

Notat

Til:	Lindesnes kommune		
Fra:	Stefan Perzyna	Sign.:	
Ansvarlig:	Anne Cathrine Sverdrup	Sign.:	
Dato:	04.06.2018		
Saksnr.:	201700438		
Arkiv:	412		
Kopi:	Martin Jespersen, Eirik Traae, Anders Skalleberg, Svein Arne Jerstad		

Dempningseffekten av dam Grundelandsvatn

Sammendrag

Det er utført en vurdering av dempningseffekten for ulike tiltak ved dam Grundelandsvatn for en 200-års flom (Q200) med tre ulike flomfordelinger (scenario 1 – 3). Resultatene viser en reduksjon av kulminasjonsvannføringen nedstrøms dammen for de fleste vurderte tiltak. Alternativ 4 er vurdert som den beste anbefalingen med hensyn til fordrøyning av flommen. Likevel vil en endring av overløpet føre til permanent endring av vannstanden i Grundelandsvatnet. Dette kan i tillegg skape en større vannstandsstigning ved flom og dermed oversvømmelse av området rundt magasinet. Dammen er i dårlig tilstand og konsekvenser av potensiell oppbygging krever en videre vurdering.

Tabellen under viser størrelsen på avløpsflommen fra hele vassdraget ved bruk av de ulike tiltakene.

Q-kulminasjonsverdi for samlet avløpsflom Endring- endring på størrelsen av flomtoppen i forhold til dagens situasjon (positiv verdi tilsvarer reduksjon)		Scenario 1		Scenario 2		Scenario 3	
		Q	Endring	Q	Endring	Q	Endring
		m ³ /s	%	m ³ /s	%	m ³ /s	%
Dagens situasjon		41	-	39	-	43	-
Alternativ:	Foreslått tiltak						
1	Åpning av bunntappeløpet og permanent senking av magasinet	37	10	35	10	38	11
2	Oppbygging av dammen (Delvis stenging av flomløpet)	37	9	36	9	39	8
3	Oppbygging av dammen (Heving av flomløpet i hele lengden)	44	-7	42	-7	46	-8
4	Kombinasjon av 1 og 2	33	19	30	23	35	19
5	Kombinasjon av 1 og 3	32	23	28	27	33	23

1 Innledning

Flommen i desember 2015 og i oktober 2017 i Tredalsvassdraget førte til store oversvømmelser og omfattende skader i Hestehaven industriområde. Tredalsbekken renner gjennom Grundelandsvatnet som ligger noen km oppstrøms Hestehaven industriområde. Grundelandsvatnet har tidligere blitt brukt som reguleringsmagasin men utløpsdammen er nå nedlagt. Notatet gir oversikt over potensiell dempningseffekt i Grundelandsvatnet for ulike tiltak ved utløpsdammen.

2 Dambeskrivelse

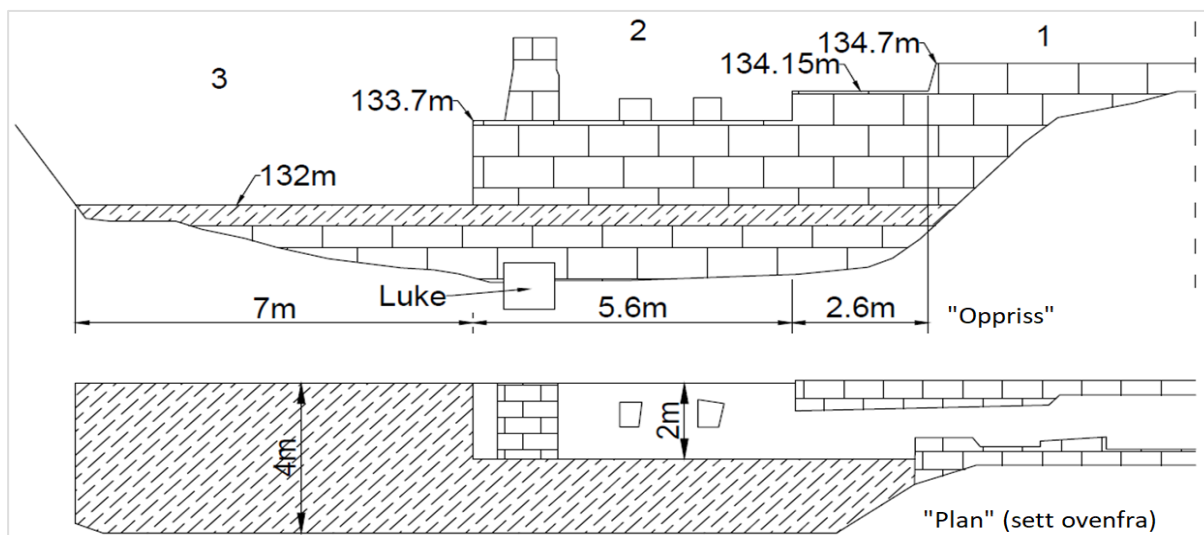
Dammen er, ifølge NVE-notat fra 10 juni 1985 (se Vedlegg 3), opprinnelig bygd som en reguleringsdam for Grundelandsvatnet. En av oppsitterne ved vatnet klagde over forsumping av jorden ved høy vannstand. Av den grunn ble venstre side av dammen inklusiv nedre flomløp revet ned til spranget i tverrsnittet.

Dammen består av følgende tre partier (fra høyre side, sett motstrøms):

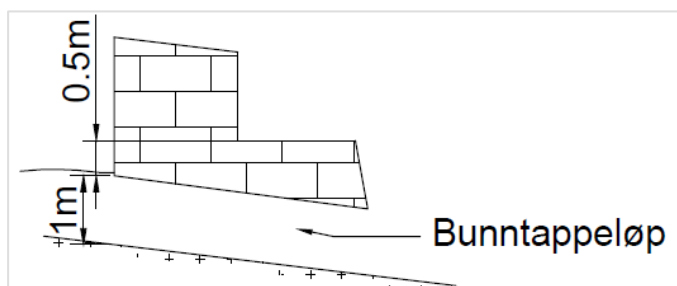
1. Murdam med sentral jordkjerne. Bredder 5.8 m og største høyde 3 m. (se Vedlegg 1)
2. Murdam der begge sider er fuget og (antagelig) røys i midten. Kronebredde 2m. Profilet har et sprang på nedstrøms side slik at bunnbredden blir ca. 4 m. Murstein og Murtårnet skaper en hindring i overløpet. Den effektive lengden er estimert til 4m.
3. Flomløpsparti av samme konstruksjon som parti 2. Etter nedlegging av dammen ble overløpet revet ned til spranget slik at nåværende åpning er 7m lang og har en bredde på 4m.
4. Bunntappeløp med tre luke, ca. 1.1m x 1 m. Overkant plassert på kt 131.5m (Figur 2)

Dammens totale lengde er ca. 60 m, målt ut fra kart. (hele dammen vist på Vedlegg 1)

Under befaring av dammen i november 2017 ble det foretatt en rekke kontrollmålinger med GNSS (CPOS). Disse viser at hovedoverløpet ligger på omtrent kt 132m (NN2000). Øvrige GNSS-målte koter er vist på Figur 1 og vedlegg 1. Disse er brukt for målsetting av de øvrige delene av tegningen som er brukt i de videre beregningene.



Figur 1- Tegning av den venstre delen av dammen



Figur 2- Tegning bunntappeløpet under dammen

Notat fra 1958 fra Vassdragstilsynet angir dårlig tilstand av dammen, blant annet lekkasjer gjennom bruddsteindammen med jordkjerne og skogvekst på damkronen.

