 1 time skal økes med 50 %. For varigheter mellom 1 og 3 timer er påslaget 40 %. Dette resulterer i nedbørverdiene vist nederst i Figur 4.4, som ligger mellom 7,8 mm for D = 10 min og 36,7 mm for D = 90.

4.4 Geologiske og hydrogeologiske forhold

4.4.1 Innledning og datagrunnlag

I forbindelse med flomsikringsprosjektet ble det gjennomført feltundersøkelser for å få bedre kunnskap om de lokale geologiske og hydrogeologiske forholdene.

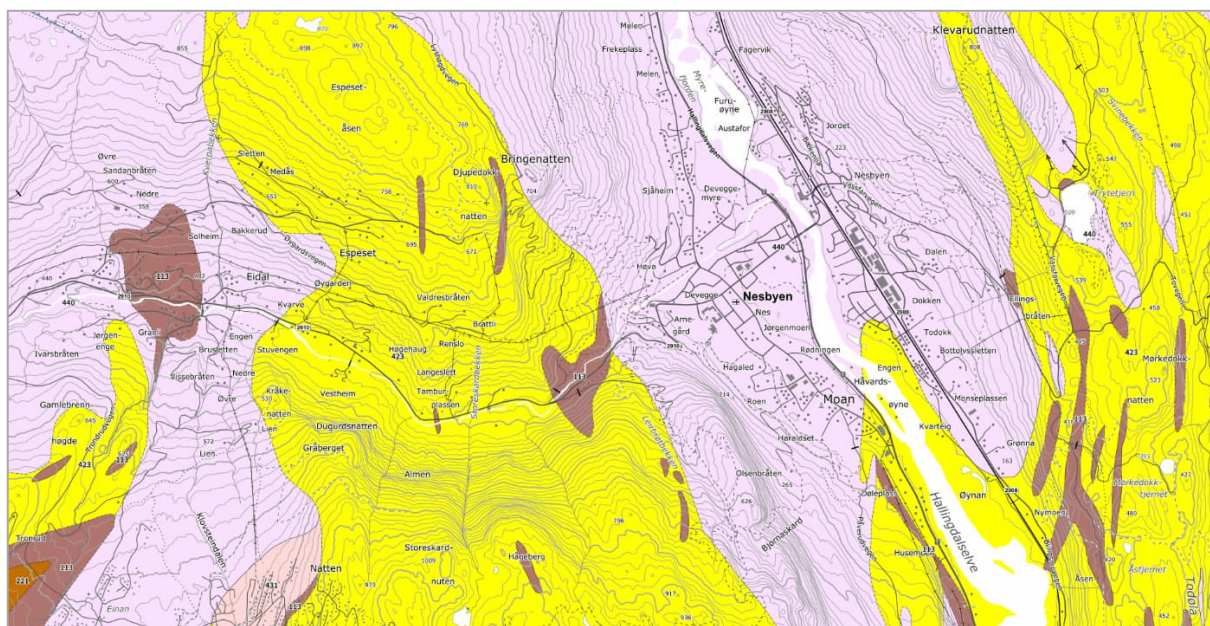
I mars 2024 ble det utført geotekniske undersøkelser ved 24 borpunkter i prosjektområdet, navedringer til maks. 13 m dybde og totalsonderinger til maks. 15 m dybde. Det ble analysert 10 kornfordelingskurver fra prøver i seks av disse borehullene (Romerike Geoteknikk AS, vedlegg 3).

I løpet av de videre undersøkelsene mellom 25. april og 9. mai 2024 (se vedlegg 5) ble det gravd ytterligere 11 borehull ned til maksimalt 12 m under bakkenivå, som ble utbygd til grunnvannsbrønner (Brødrene Myhre AS). Ved alle målepunktene ble det utført pumpetester for å bestemme den hydrauliske permeabiliteten i undergrunnen. På grunnlag av grunnvannsmåling på en valgt dag ble det utarbeidet et kart over grunnvannsspeilet ved isolinjer for grunnvannsnivået. Målepunktene ble deretter utstyrt med dataloggere. Etter eliminering av avvik / feil med hensyn til innmålingene og referansehøydene, ble den første versjonen av kartet over grunnvannsnivået, som var basert på målingen på en valgt dag, kontrollert og korrigert noe i enkelte områder. Omfanget og resultatene av disse undersøkelsene er beskrevet i detalj i en foreløpig rapport fra etableringen av grunnvannsbrønnene og pumpetestene datert 5. juni 2024. Den følgende presentasjonen av de geologiske og hydrogeologiske forholdene i prosjektområdet er hentet fra resultatene av disse undersøkelsene.

Når det gjelder oversikt over alle borehull med mere henvises det til Norges Geologiske Undersøkelser (NGU) sin kartløsning på nettsiden (www.ngu.no).

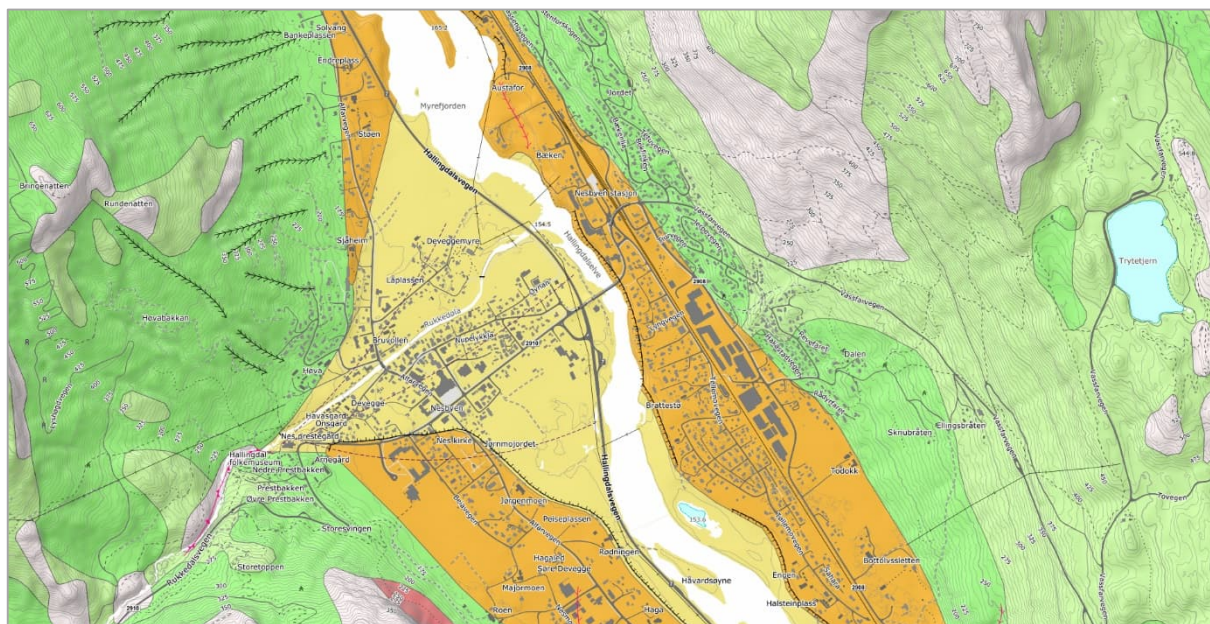
4.4.2 Geologi

Ifølge NGUs kvartærgeologiske kart er jordmassene i prosjektområdet klassifisert som elve- og bekkeavsetninger (sand og grus). Den dypere undergrunnen er dannet av bergartene i det krystallinske grunnfjellet (Figur 4.5). Berggrunnen i området ved Rukkedølas elvevifte består av migmatitter (signatur: 440; rosa). I vest er det kvartsitter (signatur 423; gul) og små områder med gabbro (signatur: 113; brun) i dalsøkket i Rukkedøla.



Figur 4.5: Berggrunnskart i prosjektområdet (kilde: www.ngu.no)

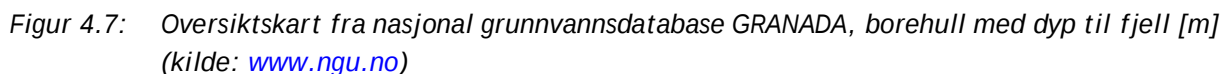
Berggrunnen er overlagret av kvartære sedimenter (Figur 4.6, løsmasser). I dalbunnen i Hallingdalselva er dette hovedsakelig glasifluviale avsetninger (signatur: 20; oransje). Den alluviale viften der Rukkedøla renner ut i Hallingdalen er bygd opp av fluviale avsetninger (signatur: 50; gul). Begge sider av Hallingdalen er dekket av moreneavsetninger (signatur: 11; grønn).



Figur 4.6: Løsmassekart (kilde: www.ngu.no)

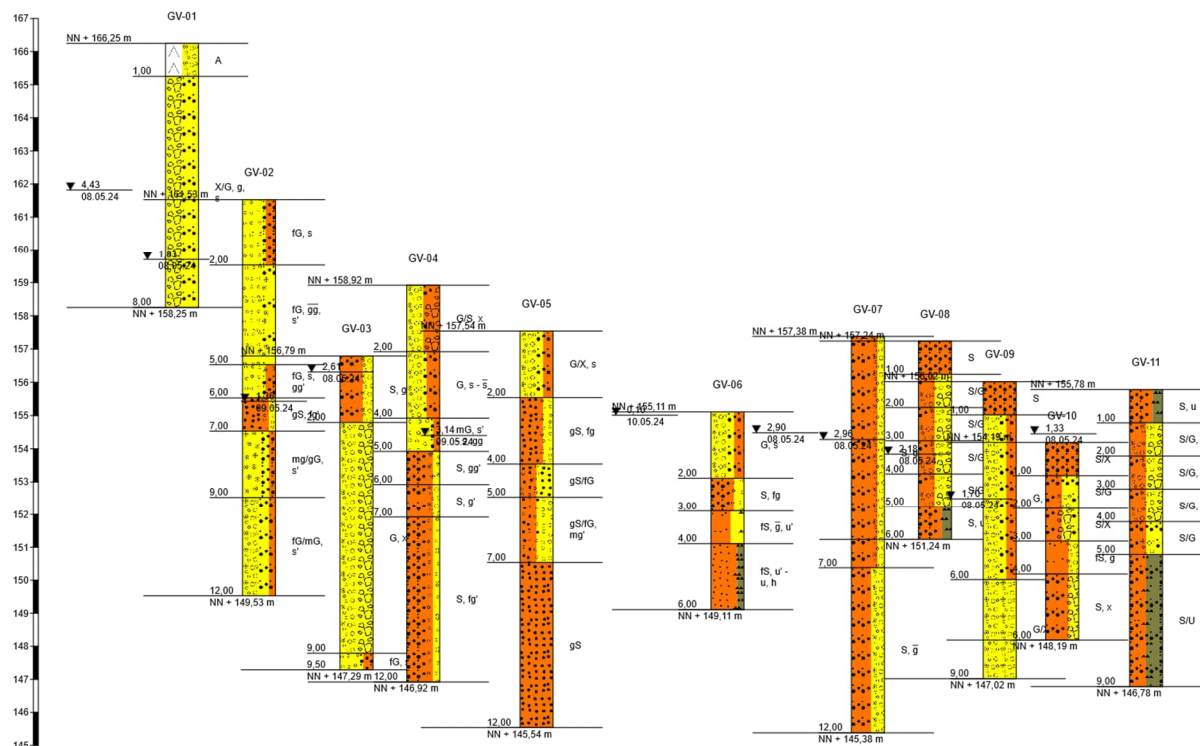
Løsmassedekket er flere titalls meter tykt. Berg ble ikke nådd i noen av borehullene.

Figur 4.7 viser borpunktene med dyp til fjell i det undersøkte området. I ingen av borehullene som er boret inntil i dag (< 20 m maks. dyp) er det truffet på fjell. Sørvest for den store rundkjøringen på Rukkedalsvegen vises flere borehull med dybde til berg på ca. 80 til 85 m under bakkenivå. Dette er borehull for energibrønner med boreddybder på opptil ca. 260 m under bakken.



Figur 4.8 viser et geologisk profil av de sedimentære dekklagene opp til ca. 12 m under bakkenivå basert på grunnvannsbrønnene boret om våren 2024.

Side - 12 -



Figur 4.8: Borehullprofiler i prosjektområdet, profil i retning sør-vest til nord-øst.

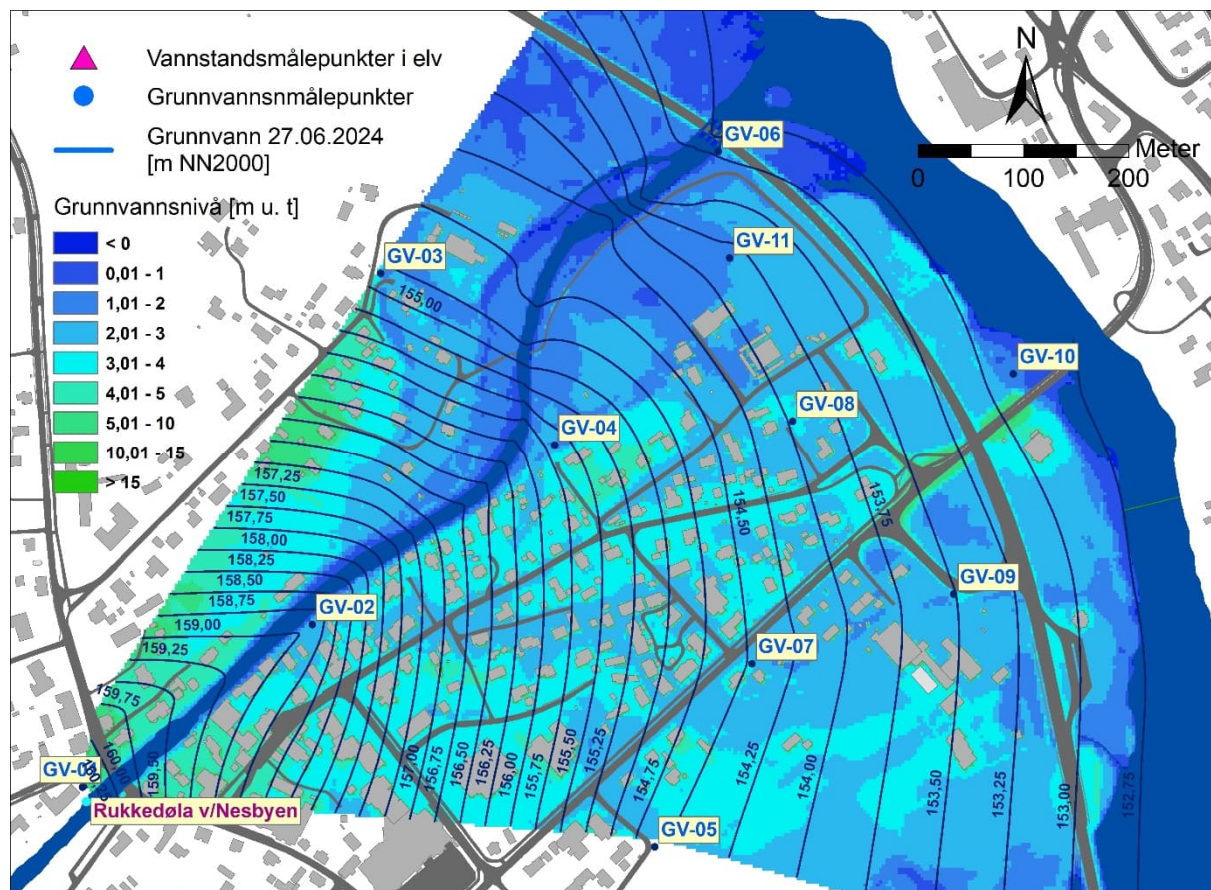
4.4.4 Hydrogeologi

Figur 4.9 viser grunnvannsnivåene per 27. juni 2024 og tilhørende grunnvannsavstand, dvs. avstanden mellom grunnvannsspeil og bakkenivå i meter under terreng (m.u.t.).

Grunnvannsnivåene målt i grunnvannsbrønnene ble interpolert over prosjektområdet. Kantene av dette området er oppstrøms bestemt av målepunkt GV01, og nedstrøms av målepunkter GV03 og GV05 samt Hallingdalselva.

Avstand til grunnvannsspeilet

Grunnvannsavstanden er stort sett mellom ca. 2 og 4 m i det bebygde området. Ved utløpet av Rukkedøla synker den til < 1 m. På grunn av det betydelig høyere terrenget mellom GV02 og GV01 øker grunnvannsavstanden til over 5 m.



Figur 4.9: Grunnvannsnivå (isoliner, moh) og grunnvannsavstand, dvs. avstanden mellom grunnvannsspeil og bakkenivå [m.u.t.]

Grunnvannets strømningsretning

Grunnvannets strømningsretning samsvarer med helningen til Rukkedølas elvevifte og er i retning fra den trange utgangen av Rukkedalen mot nordøst til øst, til Hallingdalselva som mottar vann.

Grunnvannsgradient

Gradienten av grunnvannet er naturlig nok større i den øvre delen av elveviften, rundt 8 ‰, og mindre mot resipienten Hallingdalselva, rundt 2 ‰.

Grunnvannets tykkelse og grunnvannsbasis

Den faktiske grunnvannstykkelsen er ikke kjent på grunn av manglende data om grunnvannsbasis (øvre kant av tett lag, dvs. øvre kant av berggrunnen).

Boringene under grunnundersøkelsene ned til maksimalt 20 m under bakkenivå har vist småskala varierende lag av finkornet (fin sand) til svært grovkornet (steinet grus) materiale. I noen borehull (GV06, -08, -11) ble det også påtruffet kohesive partier (silt, leire). Det er imidlertid ingen tegn på et tett lag i det sedimentære dekklaget som ville fungere som grunnvannsbasis.

Hydrauliske parametere av undergrunnen

Hydraulisk permeabilitet

Den hydrauliske permeabiliteten ble bestemt ved hjelp av pumpetester på de 11 nyetablerte grunnvannsbrønnene (se vedlegg 5). Den gjennomsnittlige k_f -verdien er på ca. $7,3 \times 10^{-04}$ m/s. Beregningen av k_f -verdien basert på kornfordelingsanalysene gir en noe lavere verdi på $3,7 \times 10^{-04}$ m/s.

Porøsitet

Erfaringsmessig har grusholdig sand med en k_f -verdi på ca. 5×10^{-04} m/s en porøsitet på rundt 25 %.

4.5 Spesifikasjoner for hydraulisk dimensjonering

4.5.1 Dimensjonerende vannføringer

Dimensjonerende flomvannføring for sikringstiltakene i henhold til TEK 17 er 200-årsflom med klimapåslag (Tabell 4.2). I Rukkedøla ved Nesbyen og i Hallingdalselva før samløpet med Rukkedøla tilsvarer dette en vannføring på henholdsvis 262 m³/s og 1733 m³/s. Klimapåslaget er 20 %, med unntak av noen sidevassdrag som har 40 %.

Tabell 4.2: Kulminasjonsvannføringer med gjentakintervall på 200 år og klimapåslag (kilde: NVEs flomberegning rapport 8/2024)

Vassdrag	Q200k [m ³ /s]
Rukkedøla ved Hallingdalselva	262
Hallingdalselva før samløp Rukkedøla	1733

4.5.2 Fribord

Fribordet er definert som den vertikale avstanden mellom dimensjonerende flomvannstand og dimensjonerende høyde på sikringsanleggene. For sikringsanleggene på Nesbyen er fribordet, inntil eventuelt annet er bestemt, i samråd med oppdragsgiver fastsatt til 0,5 m for forprosjektet. Dette tilsvarer internasjonal standard, men tar ikke hensyn til ytterligere sikkerhetsmargin knyttet til f.eks. vind eller bølger.

4.5.3 Massetransport, erosjon og avsetninger

Flommen i august 2023 viste at Rukkedøla fører med seg masser og trestammer under store flommer. Avlagringer og tilstopping eller blokkering kan føre til oppstuvning og økt vannstand, og dermed til større skader. Masseavsetninger under flom på strekningen fra nedstrøms Hajem bru til samløpet med Hallingdalselva er tidligere observert, sist under «Hans». I tillegg ble gangbrua over Rukkedøla ved fossen oppstrøms sentrum ødelagt, og grunnmurer til bygninger nær elvekanten oppstrøms Hajem bru ble skadet.

For å minimere eller utelukke skader som følge av blokkering ved død vegetasjon, trestammer og lignende, vurderes det etablering av en sperre for trestammer oppstrøms i Rukkedøla, i området oppstrøms juvet før elva krysser fylkesveien (fv. 2910).

I tillegg skal det tas hensyn til potensialet for erosjon langs Rukkedølas bredd, transport av masser forbi Hajem bru, avlagring av masser og håndtering av disse på nedre strekning av Rukkedøla og spesielt der elvegradienten blir mindre og der elva treffer bakvannet fra Hallingdalselva, og stabilisering av elvebunnen på utsatte steder.

4.6 Verneområder

Det er ingen utpekte verneområder i planområdet. Naturmangfold, fauna og flora er vurdert i et eget delprosjekt i forbindelse med reguleringsplanprosessen. Det henvises til dokumentene utarbeidet i dette delprosjektet.

I den videre planleggingen av sikringstiltakene på Nesflata tas det hensyn til resultatene i forhold til miljøkonsekvenser og eventuelle behov for kompenserende tiltak.

4.7 Landbruk

Jordbruksarealer er av særlig stor betydning i Norge. På grunn av topografi og lokale forhold er dyrkbar jord i Nesbyen kommune begrenset. Derfor er det viktig å minimere inngrep på landbruksareal.

Konsekvenser av sikringstiltakene for landbruk er vurdert i et eget delprosjekt. Det henvises til dokumentene utarbeidet i dette delprosjektet.

4.8 Eksisterende flomsikring

Nesbyen kommune har hittil ikke hatt noen omfattende flomsikring. Langs Rukkedøla finnes det sikringsmurer langs den sørlige elvekanten på korte strekninger, som til dels er i dårlig tilstand. I enkelte tilfeller har private huseiere opprettet sikring av sine eiendommer. Disse tiltakene virker imidlertid kun ved små til middels store flommer.

I 2014 ble det ferdigstilt «flomparken» oppstrøms Hajem bru. I tillegg til rehabilitering av terskelen ble det bygd et parkareal med sikringsmurer langs sidene.

Kommunen har et organisatorisk flomsikringstiltak ved Hajem bru som settes opp når en storflom er varslet. Det brukes betongelementer i kombinasjon med tetningsduk. Under «Hans» sørget dette tiltaket for at større skader i området rundt brua ble unngått.

4.9 Infrastruktur for forsyning

I den nordlige delen av Nesbyen ligger transformatorstasjonen til Hallingdal Kraftnett, som nylig ble omdøpt til Føie, med tilhørende lavspenningsledninger.

4.10 Infrastruktur for samferdsel

I prosjektområdet finnes transportanlegg av overregional betydning. Nesbyen kommune ligger ved rv. 7, som går mellom Hardangerbrua over Eidfjorden til Hønefoss. Denne viktige veiforbindelsen blir etter dialog med veimyndigheten eventuelt kombinert med flomsikringstiltakene på Nesflata. Inntil planene for veiprojektet er klare prosjekteres tiltakene uavhengig, slik at tiltakene kan bygges selv om det ikke blir noe av veiprojektet.

I tillegg krysser fv. 2908 Hallingdalselva øst for Nesbyen sentrum. Denne veien, Stasjonsvegen, og fv. 2910 Rukkedalsvegen er forbindelsen mellom Nesbyen sentrum / Rukkedalen og østsiden av Nesbyen på andre siden av Hallingdalselva.

4.11 Kabler, ledninger og teknisk infrastruktur

Det finnes flere typer kabler og ledninger i prosjektområdet. Noen av disse krysser eller går langs traséen til det planlagte flomverket.

Det ble bedt om følgende kabler og ledninger for å sjekke om det var konflikter med det planlagte flomverket:

- Drikkevann
- Spillvann
- Overvann
- Elektrisitet inklusive høyspenning

I 2024 ble det bygd ferdig en pumpestasjon for spillvann, «Qvisten» pumpestasjon, mellom Rukkedalsvegen /Stasjonsvegen, rv. 7 og avkjøringen fra rv. 7, som pumper avløpsvann fra både tettstedet og hyttefeltet oppe på fjellet til det nye renseanlegget lengre sør i dalen.

Data for ledninger under bakken som telefon og fiber var ikke tilgjengelige.