3 Dempningseffekten i magasinet

Et magasin har en evne til å redusere flomstørrelsen ved å lagre vassmengden og forsinke utstrømningen. Dempningseffekten til magasinet kan bli sett som forskjellen på størrelsen mellom vannføringen inn og ut fra magasinet. Ved å endre på geometrien til utløpet endrer man på vannføringskapasiteten ut fra magasinet. Dette kan føre til økning av lagringskapasiteten til magasinet og dermed gi en større dempningseffekt.

Det er undersøkt ulike tiltak som kan gi økt dempningseffekt i magasinet. Målet er å oppnå mest mulig effekt med minst endring av den eksisterende dammen. Det er foreslått følgende tiltak:

1. Åpning av bunntappeløpet og permanent senking av magasinet
2. Oppbygging av dammen (delvis stenging av flomløpet)
3. Oppbygging av dammen (heving av flomløpet i hele lengden)
4. Kombinasjon av tiltak nr. 1 og nr. 2
5. Kombinasjon av tiltak nr. 1 og nr. 3
6. Tapping av magasinet før flommen kommer, ved bruk av luken

4 Beregninger

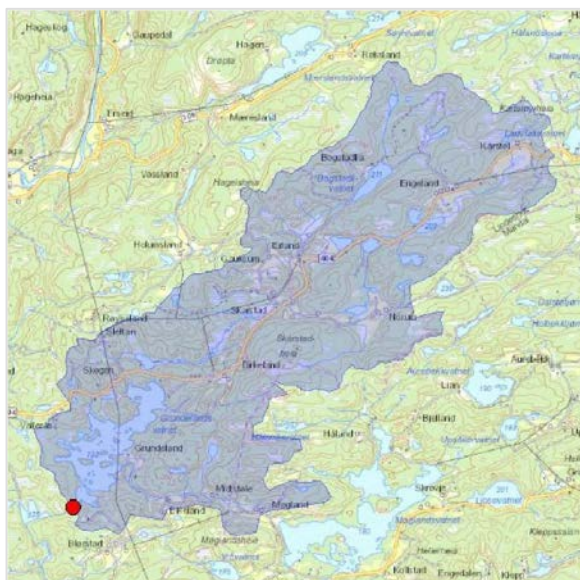
For å finne dempningseffekten til et magasin utfører man en såkalt routing. Beregningen tar hensyn til forhold mellom lagringskapasiteten i magasinet og forskjellen mellom vannføringen inn og ut i fra magasinet. Routingen beregner da vannføringsforløpet ut fra magasinet med tilhørende endring i magasin vannstanden. Beregningen er utført ved bruk av NVE ROUTING programmet som er tilgjengelig via Hydra II databasen. Som input data brukes det:

- Tilløpsflommen til magasinet, generert for ulike nedbørsforløp (scenarioer) og vha karmodellen PQRUT.
- Kapasitetskurve for vannføring ut av magasinet som funksjon av vannstanden i magasinet (vannføringskurve), ulik for hvert av de skisserte tiltakene.
- Magasinkurve (volum/areal som funksjon av vannstand) beregnet med antagelse om 5% areal økning for 2m vannstandsstigning. Magasinets areal ved kt. 132m er 0.69km^2 , målt ut fra FKB-data.

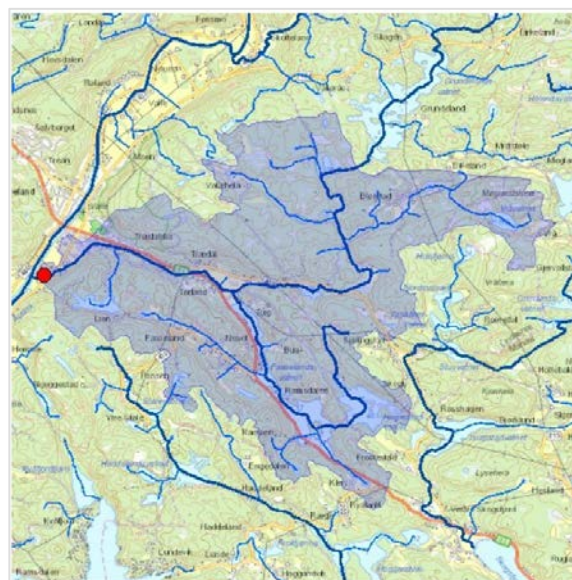
Beregninger er utført for en 200-års flom med tre ulike tilsigforløp og initial vannstand i magasinet er satt til 3 x årlig middelavrenning ($2.5\text{m}^3/\text{s}$).

4.1 Nedbør-avløpsmodell og ruting gjennom magasinet

Grundelandsvatnet er et magasin med dempningseffekt for nedbørsfeltet til Tredalsvassdraget. For å beregne størrelsen på flommen blir nedbørsfeltet delt i to - arealet oppstrøms (Figur 3) og nedstrøms (Figur 4) Grundelandsvatnet.



Figur 3 Samlet areal til utløpet fra Grundelandsvatnet



Figur 4 Arealet nedstrøms Grundelandsvatnet

Karmodellen PQRUT er benyttet for å beregne tilløpsflommen til magasinet og avrenningen fra nedstrøms i feltet ved bruk av nedbørsdata. Inngangsparametere i modellberegningen er tømmekonstantene K1 og K2 samt terskelverdien T. Modellen er nærmere beskrevet i NVE-Retningslinjer nr. 4/2011 «Retningslinjer for flomberegninger» [2]. PQRUT modellparameter ble beregnet fra følgende relasjoner:

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

$$K_2 = 0,009 + 0,21 \cdot K_1 - 0,00021 \cdot H_L$$

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

Tidsoppløsningen i modellen er satt til 1 time. Tabellen under viser modellparameterne, samt verdiene benyttet til å beregne disse. Det forutsettes i beregningene at feltet er mettet ved begynnelsen av flomforløpet. Initialvannføringen settes lik tre ganger årlig middelvannføring. Feltparameterne er funnet fra NVEs karttjeneste NEVINA (Nedbørfelt-Vannføring-INdeks-Analyse). Arealet til Grundelandsvatnet er trukket fra oppstrøms del av nedbørsfeltet vist på figur 3 og den effektive sjøprosenten justert tilsvarende til en lavere verdi.

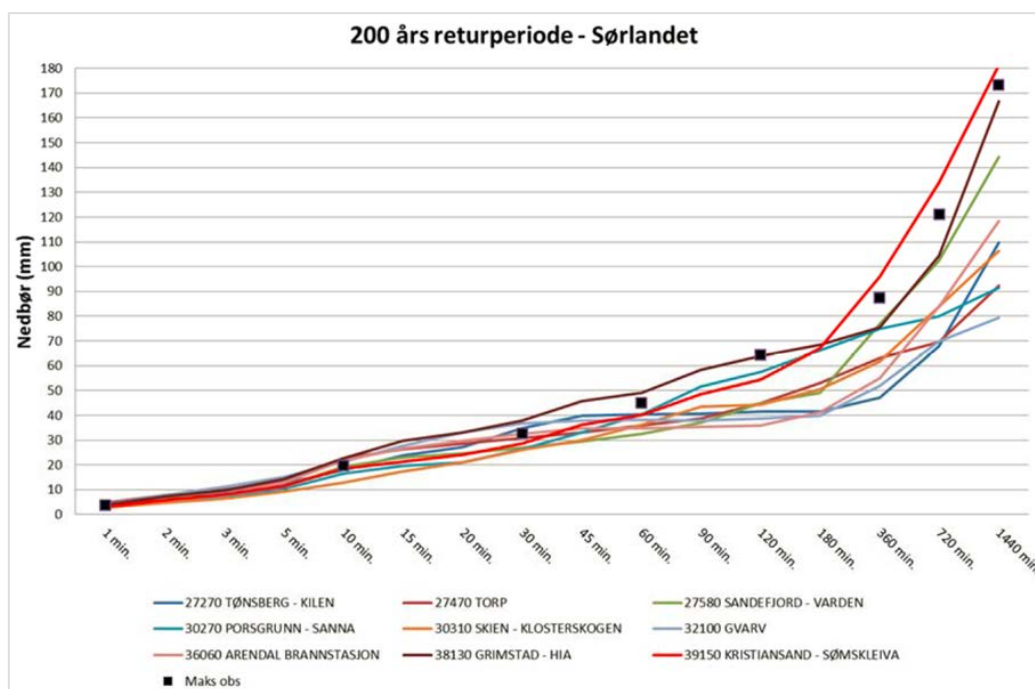
Tabell 1 Parameterne brukt i PQRUT

	A [km ²]	H ₂₅ [m]	H ₇₅ [m]	dH [m]	L _F [km]	H _L [m/km]	A _{SE} %	q _N [l/skm ²]	K1 [1/h]	K2 [1/h]	T [mm]
Oppstrøms	16.5	186	255	69.5	6.0	11.6	0.7	42.0	0.050	0.017	29.2
Nedstrøms	17.3	60	165	95	7.1	13.4	2.0	33.3	0.038	0.014	31.5

4.2 Ekstremnedbør

Det brukes dimensjonerende nedbør (IVF verdier) fra målestasjoner fra NVE Veileder nr. 7/2015 «Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt» [4] beregnet av Meteorologisk Institutt. For

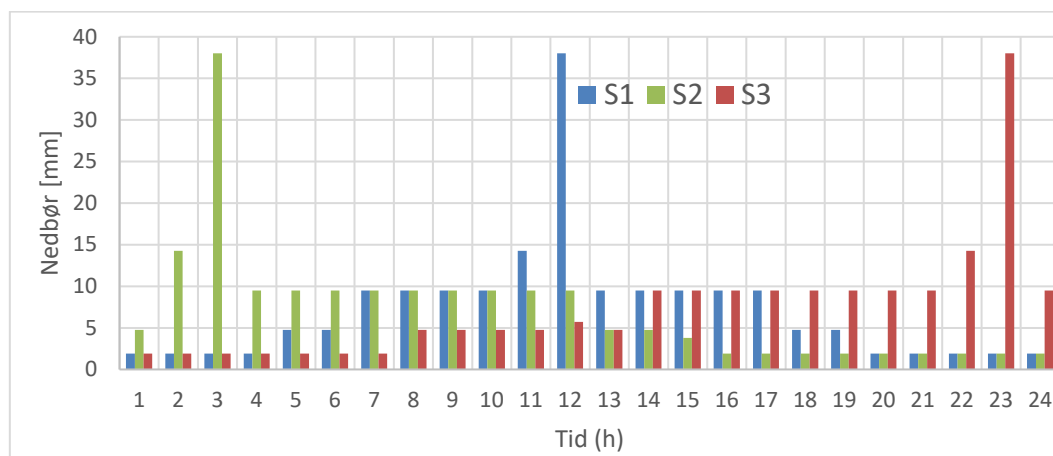
Tredalsvassdraget er data hentet fra målestasjon Sømskleiva [21.49] i Kristiansand som har den lengste tidsserien i området.



Figur 5 IVF-kurver for målestasjonene i region «Sørlandet» plottet sammen med høyeste observerte nedbør for hver enkelt varighet i regionen. [4]

4.2.1 Nedbørforløp for en 200-årshendelse

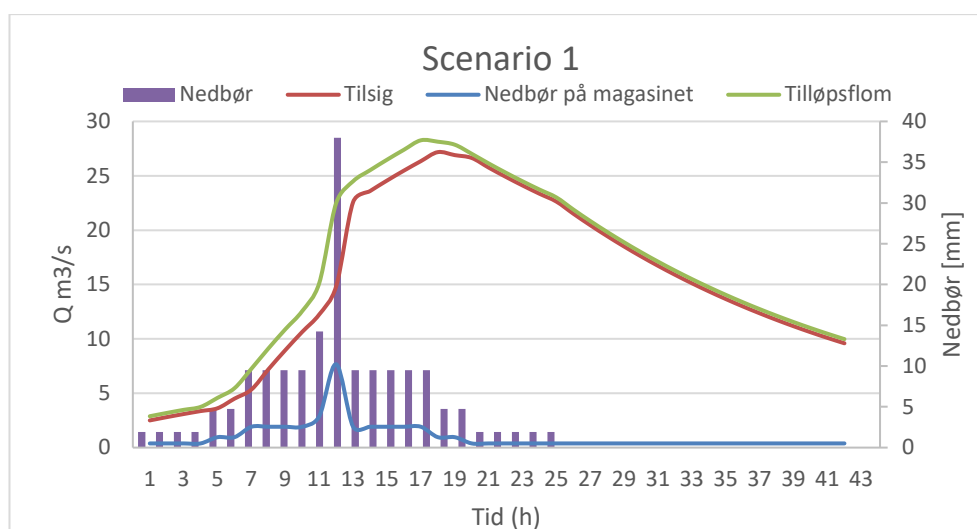
Ut fra kurven for målestasjon Sømskleiva er det konstruert syntetiske nedbørhendelser med forløp slik at største gjennomsnittintensitet tilsvare kurven for 200års returperiode (Sømskleiva), uansett lengden av perioden gjennomsnittet beregnes for (nedbørvarighet). Total nedbørvarighet er satt til 1 døgn, med kulminasjon etter 3, 12 eller 23 timer, avhening av scenario. De konstruerte nedbørsforløpene er vist i Figur 6. Den oppgitte punktnedbøren er arealreduert (etter arealet til totalfeltet, 95%, bestemt av arealstørrelsen og nedbørsvarigheten) for å gi en representativ verdi for hele nedbørfeltet (verdi hentet fra Figur 5.1, NVE-Rapport nr. 2/1983 «Hydrologisk modell for flomberegninger» [3]. Tre ulike scenario er konstruert med flomtappen i midten(S1), begynnelsen (S2) og slutten(S3) av nedbørforløpet. De er brukt til å generere tilsiget til magasinet ved bruk av nedbør-avløps modellen PQRUT



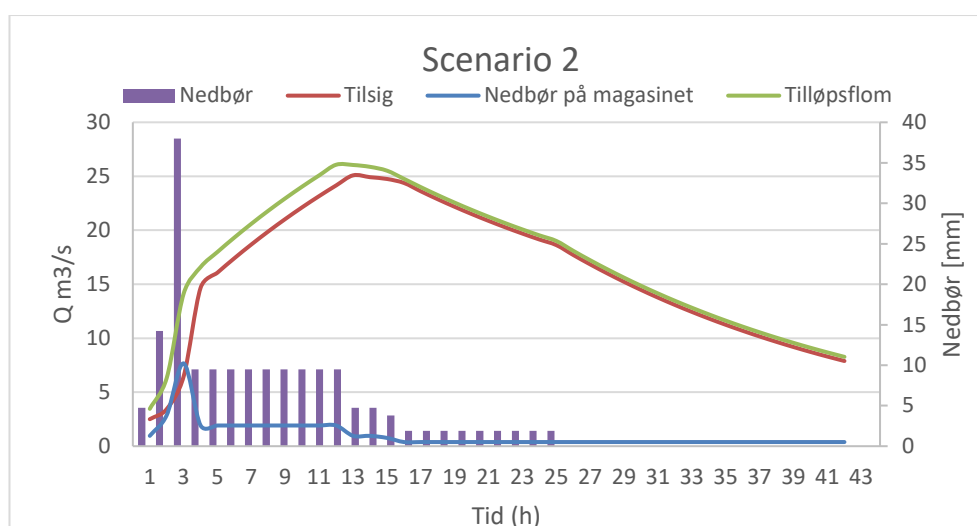
Figur 6 Nedbørsforløp scenario for Tredalsvassdraget