5. Overvannsavrenning

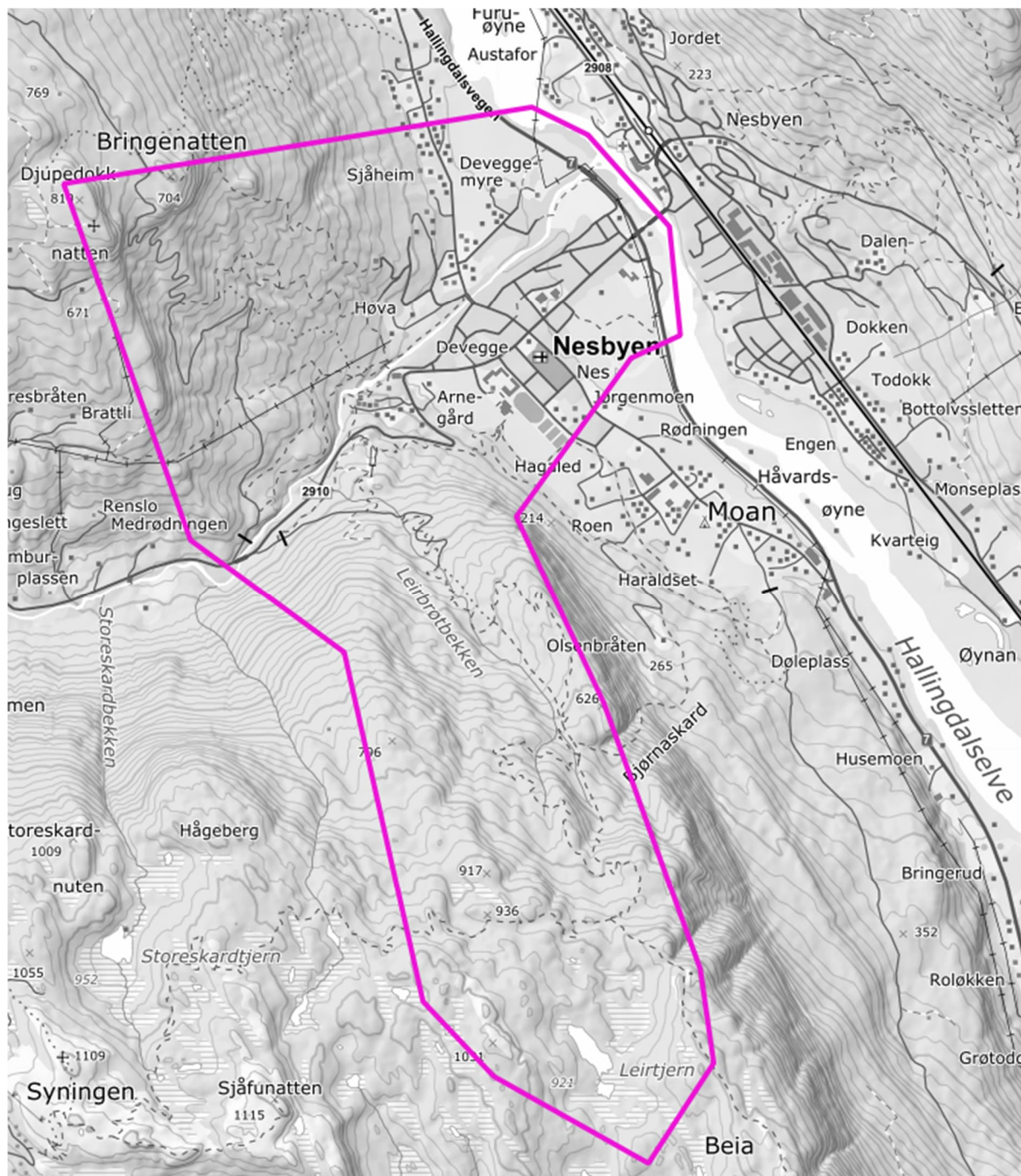
5.1 Modellering av avrenningen på overflaten

På bakgrunn av dimensjoneringen av pumpestasjonene er det utført hydrauliske analyser av avrenningen på overflaten i det lokale nedbørfeltet i Nesbyen. For dette formålet ble det satt opp en todimensjonal hydraulisk modell ved hjelp av HydroAS MapWork. Beregningene er utført for en klimajustert 200-års nedbørhendelse med varigheter på 180 minutter og 60 minutter i analyseområdet (Figur 5.1). I tillegg til eksisterende tilstand er det undersøkt et alternativ med et tiltak i den øvre delen av nedbørfeltet til Leirbrøtbekken.

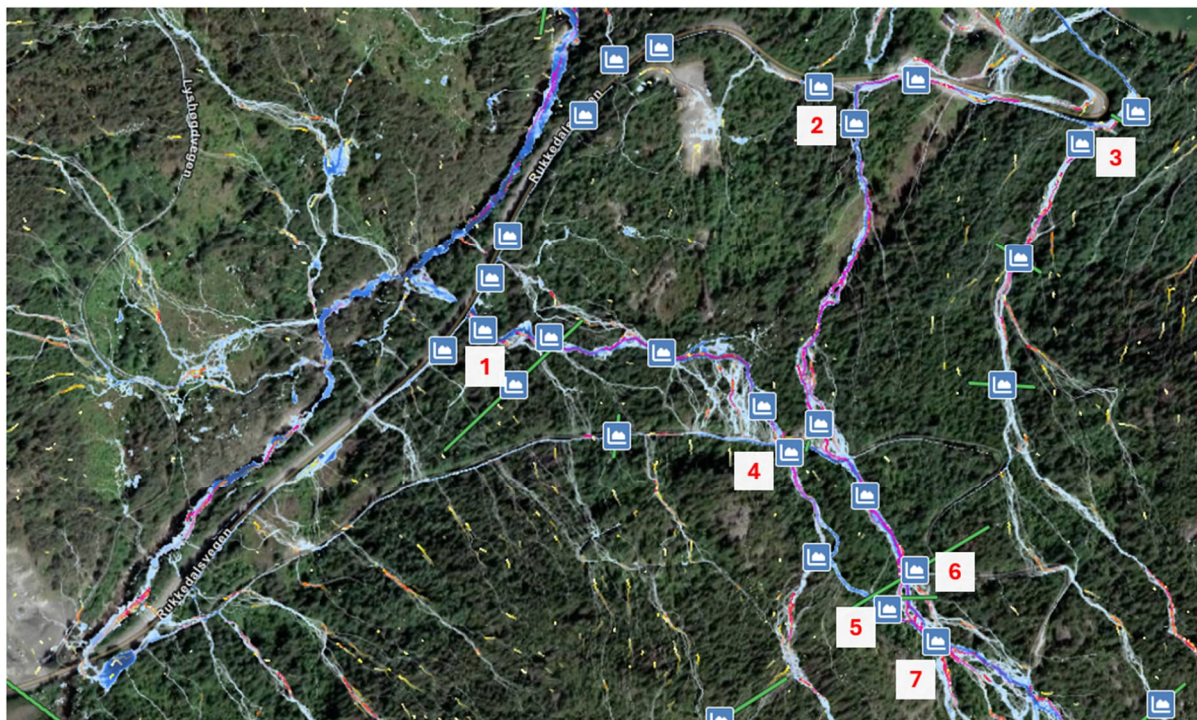
For videre vurdering og dimensjonering av pumpestasjonene ble det i samråd med oppdragsgiver satt fast å kun vurdere en nedbørvarighet på 60 minutter.

5.2 Eksisterende tilstand – klimajustert 200-års nedbør med 60 minutters varighet

For nedbørshendelsen N200+klima/D60min oppstår i utgangspunktet de samme avrenningslinjene som også observeres ved N200+klima/D180min. Det kan observeres en større strømningsvei som går fra Leirbrøtbekken mot Nesbyen. Ved stor avrenning deler Leirbrøtbekken seg allerede i området ved gamle murkonstruksjoner (markeringer 5 og 6) i det øvre nedbørfeltet i to strømningsveier. En strømningsvei fortsetter mot Rukkedøla (1), den andre mot Nesbyen (2), se Figur 5.2 og Figur 5.3. Uavhengig av Leirbrøtbekken dannes det en strømningsvei lenger øst, som også går mot Nesbyen (3). Maks. avrenning varierer litt sammenlignet med N200+klima/D180min og toppene opptrer på noe forskjellige tidspunkter. Maks. avrenningsverdier for eksisterende tilstand ved N200+klima/D60min vises i Tabell 5.1 og Tabell 5.2.



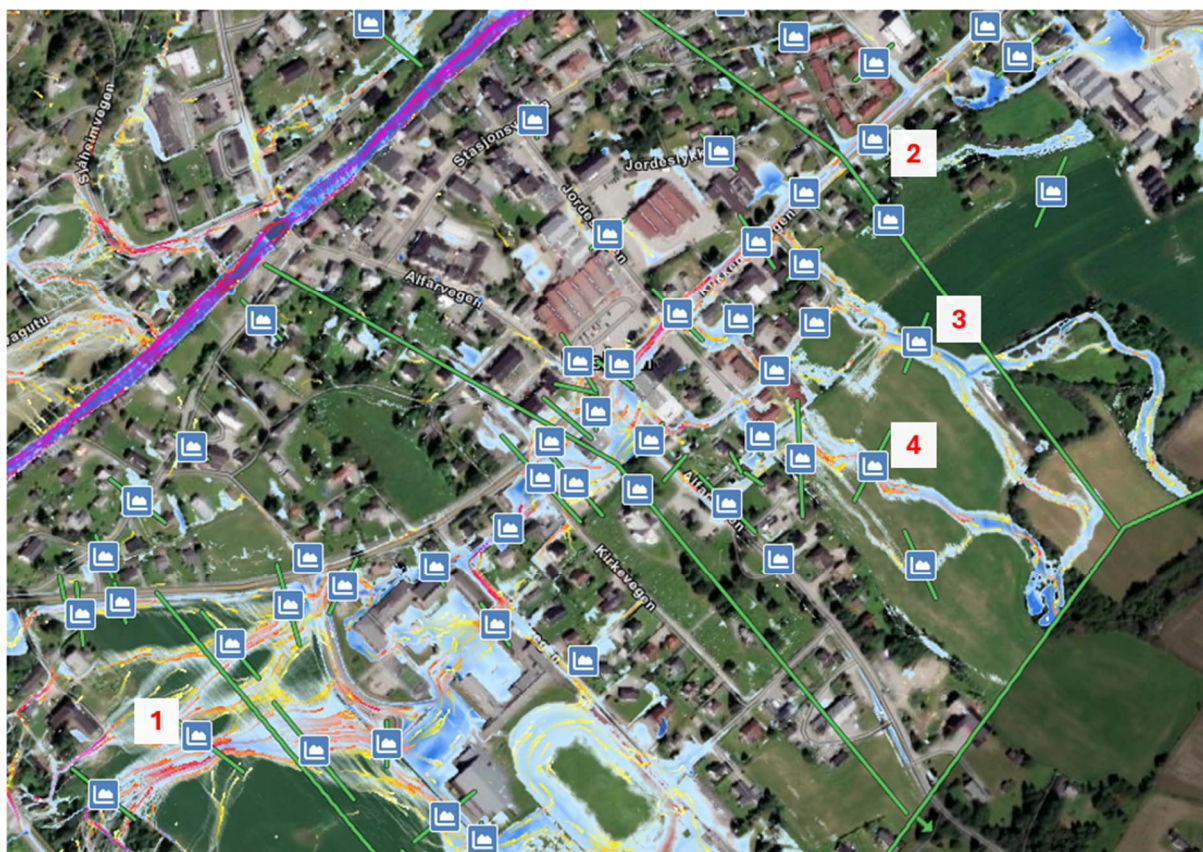
Figur 5.1: Grenser for analyseområdet, bakgrunnskart: topografisk Norgeskart, Kartverket



Figur 5.2: Utklipp av resultatene fra simulering av avrenningen for eksisterende tilstand, øvre del av nedbørfeltet, nedbørhendelse N200+klimate/D60min

Tabell 5.1: Maks. avrenning i den øvre delen av nedbørfeltet til Nesbyen sentrum, nedbørhendelse N200+klimate/D60min, eksisterende tilstand

Sted nr.	Avrenning [m ³ /s]
1	6,2
2	4,1
3	1,4
4	2,9
5	2,1
6	7,5
7	9,2



Figur 5.3: Utklipp av resultatene fra simulering av avrenningen for eksisterende tilstand, nedre del av nedbørfeltet, nedbørhendelse N200+klima/D60min

Tabell 5.2: Maks. avrenning i den nedre delen av nedbørfeltet til Nesbyen sentrum, nedbørhendelse N200+klima/D60min, eksisterende tilstand

Sted nr.	Avrenning [m ³ /s]
1	4,4
2	0,8
3	1,0
4	1,0

5.3 Planlagt tilstand – klimajustert 200-års nedbør med 60 minutters varighet

Ved tiltaket ved Leirbrøtbekken sikres det at ingen vann fra Leirbrøtbekken renner ned mot Nesbyen, men vannet omdirigeres østover til Rukkedøla (Figur 5.4). Dette fører til en betydelig reduksjon av vannmengdene som tilrenner Nesbyen sentrum. Figur 5.4 og Figur 5.5 gir en oversikt over det endrede strømningsmønsteret.

Tabell 5.3 og

Tabell 5.4 viser de tilhørende maks. avrenningsverdiene. Økte avrenningsverdier sammenlignet med eksisterende tilstand er avmerket i rød i tabellene, mens reduserte verdier er i grønn.



Figur 5.4: Utklipp av resultatene fra simulering av avrenningen for situasjonen etter tiltak (rødt kryss), øvre del av nedbørfeltet, nedbørhendelse N200+klimate/D60min

Tabell 5.3: Maks. avrenning i den øvre delen av nedbørfeltet til Nesbyen sentrum, nedbørhendelse N200+klima/D60min, planlagt tilstand

Sted nr.	Avrenning [m ³ /s]
1	8,8
2	0,4
3	1,4
4	2,9
5	2,1
6	7,5
7	9,2



Figur 5.5: Utklipp av resultatene fra simulering av avrenningen for situasjonen etter tiltak (rødt kryss), nedre del av nedbørfeltet, nedbørhendelse N200+klima/D60min

Tabell 5.4: Maks. avrenning i den nedre delen av nedbørfeltet til Nesbyen sentrum, nedbørhendelse N200+klima /D60min, planlagt tilstand

Sted nr.	Avrenning [m ³ /s]
1	1,9
2	0,3
3	0,2
4	0,4

5.4 Sammendrag overvannsavrenning

Som grunnlag for dimensjonering av pumpestasjoner i forbindelse med flomsikringen av Nesbyen ble det gjennomført simuleringer av avrenningen på overflaten fra nedbørfeltet til Nesbyen sentrum vest for tettstedet ved hjelp av en 2D hydraulisk modell.

Modellen er satt opp på basis av terrengdata med en oppløsning på 0,5 m. For å beregne avrenningsmønsteret og vannmengder er nedbør inkludert i modellen, og hydrologiske parametere er satt fast med utgangspunkt i en befaring av nedbørfeltet.

Det ble blant annet simulert en klimajustert nedbørhendelse med gjentaksintervall på 200 år og med en varighet på 60 minutter. I tillegg til eksisterende tilstand ble det beregnet endringene gjennom et tiltak ved Leirbrøtbekken for å avlede vann østover ut i Rukkedøla istedenfor mot Nesbyen sentrum.

Ved N200+klimate/D60min oppstår det avrenningstopper på 1,0 m³/s, 1,0 m³/s og 0,8 m³/s i sentrum for eksisterende tilstand. Etter tiltaket ved Leirbrøtbekken reduseres disse verdiene til 0,4 m³/s, 0,2 m³/s og 0,3 m³/s.

Tiltaket prosjekteres i en senere fase av prosjektet.

6. Hydraulisk modell og hovedfunn

6.1 Hydraulisk modellering

Det ble satt opp en todimensjonal hydraulisk modell for hovedelva Hallingdalselva og sideelva Rukkedøla, med formål beregning av vannstandskoter og flomutbredelse ved dimensjonerende vannføring for sikringstiltakene (se vedlegg 7 og 8). Resultatene danner grunnlaget for fastsetting av høyden og plassering av henholdsvis flomvollen og sikringen som er planlagt på Nesflata og langs Rukkedøla.

De hydrauliske analysene er delt inn i Hallingdalselva / sikring av Nesflata (6.2, vedlegg 7) og Rukkedøla (6.3, vedlegg 8). I analysene for sikring av Nesflata er Rukkedøla modellert og sikring av strekningen forbi Nesbyen sentrum er forutsatt for situasjonen etter tiltak, men resultatene for sideelva lengre opp enn Nesflata er presentert i eget kapittel (6.3).

Resultater for dimensjonerende vannføring for sikringstiltakene, 200-årsflom med klimapåslag, er presentert for situasjonen før og etter tiltak. Andre scenarier, blant annet flere flomverdier og kombinasjoner av flom med ulike gjentakintervall i henholdsvis Hallingdalselva og Rukkedøla, er beregnet av NVE og er presentert i egen rapport.

6.2 Resultater Nesflata for dimensjonerende vannføring

For situasjonen før tiltak på Nesflata og langs Rukkedøla er store deler av Nesflata og Nesbyen sentrum under vann ved 200-årsflom med klimapåslag.

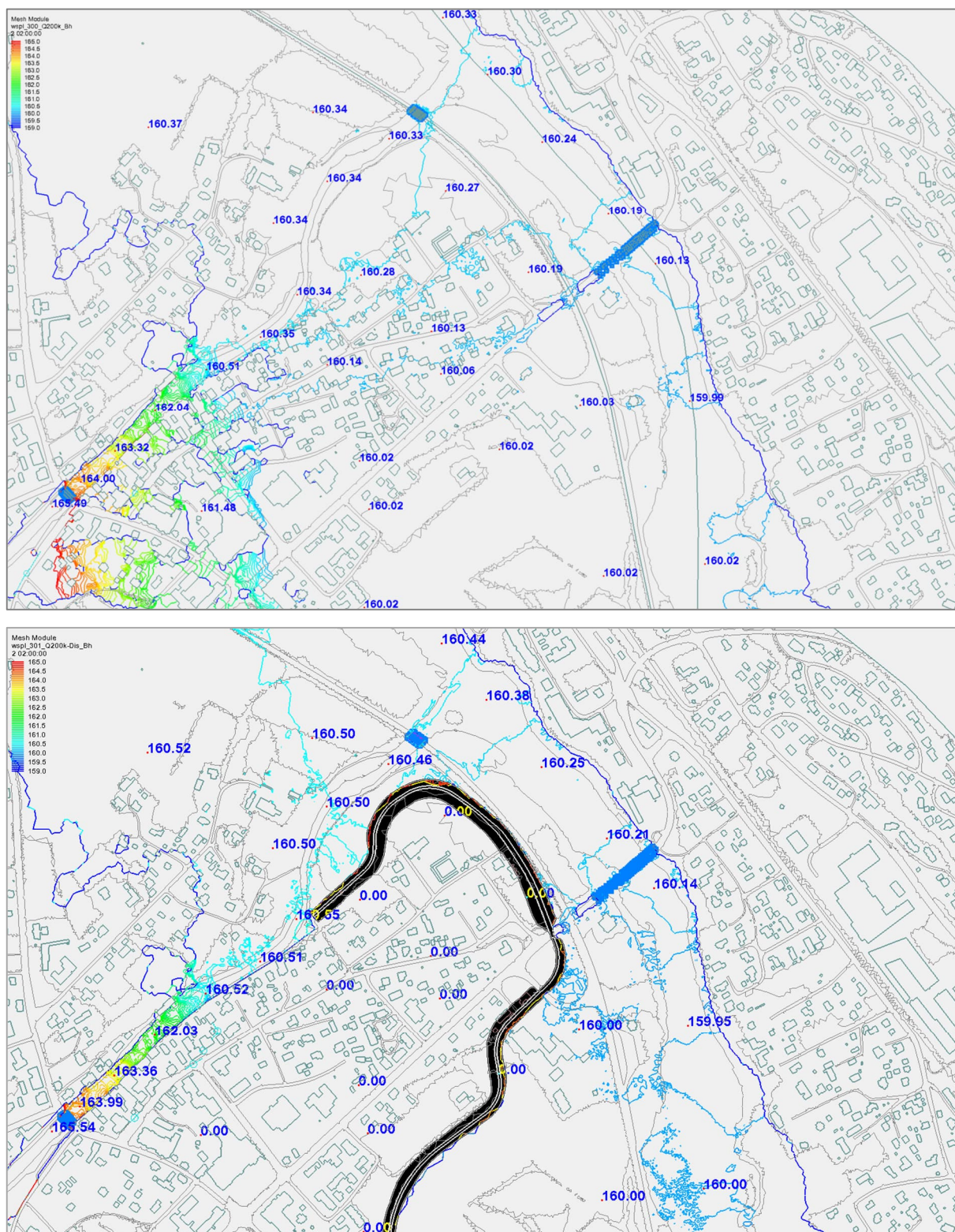
For situasjonen før tiltak strekker vannstandene langs Hallingdalselva seg fra 160,00 moh sør for Rukkedalsvegen og nedstrøms Stasjonsbrua til 160,35 moh ved Steinmogutu og på stedet der Rukkedøla møter bakvannet fra Hallingdalselva vest for markedsplassen (Figur 6.1).

For situasjonen etter tiltak varierer vannstander langs Hallingdalselva mellom 160,00 moh sør for Rukkedalsvegen og nedstrøms Stasjonsbrua, 160,50 moh ved Steinmogutu og 160,55 moh hvor Rukkedøla møter bakvannet fra Hallingdalselva. Det betyr at vannstander og vanndybder øker oppstrøms Stasjonsbrua som følge av tiltakene, med 15 cm ved Steinmogutu og med 20 cm hvor Rukkedøla møter bakvannet fra Hallingdalselva. Nedstrøms Rukkedalsvegen og Stasjonsbrua ligger vannstanden uforandret på 160,00 moh.

Innsnevringen av flomslettens tverrsnitt gjennom sikringstiltakene gir høyere strømningshastigheter. I Hallingdalselva øker hastigheter rundt Stasjonsbrua med ca. 0,4 m/s, og modellresultatene viser hastigheter opptil 2,6 m/s. Ved samløpet med Rukkedøla øker hastigheter med 0,6 m/s. Den største økningen opptil 1 m/s, på enkelte steder en økning på 2 m/s, finnes oppstrøms samløpet, på nederste strekning av Rukkedøla.

Rundt bebyggelsen på Steinmogutu, rundt supermarkedet og bensinstasjonen, og på Jørgenmojordet er strømningshastigheter opptil 0,3 m/s lavere enn før tiltak. På Jørgenmojordet er det stående vann.

Resultatene samt modellen er beskrevet nærmere i vedlegg 7, kvalitetssikringen av bunndata for Hallingdalselvas elveleie i vedlegg 4.



Figur 6.1: Vannspeil ved Nesbyen for 200-årsflom med klimapåslag før (øverst) og etter tiltak (nederst); vannstandskuver med ekvidistanse på 0,1 m; på utvalgte punkter er vannstandskoter [moh] skrevet på; plassering av planlagt flomvoll på Nesflata i svart.

6.3 Resultater Rukkedøla for dimensjonerende vannføring

For situasjonen før tiltak langs Rukkedøla og på Nesflata går Rukkedøla over den sørlige bredden på flere steder og vann renner gjennom bebyggelsen til sentrum og videre til Hallingdalselva (Figur 6.2). Hajem bru har ikke tilstrekkelig kapasitet, og det er oppstuvning foran brua (Figur 6.3). Strømnings-hastigheter i Rukkedøla er høye, stort sett mellom 4 m/s og 6 m/s, og større enn 6 m/s på flere steder.

Blant tiltakene i Rukkedøla som ble undersøkt ved hydrauliske simuleringer er bunnsenkning, fjerning eller endring av terskelen i flomparken, utvidelse av elvas tverrsnitt og heving eller nybygg av Hajem bru.

Simuleringsresultatene viste ønsket effekt for lokal bunnsenkning. På grunn av ulempene bunnsenkning medfører, som fare for erosjon, behov for erosjonssikring, store kostnader og miljøinngrep, ble det bestemt i samråd med oppdragsgiver at bunnsenkning ikke er aktuelt. I denne sammenhengen og på grunn av forventede kostnader og gjennomførbarhet ble det videre bestemt at verken fjerning, endring eller flytting av terskelen er et egnet tiltak. For sikring av strekningen ved flomparken er påbygg på utsiden av flomparken langs Mølleveien vurdert den foretrukne løsningen.