4.3 Tilløpsflom

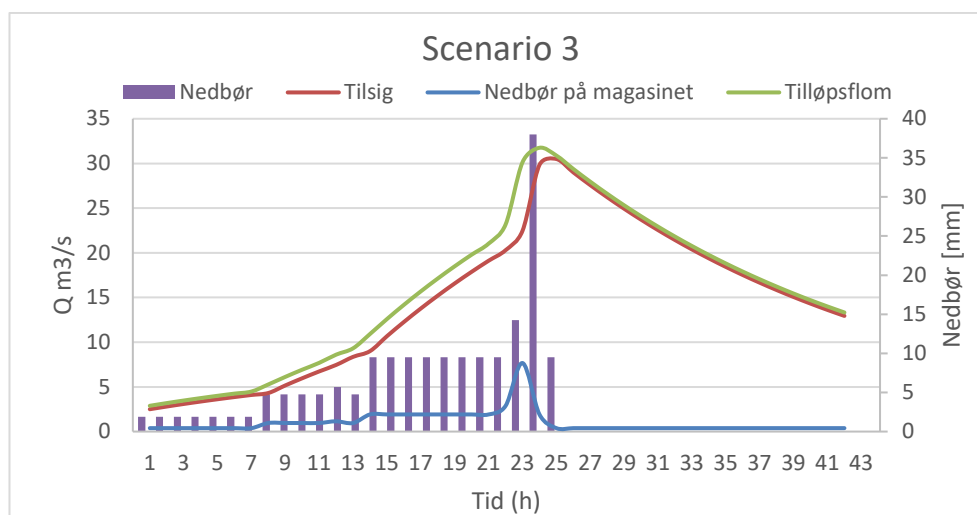
Samlet tilløpsflom består av tilsig og nedbør på magasinet.



Figur 7 Tilløpsflom til Grundelandsvatnet, Scenario S1



Figur 8- Tilløpsflom til Grundelandsvatnet, Scenario S2



Figur 9- Tilløpsflom til Grundelandsvatnet, Scenario S3

Kulminasjonsvannføring for tilløpsflom er vist i tabell 2

Tabell 2- Kulminasjonsverdier for tilløpsflom ved ulike scenario

	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
Kulminasjonsvannføring	28.3 m ³ /s	26 m ³ /s	31.8 m ³ /s

4.4 Kapasitetskurve

For å beregne kapasiteten for det faste overløpet i dammen brukes overløpsformelen (1):

$$Q = L * C * H^{\frac{3}{2}} \quad (1)$$

Hvor:

- L - overløpslengde (i m)
- C - -overløpskoeffisient. Tabell 3 brukt for hovedoverløpet. C er avhengig av forhold mellom bredde B (4m) og vannstand over terskelen (H). For andre dele av damkonstruksjonen med potensielt overløp brukes det en fast verdi på 1.5.
- H - vannstand over terskelen (i m)

C koeffisienten varierer med økende vannstand og er bestemt ifølge tabell 3

Tabell 3- Overløpskoeffisienter for skarpkantet overløpsprofil NVE Retningslinjer 2015/2 «Retningslinjer for flomløp»[2]

H/B	0.1	0.2	0.5	1.0	2.0
C	1.4	1.45	1.5	1.55	1.8

For å beregne kapasiteten gjennom luken brukes ligning (2)

$$Q = a * b * k * \sqrt{2gH} \quad (2)$$

Hvor: -

- a - høyde på lukeåpning (fullstendig åpen) i meter
- b - bredde på lukeåpning i meter
- k - kontraksjonskoeffisient (Fig 3-9 «Retningslinjer for flomløp, NVE, 2015/2»). For luken som er 100% åpen blir k=0.9
- H - vannstand målt i meter fra midt i lukeåpningen
- g - gravitasjon

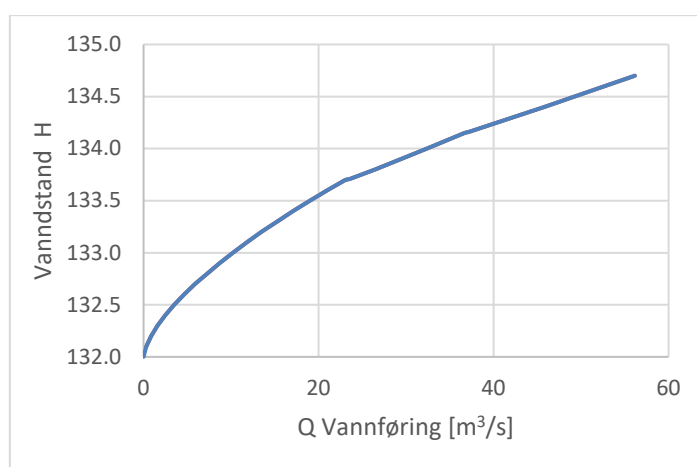
5 Utførte beregninger

5.1 Dagens situasjon

Dammen har en åpning på 7 m på kt. 132 m. Bunntappeluken er stengt. Initial vannstand er på kt. 132.4 som tilsvarer en vannføring på 2.5 m³/s.

Kapasitetskurven er beregnet for en terskel med lengde 7 m og overløpsbredde 4m fra kt. 132 m. Fra kt. 133.7 bidrar den andre terskelen som har en effektiv lengde på 4 m og overløpsbredde på 2 m. Fra kt. 134.15 bidrar den tredje delen av overløpet som er en terskel med effektiv lengde 2.6 m og bredde 2m.

Resultatet er kapasitetskurven, vist i Figur 10

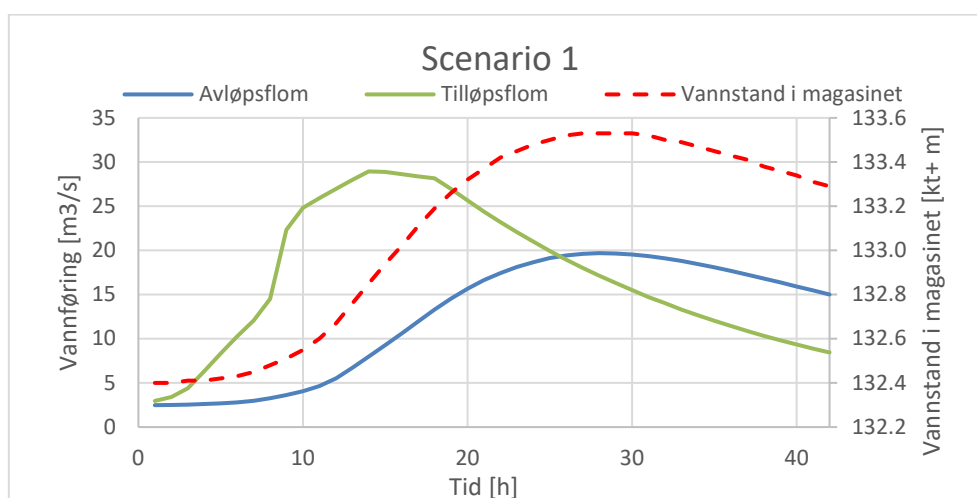


Figur 10- Kapasitetskurve for dammen som den er i dag

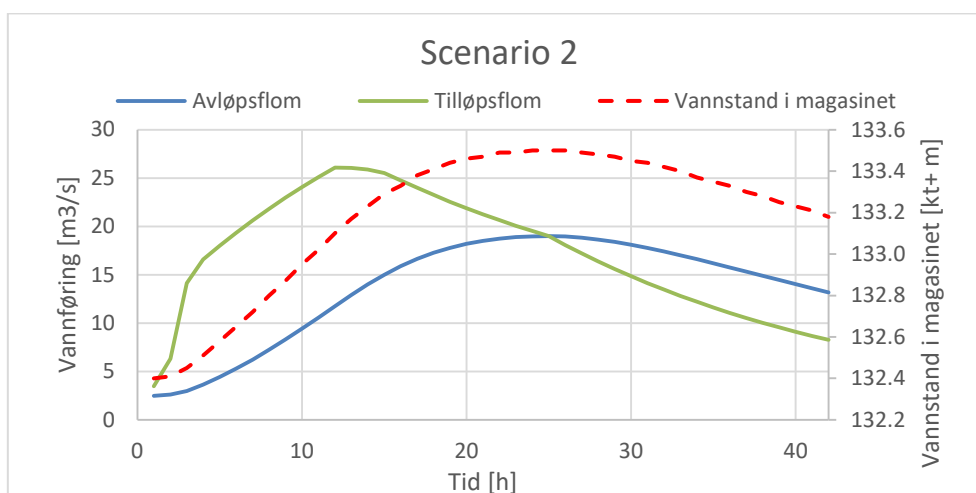
Tabell 4- Numeriske verdier av kapasitetskurve for dammen som den er i dag