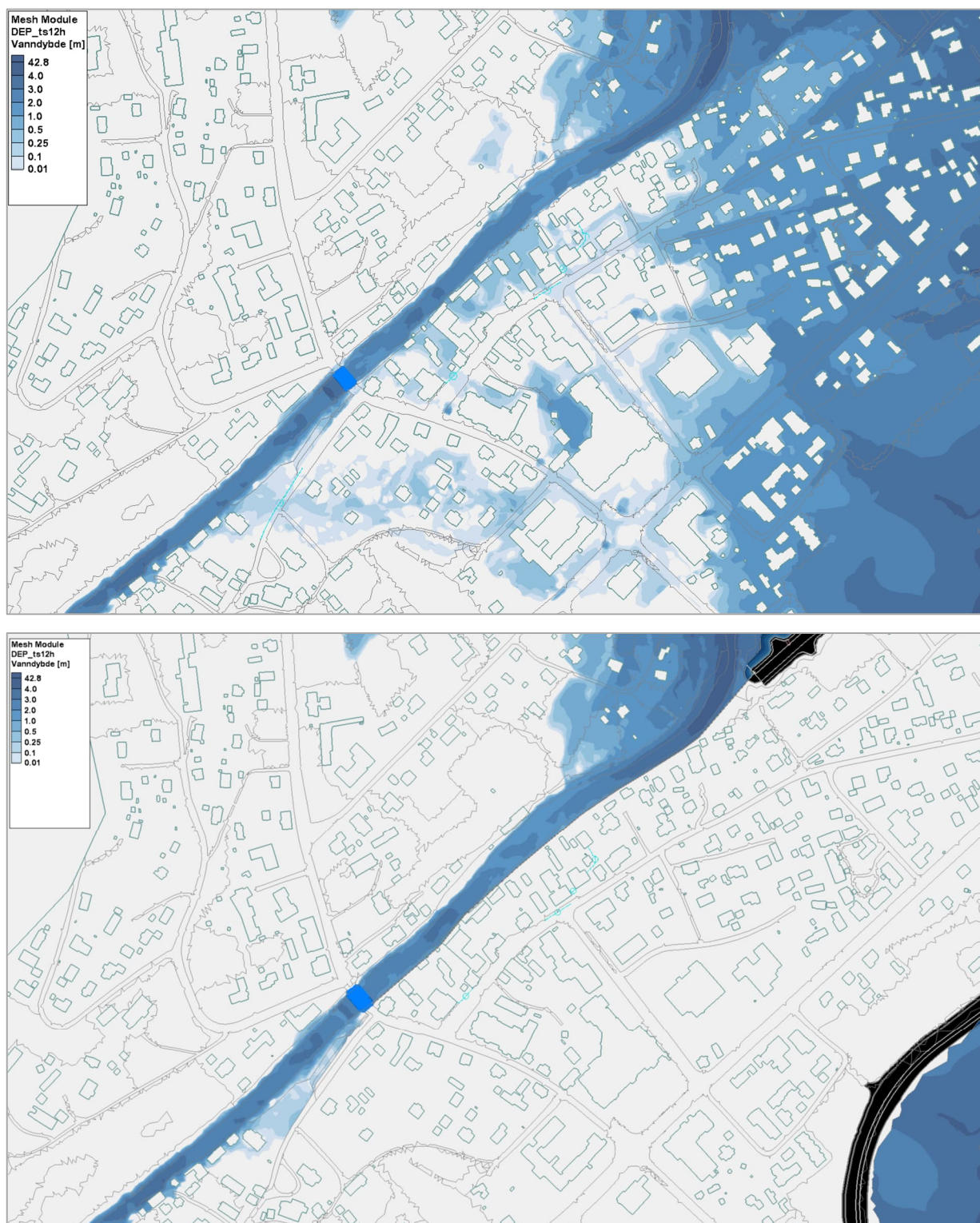
De hydrauliske beregningene viser at det er nyttig å utvide elveprofilen så mye som mulig, fordi breddeutvidelse har stor virkning på vannlinjen. Følgelig kan høyden av flomsikringen langs den sørlige elvebredden bygges lavere. Utfra forutsetninger rundt eksisterende bebyggelse ble det vurdert at en utvidelse av bunnbredden på mellom 20 m og 22 m bør være mulig. Tiltaket forutsetter imidlertid at deler av bygningene nærmest elvekanten fjernes eller tas ned og bygges opp igjen.

Angående spørsmålet om tiltak på Hajem bru ble flere alternativer undersøkt. De hydrauliske analysene tilsier at nybygg av Hajem bru er bedre enn heving av brua, fordi nybygg gir muligheten til å utvide tverrsnittet for å senke vannstanden. Ved nybygg anbefales det å utvide bruprofilen til 22 m. Blant alternativene med hensyn til plassering av ny bru er dagens veilinje å foretrekke ny veilinje nedstrøms. Simuleringsresultatene gir lavere vannstand og gunstigere skjærspenning rundt brua på dagens veilinje.

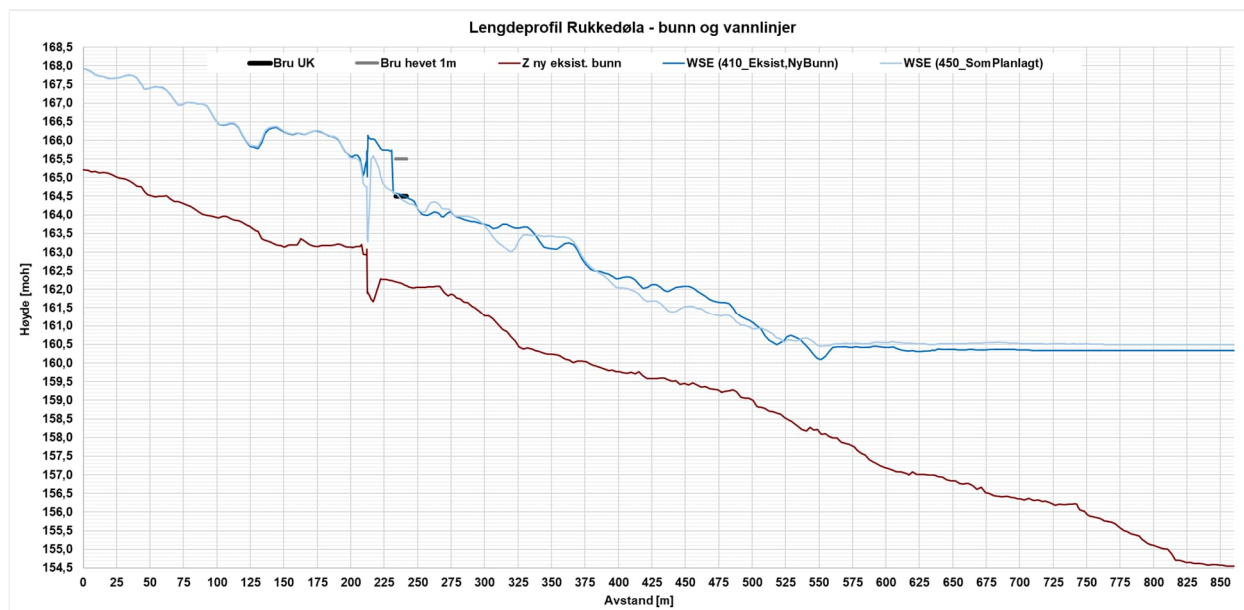
Tiltakene i og langs Rukkedøla sikrer alle bygninger øst for Mølleveien, nedstrøms Hajem bru alle bygninger sør for Rukkedølas elvekant (Figur 6.2). I flomparken og oppstrøms er vannstanden uendret (Figur 6.3). Fra terskelen nedover senkes vannstanden på store deler av elvestrekningen, lokalt er vannstanden noe høyere for situasjonen etter tiltak. Disse stedene må det spesielt ses på i detaljprosjekteringsfasen, og tiltakene må eventuelt tilpasses, eller nye legges til, for å sikre at eiendommer langs Rukkedølas nordlige bredd ikke har negative konsekvenser.

Simuleringsresultatene for situasjonen med tiltak som planlagt og masseavsetninger på Rukkedølas nedstrøms strekning gir opptil nesten 50 cm høyere vannstand oppstrøms bakvannet fra Hallingdalselva, ved Stasjonsvegen 19 og 23.

Resultatene av følsomheten for avsetninger skal inngå i vurderingene når endelig sikkerhetspåslag og fribord for sikringstiltakene fastsettes. Det henvises til eget notat skrevet av NVE om fastsetting av sikkerhetspåslag og fribord for sikring av Rukkedøla.



Figur 6.2: Flomareal og vandedybder [m] ved Nesbyen for 200-årsflom med klimapåslag for eksisterende tilstand (øverst) og planlagt tilstand (nederst). I eksisterende tilstand er det forutsatt at det organisatoriske tiltaket som kommunen setter opp ved Hajem bru virker.



Figur 6.3: Vannlinjer i Rukkedøla for 200-årsflom med klimapåslag for eksisterende (mørkeblå linje) og planlagt tilstand (lyseblå linje).

7. Undersøkelse av ulike alternativer for flomsikring

7.1 Generelt

Målet med de planlagte tiltakene er å sikre bebygde områder i Nesbyen sentrum og på Nesflata mot 200-årsflom med klimapåslag. På grunn av størrelsen på nedbørfeltet og flomverdiene i Hallingdalselva, beliggenhet av prosjektområdet, og hydrauliske forhold i Hallingdalselva er det ikke teknisk eller økonomisk gjennomførbart med en løsning som reduserer flomtoppen ved Nesbyen vesentlig, for eksempel gjennom fordrøyningsmagasin, desentraliserte fordrøyningsarealer eller utvidelse av elvetverrsnittet nedstrøms. NVE har undersøkt og dokumentert slike tiltak, bl.a. i sin mulighetsstudie. Derfor undersøkes det lokale flomsikringstiltak i dette prosjektet.

Flomfaren utgår fra vannføringen i de to elvene Hallingdalselva og Rukkedøla. I området hvor Rukkedøla munner ut i Hallingdalselva og hvor elva krysser rv. 7 gjennom fire sirkulære kulverter med diameter på ca. 3,6 m, er det en bakvannseffekt ved samtidig flom i elvene. Ved dimensjonerende flom er rv. 7 under vann og kulvertene er dukket. Bakvannet fra Hallingdalselva strekker seg rundt 350 m oppover i Rukkedøla.

Sammen med flommen må det tas hensyn til grunnvannsstigning over bakkenivå i områder på luftsiden av det planlagte flomverket, med bakgrunn i infiltrasjon av flomvann i permeabel grunn. Det er også fare for tilbakeslag i overvanns- og avløpsnettets ved en intens lokal nedbør samtidig med flom i vassdraget (se kapittel 4.3.3).

Videre skal det tas hensyn til en klimajustert, lokal ekstremnedbør med gjentakintervall på 200 år og avrenningen på overflaten fra det lokale nedbørfeltet som følge av en slik hendelse. Med bakgrunn i samtidighetsanalysen antas samtidig flom i vassdrag og lokal nedbør.

7.2 Delprosjekter for planlegging av tiltak

Planleggingen av flomsikringen i Nesbyen er delt inn i ulike prosjekteringsfaser- og trinn og bearbeides derfor også i ulike perioder.

7.2.1 Rukkedøla, sikring langs elva

De utførte hydrauliske beregningene er lagt til grunn for dimensjoneringen av tiltakene og utarbeidelse av tiltakskonseptet for flomsikringen langs Rukkedøla (kapittel 6.3, vedlegg 8). Videre er flomsikringstiltakene prosjektert på grunnlag av utførte grunnvannssimuleringer og lekkasjevannberegninger (kapittel 8, vedlegg 9).

Følgende punkter er ikke avklart på tidspunktet for rapportens utarbeidelse, og de har innvirkning på utformingen av flomsikringen langs Rukkedøla:

- Tiltak på Hajem bru samt tilkoplet veisystem på bakgrunn av for liten kapasitet av brua for dimensjonerende flom og oppstuvningen i eksisterende tilstand
- Flomsikring av Steinmogutu, området nord for Rukkedøla som hovedsakelig er berørt av bakvannet fra Hallingdalselva ved samtidig flom i hoved- og sideelva
- Erosjonssikring av deler av den nordlige elvebredden og eventuell lokal sikring av elvebunnen; bunnsenking og gjennomgående bunnsikring ble forkastet
- Avklaring av konflikter med eksisterende bebyggelse skal løses
- Landskapsarkitektoniske elementer og utforming tas hensyn til i seinere prosjektfase

Merknad: Bygging av flomvoller er vanligvis mer kostnadseffektivt enn å bygge flomsikringsmurer av betong. Denne fordelene blir imidlertid nesten helt borte under forholdene langs Rukkedøla. I tillegg til byggverkshøyden og de trange plassforholdene som følge av eiendommer nær og til dels helt inn til elvekanten, gjør den ugunstige terrengsituasjonen det stort sett umulig å sikre ved voll. I tillegg er det ofte vanskelig med grunnnervv for bygging av flomsikringstiltak.

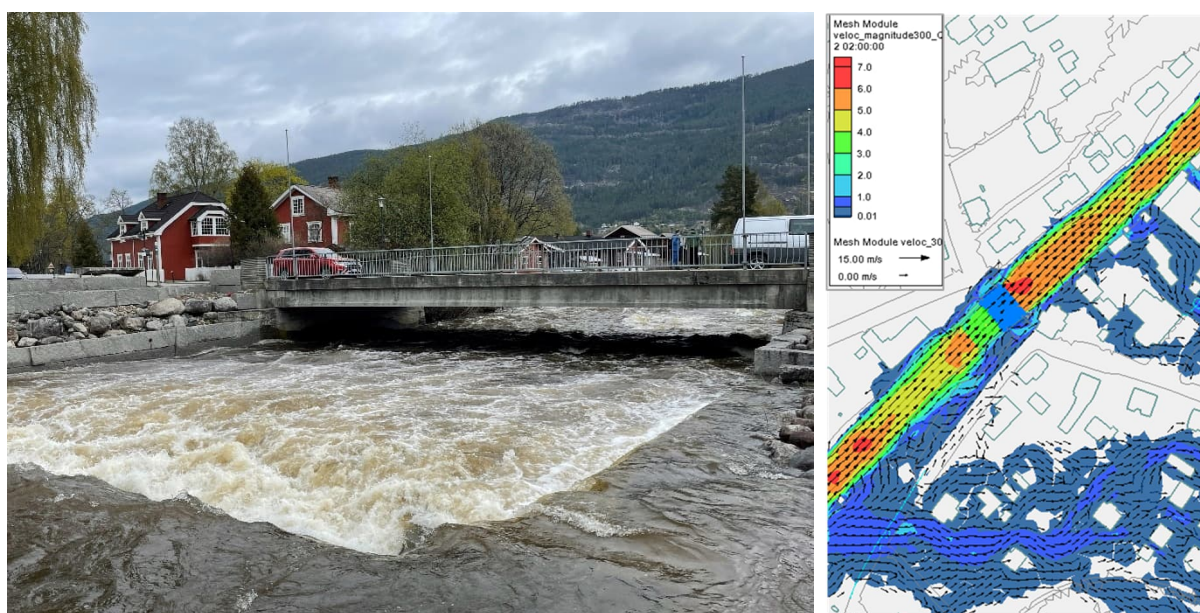
De planlagte tiltakene omfatter (delvis) rivning av noen bygninger. Et annet kritisk punkt er drenering og avledning av lekkasjevann til en pumpestasjon ved Rukkedøla. Dette beskrives nærmere i vedlegg 9, kapittel 3.2.

7.2.2 Hallingdalselva, sikring av Nesflata

Delprosjektet med høyest prioritet tar hensyn til området mellom Rukkedøla og Hallingdalselva, og omfatter sikring av Nesflata sør for Rukkedøla mot flom i Hallingdalselva. I dette området ligger de fleste eiendommene som ble oversvømt og skadet under flommen i august 2023.

7.2.3 Bru over Rukkedøla – Hajem bru

Delprosjektet går parallelt til sikring av Rukkedøla. Nybygg av brua eller eventuell heving av eksisterende bru utredes av en annen konsulentfirma. Utover det hydrauliske grunnlaget (vedlegg 8) omtales dette delprosjektet ikke nærmere her. Figur 7.1 viser Hajem bru fra flomparken rett oppstrøms.



Figur 7.1: Terskel i flomparken oppstrøms Hajem Bru (venstre, foto: LISAS, mai 2024), utsnitt av hydraulisk beregning (høyre)

7.2.4 Rukkedøla oppstrøms

Delprosjektet omfatter prosjektering av en mulig sperre for å fange opp og fjerne trestammer og død vegetasjon fra Rukkedøla i området oppstrøms juvet, før elva krysser fv. 2910. Dette delprosjekt bearbejdes i en seinere fase av flomsikringsprosjektet.

7.2.5 Steinmogutu

Flomsikring av Steinmogutu, området nord for Rukkedøla / sør-vest for samløpet med Hallingdalselva, ligger hovedsakelig på Hallingdalselvas flomslette og er berørt av bakvannet fra hovedelva ved samtidig flom i vassdragene.

Med bakgrunn i vannstandsstigningen ved Steinmogutu på opptil 15 cm som følge av flomvollen på Nesflata (kapittel 6.2, vedlegg 7) og negativ konsekvens for bebyggelsen, skal det gjennomføres en mulighetsstudie for flomsikring av denne bydelen. Det henvises også til NVEs notat om beregninger av endret flomfare som følge av sikringstiltak. Mulighetsstudien flomsikring Steinmogutu bearbeides i seinere fase av forprosjektet.

7.2.6 Flomparken

De hydrauliske resultatene for eksisterende tilstand viser at vann renner over Rukkedølas sørlige bredd oppstrøms Hajem bru (jf. kapittel 6.3). I planlagt tilstand er vannstander i flomparken og oppstrøms uendret. Denne strekningen er foreslått sikret ved påbygg langs muren på utsiden av flomparken, langs Møllevegen.

Tiltakene for flomsikring langs flomparken og Møllevegen utarbeides i seinere fase av flomsikringsprosjektet, når løsningen for Hajem bru med tilkoplete veier foreligger og tiltakskonseptet for Rukkedøla nedstrøms brua er bestemt.

7.3 Trasé for sikring av Rukkedøla

Utfra LISAS perspektiv finnes det kun et alternativ for sikringen av området langs Rukkedøla. Hvis bebyggelsen langsmed elva skal sikres, må traséen føres langs den sørlige elvebredden. Inngrep i privat eiendom kan ikke unngås, men det er viktig å minimere disse inngrepene. Av denne grunn er flomsikringen plassert så nærme elva som mulig. Samtidig er det avgjørende å helst unngå innsnevring av elveprofilen og dermed redusert kapasitet. Som minimumsavstand til eksisterende bebyggelse er det planlagt en 3,0 m bred sikkerhetsstripe etter ferdigstillelsen av flomsikringstiltaket. Under bygging vil utgravningen for drens-systemet og fundamenteringen strekke seg delvis helt inntil eksisterende bygg. Drensledningen går under bakken mellom den planlagte flomsikringsmuren og eksisterende bebyggelse, dvs. i den 3 m brede sikkerhetsstripen. I tillegg plasseres en transportledning under drensledningen, ettersom kapasiteten til drensledningen ikke er tilstrekkelig for avledning av alt lekkasjevann. En nærmere beskrivelse finnes i kapittel 9.1.3.



Figur 7.2: Traséforløp for flomsikringsmuren langs Rukkedøla



Figur 7.3: Lengdeprofil av flomsikringsmuren langs Rukkedøla, utklipp av tegning E 705

I løpet av forprosjektet er det vurdert i hovedsaken tre flomvolltraséer (Figur 7.4). Utfra disse er det utarbeidet et foretrukket alternativ som vil bli detaljprosjektert i neste fase av flomsikringsprosjektet.



Utgangspunktet for alternativene som ble vurdert var skadene som flommen i 2023 førte med seg. I tillegg til «Alternativ 1 - liten løsning», ble det vurdert to andre alternativer: «Alternativ 2 - middels løsning» skiller seg fra alternativ 3 ved at markedsplassen og enkelte bygninger ikke er sikret. «Alternativ 3 - stor løsning» er tilnærmet full sikring for området sør for Rukkedøla. For alternativ 2 og 3 ble også alternativene 2+ og 3+ vurdert, som ligger lengre ut på jordet, men gir Nesbyen kommune arealer for mulig stedsutvikling.

7.4.1 Alternativ 1 (Liten løsning)

Den lille løsningen er utformet som et minimalt alternativ med sikring ved en mur gjennom boligfeltet. Denne løsningen utelukker flere hus fra flomsikring. I tillegg er dette alternativet teknisk mer krevende og innebærer enkelte utfordringer, som for eksempel integrering av hele systemet for håndtering av bakvann og avløpssystemet, egnet plassering av pumpestasjonene og kryssinger av veier med behov for bruk av organisatoriske tiltak. En fordel med flomverket utformet som mur er reduksjon av arealbruk samt kostnader for drift- og vedlikehold, og lavere sannsynlighet for svikt.

7.4.2 Alternativ 2 (Middels løsning)

Den midlere løsningen er en kombinasjon av flommur langs Øynan mot rv. 7 og flomvoll derfra langs rv. 7 og sørover. I likhet med alternativ 1 utformes dette alternativet som mur i tettstedet og byr på tilsvarende utfordringer som nevnt ovenfor.

7.4.3 Alternativ 3 (Stor løsning)

Den store løsningen svinger lenger nord mot Rukkedøla slik at den sikrer markedsplassen og omtrent følger dagens gjerde langs rv. 7. Dette alternativet har sikring med flomvoll på hele strekningen. Det er tilstrekkelig med plass for plassering av pumpestasjoner og for omlegging og tilkobling av avløpssystemet. Ulemper med alternativet er høyere arealbruk og fjerning av trær / vegetasjon langs Rukkedøla.

7.4.4 Alternativ 2+ og 3+ (Middels / Stor løsning pluss)

Pluss-løsningen innebærer at flomverket flyttes lenger sør-øst ut på landbruksarealet Jørgenmojordet. Dette vil gi Nesbyen kommune rom for stedsutvikling, og et enkeltstående hus ligger innenfor flomverket. Denne utvidelsen er vurdert å ha ingen betydning for kostnadene og den tekniske gjennomførbareheten og har både fordeler og ulemper i forhold til landbruk og landskap (arealbeslag vs. fragmentering, avstand til eksisterende bebyggelse, innpasning i landskapsbildet).

7.4.5 Sammenligning av alternativene

Følgende kriterier ble tatt i betraktning ved valg blant alternativer:

- Flomareal / områder som skal sikres mot flom, antall sikrede bygninger
- Sikkerhet og drift- og vedlikehold, inkludert adkomst
- Teknisk gjennomførbarehet
- Påvirkning av eksisterende infrastruktur og avløpssystemet
- Drift og vedlikehold
- Tap av privat eiendom
- Tap av dyrkbar jord
- Utviklingsmuligheter for Nesbyen kommune
- Miljøaspekter og bevaring av trær

- Økonomiske konsekvenser (kostnader) ift. bygging og drift av sikringsanlegget
- Nytte-kost

Valget av den anbefalte flomvolltraséen ble basert på en matrise med ulike kriterier og vektning av disse (Figur 7.5). Fremgangsmåten for å lage matrisen og resultatet av prosessen er beskrevet i notatet i vedlegg 10.

Sammenligning av forskjellige alternativer og kombinasjoner av alternativer ved hjelp av vurderingsmatrise																			
Flomverk, dvs. flomvoll og -mur med tilhørende anlegg som pumpestasjoner; kun sikring mot Hallingdalselva, sikring langs Rukkedøla ikke vurdert																			
Skalaen av verdipoengetene går fra 1 poeng (=dårlig) til 5 poeng (=bra). Minst 1 alternativ får 5 poeng. Antall poeng "Vektete poeng" beregnes som følger: verdipoenget * vektning [-]*10.																			
Kriterie / påvirkning	Enhet	Vektning	Maks. verdier		Alternativ 1			Alternativ 2			Alternativ 3			Alternativ 2+			Alternativ 3+		
			Maks. poeng	Maks. vektete poeng	Verdi	Poeng	Vektete poeng	Verdi	Poeng	Vektete poeng	Verdi	Poeng	Vektete poeng	Verdi	Poeng	Vektete poeng	Verdi	Poeng	Vektete poeng
Lønnsomhet, prissatte virkninger		30%																	
1 Nytte (unngåtte skader gjennom sikring)	mill. kr	30%	5	15	360	1	3.00	412	3.4	10.08	442	4.7	13.98	420	3.7	11.10	449	5	15.00
Kostnader (investering) - uten vekt, inngår i trinn 2	mill. kr	-			130			120			110			120			110		
Vassdragstekniske momenter		15%																	
2 Grunnforhold (geoteknikk, egnethet, permeabilitet o.l.)		2.1%	5	1.1		5	1.07		5	1.07		4.5	0.96		5	1.07		4.5	0.96
3 Påvirkning på grunnvannet		2.1%	5	1.1		5	1.07		5	1.07		5	1.07		5	1.07		5	1.07
4 Drenering (drensrør, overvann, pumpestasjoner, tetning)		2.1%	5	1.1		5	1.07		4.5	0.96		3.5	0.75		4.5	0.96		3.5	0.75
5 Hydraulisk virkning (konsekvenser av flomverket på andre steder)		2.1%	5	1.1		5	1.07		5	1.07		4.5	0.96		5	1.07		4.5	0.96
6 Tilgang inkl. anleggsperioden, drifts- og beredskapsvei		2.1%	5	1.1		3	0.64		5	1.07		5	1.07		5	1.07		5	1.07
7 Drift og vedlikehold		2.1%	5	1.1		4	0.86		4	0.86		5	1.07		5	1.07		5	1.07
8 Bruk av administrative flomtiltak (mobile elementer o.l.)		2.1%	5	1.1		4	0.86		4	0.86		5	1.07		5	1.07		5	1.07
Påvirkning på infrastruktur		5%																	
9 Veisystem, samferdsel		2.5%	5	1.3		4	1.00		4.5	1.13		5	1.25		4.5	1.13		5	1.25
10 Omlegging av kabler, ledninger o.l. Infrastruktur		2.5%	5	1.3		4	1.00		4	1.00		5	1.25		4	1.00		5	1.25
Påvirkning på naturmangfold og dyrkbar mark		10%																	
11 Tap av matjord / dyrket mark		5.0%	5	2.5		5	2.50		4	2.00		3.5	1.75		2	1.00		1.5	0.75
12 Inngrep i viktige habitater eller naturtyper		1.7%	5	0.8		5	0.83		5	0.83		4.8	0.80		5	0.83		4.8	0.80
13 Arealbeslag av flomverk (permeabel flate)		1.7%	5	0.8		5	0.83		5	0.83		4.8	0.80		5	0.83		4.8	0.80
14 Tap av trær, inngrep i kantvegetasjon		1.7%	5	0.8		5	0.83		5	0.83		5	0.83		5	0.83		5	0.83
Påvirkning på mennesker, materielle verdier og kulturminner		40%																	
15 Inngrep i landskap (by- og landskapsbilde)		9.8%	5	4.9		3	2.93		4.5	4.39		5	4.88		4.5	4.39		5	4.88
16 Inngrep i kulturarv (kulturminner, fredete bygninger o.l.)		9.8%	5	4.9		5	4.88		5	4.88		5	4.88		5	4.88		5	4.88
17 Landskapsmessig og arkitektonisk utforming - virkning på bomiljø		9.8%	5	4.9		2	1.95		3.8	3.71		4	3.90		4.8	4.68		5	4.88
18 Landskapsmessig og arkitektonisk utforming - virkning på rekreasjon og friluftsliv		9.8%	5	4.9		2	1.95		4.5	4.39		5	4.88		4.5	4.39		5	4.88
19 Påvirkning på bomiljøet i anleggsperioden (støy, luftkvalitet, trafikk)		1.0%	5	0.5		2	0.20		4.5	0.45		5	0.50		4.5	0.45		5	0.50
Sum			95	50	-	74	28.54	-	85.66	41.47	-	89.26	46.65	-	87	42.90	-	88.6	47.65
Forutsett:																			
A 1 er også flomvoll																			
A 1 tilknyttet kryss Stasjonsveien/Rukkedalsveien, uten 3 ledningskryssinger																			
A 1 skiller seg gjennom at Qvisten pumpestasjon ligger utenfor sikringen																			

Figur 7.5: Vurderingsmatrise for sammenligning av alternativene (se vedlegg 10)

Kort oppsummert tok vurderingen hensyn til økonomiske og tekniske kriterier, konsekvenser for infrastruktur, påvirkning på naturmangfold og landbruk (dyrkbar jord, matjord), og påvirkning på mennesker, materielle verdier og kulturarv.

Nytteverdier er hentet fra NVEs nytte-kostnadsvurdering.

Resultatet av vurderingsmatrisen viser en vektet poengsum fra 28,5 til 47,7. Den maksimale poengsummen som kan oppnås er 50 poeng. Alternativ 3+ (stor løsning pluss) oppnådde høyest totalpoengsum. Når det tas hensyn til total nytte-kost, inkludert ikke-prissatte virkninger i kostnadene, kommer alternativ 3 og alternativ 3+ ut lik med høyest nytte-kost.

Supplerende merknader:

Jordbruksarealet i det sørlige området, der flomvollen går sør-øst for bebyggelsen, har stor verdi. Derfor ble det i utredningen av alternative traséer tatt hensyn til å minimere inngrepene.

Sikring av Nesflata sør for Rukkedøla vil føre til høyere vannstand på nordsiden. En slik negativ konsekvens vil kunne påvirke den planlagte flomsikringen. Det er derfor viktig at sikring av Steinmogutu nord for Rukkedøla vurderes i en seinere fase av sikringsprosjektet.

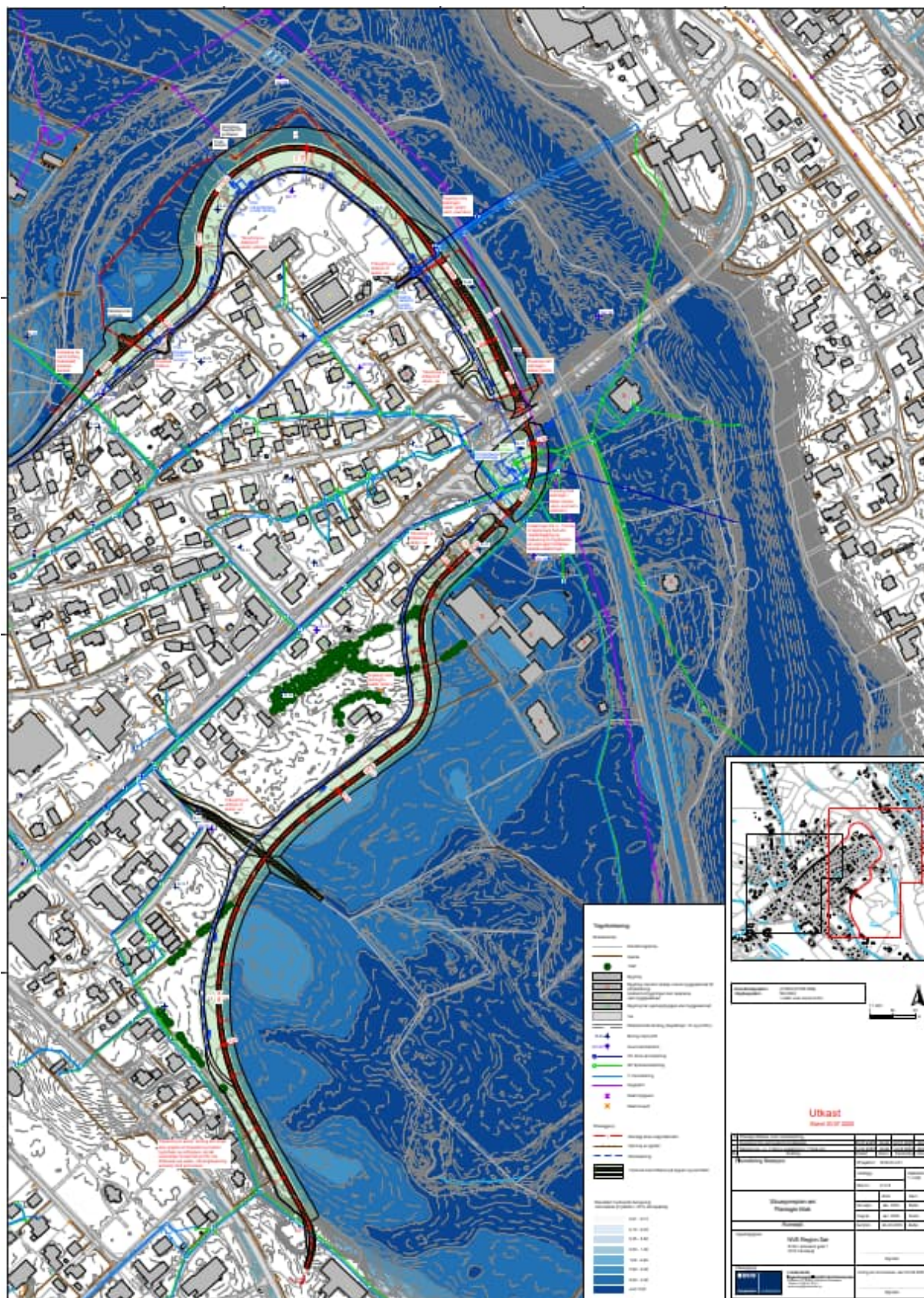
7.5 Valgt trasé for sikring av Nesflata

Basert på vurderingsmatrisen ble alternativ 3+ (stor løsning pluss) foreslått som den foretrukne løsningen. Denne løsningen er nærmere beskrevet nedenfor og utarbeides videre i detaljprosjekteringsfasen. Den planlagte flomvolltraséen er vist i Figur 7.6 og i tegning E 212.

Ytterligere informasjon om det valgte alternativet:

Den 19. oktober 2024 ble det bestemt at næringsområdet ved rv. 7, der supermarkedet og bensinstasjonen ligger, ikke sikres gjennom flomvollen. Hvis næringsdrift skal fortsette i dette området må eiere sørge for sikring av sine eiendommer utenfor flomverket. Det må tas hensyn til at de nedgravde tankene ved bensinstasjonen kan flyte opp, dvs. at de må sikres mot oppdrift. Ansvaret ligger hos eieren.

Næringsområdet ved rv. 7 samt boligene sør for bensinstasjonen inkluderes ikke i flomsikringen med bakgrunn i nytte-kost-vurdering. Det er vurdert at det ikke er samfunnsøkonomisk lønnsomt å inkludere de eiendommene i sikringen, verken gjennom flomvollen eller et enkelttiltak.



Figur 7.6: Oversikt over valgt alternativ for flomvolltrasé på Nesflata

8. Grunnvannsmodellering

Ved planlegging av sikringstiltak mot flom må samspillet med grunnvannsforholdene undersøkes med tanke på lekkasjevann. Til dette formål ble det satt opp en numerisk grunnvannsstrømningsmodell. Modellen ble først laget for eksisterende tilstand. Ved å integrere ulike beskyttelseselementer i grunnvannsmodellen analyseres virkningene av enkelte planleggingsalternativer og de resulterende mengdene av lekkasjevann beregnes.

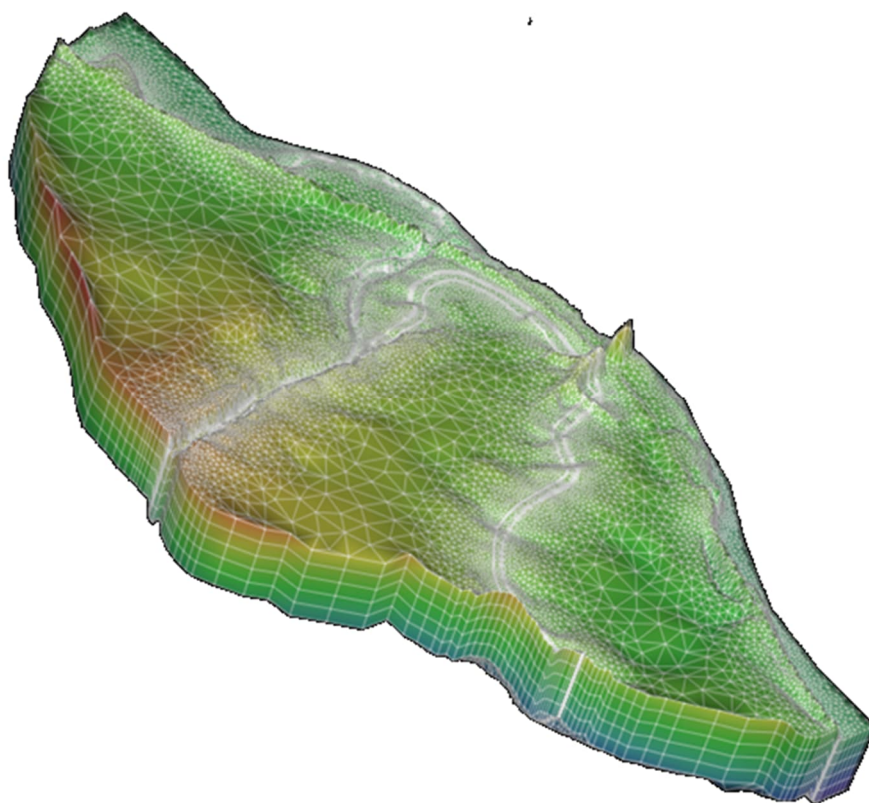
Det henvises til vedlegg 9 for en detaljert beskrivelse av grunnvannsmodelleringen samt resultatene.

8.1 Grunnvannsmodell

Basert på tilgjengelige data, utført feltarbeid og målinger ble det satt opp en numerisk grunnvannsmodell (programvare: Feflow 8.1, DHI). Denne dekker et område på 1,3 km² mellom Hajem bru i vest og Hallingdalselva i øst. Modellområdet gjennomstrømmes av Rukkedøla i øst-vestlig retning.

Figur 8.1 viser den horisontale og vertikale diskretiseringen av beregningsnettet, som tar hensyn til begge elveløpene og det forventede forløpet av sikringstiltak langs vassdragene. Vertikalt gjengir modellen akviferen fra kvartære elve- og bekkeavsetninger ned til en dybde på 15 m. Bunnen av akviferen, som ikke ble nådd under feltarbeidet, ligger under modellens underkant.

På grunnlag av pumpetester, vannstandsmålinger (jf. kapittel 4.4.4 og vedlegg 5) og hydrauliske beregninger (jf. kapittel 6 og vedlegg 7 og 8) ble grunnvannsmodellen kalibrert både stasjonært og ikke-stasjonært. Dette gjorde det mulig å oppnå et tilstrekkelig nøyaktig resultat for grunnvannsnivåene og deres variasjon.



Figur 8.1: Vertikal og horisontal diskretisering av modellområdet

8.2 Grunnlag for simulering av alternativer

I det følgende blir ulike alternativer for sikringstiltak vurdert, som blant annet skiller seg fra hverandre når det gjelder forankringsdybden for undergrunnstetningen og nivået på drensledningen. Flomsikringen dimensjoneres for en flomhendelse med gjentakintervall på 200 år inklusive klimapåslag.

For å undersøke dimensjonerende flom ble det laget et alternativ av grunnvannsmodellen basert på resultatene fra de hydrauliske simuleringene. Vannstandene beregnet for 200-årsflom med klimapåslag, som oppstår under stasjonære forhold langs vassdraget og i oversvømte områder, er integrert som grensebetingelser i grunnvannsmodellen. De relevante materialparameterne (permeabilitet og transfer-rater mellom vassdrag og grunnvann) og tilstrømningen fra modellkantene (grensebetingelser for modellen) er valgt tilsvarende den kalibrerte modellen.

Gjennom stasjonære beregninger med grunnvannsmodellen kan forventede lekkasjevanngengder og oversvømte områder bestemmes for et Worst-Case-Scenario. Disse beregningene gjenspeiler en likevektstilstand som ville innstille seg i akviferen ved tidsmessig uinnskrenket påvirkning fra maksimale vannstander på terrengoverflaten.

8.3 Sikring av Rukkedøla

8.3.1 Simulerte sikringsalternativer langs Rukkedøla

Til sikring av Rukkedølas sørlige bredd er det planlagt en flommur av prefabrikerte elementer, tetning i undergrunnen og et drenssystem. I samråd med oppdragsgiver vurderes følgende dimensjonering av disse elementene, som er vist i Figur 8.2:

Alternativ 1:

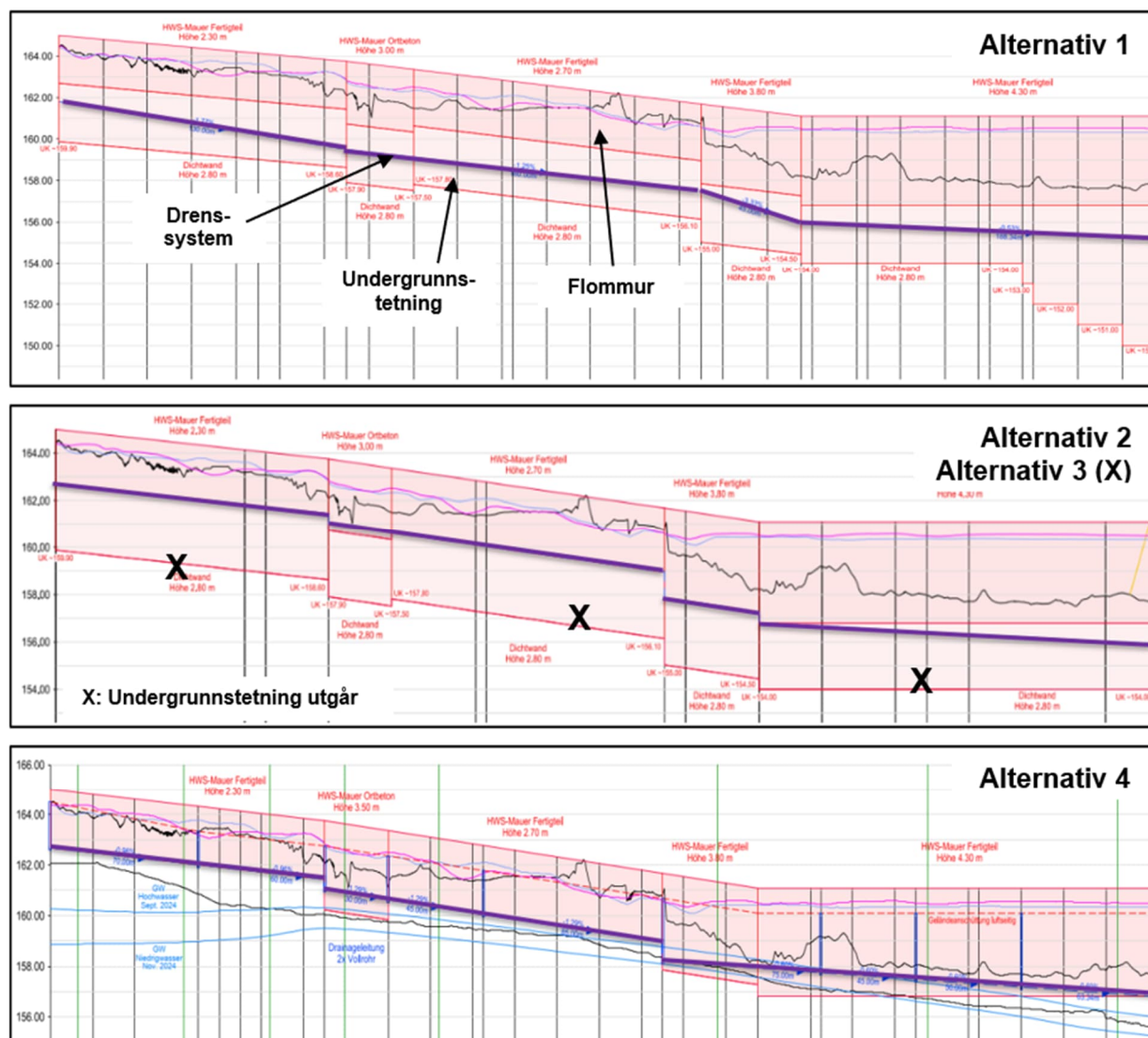
- Flommur med høyde 2,30 m i vest og økning til 4,30 m i øst.
- Undergrunnstetning under muren, over lengre strekninger ned til 2,80 m. I øst koples undergrunnstetningen til en 10 m dyp spuntvegg til sikring av Nesflata.
- Drenssystemet ligger frostsikkert, i snitt 2,60 m under terrengoverflaten.

Alternativ 2:

- Flommuren er bygd opp tilsvarende alternativ 1.
- Undergrunnstetningen går gjennomgående ned til 2,80 m dybde.
- Drenssystemet heves ca. 1 m i forhold til alternativ 1 og forløper stort sett på høyde med murens underkant.

Alternativ 3:

- Flommur og drenssystem er bygd opp tilsvarende alternativ 2.
- Det er ikke planlagt undergrunnstetning.



Figur 8.2: Sikringsalternativer langs Rukkedøla med flommur, undergrunnstetning og drensledning

Alternativ 4:

- Flommuren er stort sett oppbygd tilsvarende de forrige alternativene.
- Det er ikke planlagt undergrunnstetning.
- Sammenlignet med alternativ 2 og 3 er drenssystemet delvis hevet, slik at det ved lav grunnvannstand gjennomgående ligger over de grunnvannsførende lagene:
 - o Stasjonering 0 m – 290 m (øvre område): Her ligger drenssystemet allerede i alternativ 2 og 3 ovenfor lavvann, slik at det ikke er nødvendig med heving. Drensledningen forblir tilnærmet på høyde med murens underkant.
 - o Stasjonering 290 m – 525 m (nedre område): Ved stasjonering 290 m går murens underkant ca. 20 cm ned i grunnvannsførende lag ved lavvann. Her heves drensledningen til ca. 0,5 m over murens underkant. Derfra synker nivået kontinuerlig med ca. 0,6 % fall, og ender ved overgangen til flomvollen som skal sikre Nesflata på høyde med murens underkant, ca. 1,40 m over lavvann.

Ved høy grunnvannstand ligger også drensssystemet i alternativ 4 til dels i grunnvannet. I henhold til analysen av flomhendelsen i september 2024 lå vannstanden mellom stasjonering 290 m og 410 m inntil ca. 50 cm over drensledningens nivå.

8.3.2 Virkninger av sikringsalternativene

Alternativ 1 til 4 ble integrert i grunnvannsmodellen. Figur 8.3 viser oversvømte områder og grunnvannets avstand til terrengoverflaten som resulterer av den stasjonære modellberegningen.

I tillegg til oversvømmelser på overflaten i den hydrauliske simuleringen opptrer det ved alle alternativene sør for Rukkedøla også grunnvannsbetingede oversvømmelser. Med avtagende avstand til terrengoverflaten fra alternativ 1 til alternativ 2 tiltar omfanget av oversvømmelsene. Dette skyldes hevingen av dreneringen, som bestemmer grunnvannsspeilet i nærområdet.

Alternativ 2 og 3 viser pga. det uforandrede nivået på drensssystemet identiske vannmettede områder. Disse sammenfaller også med oversvømmelsene i alternativ 4, med et drens-system som i det øvre området har identisk nivå med alternativ 2 og 3. I det nedre området, hvor drens-systemet i alternativ 4 er hevet, ser man en redusert avstand til terrengoverflaten.

Tabell 8.1 viser vannmengdene som vil tilføres den planlagte pumpestasjonen Rukkedøla fra det ca. 580 m lange drens-systemet fra vest.

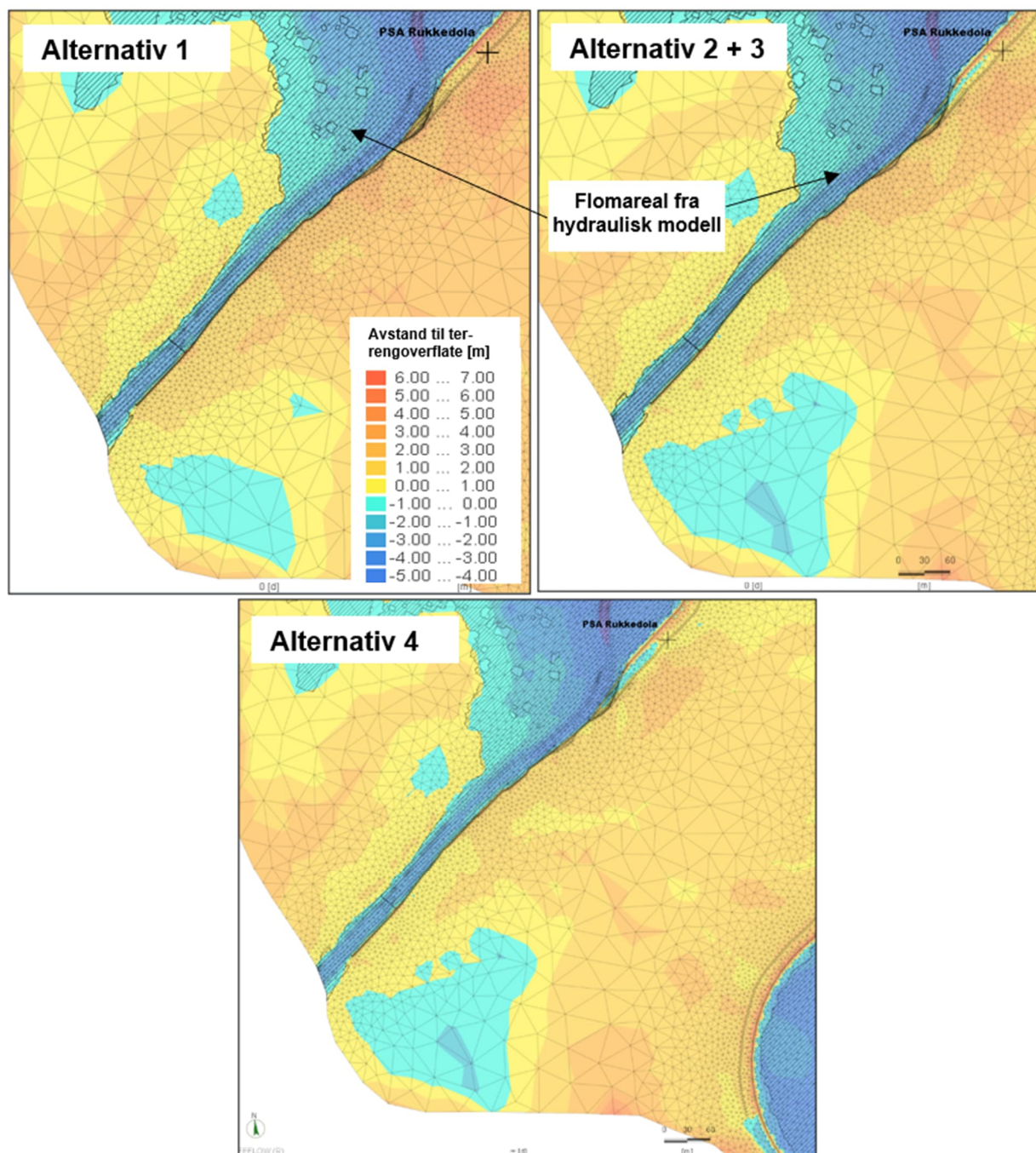
Heving av drens-systemet i alternativ 1 til alternativ 2 medfører en reduksjon av tilstrømningen på over 30 %, fra ca. 1070 l/s til ca. 710 l/s. Gjennomsnittlig vannmengde per meter drens-rør avtar fra ca. 1,9 l/s til 1,3 l/s.