H [m]	132.5	132.6	132.7	132.8	132.9	133	133.1	133.7	134	134.16	134.4	134.7
Q [m³/s]	3.5	4.6	5.9	7.3	8.7	10.2	11.8	23.1	32.4	37.2	45.8	56.1

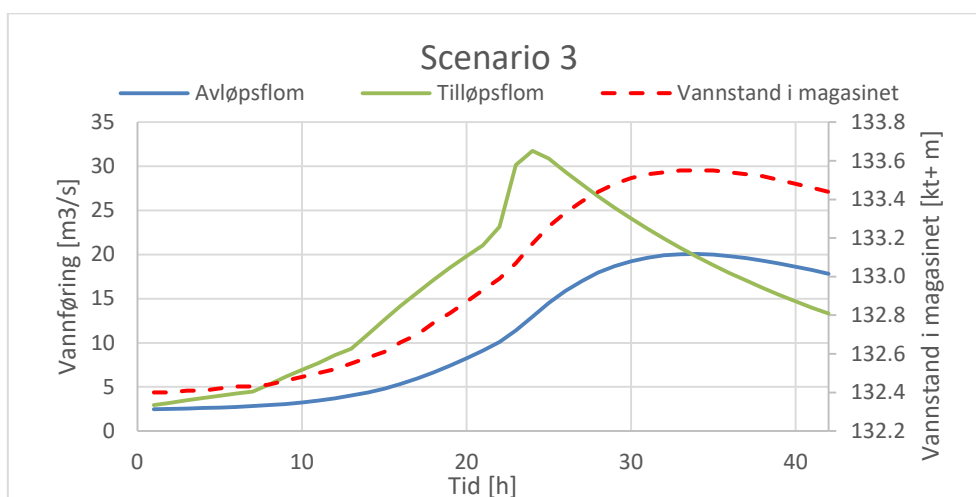
Ved bruk av routing programmet får vi følgende resultater for de tre ulike fordelinger av nedbør (scenario 1 – 3) .



Figur 11- Routing av Q200 gjennom magasinet for dammen som den er i dag, scenario 1



Figur 12- Routing av Q200 gjennom magasinet for dammen som den er i dag, scenario 2



Figur 13- Routing av Q200 gjennom magasinet for dammen som den er i dag, scenario 3

Resultat:

Tabell 5- Resultater (kulminasjonsvannføring), dammen som den er i dag

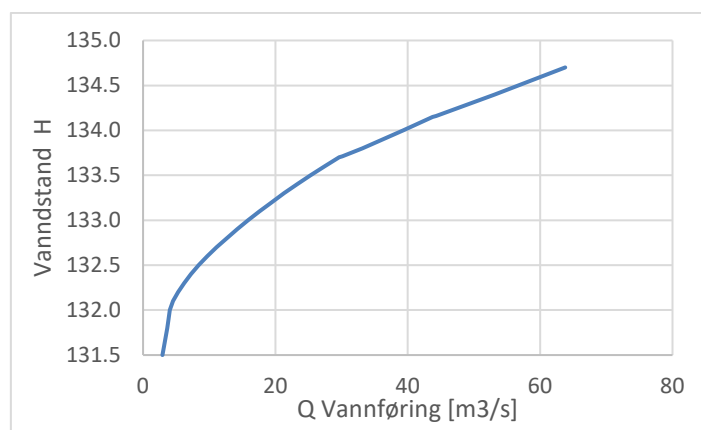
	Tilløpsflom (m³/s)	Avløpsflom (m³/s)	Vannstandendring (m) Fra 132.4		Flomtopp forsinkelse (timer)
Scenario 1	29	20	1.1	til 133.5	14
Scenario 2	26	19	1.1	til 133.5	12
Scenario 3	32	20	1.1	til 133.5	10

5.2 ALTERNATIV 1 -Åpning av bunntappeluken og permanent senking av magasinet

Tappeluken har en størrelse på 1 x 1.1m og overkant luke er plassert på kt. 131.5m.

Beregningen er utført med vannstand i magasinet på nivå med overkant luke (kt. 131.5m) som utgangspunkt. Dette vil si at vannstanden i magasinet blir permanent ca. 1m lavere.

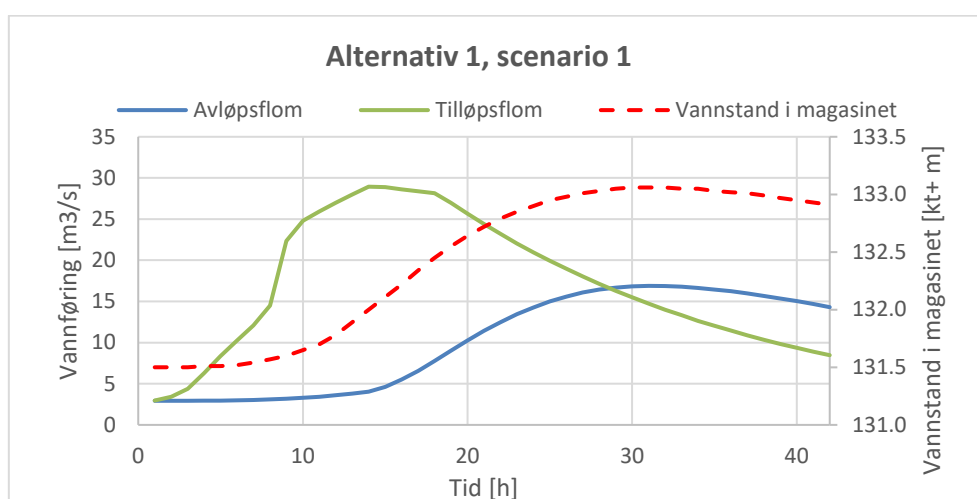
Kapasitetskurven for magasinavløpet er bare konstruert for vannføring gjennom luken fra kt. 131.5 til 132m med bruk av likning 2. Fra kt 132 er det både bunntappeluken og dagens, faste overløp som bidrar til vannføringen. En terskel med lengde 7m og overløpsbredde 4m fra kt. 132m. Fra kt. 133.7 bidrar den andre terskelen som har en effektiv lengde på 4 m og overløpsbredde på 2m. Fra kt 134.15 bidrar den tredje delen av overløpet som er en terskel med effektiv lengde 2.6m og bredde 2m. (Se Figur 1).