Med bortfallet av undergrunnstetning i alternativ 3 reduseres derimot strømningsmotstanden mot vannet som trenger inn fra vassdragene og de tilgrensende oversvømte områdene. Dette har til følge – når beliggenheten av drens-systemet ikke endres – at lekkasjevannmengden øker til bortimot 1030 l/s (eller 1,8 l/s/m).

I alternativ 4, som på samme måte som alternativ 3 ikke har noen undergrunnstetning, og hvor drens-systemet er hevet til over lavvannsnivå, minker den gjennomsnittlige lekkasjevannmengden sammenlignet med alternativ 3 igjen til 840 l/s eller 1,5 l/s/m.

Tabell 8.1: Lekkasjevannmengder ved PSA Rukkedøla for alternativene (rundet)

	Lekkasjevann til PSA Rukkedøla	
	(l/s) beregnet	(l/s) per meter (rundet opp)
Alternativ 1	1.070	1,9
Alternativ 2	710	1,3
Alternativ 3	1.030	1,8
Alternativ 4	840	1,5



Figur 8.3: Oversvømte områder ved Rukkedøla for alternativene 1 til 4

8.3.3 Resultater og anbefaling

De undersøkte alternativene har tilnærmet like store oversvømte områder sør for Rukkedøla.

Store mengder lekkasjevann må forventes ved alternativene 1 og 3. I alternativ 1 skyldes dette at dreneringen ligger dypt. I alternativ 3 medfører bortfallet av undergrunnstetningen store vannmengder som siger inn til tross for at dreneringsnivået er hevet i forhold til alternativ 1. Ved samme høyde på drens-systemet som i alternativ 3 og undergrunnstetning oppviser alternativ 2 den laveste lekkasjevannmengden.

Den positive effekten av undergrunnstetning på lekkasjevannmengden kan imidlertid også nås ved at drensssystemet heves ytterligere. Dette fremgår av resultatene for lekkasjevann i alternativ 4.

I alternativ 4 ligger drensssystemet gjennomgående over lavvannsnivå. Dermed påvirkes ikke grunnvannsforholdene i tidsrom med slike forhold. Vannstanden blir ikke senket videre pga. drensssystemet. Ved flomnivå i grunnvannet viser derimot drensssystemet sin virkning og motvirker grunnvannsbetinget oversvømmelse.

I alternativene 1 til 3 ligger drensssystemet fra stasjonering 290 m også ved lavvann i grunnvannsførende lag, slik at grunnvannsforholdene permanent påvirkes og grunnvannstanden senkes.

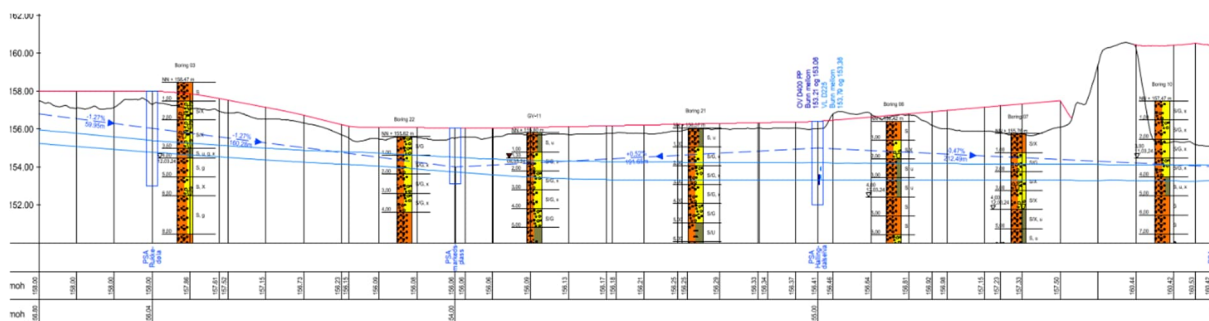
Oppsummert viser alternativ 4 seg å være det alternativet blant de undersøkte tiltakene som har moderate lekkasjevannmengder og griper minst inn i eksisterende grunnvannsforhold. Da kostnadene til undergrunnstetning faller bort ved dette alternativet, bør alternativ 4 foretrekkes.

8.4 Sikring av Nesflata

8.4.1 Simulerte sikringstiltak

Til sikring av Nesflata er det planlagt en flomvoll, som koples til flommuren og undergrunnstetningen langs Rukkedøla. I det aktuelle alternativet skal flomvollen utstyres med en ca. 2 m dyp undergrunnstetning.

For håndtering av lekkasjevann skal det installeres et drensssystem i en avstand av ca. 20 m. Systemet viderefører drensledningene langs Rukkedøla, samler opp lekkasjevann og leder dette bort til de tre pumpestasjonene PSA 1 Rukkedøla, PSA 2 Markeds plass og PSA 4 Hovedstasjon (jf. Figur 8.4).



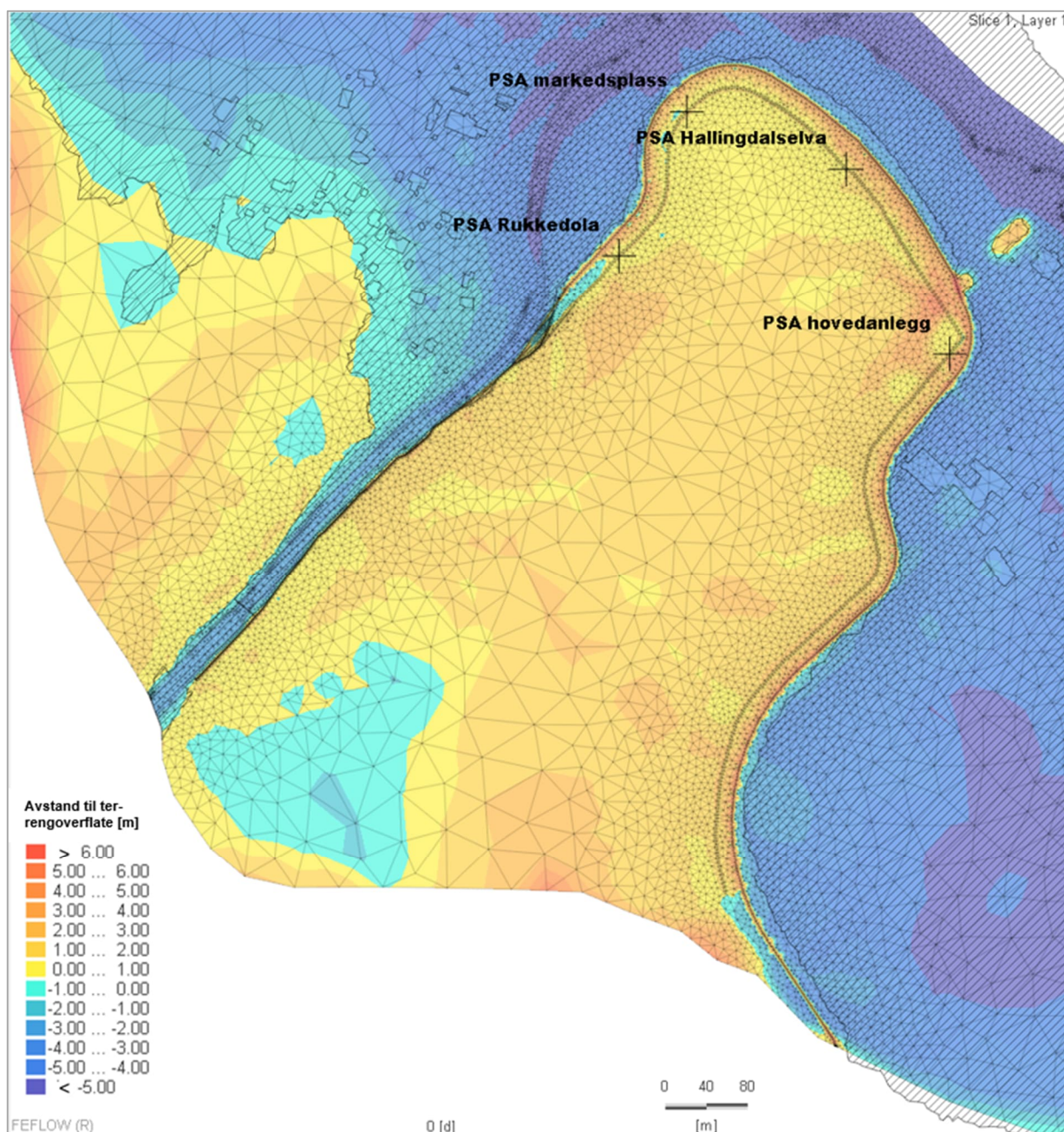
Figur 8.4: Sikring av Nesflata med flomvoll og drenssystem

Drensssystemet ligger i en dybde på omtrent 1,5 m til 2,0 m under terrengoverflaten og oppviser en helning på mellom ca. 0,5 % og 1,3 %. Lokale lavpunkter er å finne ved PSA Markeds plass (155,00 moh) og PSA Hovedstasjon (154,00 moh). Ved lavvann ligger drensledningen gjennomgående over grunnvannsspeilet. Ved flom ligger områdene rundt de nevnte lavpunktene derimot i grunnvannet.

Det skisserte flomvoll- og drensssystemet på Nesflata ble integrert i grunnvannsmodellen i kombinasjon med alternativ 4 for sikring av Rukkedøla.

8.4.2 Resultater

Figur 8.5 viser oversvømte områder og avstand til terrengoverflaten som resulterer av den stasjonære modellberegningen for det samlede sikringskonseptet. Ved siden av oversvømmelser på overflaten fra den hydrauliske simuleringen opptrer bare de oversvømmelsene forårsaket av grunnvannet sør for Rukkedøla, som er beskrevet i kapittel 8.3.2. Oversvømmelser på Nesflata kan ved tilsvarende dimensjonering av pumpestasjoner og drensledninger forhindres av den prosjekterte flomvollen.



Figur 8.5: Oversvømte områder, resultater fra stasjonær modellsimulering for 200-årsflom med klimapåslag

Tabell 8.2: Lekkasjevannmengder ved pumpestasjonene (avrundet)

	PSA Rukkedøla	PSA Markeds plass	PSA Hovedstasjon
Lengde drenssystem (m)	580	350	830
Lekkasje (l/s)	840	370	1.190
Lekkasje (l/s per meter)	1,5	1,1	1,5

Tabell 8.2 sammenfatter de beregnede lekkasjevannmengder ved pumpestasjonene som resulterer av den stasjonære modelleringen.

På grunn av den høye permeabiliteten i undergrunnen må det for PSA Rukkedøla og PSA Hovedstasjon påregnes tilstrømningsrater på 1,5 l/s per meter drensledning. Dette medfører samlet tilstrømning på henholdsvis 840 l/s og 1190 l/s til de to pumpestasjonene.

Til sammenligning oppviser PSA Markeds plass med 370 l/s og 1,1 l/s/m noe lavere lekkasjevannmengde. Dette skyldes lavere permeabilitet i området der drensledningen ligger.

8.5 Usikkerhet ved beregning av lekkasjevannmengder

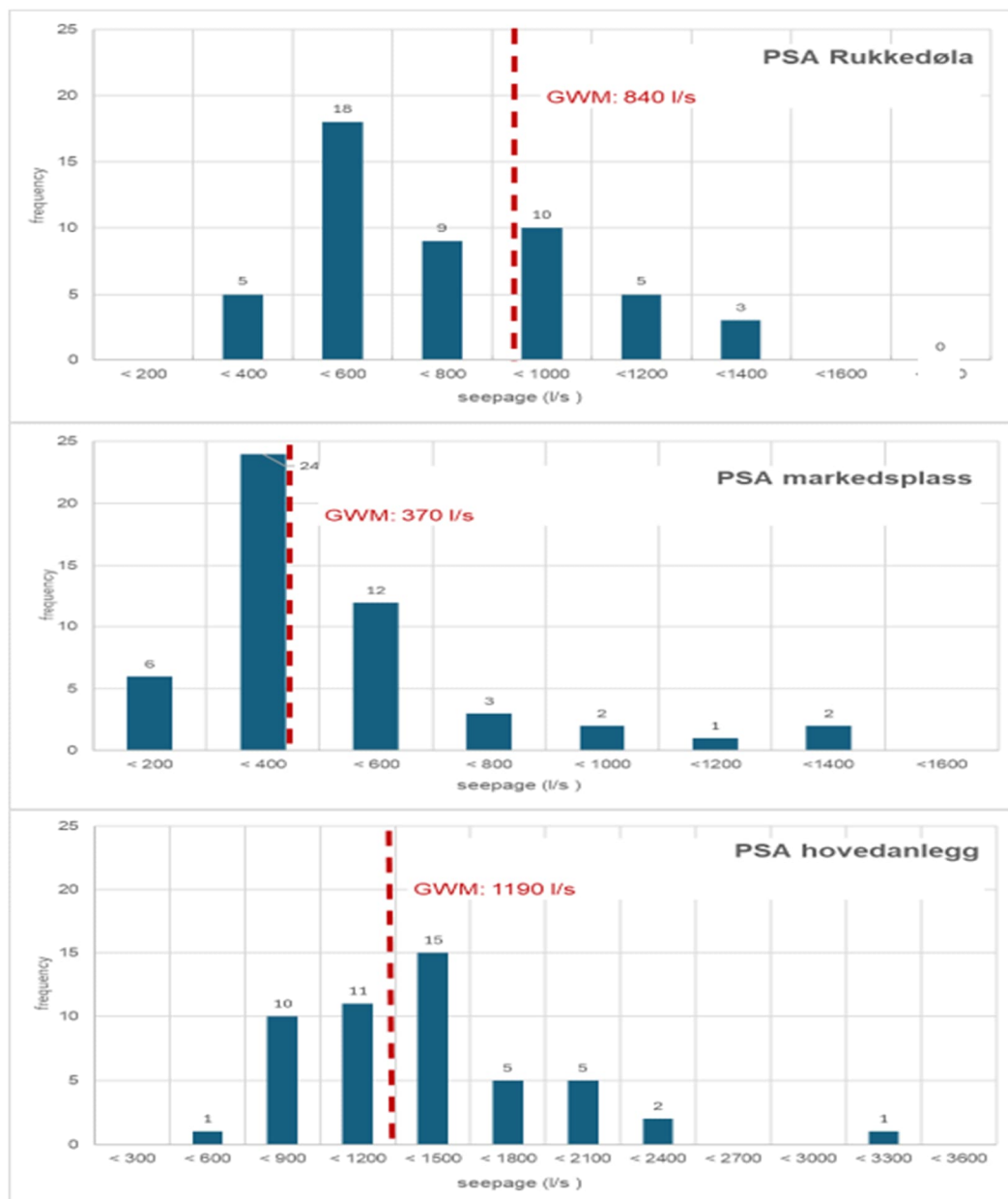
8.5.1 Usikkerhetsanalyse

Den største feilkilden når prognoser slår feil mht. dimensjonering av drens- og pumpekapasitet i forbindelse med flomsikringstiltakene, er å finne i beregning og beskrivelse av den hydrauliske permeabiliteten i undergrunnen. Avhengig av beregningsmetoden (pumpetest, slugtest, kornfordelingsanalyse o.l.) kan det på det undersøkte punktet (borepunkt) oppstå en feil med faktor 5. Naturlig heterogenitet i undergrunnen medfører videre feil i samme størrelsesorden ved interpolasjon over analyseområdet.

I dette prosjektet ble det gjennomført pumpetester ved elleve målesteder; slike forsøk avbilder sammenlignet med andre metoder hydraulisk permeabilitet i undergrunnen på den mest pålitelige måten. Sidene disse dataene bare kan innhentes punktuelt, kan det pga. naturlig heterogenitet opptre usikkerhet og feil ved interpolasjon av permeabiliteter over analyseområdet.

Et estimat for disse usikkerhetene mht. beregnede mengder lekkasjevann kan beregnes ved hjelp av Feflow-verktøyet FePEST, med Iterative Ensemble Smoother (IES) som verktøy til å støtte usikkerhetsanalyser. Med utgangspunkt i et fastlagt spektrum av mulige permeabilitetsverdier settes det opp forskjellige modellalternativer med tilfeldige kf-verdi-fordelinger. Dette ensemblet optimaliseres / kalibreres mht. de observerte verdier inntil det ikke lenger opptrer noen signifikant forbedring i kalibreringen. Et slikt ensemble kan ses som en representativ stikkprøve for mulige parametersett, dvs. mulige kf-verdifordelinger. Beregner man lekkasjevannmengdene som opptrer ved 200-årsflommen med klimapåslag for de enkelte modellalternativene, kan usikkerheten ved prognosen for denne størrelsen bedømmes.

På grunnlag av pumpetestene ble kf-verdier mellom $8,1 \times 10^{-5}$ og $6,1 \times 10^{-3}$ m/s angitt som mulig spektrum for analyseområdet, og 50 modellalternativer ble generert og kalibrert ved hjelp av IES-modulen. Figur 8.6 viser resulterende hyppighetsfordelinger av de beregnede lekkasjevannmengdene for de tre pumpestasjonene. I tillegg er lekkasjevannmengdene tegnet inn (rødt), som er beregnet med den kalibrerte grunnvannsmodellen. Disse ligger ved PSA Rukkedøla 150 l/s til 220 l/s over middel- eller medianverdien fra IES-simuleringen. Ved de to andre pumpestasjonene er verdiene tilnærmet like.



Figur 8.6: Hyppighetsfordeling av mulige mengder lekkasjevann ved de tre pumpestasjonene basert på IES-simulering

Tabell 8.3 oppsummerer beregningsresultatene fra IES-simuleringen og den kalibrerte grunnvannsmodellen.

Tabell 8.3: Lekkasjevannmengder fra IES-simuleringen og mulige feilfaktorer

	PSA Rukkedøla		PSA markedsplass		PSA hovedanlegg	
length drainage system (m)	580		350		830	
seepage (l/s)	calculated with permeabilities of IES-ensemble					
	l/s complete	l/s/m	l/s complete	l/s/m	l/s complete	l/s/m
min	261	0.5	102	0.3	563	0.7
max	1319	2.3	1328	3.8	3162	3.9
mean	691	1.2	437	1.3	1302	1.6
50th percentile	617	1.1	362	1.1	1230	1.5
75th percentile	876	1.6	543	1.6	1501	1.9
seepage (l/s)	calculated with manual calibrated groundwater modell					
	840	1.5	370	1.1	1190	1.5
	error analysis					
max error (seepage IES-max / seepage GWM)	1.6		3.6		2.7	
75p-error (seepage IES- 75th perc / seepage GWM)	1.1		1.5		1.3	
seepage GWM * 1.5 (l/s)	1260		560		1790	

Spekteret av mulige lekkasjevannmengder per meter dremsledning strekker seg ved PSA Rukkedøla fra 0,5 l/s til 2,3 l/s. Ved de to andre pumpestasjonene er spekteret betydelig større, fra under 1 l/s til nesten 4 l/s. Den tiltagende variabiliteten gjenspeiler den økende usikkerheten sør for Rukkedøla i modellen, som skyldes den lavere tettheten av grensebetingelser og kalibreringspunkter.

Sammenligner man de maksimalt mulige tilstrømningsratene fra IES-Ensemble med mengden lekkasjevann beregnet ved den kalibrerte modellen, så har PSA Rukkedøla den laveste feilfaktoren på 1,6. Det største avviket opptrer på PSA Markeds plassen, hvor den maksimale vannmengden fra IES-simuleringen ligger 3,6 ganger over verdien i den kalibrerte modellen. På grunn av den korte dremsledningen får lokale variasjoner i parameterfordeling her mer vekt enn f.eks. ved PSA Hovedstasjon. Den mer enn dobbelt så lange ledningen virker utjevne på romlige variasjoner i permeabiliteten, slik at maksimal feilfaktor her blir liggende på 2,7.

8.5.2 Konklusjon

En nærmere analyse av de underliggende kf-verdifordelingene viser imidlertid at de maksimale og relativt høye lekkasjevannmengder for PSA Markeds plass og PSA Hovedstasjon skyldes urealistisk høye permeabilitetsverdier i IES-realiseringene. Disse modellalternativene gjenspeiler ikke de faktiske hydrogeologiske forholdene.

Ser man i stedet på lekkasjevannmengder som ikke overskrides i 75 % av alternativene, overstiger de potensielle IES-verdiene de beregnede mengdene med faktor 1,1 til 1,5. Hvis den maksimale feilfaktoren legges til grunn for dimensjonering av pumpestasjonene, må man i planleggingen ta hensyn til lekkasjevannmengder som er 1,5 ganger større enn de beregnede mengdene (se Tabell 8.3).

Til dimensjonering av pumpestasjonene er det prinsipielt planlagt å bruke tre pumper med lik kapasitet (jf. kapittel 10.2 og vedlegg 12). To av pumpene kunne dimensjoneres slik at de til sammen kan pumpe bort den mengden lekkasjevann som den kalibrerte grunnvannsmodellen tilsier. Den tredje pumpen med samme kapasitet kan fungere som redundansaggregat med to funksjoner: For det første fungerer den som sikkerhetsreserve i tilfelle en av pumpene er ute av drift. For det andre dekker den feilmarginen som skyldes usikkerheter i grunnvannsmodellen. Dermed er det sikret høy driftssikkerhet samtidig som det tas hensyn til usikkerhetene ved modelleringen.

9. Flomsikringstiltak

Flomverkene er delt inn i tre seksjoner: Rukkedøla, den sørlige elvebredden fra Hajem bru til flomvollens stasjonering 0+520; den etterfølgende seksjonen, flomvollen på Nesflata, tilknyttes på dette stedet og strekker seg til slutten av flomsikringstiltaket sør-øst for Nesbyen ved Jørgenmojordet; og den tredje seksjonen sikrer det nordlige området, Steinmogutu på nordsiden av Rukkedøla. Stasjoneringen av sikringsanleggene for de enkelte seksjonene begynner alltid med 0+000.

I tillegg til norske veiledninger orienterer LISAS seg etter tyske normer og veiledninger i planleggingen av murene og vollene. Her nevnes spesielt DIN 19712 «Flomsikringstiltak ved vassdrag» som en relevant standard.

Fribordet lagt til grunn i forprosjektet er 0,5 m, se også kapittel 4.5.2.

9.1 Beskrivelse av delprosjektet Rukkedøla

9.1.1 Beskrivelse av traséen inklusive begrensninger

Langs Rukkedølas sørlige bredd er flomsikringen planlagt som en flomsikringsmur. Dette skyldes hovedsakelig de trange forholdene som følge av eksisterende bebyggelse nær og rett ved elvekanten. Til tross for en løsning med flommur er det på enkelte strekninger nødvendig med spesielløsninger eller rivning av eksisterende bygninger / fjerning og (delvis) oppbygging etterpå. Murens forløp er stort sett valgt langs eksisterende elvebredd, slik at den er så rett som mulig og gunstig i forhold til vannstrømmen. En annen utfordring er topografien, da høyden av skråningen / høydeforskjellen mellom elva og eksisterende terreng minker i nedstrøms retning. Dette påvirker utformingen av flomsikringsmuren, stabiliteten og dybden av drenssystemet. En kombinasjon av voll og mur virker ikke hensiktsmessig på grunn av de trange forholdene og topografien. Nærmere forklaringer finnes i beskrivelsene til figurene nedenfor.

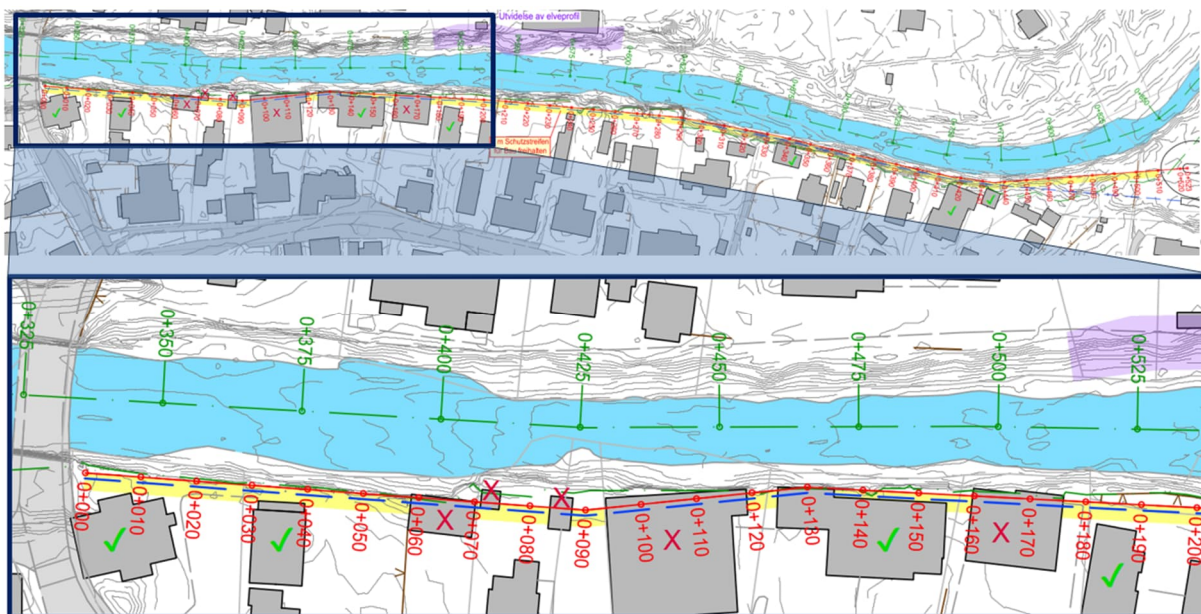
Den hydrauliske kapasiteten til skadefri avledning av dimensjonerende vannføring ble kontrollert. Utvidelse av elveprofilet og fjerning av vegetasjon er redusert så mye som mulig.