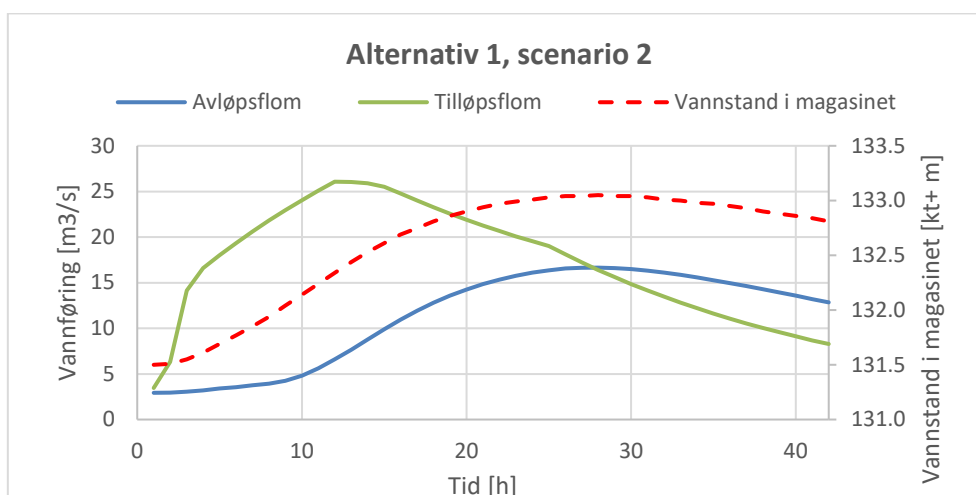
Figur 14- Kapasitetskurven ved bruk av bunntappeluken og dagens, faste overløp, Alternativ 1

Tabell 6- Numeriske verdier av kapasitetskurve for dammen ved bruk av bunntappeluken og dagens, faste overløp, Alternativ 1

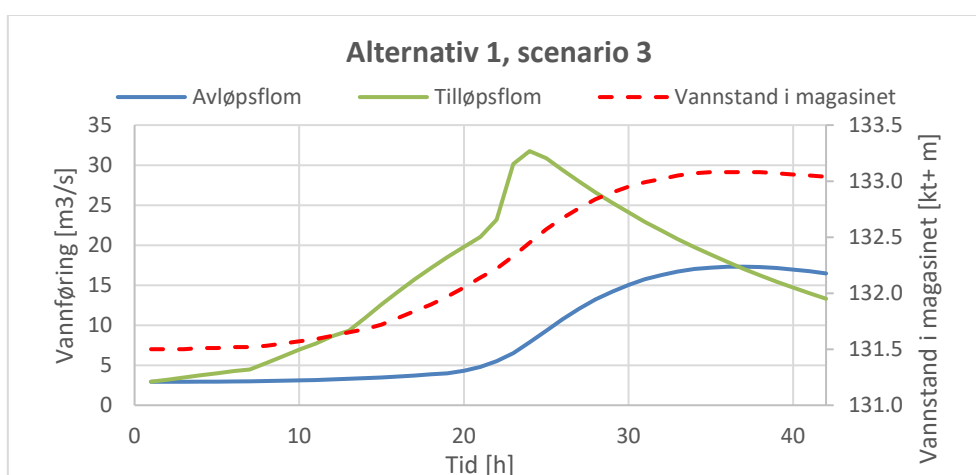
H(m)	131.5	132.0	132.4	132.7	133.4	133.7	134.0	134.2	134.7
Q(m³/s)	2.9	4.0	7.2	11.1	23.3	29.6	39.3	43.8	63.8



Figur 15- Routing av Q200 gjennom magasinet Alternativ 1, scenario 1



Figur 16- Routing av Q200 gjennom magasinet Alternativ 1, scenario 2



Figur 17- Routing av Q200 gjennom magasinet Alternativ 1, scenario 3

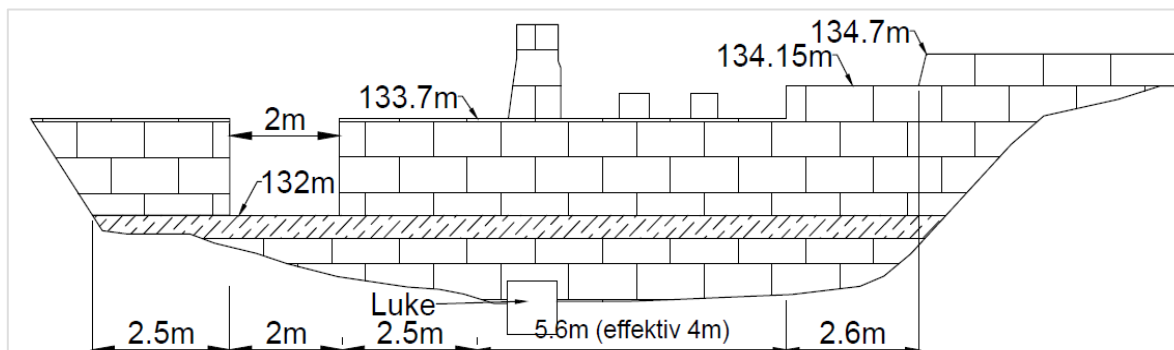
Resultater:

Tabell 7- Resultater (kulminasjonsvannføring), Åpning av bunnappeluken og permanent senking av magasinet, Alternativ 1

	Tilløpsflom (m³/s)	Avløpsflom (m³/s)	Vannstandsending (m) Fra kt.131,5		Flomtopp forsinkelse (timer)
Scenario 1	29	17	1.5	til 134	15
Scenario 2	26	17	1.5	til 134	16
Scenario 3	32	18	1.5	til 134	13

5.3 ALTERNATIV 2 -Oppbygging av dammen (delvis stenging av flomløpet) og stengt bunntappeluke

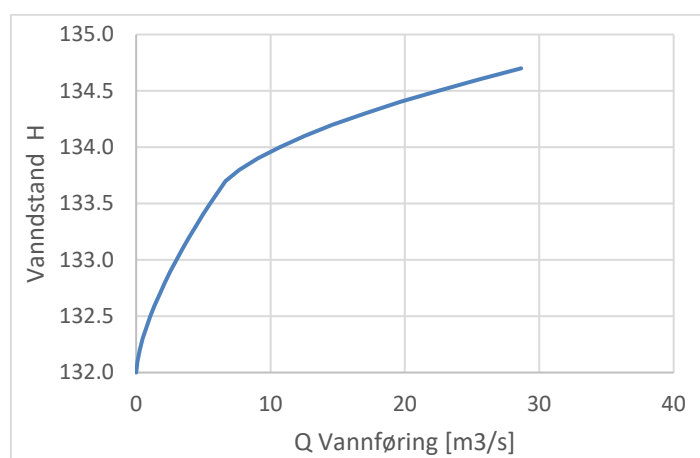
Den gamle åpningen er delvis stengt og overløpet har en bredde på 2m og høyde til kt. 133.7.



Figur 18- Skisse av den nye overløpsutformingen, alternativ 2

Kapasitetskurven er konstruert ved bruk av likning 1. Fra kt 132 m er det kun åpningen med en terskel med lengde 2m som bidrar til vannføringen. Fra kt. 133.7 m begynner de to andre sideterskelene å bidra. De har en samlet effektiv lengde på 9m (4m fra den gamle terskelen og samlet 5m fra den nybygde delen). Fra kt 134.15m bidrar i tillegg den tredje delen av overløpet som er en terskel. Den effektive lengden er 3m og bredden er 2m.

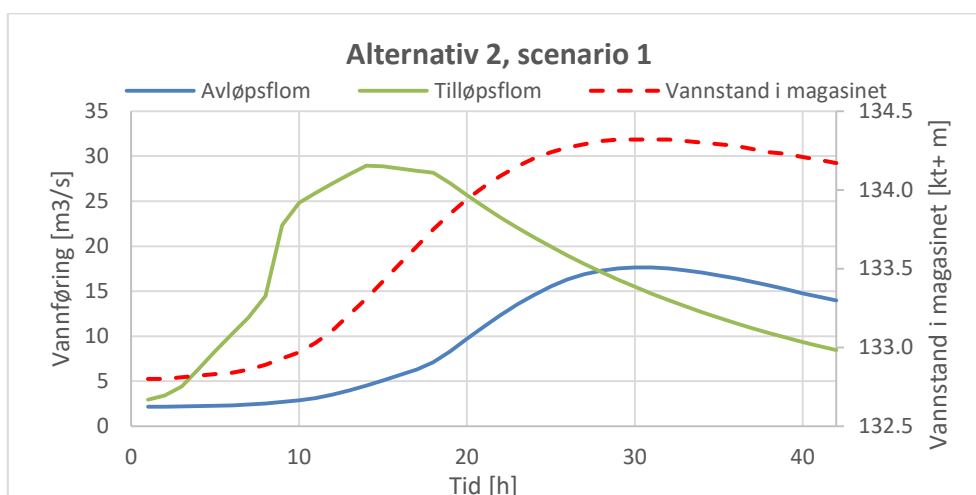
Initial vannstand er satt til kt. 132.9 m som tilsvarer vannføring på ca. 2.5 m³/s. Endring av damgeometrien vil altså gi permanent økning av vannstanden i magasinet.