En vesentlig del av flomsikringen langs Rukkedøla ligger på privat grunn. For bygging av flommuren er det nødvendig med en midlertidig, 3,0 m bred sikkerhetsstripe. Den brukes imidlertid permanent under bakken for drenssystemet og fundamentene til muren. Drensledninger samt kummer planlegges utelukkende på privat grunn. For denne bruken er det vanlig at grunneieravtaler inngås og fastsettes notarialt.

Det er ikke planlagt noen tetning i undergrunnen. På grunn av den høye hydrauliske gradienten skal det i neste prosjekteringsfase derfor påvises at sikkerheten mot erosjon under flomsikringsmuren er ivarettatt.

Et annet viktig moment er at det ikke forekommer skader eller vesentlige begrensninger for grunneierne, hverken under byggearbeidet eller i seinere drift av sikringsanlegget. Utgravninger og etablering av vegetasjon, for eksempel, er til en viss grad mulige med den valgte løsningen. Det er viktig å unngå endringer under henholdsvis drens- og transportledningen. Utførelsen er planlagt slik at det verken blir behov for omfattende vedlikeholdsarbeid eller forventes skader eller lekkasjer under flom. Den planlagte utførelsen fører heller ikke til vesentlige begrensninger i bruken av de berørte eiendommene.

Den planlagte traséen for flommuren er vist i den følgende figuren. Flere detaljer forklares i teksten nedenfor.



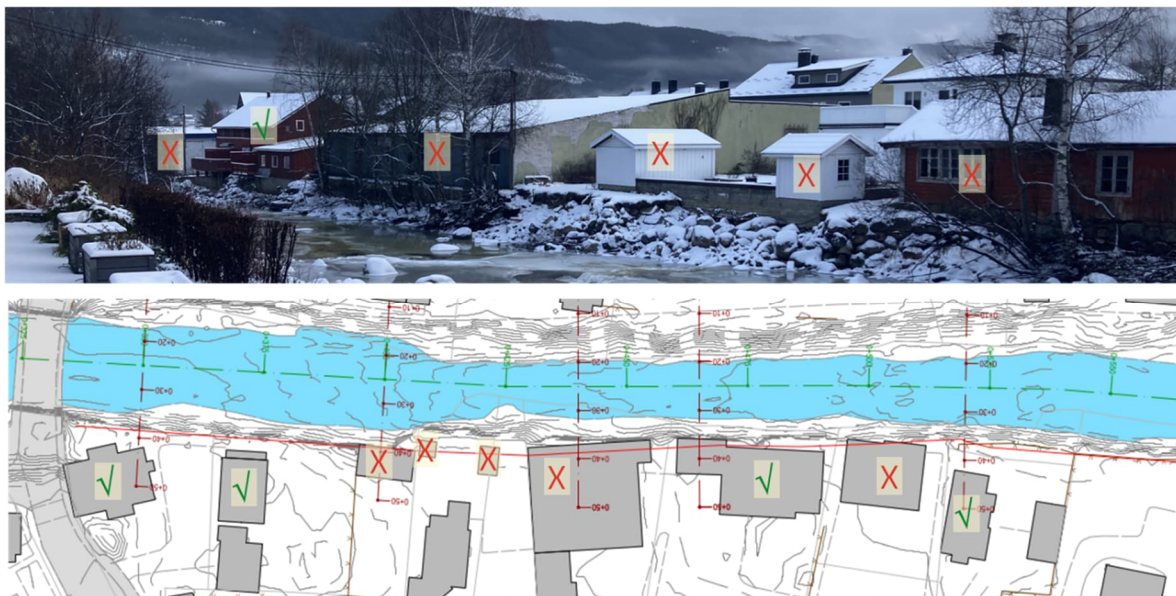
Figur 9.1: Flomsikringsmuren langs Rukkedøla

Flomsikringsmuren starter rett nedstrøms Hajem bru ved stasjonering 0+330, og tilknyttes flomvollen på Nesflata ved stasjonering 0+850. Rett nedstrøms Hajem bru ligger et fredet hus (Alfarvegen 134), som enten blir sikret med tilstrekkelig avstand og valg av egnet byggemetode, eller som eventuelt flyttes til et annet sted. Beslutningen påvirkes i stor grad av den endelige løsningen for Hajem bru og tilknyttede veier.



Figur 9.2: Alfarvegen 134, sørlig elvebredd rett nedstrøms Hajem bru

Mellom stasjonering 0+395 og 0+455 finnes det et skur, to hagehus og et verksted som må rives eller flyttes som en del av tiltaket. Verkstedsbygget kunne også rives delvis, dvs. bygningsdelen mot elva. Disse byggene har i det store bildet mindre betydning. Noen av dem er oppført uten tillatelse i henhold til informasjon fra kommunen.



Figur 9.3 Eksisterende bebyggelse langs Rukkedølas sørlige bredd. Bygninger som må rives eller flyttes ved gjennomføring av de planlagte tiltakene er avmerket med rødt kryss.

Ved stasjonering 0+465 til 0+490 er det planlagt å bygge flomsikringsmuren rett foran bygningen (Stasjonsvegen 7B). Av denne grunn må både utførelsen av flomsikringsmuren tilpasses, og den eksisterende verandaen fjernes midlertidig og senere gjenoppføres på noe høyere nivå.



Figur 9.4: Stasjonsvegen 7B sett fra Rukkedølas nordlige elvebredd

Umiddelbart nedstrøms ligger et verksted. Ved gjennomføring av sikringstiltakene må dette bygget rives, i hvert fall bygningsdelen mot elva.

Lengre nedstrøms er plassforholdene slik at det enten er tilstrekkelig avstand mellom elvekanten og eksisterende bebyggelse, eller flomsikringsmuren kan dreies mot Rukkedøla, slik at minimums avstanden på 3,0 m er overholdt. Fra stasjonering 0+500 er det mulig å korrigere eller utvide elveløpet til Rukkedøla, slik at flomsikringstiltaket kan gjennomføres. Ifølge etterberegning er påvirkningen på avrenning og hydraulisk kapasitet ubetydelig.

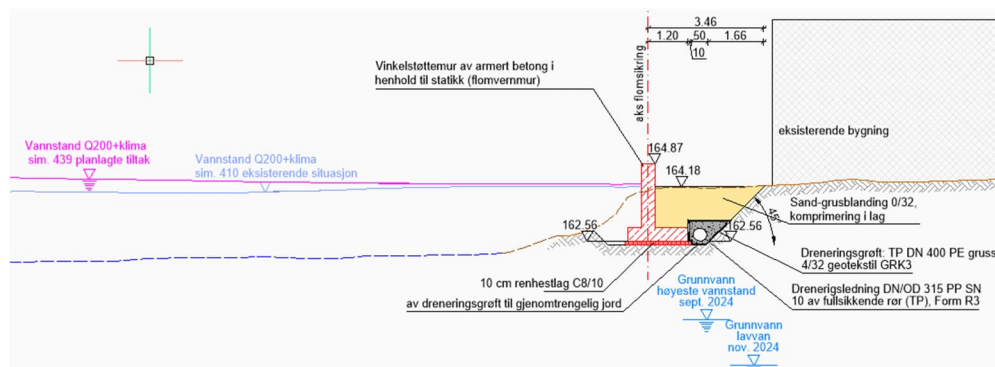
9.1.2 Foreslått teknisk løsning

Sikringstiltakets høyde er basert på resultatene fra den hydrauliske beregningen for planlagt tilstand (vedlegg 8). For å redusere vannmengden som avledes til pumpestasjon er drenssystemet hevet så mye som mulig. Det er ikke planlagt noen tetning av undergrunnen, se også kapittel 9.2.2. På grunn av den høye permeabiliteten til undergrunnen oppnås raskt en stasjonær tilstand. Ifølge resultatene fra grunnvannssimuleringene er lekkasjevannmengden beregnet til ca. 1,3 l/s per meter. Denne vannmengden må avledes av det planlagte systemet for bakvannshåndtering. Konseptet for håndtering av bakvann er nærmere beskrevet i kapittel Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden..

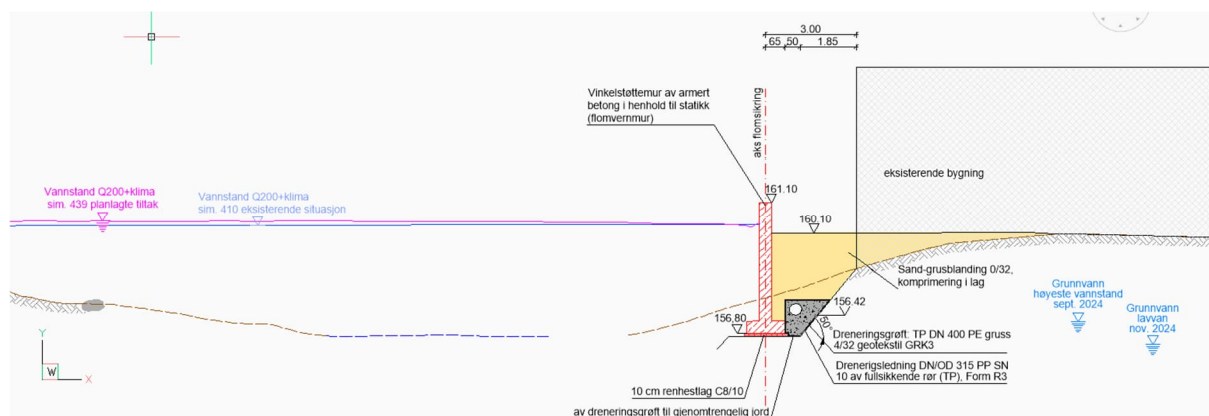
Flomsikringsmuren varierer i høyde fra 2,3 m til 4,3 m. Muren har en total lengde på 523 m og foreslås bygd opp av prefabrikkerte elementene. Det benyttes hovedsakelig fem forskjellige elementtyper. Dybden er satt til minst 1,0 m under eksisterende terreng. Høydene på de enkelte elementtypene vises i tegning E 705. På luftsiden fylles terrenget opp ved muren slik at kun 1,0 m av murskiven er synlig, hovedsakelig på bakgrunn av fallsikring. På vannsiden kan flomsikringsmuren forblendes med murstein etter ønske.

Alternative løsninger ble diskutert med NVE med mål om å redusere murløsning langs elva så mye som mulig. LISAS anser imidlertid en gjennomgående flomsikringsmur for å være den beste løsningen, både fra et statisk og praktisk perspektiv. Ved kombinerte løsninger og mindre fundamenteringsdybde samt tetningstiltak som for eksempel bentonittmatter i undergrunnen, og når sikringen og drenssystemet bygges på privat grunn, bør man favorisere en løsning som er permanent sikret mot skader. Betongelementene har også den fordel at det ikke er nødvendig å stille krav til grunneierne i tillegg i forhold til beredskap under flom og drift og vedlikehold. Videre er det minimal med begrensninger for bruken av eiendommene langs sikringen med murløsning. Merknad: I henhold til tyske standarder må flomverk ha en minst 10 m bred trefri sikkerhetsstripe; for murer av betong eller spuntvegger gjelder ikke denne regelen. Med den valgte løsningen er skader på grunn av vegetasjon / gjennomtrenging av røtter eller byggetiltak på eiendommene nesten utelukket.

Muren er planlagt utført som et vinkelement som vist i figurene nedenfor.



Figur 9.5: Normalprofil av flomsikringsmuren langs Rukkedøla i den øvre seksjonen



Figur 9.6: Normalprofil av flomsikringsmuren langs Rukkedøla i den nedre seksjonen

For å oppnå tilstrekkelig stabilitet av muren skal det enten bygges en støttekonstruksjon på vannsiden ved en fylling / steinsikring, eller den horisontale delen av støttmuren / fundamentet skal bygges bredere for å kunne absorbere jordtrykket fra fyllingen på landsiden.

For å unngå undergraving av flomsikringsmuren brukes steinblokker som sikring av foten mellom muren og elvebunnen. Flomsikringsmuren skal fundamenteres frostsikker. Fundamentets utforming og oppbyggingen av undergrunnen samt påvisning av stabiliteten skal gjennomføres i detaljprosjekteringen.

Tilknytningen til flomvollen i delprosjektet Nesflata skjer ved overlapp i området rundt vollens akse. I overgangen fra mur til voll er det viktig at muren tilkoples tetningslaget i vollen. Siden dette området er utsatt for erosjon som følge av hydrauliske forhold i yttersving, skal tilkoplingen utføres med erosjonssikring.

9.1.3 Drenssystem

Med bakgrunn i reduksjon av byggekostnader går tetningen av undergrunnen ut. I tillegg er det risiko for at de tilstøtende bygningene kan bli skadet ved installasjon av en dypere undergrunnstetning. Lekkasjevannmengdene ble simulert med grunnvannsmodellen og verifisert ved hydrogeologiske beregninger.

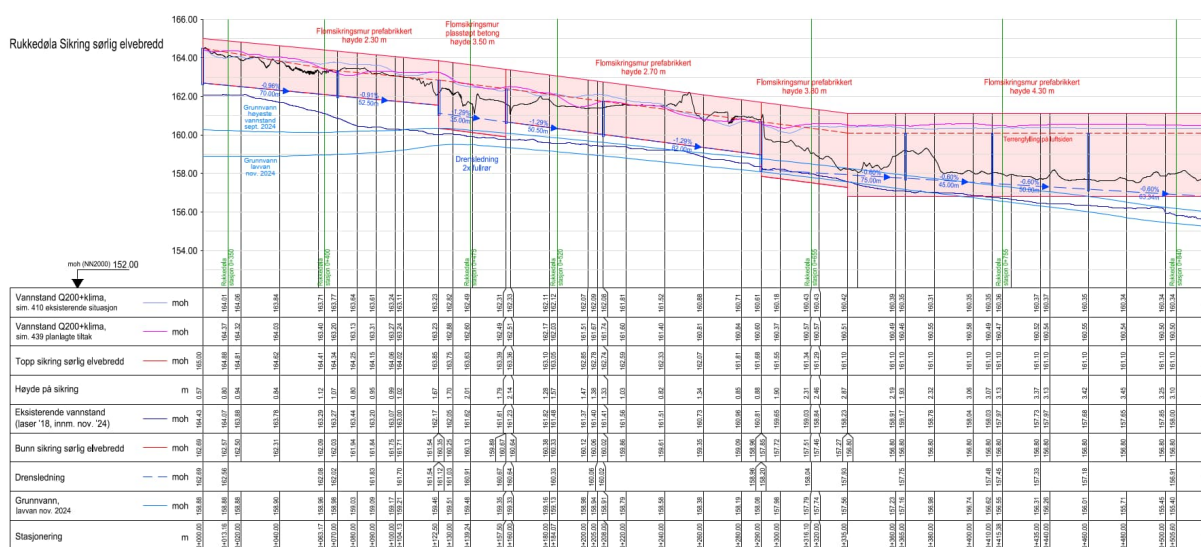
Dybden til flomsikringsmuren er hovedsakelig bestemt på bakgrunn av stabilitet, men forhindrer også at vannstandsstigning under flom i Rukkedøla og økt grunnvannstand fører til at vann strømmer direkte

inn i drensledningen. For å sikre at drenssystemet ikke kobles generelt til grunnvannets normalvannstand, ble drensledningen hevet til nivået av murens fundament.

Resultatene for lekkasjevannmengder og virkninger på grunnvannet er beskrevet i kapittel 8. Lekkasjevannet samles rett bak muren i en drensledning med diameter DN 400 og ledes via samleklummer og transportledninger til pumpestasjonen Rukkedøla.

Murens trasé og drensledningen er vist i figuren nedenfor.

Drensledningen går stort sett i området for murfundamentet. Helningen i den øvre delen er ca. 1,0 til 1,3 ‰; ledningen har et høydesprang på omtrent 70 cm ved vollstasjonering 0+290; den går med en mindre helning på 0,6 ‰ til pumpestasjonen Rukkedøla. I den nedre delen ligger drensledningen nær terrengoverflaten, slik at den ikke griper inn i de øvre grunnvannstandene.



Figur 9.7: Lengdeprofil av flomsikringsmuren langs Rukkedøla

I avstand mellom 25 og 80 m er det planlagt kummer på eiendomsgrensene for inspeksjon og vedlikehold av drensledningen på privat grunn. Fra disse kummene er transportledninger koblet til, som samler opp lekkasjevannet og leder det direkte til pumpestasjonen Rukkedøla. Avledning av lekkasjevannet utelukkende via drensledninger er teknisk og økonomisk ikke gjennomførbart. Det er også avgjørende å raskt lede bort det akkumulerte lekkasjevannet for å opprettholde funksjonen av drens-systemet.

For overdekningen av drensledningene er det ikke tatt hensyn til frostsikker dybde, da drenledningen regnes med å være i bruk i den frostfrie perioden. Dessuten fører drensledningene ingen vann når det ikke er flom. En detaljert fremstilling av drensledningene finnes i tegning E 705.

Siden drensledningene, som beskrevet ovenfor, ikke har tilstrekkelig kapasitet til avledning av alt lekkasjevann, er det fra stasjonering 0+160 av flomsikringsmuren planlagt en transportledning som avleder vannet til pumpestasjonen Rukkedøla. Transportledningen legges under drensledningen og kobles til samleklommene. Transportledningen er foreløpig dimensjonert i forprosjektet og skal dimensjoneres ferdig i detaljprosjekteringen, etter godkjenning av konseptet for bakvannshåndtering. Siden transportledningen er et lukket system, kan den legges under grunnvannsspeilet. En sikring mot

oppdrift er ikke nødvendig på grunn av overdekningen. Transportledningen og drensledningen kobles direkte til pumpestasjonen Rukkedøla.

9.1.4 Virkninger

Under flom øker grunnvannsspeilet. Med den valgte løsningen kan det ikke utelukkes at det over en kort periode forekommer noe lekkasje inn i kjellere eller lavere liggende deler av bygninger.

Adkomst og mulighet for beredskap langs sikringsanlegget er svært begrenset, siden anlegget ligger på privat grunn. Beredskap ved sikringsanlegget måtte da skje på private tomter. Med den valgte løsningen er svikt av sikringen imidlertid lite sannsynlig, og derfor ble det valgt å ikke tilrettelegge sikringsanlegget for dette.

I og med at løsningen ikke omfatter tetning av undergrunnen og at det er nødvendig med et fungerende drenssystem inklusive transportledning og kummer til inspeksjon og vedlikehold, skal bruken av tomtene i sonen langs drenssystemet begrenses for grunneierne. Det er nødvendig å inngå avtaler om dette med grunneierne.

9.1.5 Utvidelse av elveprofil

Rukkedøla ble modellert med den planlagte flomsikringsmuren. For strekningen nedstrøms Hajem bru er det funnet følgende: I seksjonene med elvestasjonering 0+350 til 0+370 og 0+430 til 0+465 er vannstander beregnet opptil 30 cm høyere enn før tiltak (Figur 9.8, vedlegg 8). Disse vannstandsøkningene kan håndteres ved en forsterkning og forhøyelse av sidesikringen med under 0,5 m. Dette tiltaket skal prosjekteres i neste prosjektfase.



Figur 9.8: Strekninger med høyere vannstand i Rukkedøla etter enn før tiltak

På den nedre elvestrekningen, mellom stasjonering 0+510 til 0+595, utvides elveprofilen mot nord over en lengde på ca. 85 m. Det er planlagt å utvide elveprofilen med 3 m til 7 m. Skråningshelningen på elvebredden utføres i henhold til topografien og geologien med en helning på mellom 1:2 og 1:3.

9.1.6 Muligheter og risikoer

Med flomsikringen langs Rukkedøla er det mulighet for eiendoms- og stedsutvikling langs elva og i sentrum. På grunn av det lave plassbehovet er påvirkningen på vassdraget svært liten, og løsningen gir muligheter for utforming.

Den valgte løsningen krever lite vedlikehold og det forventes at den krever ingen rehabilitering de neste 50 årene hvis den blir bygd i henhold til de tekniske kravene. Mulige seinere tilpasninger, som for eksempel økning av sikringshøyden, kan gjennomføres med begrenset innsats. Overtopping i en ekstrem hendelse, større enn dimensjonerende, ville føre til skader som følge av oversvømmelse, men anlegget ville stå stabilt.

Beredskap under flom er begrenset, siden flomsikringsanlegget for det meste ligger på privat grunn og adkomsten er vanskelig. Den valgte løsningen regnes imidlertid som svært sikker. Det er svært usannsynlig at flomsikringsanlegget langs Rukkedøla svikter. Ved en eventuell overtopping av muren er det ingen fare for erosjon og graving av elva i elvekanten og terrenget bak. Den eneste risikoen er undergraving fra vannsiden. Men denne risikoen minimeres gjennom sikring med steinblokker.

Drenssystemet må vedlikeholdes slik at funksjonen og kapasiteten ikke blir redusert. Det må inngås grunneieravtaler, som regulerer regelmessig inspeksjon av flomverket, vedlikehold av drenssystemet, f.eks. spyling, samt adgang, byggeaktivitet / konstruktive endringer og etablering av vegetasjon.

9.2 Beskrivelse av delprosjektet Nesflata

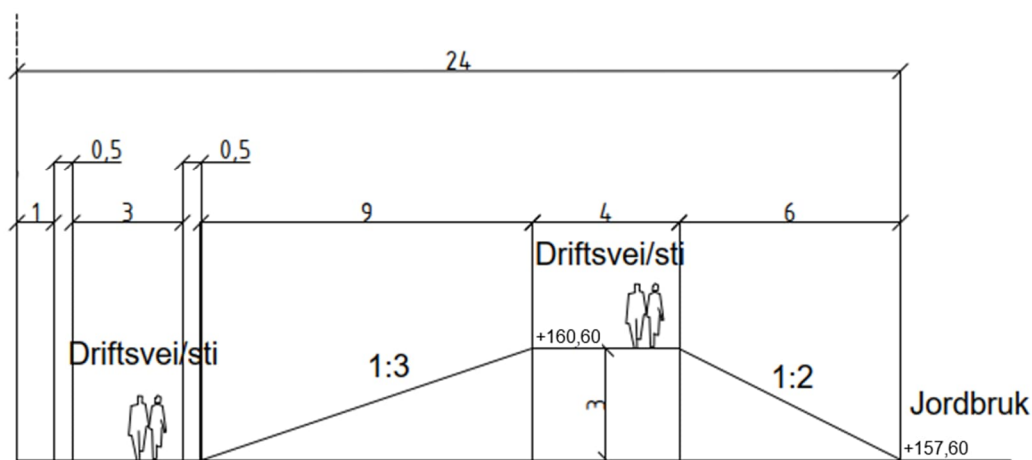
9.2.1 Beskrivelse av traséen inklusive begrensninger

Flomvolltraséen ble bestemt på grunnlag av vurderingene av ulike alternativer (se kapittel 7.4). Den planlagte flomvolltraséen er vist i Figur 7.6, normalprofil i Figur 9.9.

Utformingen av flomvollprofilene er tilpasset til by- og landskapsarkitektoniske momenter. Den valgte løsningen oppfyller både det primære målet om flomsikring og Nesbyen kommunes behov. Prinsippet for flomvollens utforming er vist i Figur 9.9.

Normalprofil flomvoll

Eiendomsgrense



Figur 9.9: Normalprofil av flomvollen planlagt på Nesflata

I det sørlige området, fra flomvollens profil 1+330 til 1+500, tilkobles vollen til eksisterende terreng langs de private eiendommene ved å fylle opp terrenget for å unngå en forsenkning / grøft. På denne strekningen legges det ikke inn drensledning.

Det er planlagt adkomst til driftsveien langs foten på luftsiden av vollen og til driftsveien på vollens topp ved av- og påkjøringsramper samt snuplasser. Det er lagt til grunn normaler iht. landbruksvei klasse 5.

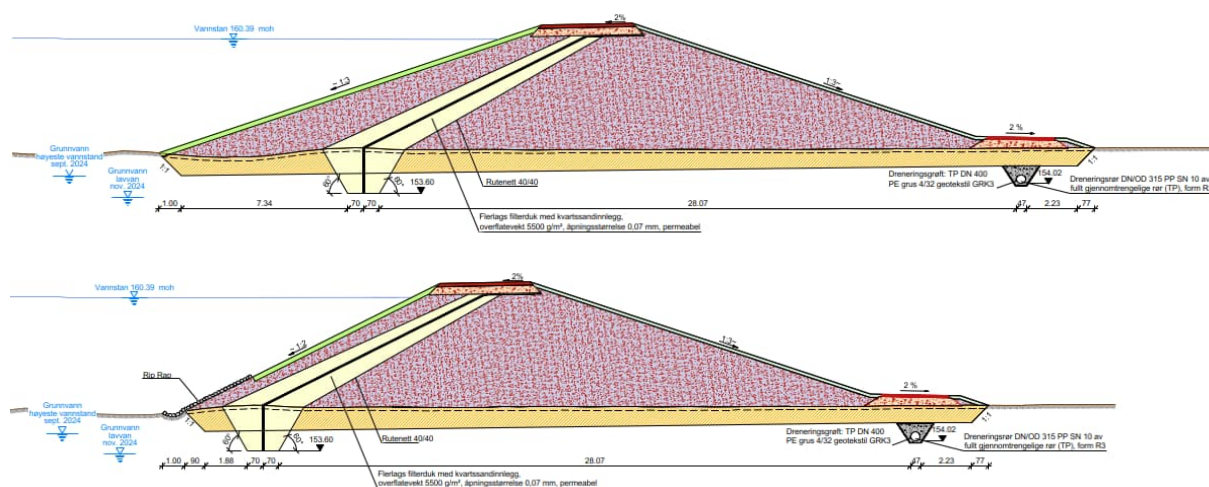
For adkomst til landbruksarealet Jørgenmojordet fra Halandsveien vil det i samråd med oppdragsgiver bli brukt landbruksvei klasse 3. Med bakgrunn i møter mellom grunneierne, Nesbyen kommune og Sweco og vurderinger bl.a. rundt beslag av landbruksareal ble det i begynnelsen av februar 2025 bestemt at adkomsten legges til Halandsveien ved å bygge en rampe til topp voll og ned mot jordet.

9.2.2 Foreslått teknisk løsning

Flomvollen har to normalprofiler. Eneste forskjell er skråningshelningen på vollens vannside. Seksjonen med slakere skråning på vannsiden med helning på 1:3 er fra vollens stasjonering 0+000 i nord til 0+660 ved Stasjonsbrua. Den øvrige, sørlige seksjonen langs landbruksarealet, frem til stasjonering 1+450, utføres med brattere skråning på vannsiden med helning på 1:2. Skråningen på luftsiden bygges enhetlig med helning 1:3.

Generelt er oppbyggingen av vollen tilpasset til tilgangen på fyllmasser. Kunnskap per i dag tilsier at det kun er små mengder egnet fyllmasse tilgjengelig i nærheten av Nesbyen kommune. Av denne grunn er det foreslått å bygge vollen med en indre tetning av bentonitt, samt støttefylling på begge sider ved bruk av tilgjengelige masser. I detaljprosjekteringsfasen skal det fastsettes kravene til fyllmassene. Det er planlagt å sette krav til massene entreprenørene skal levere.

Langs vollens fot på luftsiden etableres en driftsvei som, i tillegg til vedlikehold, også tjener beredskapen under flom. For å sikre en jevn trasé for veien føres den på en avsats (berme) med høyde på mellom 0,5 m og 1,0 m over terrenget. Under veien legges transport- og drensledninger for lekkasjevannet frem til pumpestasjonene, samt nødvendige kabler for data- og strømforsyning til pumpestasjonene.



Figur 9.10: Normalprofiler av flomvollen planlagt på Nesflata, utklipp fra tegning E 411 og E 413

Sikringshøyden inklusive fribord ble satt fast på grunnlag av resultatene fra de hydrauliske simuleringene og er vist i lengdeprofilen, tegning E 301.

Vollhøyden varierer mellom 3,0 m og 6,0 m. I detaljprosjekteringen skal parameterne for fyllingsmassene fastsettes, og det må gjennomføres stabilitetsberegninger for de kritiske tverrsnittene av flomvollen. Beregning av lekkasjevann har blitt gjennomført ved hjelp av grunnvannsmodellen (se kapittel 8, vedlegg 9).

9.2.3 Drenssystem

Med bakgrunn i reduksjon av byggekostnader går tetningen av undergrunnen ved spunt ut. Ved bruk av grunnvannsmodellen ble lekkasjevannmengdene beregnet og verifisert ved hydrogeologiske beregninger.

Tetningslaget av bentonitt går ca. 2 m ned i undergrunnen for å unngå gjennomstrømning / lekkasje og suffusjon på ved vollens grunnflate. For å sikre at drenssystemet ikke kobles generelt til grunnvannets normalvannstand, ble drensledningen hevet så høyt som mulig.

Beregningen av lekkasjevannmengder og påvirkninger på grunnvannet er simulert ved hjelp av en numerisk modell. Resultatene er beskrevet i kapittel 8. Ulike tilnærminger ble brukt. Beregningene gir relativt høye lekkasjevannmengder på ca. 1,0 til 1,5 l/s per meter. Dette skyldes hovedsakelig den

høye permeabiliteten til undergrunnen og at det langs Hallingdalselva kan oppstå relativt lange oppdemmingsperioder. Det ble ikke funnet noe tett lag som nedre grense for grunnvannet i de geologiske undersøkelsene. Dermed må dimensjoneringen av drenssystemet være på «den sikre siden». Muligens vil disse vurderingene bli revidert eller tilpasset i den etterfølgende planleggingsfasen.

I området med flomvollen langs Hallingdalselva forventes det at den stasjonære tilstanden vil oppstå etter omtrent 60 til 80 timer. Når det tas hensyn til at flommen bygger seg opp sakte, antas det at undergrunnen vil være mettet når flomtoppen inntreffer, og dermed vil vann nå drenssystemet relativt raskt.

For overdekningen av drensledningene er det ikke tatt hensyn til frostsikker dybde, da drenledningen regnes med å være i bruk i den frostfrie perioden. Dessuten fører drensledningene ingen vann når det ikke er flom. En detaljert fremstilling av drensledningene finnes i tegning E 311.

Etablering av drensledningene i områder med veier eller høyt terreng kan utføres ved hjelp av mikrotunnelboringer.

Siden kapasiteten til drenssystemet er begrenset og det ikke kan håndtere alt lekkasjevann, er det planlagt en transportledning parallelt under drensledningen. Transportledningen er foreløpig dimensjonert i forprosjektet og skal dimensjoneres ferdig i detaljprosjekteringen, etter godkjenning av konseptet for bakvannshåndtering. Siden transportledningen er et lukket system, kan den legges under grunnvannsspeilet. En sikring mot oppdrift er ikke nødvendig på grunn av overdekningen. Drens- og transportledningene kobles direkte til pumpestasjonene Markedsplass og Hovedstasjon.

9.2.4 Virkninger

Under flom øker grunnvannsspeilet. Med den valgte løsningen kan det ikke utelukkes at det over en kort periode forekommer noe lekkasje inn i kjellere eller lavere liggende deler av bygninger. Den høye grunnvannstanden vil imidlertid fall igjen med synkende flomvannstand.

Adkomst, vedlikehold og beredskap er fullt ut mulig med den valgte løsningen gjennom driftsveien på luftsiden. Privat grunn blir ikke berørt.

9.2.5 Muligheter og risikoer

Med den valgte løsningen er krav til materialparameterne for fyllingsmassene lave. Et tettende lag oppnås ved hjelp av bentonittmatter. Dermed er det også mulig å bruke fyllingsmasser fra lokalt tilgjengelige massetak eller bruke masser med lavt finstoffinnhold. Det sparer for transport- og produksjonskostnader.

På grunn av det indre tetningslaget av bentonittmatter er lav vegetasjon og annen bruk av vollen mulig med visse begrensninger. En risiko er at ved en ekstrem flom over dimensjonerende vannføring kan vollen overtoppes. På grunn av erosjon som følge av det kan et brudd av vollen ikke utelukkes.

En seinere økning av sikringshøyden er mulig.

9.3 Kostnadsoverslag

I henhold til resultatene av det grove kostnadsoverslaget i vedlegg 11 (uten flomsikring av Steinmogutu), kan det forventes følgende kostnader for bygging av de planlagte flomsikringstiltakene (Tabell 9.1):

Tabell 9.1: Oversikt over estimerte byggekostnader (rundet) for sikringstiltakene delt inn etter byggetrinn /delprosjekter

Kostnadsoverslag	
Rigging og klargjøring av byggeområdet	3 012 500 kr
BA 1: Rukkedøla: Flomsikring, inkl. drensssystem og driftsveier	86 783 000 kr
BA 2: Nesflata: Flomvoll inkl. drensssystem og driftsveier	138 740.000 kr
BA 3: Pumpestasjoner med styring og strømforsyning	53.513.700 kr
Andre, uforutsette kostnader	28.204.900 kr
Totale kostnader - netto	310.254.100 kr
25 % merverdiavgift	77 563 500 kr
Totale kostnader - brutto	387 817 600 kr

De oppgitte verdiene er utelukkende kostnader for selve byggetiltakene. Tilleggs-kostnader for vedlikehold, overvåking og drift av anleggene, samt andre eventuelle kostnader som grunnerverv, erstatninger osv. er ikke inkludert. Heller ikke inkludert er tilleggs-kostnader med byggingen som ingeniørtjenester o.l.

9.4 Andre momenter

9.4.1 Landskapsarkitektonisk utforming

Vurderingen av landskapsbildet er gjennomført av RN ved Henning+Larsen. Her presenteres det en oppsummering samt utvalgte illustrasjoner av prinsipputforming av flomvollen (Figur 9.11 til Figur 9.13).

Nesbyen ligger i en dalbunn med flate elvesletter, omgitt av skogkledde åssider. Vassdragene Rukkedøla og Hallingdalselva er viktige landskapselementer og barrierer i landskapet. Elvelandskapet langs Rukkedøla, har særpreg. Elven slynger seg gjennom dalen og skaper et landskap med bratte skrenter, frodige områder med vegetasjon, og rolige vannflater. Rukkedøla har et dynamisk landskap, hvor elvebreddene er både åpne og tett vegeterte, og området gir et sterkt preg av vill og urørt natur. Nesbyen har rik grønnsstruktur, flere rekreasjonsmuligheter, variert bebyggelse og et visuelt åpent kulturlandskap ved Jørgenmoen.

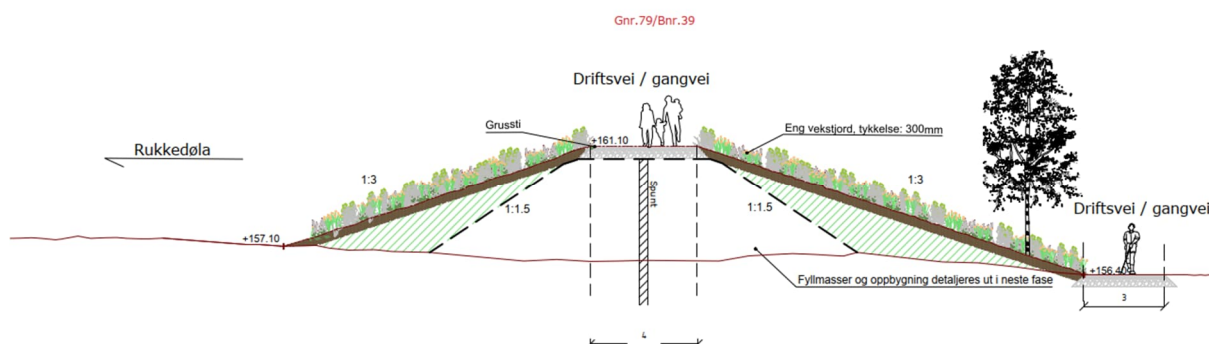
Ny løsning med høy flomvoll vil være et synlig og dominerende landskapselement i Nesbyen, som medfører at dagens landskapsbilde vil forandres. Det vil være viktig å integrere flomvollen godt i landskapet slik at man unngår at den blir en barriere, samtidig må prosjektet ta hensyn til Nesbyen sin identitet med vakker natur og kulturlandskap. Dette kan gjøres gjennom å sikre gode overganger mot eksisterende terreng, tilrettelegge for ferdselsårer langs med og på tvers av vollen, samt aktivisere tilstøtende areal med tilrettelagte uteoppholdsplasser. Driftsveien på flomvollen vil også fungere som en gangvei, og det tilrettelegges for møteplasser langs med vollen.

Det er planlagt at flomvollen skal knyttes til turstien «Nesbyen rundt», slik at flomvollen blir en integrert del av det eksisterende stisystemet. Slik vil tiltaket også bidra til å styrke grønnsstrukturen i Nesbyens sentrum. Etter at Hans førte til ødeleggelsen av to av de eksisterende gangbroene over Rukkedøla, mangler turstien viktige forbindelser for å være komplett. For å hindre at Rukkedøla blir en barriere for rekreasjon, er det viktig å gjenopprette gangbroene over elven.

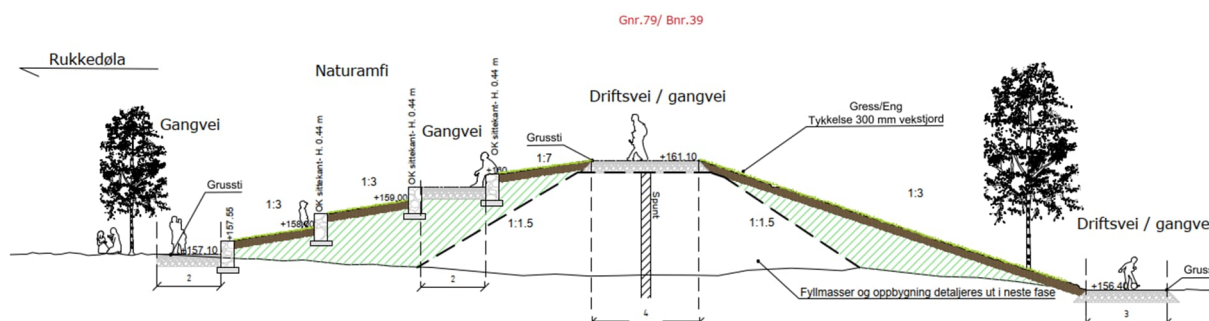
Flomsikringsprosjekter er en viktig del av klimatilpasning, da de beskytter mot økte flomrisikoer som følge av klimaendringer og ekstreme værforhold. Landskapskonseptet «Hælug» er hallingmål, og står for noe som er robust og sterkt. I overført betydning er flomvollen en robust konstruksjon som skal sikre at flomsikringen tåler naturkreftene i fremtiden, samt beskytte beboerne og Nesbyen som samfunn. Flomsikringen av Nesbyen vil gi positive ringvirkninger, og kunne gi muligheter for videre stedsutvikling.

For å harmonisere med den lokale byggeskikken i Hallingdal kan naturstein brukes, som minner om de karakteristiske steingjerdene i området. I neste fase av prosjektet bør det tilstrebes at utformingen av utearealer og tekniske bygg knyttet til flomvollen, reflekterer lokale tradisjoner og materialer. Slik at den særpregede arkitekturen i Nesbyen med eldre trehusbebyggelse videreføres i et moderne perspektiv.

Prinsippsnitt C-C' Flomvoll ved Rukkedøla
M: 1:100 (A1)



Prinsippsnitt C-C' Flomvoll ved Rukkedøla. Alternativ utforming med amfi
M: 1:100 (A1)



Figur 9.11: Prinsippsnitt flomvoll ved Rukkedøla, uten (øverst) og med amfi (nederst) (kilde: RN v/Henning+Larsen)

Det er planlagt at flomvollen skal ha et grønt preg, med gress eller eng. Spesielt vil det være viktig å få etablert eng på vollen som vender ut mot jordbrukslandskapet ved Jørgenmoen, da eng er en naturlig del av kulturlandskap (Figur 9.13). I tillegg vil flomvollen være svært synlig her. Trær kan ikke plantes på selve flomvollen, da røttene kan skade tetningssjiktet. Det vil bli lagt vekt på å etablere skjermende beplantning langs flomvollen mot naboeiendommer. Ved Rukkedøla finnes det muligheter for at naturen kan gjenopprettes på et større areal, og det historiske elvelandskapet med flomskog kan få tilbake sitt naturlige preg. Tiltaket vil kreve at eksisterende vegetasjon i linja fjernes. Dette gjelder også vegetasjon som står i tilknytning til tiltrengte anleggsveier/plasser i forbindelse med bygging. Prosjektet bør ha som mål å erstatte vegetasjon slik at det biologiske mangfoldet gjenopprettes/økes.

På enkelte steder vil bebyggelsen ligge nær flomsikringen. For å skape en avstand mellom bygningene og flomvollen, anbefales det å inkludere tilstrekkelig areal for en buffersone med vegetasjon. Denne vegetasjonen kan fungere skjermende, bidra til å håndtere og forsinke overvann på innsiden av flomvollen, samtidig som den forskjønner området. Flomvollen vil være synlig fra flere steder, spesielt langs Rv. 7. Vegetasjon vil være et element som kan dempe det visuelle uttrykket skalamessig på flomvollen, og redusere fjernvirkningen.

Driftsvei / gangvei

Eng vegetation, tykkelse: 300mm

Asfalt

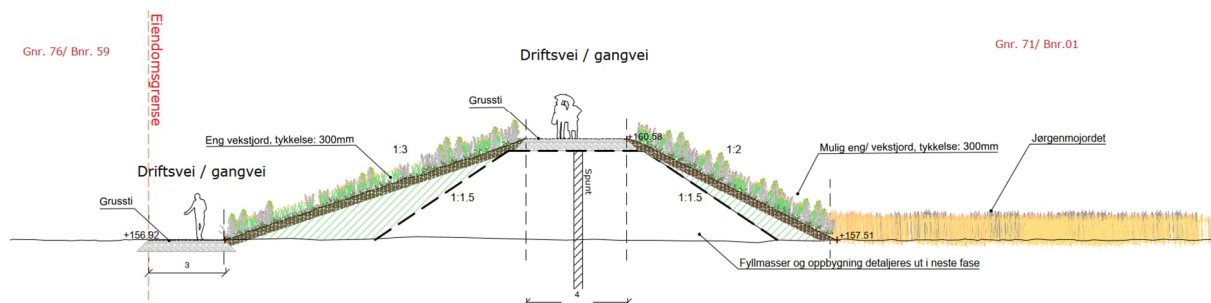
Hallingdalsvegen (Rv. 7)

Endomsgrense

Gnr. 70/ Bnr. 01

Gnr. 1007/ Bnr. 01

Prinsippsnitt A-A' Flomvoll ved Jørgenmojordet, eng ut mot jordet M:1:100 (A1)



Figur 9.13: Prinsippsnitt flomvoll ved Jørgenmojordet, eng ut mot jordet med skråningshelning 1:2 (kilde: RN v/Henning+Larsen)

Virkninger på naturmangfold, fauna og flora er vurdert i et eget delprosjekt i forbindelse med reguleringsplanprosessen. Det henvises til dokumentene utarbeidet i dette delprosjektet.

10. Håndtering av bakvann

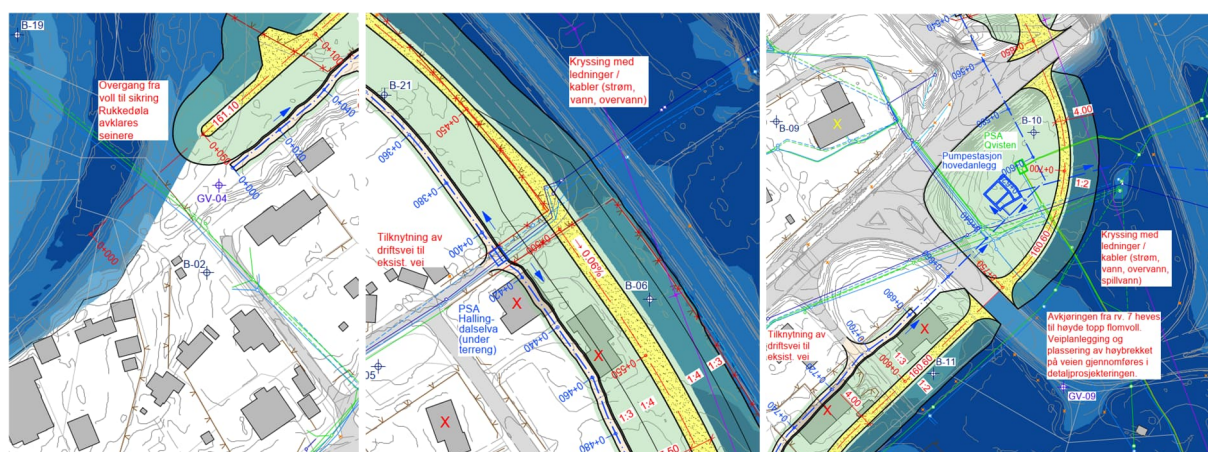
10.1 Bakgrunn, grunnlag og prinsipp

På grunn av de høye permeabilitetsverdiene (k_f -verdier $\sim 10^{-3}$ m/s) i den øverste delen av akviferen i hele prosjektområdet, som i stor grad reagerer med vannstander i Hallingdalselva og Rukkedøla, forventes det en betydelig lekkasje under de planlagte flomsikringstiltakene i en flomsituasjon. Konsekvenser av lekkasje under flomverkene kan være grunnvannsstigning og dermed fare for skader på eksisterende bebyggelse som følge av høyt grunnvannsnivå inntil bygninger eller oversvømmelse når vann kommer opp på overflaten. I verste tilfelle er det fare for svekkelse av tiltakenes stabilitet eller hydraulisk grunnbrudd med påfølgende svikt av byggverket.

På bakgrunn av dette er det nødvendig med en omfattende og langvarig flomsikring, og et system for håndtering av bakvann. Derfor er det planlagt en drensledning langs foten av flomvollen på luftsiden, som samler lekkasjevann og avleder det til pumpestasjonene. Pumpestasjonene pumper vannet fra innsiden av flomverket, dvs. luftsiden, tilbake til vannsiden.

Grunnundersøkelsene som ble utført ned til 11 meters dybde, avdekket ikke noe tett lag i den øvre delen av akviferen. Den prinsipielle muligheten til å tette undergrunnen helt ned til et tett lag er derfor ikke et alternativ. I tillegg skal grunnvannets strømming ikke påvirkes mer enn nødvendig - se også kapittel 4.4.4.

Nesbyen kommune har separert avløpsnett (overvannsnett og spillvannsnett). I de områdene hvor den planlagte flomvollen krysser avløpsnett, må det gjøres tilpasninger (Figur 10.1). Ved flom må overvann avledes via det planlagte systemet for håndtering av bakvann. Kumlokkene utenfor flomverket, dvs. på vannsiden må være tette. Ved kryssinger med flomverket skal ledninger sikres ved hjelp av lukkeorgan for å kunne sperre for gjennomstrømming så snart utstrømning til utsiden, dvs. vannsiden, ikke lenger er mulig. Vannet avledes da til de planlagte pumpestasjonene. I tillegg kan det forekomme kraftige nedbørshendelser under flom, se kapittel 4.3.3. Dette kan føre til oppstuvning i overvannsnettet over terreng på innsiden / luftsiden av flomverket, og systemet for håndtering av bakvann må dimensjoneres for å kunne ta unna disse vannmengdene. I tillegg må avrenning fra fjellet vest for Nesbyen sentrum håndteres (se kapittel 5).



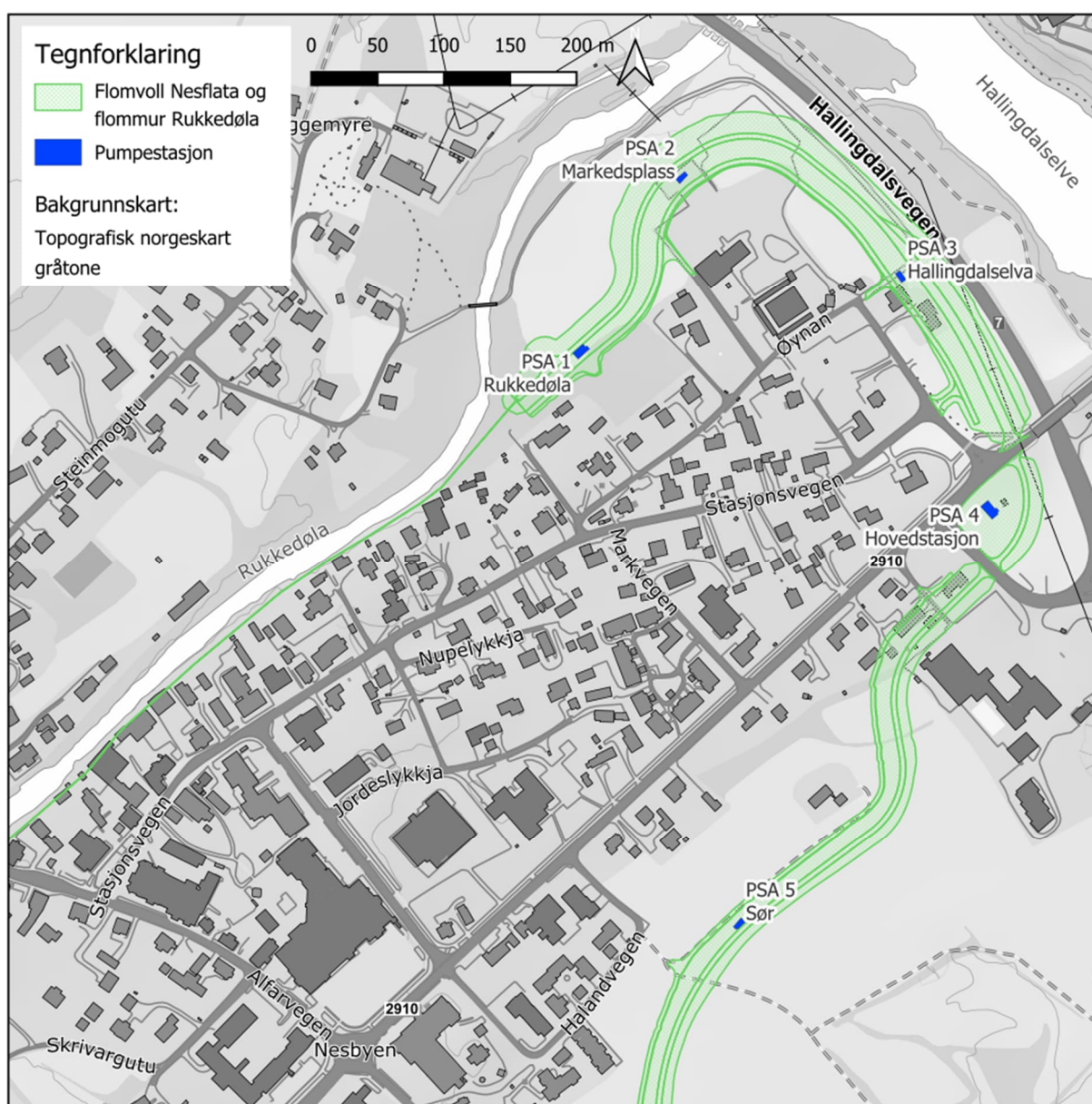
Figur 10.1: Krysspunkter av ledninger langs flomvollen på Nesflata

Ut fra dagens kunnskap er resultatet derfor en løsning som omfatter plassering av pumpestasjoner ved lavpunkter og kritiske punkter i det eksisterende avløpssystemet, drensledninger langs flomvollens fot på luftsiden samt avledning til pumpestasjonene for å pumpe ut vannet.