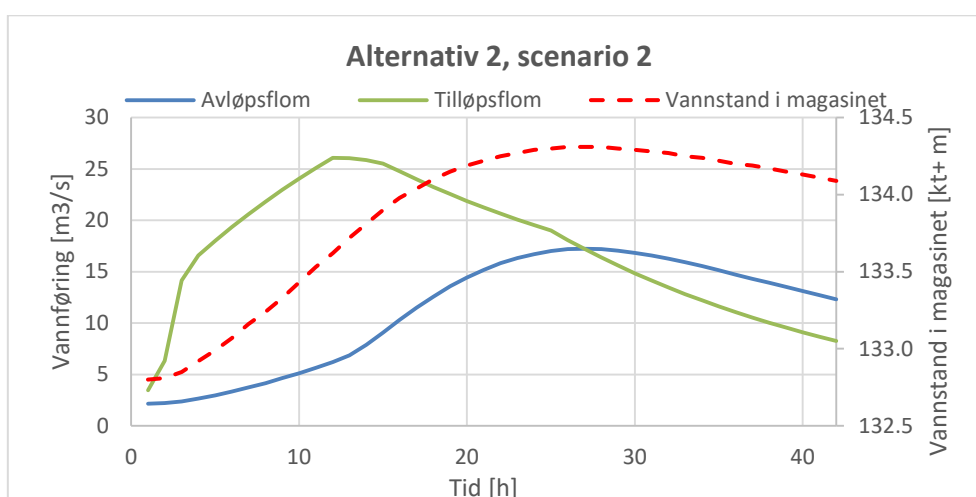
Figur 19- Kapasitetskurve for overløpet, alternativ 2;

Tabell 8- Numeriske verdier av kapasitetskurve for overløpet, alternativ 2

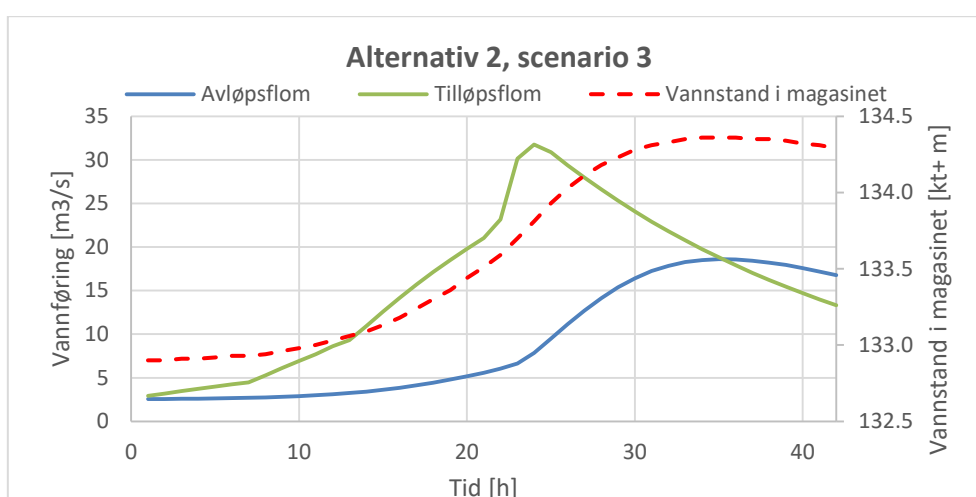
H(m)	132.9	133.5	133.7	133.8	134	134.1	134.2	134.6	134.7
Q(m ³ /s)	2.6	5.5	6.6	7.7	10.7	12.5	14.6	25.5	28.7



Figur 20- Routing av Q200 gjennom magasinet alternativ 2, scenario 1



Figur 21- Routing av Q200 gjennom magasinet alternativ 2, scenario 2



Figur 22- Routing av Q200 gjennom magasinet alternativ 2, scenario 3

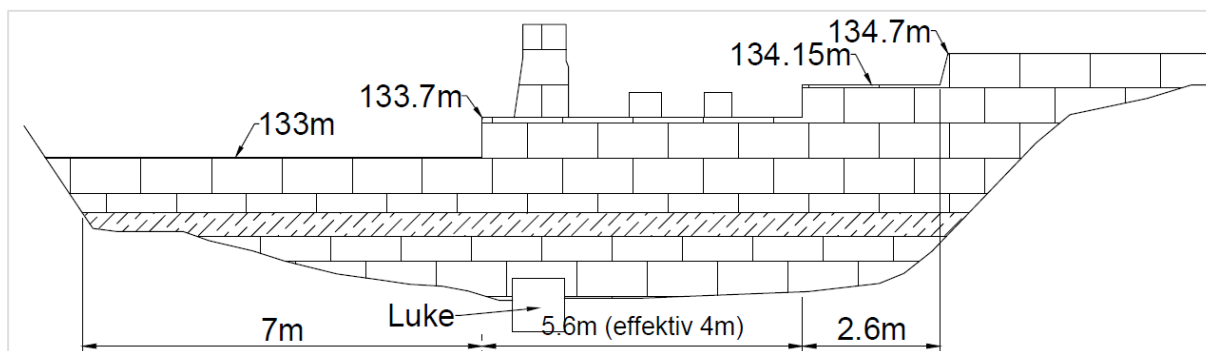
Resultat:

Tabell 9- Resultater (kulminasjonsvannføring), Alternativ 2

	Tilløpsflom (m ³ /s)	Avløpsflom (m ³ /s)	Vannstandsending (m) Fra kt. 132.8	Flomtopp forsinkelse (timer)
Scenario 1	29	18	1.5 til 134.3	16
Scenario 2	26	17	1.5 til 134.3	15
Scenario 3	32	19	1.5 til 134.3	11

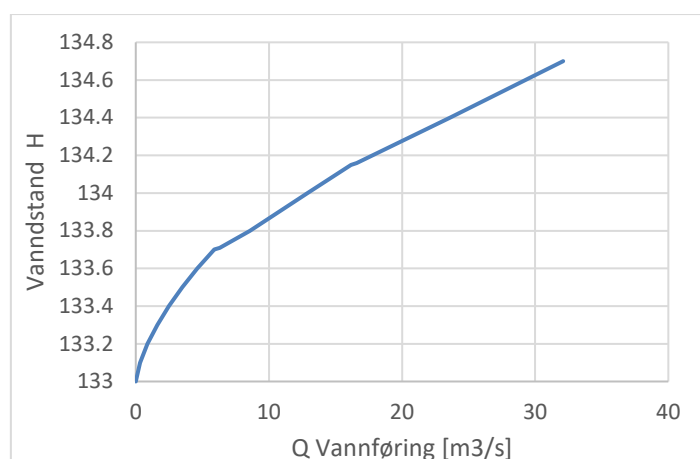
5.4 ALTERNATIV 3 - Heving av overløpet

Eksisterende overløp er hevet med 1m til kt 133m. Bunnappeluken er stengt. Initial vannstand er satt til kt. 133.4m som tilsvarer vannføring på 2.5 m³/s.