Drens- og transportledninger samt pumpestasjonene er dimensjonert på forprosjektnivå, se kapittel 9.1.3, 9.2.3 og vedlegg 12, og skal detaljeres i seinere fase.

10.2 Oversikt over pumpestasjoner

For håndtering av bakvann under flom er det planlagt fem pumpestasjoner rundt Nesbyen sentrum (Figur 10.2). Tabell 10.1 oppsummerer de viktigste parameterne. Se vedlegg 12 for en nærmere beskrivelse av pumpestasjonene.



Figur 10.2: Beliggenhet av planlagte pumpestasjoner i Nesbyen

Tabell 10.1: Oversikt over de viktigste parameterne til pumpestasjonene

Pumpestasjon, navn og nr.	Enhet	Rukkedøla 1	Markeds- plass 2	Halling- dalselva 3	Hovedsta- sjon 4	Sør 5
Total vannmengde Q_{drens}	l/s	840	360	230	1.820	600
Total pumpekapasitet Q_{tot}	l/s	1.200	600	375	2.400	600
Kapasitet per pumpe Q_p	l/s	400	200	125	800	200
Antall pumper n		3	3	3	3	3
Pumpekammer L x B	m	6,67 x 5,20	4,15 x 3,70	4,60 x 3,40	7,83 x 6,39	4,15 x 3,70
Kammervolum V_{erf}	m ³	30	12	9,4	120	12

11. Virkninger av sikringstiltakene

11.1 Overskridelse av dimensjonerende flom

Flomsikringstiltaket er dimensjonert for en 200-årsflom inklusive klimapåslag. De bebygde områdene er sikret mot oversvømmelse opp til denne vannføringen. Hvis denne dimensjonerende flommen overskrides, utnyttes det først fribordet. I sjeldne tilfeller kan det likevel oppstå oversvømmelser i det sikrede, bebygde området. På grunn av konstruksjonen av flomvollen som tåler overtopping (statisk virksom indre tetning) kan det imidlertid forventes at anleggene ikke har brudd og total svikt, selv om den dimensjonerende flommen overskrides og det oppstår oversvømmelser som følge av dette. De mulige skadene som følge av oversvømmelse kan derfor begrenses ved vannføring høyere enn dimensjonerende flom.

I likhet med sammenlignbare prosjekter bør man likevel være oppmerksom på at de planlagte tiltakene ikke kan gi absolutt sikring mot alle mulige ekstreme flomhendelser.

11.2 Konsekvenser oppstrøms og nedstrøms

Tapet av fordrøyningsarealer på flomsletten vurderes som lite. Det er lite sannsynlig at tiltakene påvirker flomvannstander for eiendommer oppstrøms og nedstrøms betydelig, med unntak av i nærhet av elvetverrsnittet i Hallingdalselva som snevres inn. Denne konsekvensen for eiendommer på Steinmogutu i den nordlige delen av Nesflata nord for Rukkedøla er nevnt i kapitlene 7.4.5 og 6.2 (se også vedlegg 7). På den ene siden undersøkes muligheten for flomsikring av denne delen av Nesflata seinere i prosjektet og (noen av) eiendommene blir muligens inkludert i flomsikringen. På den andre siden gjennomfører NVE hydrauliske beregninger, inklusive flere scenarier med forskjellige kombinasjoner av flomvannføringer i Hallingdalselva og Rukkedøla, for å undersøke disse konsekvensene nærmere (se eget notat om vannstandsendringer).

Sikring av transformatorstasjonen på Nesflata nord for Rukkedøla er imidlertid viktig på grunn av forsyningssikkerheten. Status for sikring av denne viktige infrastrukturen var at operatøren av anlegget sørger selv for flomsikring gjennom flytting av kritiske deler av anlegget til andre etasje.

11.3 Grunnerverv

Noen av flomsikringstiltakene krever privat eiendom, som må erverves for bygging og drift av anleggene samt adkomst, eller det må utarbeides avtaler om tillatelse.

Forhandlingene om konsesjonsavtalene utføres av Nesbyen kommune.

11.4 Bolig-, bosettings- og utviklingsplanlegging

Flomsikringen innebærer en forbedring for de fleste berørte naboer. Beboere oppstrøms og nedstrøms anlegget blir ikke berørt av tiltakene.

Flomsikringstiltakene gir Nesbyen kommune muligheten til stedsutvikling, f.eks. nye utbyggingsområder, fritidsanlegg og fri- / parkarealer.

11.5 Offentlig sikkerhet og samferdsel

Siden de fleste veier og adkomstveier til eiendommer ligger innenfor flomverket og sikret mot oversvømmelser, har flomsikringstiltakene en positiv virkning på trafikken under flom.

Faren for oversvømmelser i nærheten av kraftanlegg, varmesystemer eller andre forsyningsanlegg reduseres.

Innbyggere som i dag ligger innenfor flomsonen, blir sikret mot flomfare.

Gang- og sykkelveien i området ved Stasjonsbrua over Hallingdalselva skal tilpasses og innlemmes i flomsikringen i detaljprosjekteringsfasen. Det samme gjelder berørte fotstier og eksisterende turveier.

11.6 Miljø

Tiltaket tar hensyn til miljøvirkninger. Ikke alle trær i prosjektområde kan imidlertid bevares. Flomsikringsprosjektet har som mål å kompensere for eventuelle tap.

Naturmangfold, fauna og flora er vurdert i et eget delprosjekt i forbindelse med reguleringsplanprosessen.

11.7 Landbruk

Den planlagte flomvollen vil legge beslag på noen jordbruksarealer og vil påvirke dagens adkomst til de gjenværende områdene. Det ses på tre alternativer for adkomst til Jørgenmojordet ved den sørlige delen av flomvollen, bl.a. en rampe i området av dagens adkomst, en rampe fra Halandsveien over toppen av vollen.

Verdifullt jordbruksareal vil gå tapt i forbindelse med byggingen av flomvollen. I prosjekteringen av flomsikringen er det derfor lagt vekt på å minimere arealbeslaget. Konsekvenser av sikringstiltakene for landbruk er vurdert i detalj i et eget delprosjekt.

11.8 Teknisk infrastruktur

I forbindelse med bygging av flomsikringen på Nesflata må eksisterende høyspentlinje flyttes. Det anbefales at denne legges under bakken i området langsmed flomvollen. Detaljert løsning skal avklares med operatøren i detaljprosjekteringsfasen.

11.9 Kabler og ledninger

Som beskrevet i de foregående kapitlene, er det nødvendig med tilpasninger av kabler og ledninger til flomsikringstiltakene.

12. Utførelse av byggearbeidet

På grunnlag av den foreliggende planleggingen ble det utarbeidet en plan for riggområder og anleggsbelte (tegning E 801). Denne planen inneholder adkomstpunkter og tilhørende anleggsveier. Det er også lagt inn lagerområder for byggematerialer, mellomlagring av utgravde masser o.l. samt områder for oppsett av byggecontainere.

Langs flomvollens luftside går det en anleggsvei, som seinere er opparbeidet til en driftsvei. På vannsiden er det avsatt et 1 m bredt anleggsbelte som inngår i arbeidsområdet. Rampene til og fra flomverket vil senere bli bygget ut som kryssinger. Det er avsatt ca. 26 800 m² til rigg-, lager og anleggsområde.

Byggingen av tiltakene er delt inn i flere byggetrinn (BA). BA 1 inkluderer strekningen langsmed Rukkedøla fra Hajem bru ned til BA 2. BA 2 er flomvollen fra den nordlige delen av Nesflata ved Rukkedøla langs rv. 7 og landbruksarealet til den sørlige enden av vollen ved Jørgenmoen. Pumpestasjonene og drenssystemet er et eget byggetrinn (BA 3).

Før anleggsarbeidene starter må det avklares flyttingen av høyspentledningen og tilkoblingen til rv. 7. Omlegging av avløpssystemet og eventuell tilkobling av pumpestasjonen for spillvann Qvisten vil bli utført i tett samarbeid med Nesbyen kommune. En annen viktig punkt er ombyggingen av Hajem bru. Byggeprosessen for dette tiltaket må samordnes med den for flomsikringstiltakene for å unngå konflikter mellom de forskjellige tiltakene.

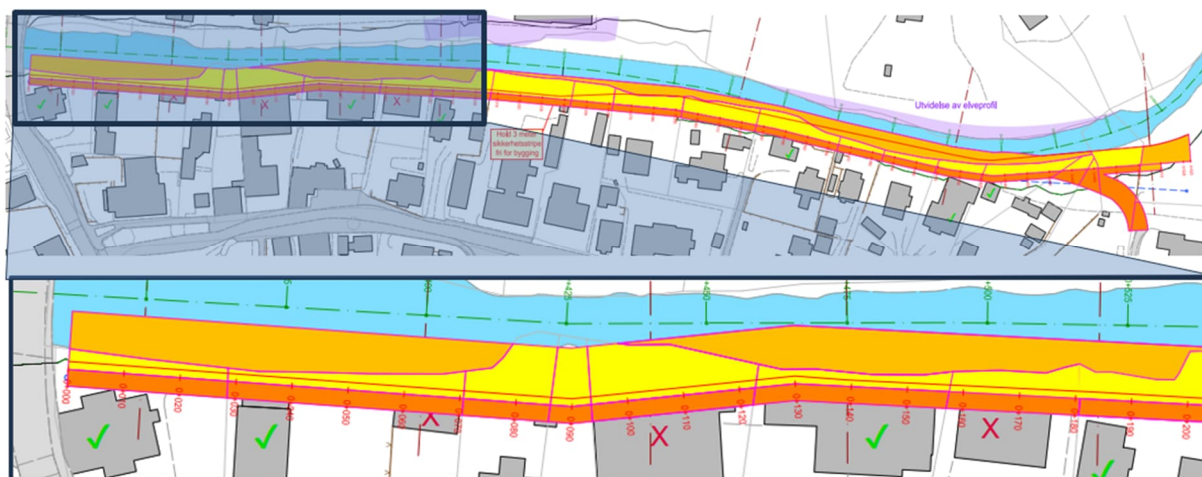
Videre skal det ordnes grunneieravtaler for adkomst til og bruk av arealer. Dette gjelder først og fremst arealene på markedsplassen og hele det sørlige området, særlig i forbindelse med inn- og utkjøringer og adkomstpunkter.

Det anbefales tilstrekkelig bevissikring før anleggsarbeidene starter.

Det finnes ennå ingen bestemte steder for masseuttak eller spesifikasjoner for fyllingsmassene. Det er viktig å påpeke at sprengte masser kun skal brukes på luftsiden av tetningslaget i vollkonstruksjonen. Avhengig av værforholdene vil det være betydelige utslipp av støv og støy under fylling og oppbygging av flomvollen.

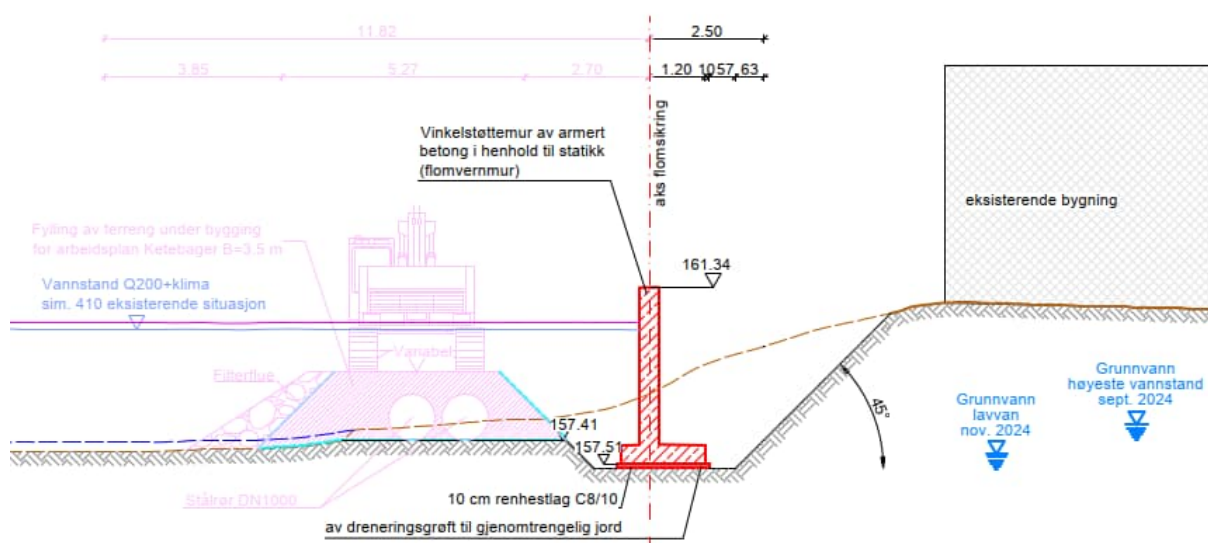
12.1 Byggemetoder og byggbarhet Rukkedøla – byggetrinn 1

Byggingen av flomsikringsmuren vil i hovedsak finne sted på privat grunn. For oppføringen av muren er det planlagt et byggeområde / en anleggssone med bredde på minst 3 m på luftsiden av den planlagte traséen (Figur 12.1). Denne sonen kan imidlertid ikke alltid overholdes på grunn av topografien og den nødvendige byggedybden. Det endelige plassbehovet er avhengig av skråningshelningen og geologien. Inntil nå antas en graveskråning på 1:1 (se Figur 12.2). Dette gjelder spesielt de lavere liggende seksjonene fra stasjonering 0+600. For å minimere begrensninger for grunneierne, foreslås det bruk av prefabrikkerte eller delvis prefabrikkerte elementer for flomsikringsmuren.



Figur 12.1: Oversikt over nødvendig anleggssone langs Rukkedøla

Byggeplassen vil i hovedsak bli betjent fra vannsiden. Til dette er det nødvendig å etablere en midlertidig anleggsvei i elvebunnen langs elvekanten. Materialet til den midlertidige konstruksjonen kan senere brukes som fyllingsmasse for flomvullen på Nesflata. For å sikre mot utvasking, eller i tilfelle flom under byggeperioden, bygges anleggsveien på en filterduk og sikres med steinblokker. Steinblokkene brukes senere til sikring av elvebredden.



Figur 12.2: Midlertidig anleggsvei i Rukkedøla

For byggingen av flomsikringen ved Rukkedøla må enkelte bygg rives (se 9.1.1). Mer informasjon om dette er allerede beskrevet i kapittel 10.1.

Ytterligere anleggs- og lagringsområder vises i tegning E 801.

12.2 Byggemetoder og byggbarhet Nesflata – byggetrinn 2

For byggetrinn 2 Nesflata er det rikelig med plass til anleggsveier og volloppstartsområder. Etter fjerning av matjordlaget og etablering av grunnlaget vil vollkroppen bli bygget lagvis. Tilkost til byggeplassen kan skje via offentlige veier. Kun ved den sørlige enden av vollen må det inngås en avtale med grunneieren (privat eiendom) for å muliggjøre en ringtrafikk for byggingen av dette villedelen fra stasjonering 1+450 til vollens ende 1+537.

Det anbefales å først konstruere støttekroppen på luftsidene og deretter bygge filteret og tetningslaget (bentonittmatter) inklusive beskyttelseslaget. Dette kan gjøres seksjonsvis sammen med byggingen av fyllingen på vannsiden.

12.3 Byggemetoder og byggbarhet bakvannshåndtering – byggetrinn 3

Pumpestasjonene er plassert så langt som mulig inn i vollkroppen. Av den grunn er det nødvendig å etablere byggegropsikring og de underjordiske pumpestasjonene før fyllingen av flomvollen etableres, og fylle opp til terrengoverflaten. Det er også hensiktsmessig å bygge side- eller støttemurene til driftsbygningene før vollfyllingen.

For byggegropsikringen er det gjennomført overordnede geotekniske vurderinger. Disse er beskrevet nedenfor.

Basert på de prosjekterte tiltakene skal det graves mellom 4-5 m dybde for stasjonene iht. underkant av fundamenter. Grunnvannet er antatt å ligge mellom 1-2 m under terreng på de ulike lokasjonene. Masser er svært permeable, og basert på dette er det antatt at det vil være utfordrende å etablere stabile graveskråninger. Grunnvannstanden vil påvirke graveskråningens stabilitet, og det vil være vanskelig å utføre arbeider med pumping av vann for tørr byggegrop.

Basert på dette grunnlaget er det vurdert at det må etableres tette byggegropar med spunt. Det er tidligere utført prøvespunting med U-spunt i området som har vært stoppet på ca. 10 m dybde. Det vurderes at det må benyttes spuntlengder til minimum 10 m dybde for å sikre at byggegropen holdes tørr, men det er antatt at det fremdeles vil være behov for pumping av vann i byggegrop. For en spuntgrop på 4-5 m dybde er det trolig behov for 1-2 avstivningsnivåer med innvendig avstiving. Behov for avstivningsnivå må vurderes nærmere i detaljprosjekteringen.

Det kan stedvis være påvist noe grovere masser i øvre deler av grunn. Basert på dette må det forventes at det er behov for noe forgraving ved etablering av spunt og behov for hard ramming. Spunttype må bestemmes basert på stedlige grunnforhold og rammeforhold. I enkelte tilfeller kan det være behov for å bore i massene langs spuntlinjer før spunt settes og etableres et lag med rambare masser. I detaljprosjektering kan det også vurderes om det er mulig å forgrave med graveskråninger for å redusere spuntmengder. Det må da også vurderes plassbehov med tanke på eksisterende infrastruktur som veg, VA-ledninger og lignende.

13. Sammendrag og konklusjoner

Denne rapporten oppsummerer resultatene fra forprosjektet for delen av flomsikringsprosjektet som omfatter sikring langs Rukkedøla og sikring av Nesflata, mellom Rukkedøla i nord og Jørgenmoen i sør, mot flom i Rukkedøla og Hallingdalselva. Fem alternativer for sikring av Nesflata ble vurdert før valg av det foretrukne alternativet. Til slutt ble det besluttet å gå videre med alternativet 3+ «stor løsning pluss». Dette alternativet tilsvarer tilnærmet full sikring av de bebygde områdene ved Nesbyen sentrum, som ble rammet av flommen forårsaket av stormen «Hans» i august 2023.

For delprosjektet Rukkedøla er det på grunn av plassforhold ikke vurdert flere alternativer.

Flomsikringen er dimensjonert for en 200-årsflom med klimapåslag, inkludert et fribord på 50 cm.

For å vurdere den tekniske gjennomførbarheten ble det utført analyser av tilgjengelige data, supplerende undersøkelser, og beregninger, bl.a. i forhold til hydraulikk, samtidighet, grunnvann og lekkasjevann. Sikringen av Nesflata mot flom omfatter både sikring mot vann på overflaten og bakvann inkludert grunnvannsstigning og lekkasjevann.

Flomsikringen i delprosjektet Rukkedøla er planlagt som flommur.

Flomsikringen i delprosjektet Nesflata er planlagt som flomvoll. Både Nesbyen kommune og landskapsarkitekter har vært involvert i arbeidet med å tilpasse flomverket til by- og landskapsbildet.

Det er planlagt fem pumpestasjoner for håndtering av bakvann, dvs. avledning av lekkasjevann under flomverket og overvann via drenssystem og pumper.

Kostnader for bygging av de planlagte flomsikringstiltakene er estimert til rundt 310 mill. kr.

Oppsummert kan det sies at flomsikring langs Rukkedøla og Hallingdalselva for en klimajustert 200-årsflom er teknisk gjennomførbar. I de videre prosjekteringsfasene utarbeides de foreslåtte løsningene i detalj og dimensjoneres statistisk. Negative konsekvenser av tiltakene skal vurderes og reduseres, om nødvendig kompenseres for.

For en helhetlig vurdering skal de andre, gjenværende delprosjekter videre utarbeides som en del av forprosjektet og vurderes sammen med prosjektdelen sikring av Nesflata mot flom i Hallingdalselva.

Inning am Ammersee, 24.10.2025

Lindschulte
Ingenieurgesellschaft mbH Ammersee



Benedikt Sander-Kessels
Daglig leder



Julian Sauterleute
Prosjektleder

Vedlegg 1

Tegninger i henhold til tegningsliste

Tegningsliste

Tegn.-nr.	Indeks	Dato	Tittel	Målestokk
E 101		04.02.2025	Oversiktskart - Valgt alternativ	-
E 202	1	14.03.2025	Situasjonsplan øst - Eksisterende tilstand	1 : 1 000
E 212	2	30.07.2025	Situasjonsplan øst - Planlagte tiltak	1 : 1 000
E 301	2	30.07.2025	Lengdeprofil - Valgt alternativ	1 : 1 000/100
E 311	3	30.07.2025	Lengdeprofil - Drensledning	1 : 1 000/100
E 411	1	30.07.2025	Tverrsnitt 0+000 og 0+660	1 : 100
E 413	1	30.07.2025	Tverrsnitt 0+750 og 1+450	1 : 100
E 421	1	07.10.2025	Tverrsnitt Rukkedøla 0+350	1 : 100
E 422	1	07.10.2025	Tverrsnitt Rukkedøla 0+400	1 : 100
E 423	1	07.10.2025	Tverrsnitt Rukkedøla 0+475	1 : 100
E 424	1	07.10.2025	Tverrsnitt Rukkedøla 0+520	1 : 100
E 425	1	07.10.2025	Tverrsnitt Rukkedøla 0+655	1 : 100
E 426	1	07.10.2025	Tverrsnitt Rukkedøla 0+755	1 : 100
E 427	1	07.10.2025	Tverrsnitt Rukkedøla 0+840	1 : 100
E 703		30.07.2025	Lengdeprofil - Rukkedøla	1 : 1 000/100
E 705		30.07.2025	Lengdeprofil - Rukkedøla Sikring sørlig elvebredd	1 : 1 000/100
E 712		07.10.2025	PSA 1 – Situasjonsplan og snittegninger	1 : 250
E 722		07.10.2025	PSA 2 – Situasjonsplan og snittegninger	1 : 250
E 732		07.10.2025	PSA 3 – Situasjonsplan og snittegninger	1 : 250
E 742		07.10.2025	PSA 4 – Situasjonsplan og snittegninger	1 : 250
E 752			PSA 5 – Situasjonsplan og snittegninger	1 : 250
E 713		07.10.2025	PSA 1 - Oversiktskart	1 : 50
E 723		07.10.2025	PSA 2 - Oversiktskart	1 : 50
E 733		07.10.2025	PSA 3 - Oversiktskart	1 : 50
E 743		07.10.2025	PSA 4 - Oversiktskart	1 : 50
E 753			PSA 5 - Oversiktskart	1 : 50

Tegn.-nr.	Indeks	Dato	Tittel	Målestokk
E 801		14.03.2025	Situasjonsplan – Riggområder	1 : 2 000

Vedlegg 2

Samtidighetsanalyse

Vedlegg 3

Geoteknisk datarapport 50517-01-R
Flomsikringstiltak NVE, gnr./bnr. 79/39 m.fl. i Nesbyen kommune
Romerike Geoteknikk AS, 10.10.2024

Vedlegg 4

Kvalitetssikring bunndata Hallingdalselva

Vedlegg 5

Feltarbeid grunnvannsbrønner og pumpetester

Vedlegg 6

Modellering overvannsavrenning

Vedlegg 7

Hydraulikk sikring Rukkedøla

Vedlegg 8

Hydraulikk sikring Nesflata

Vedlegg 9

Grunnvannsmodellering

Vedlegg 10

Vurderingsmatrise 29.05.2024

Notat vurderingsmatrise 22.07.2024

Vedlegg 11

Kostnadsoverslag

Vedlegg 12

Pumpestasjoner