Figur 23- Skisse av den nye overløpsutformingen, alternativ 3

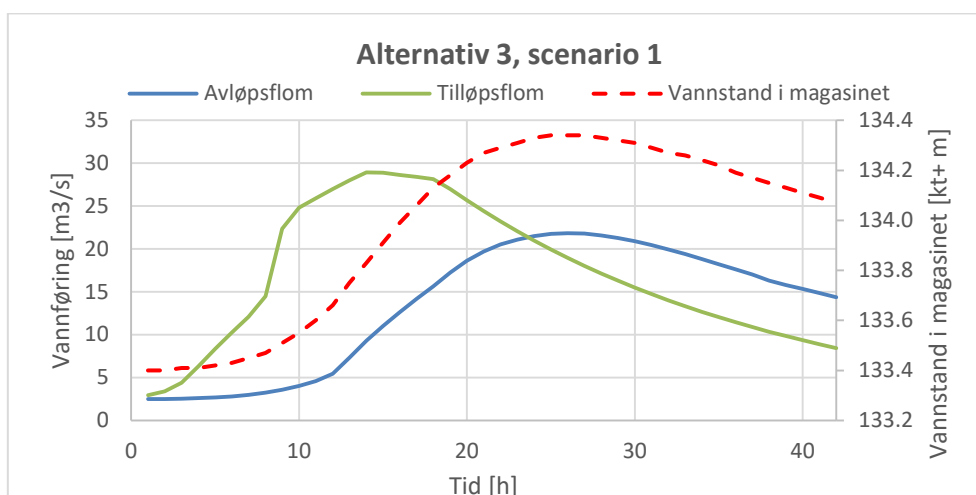
Kapasitetskurven er konstruert med bruk av ligning 1. Fra kt 133.0 er det kun det nye overløpet som bidrar til vannføringen (7m lengde). Fra kt 133.7 m er det både hoved- og sideoverløpet (4m bredde) som bidrar til vannføringen. Fra kt 134.15 m bidrar i tillegg den tredje delen av overløpet som er en terskel med effektiv lengde 3m og bredde 2m.



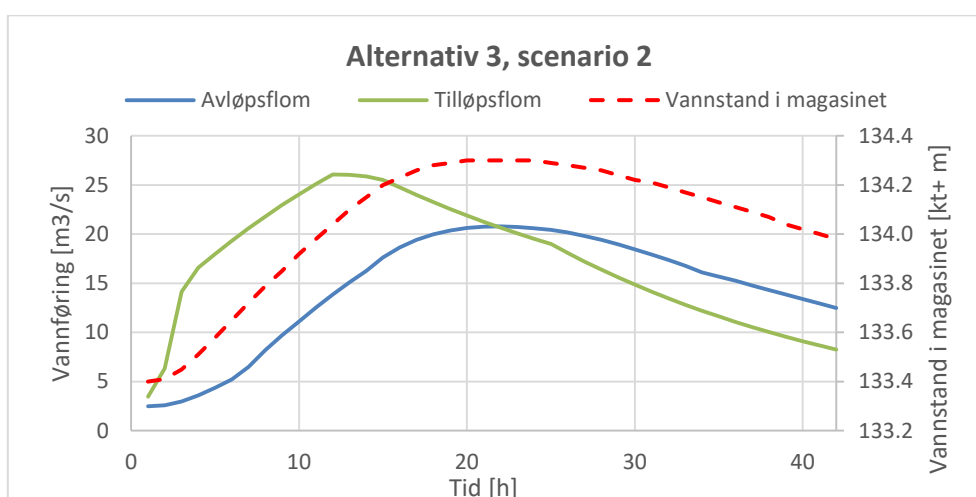
Figur 24- Kapasitetskurve for overløpet, alternativ 3;

Tabell 10- Numeriske verdier av kapasitetskurve for overløpet, alternativ 3

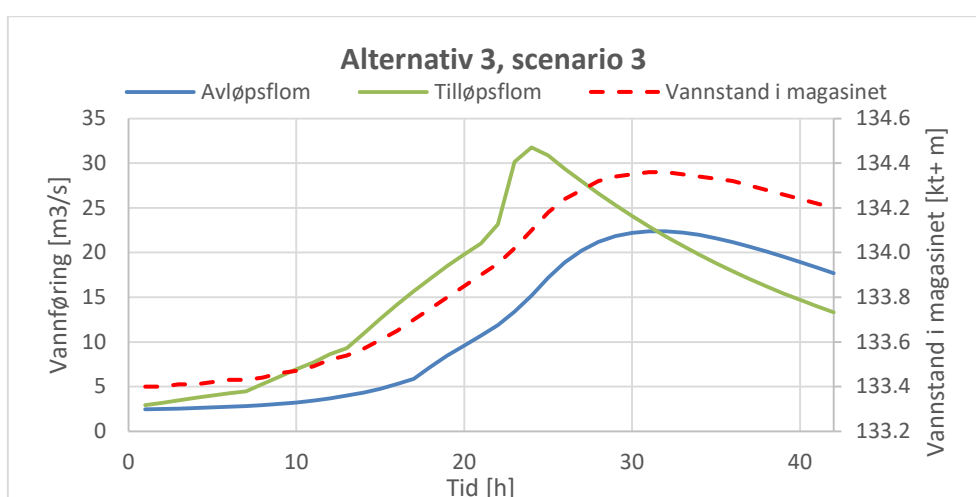
H(m)	133.4	133.5	133.6	133.7	133.8	134	134.15	134.4	134.7
Q(m ³ /s)	2.5	3.5	4.6	5.9	8.6	12.9	16.2	23.6	32.1



Figur 25 Routing av Q200 gjennom magasinet alternativ 3, scenario 1



Figur 26 Routing av Q200 gjennom magasinet alternativ 3, scenario 2



Figur 27 Routing av Q200 gjennom magasinet alternativ 3, scenario 3

Tabell 11- Resultater (kulminasjonsvannføring), Heving av overløpet, alternativ 3

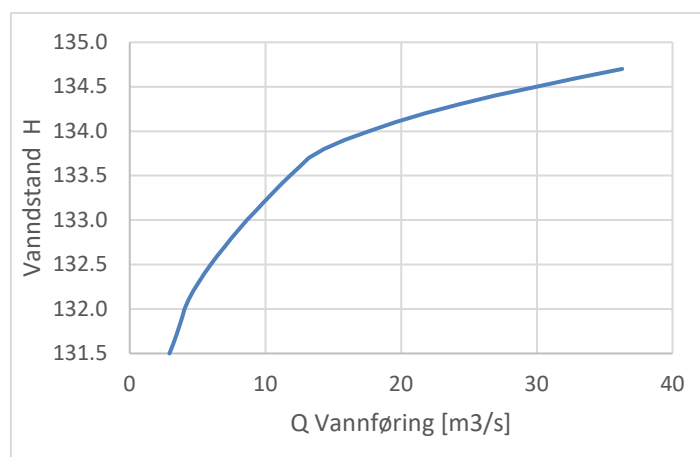
	Tilløpsflom (m ³ /s)	Avløpsflom (m ³ /s)	Vannstandendring (m) Fra kt.133.4		Flomtopp forsinkelse (timer)
Scenario 1	29	22	1.0	til 134.4	12
Scenario 2	26	21	1.0	til 134.4	10
Scenario 3	32	23	1.0	til 134.4	8

5.5 ALTERNATIV 4 - Ny utforming på overløpet og bruk av luke, (kombinasjon av 1 og 2)

Den gamle åpningen er delvis stengt og overløpet har en bredde på 2m og høyden er på kt. 133.7m (tilsvarende alternativ 2). Bunntappeluken står åpen og magasinet er permanent tappet ned (tilsvarende alternativ 1).

Initialvannstand er satt til kt. 131.5m (overkant av bunntappeluken).

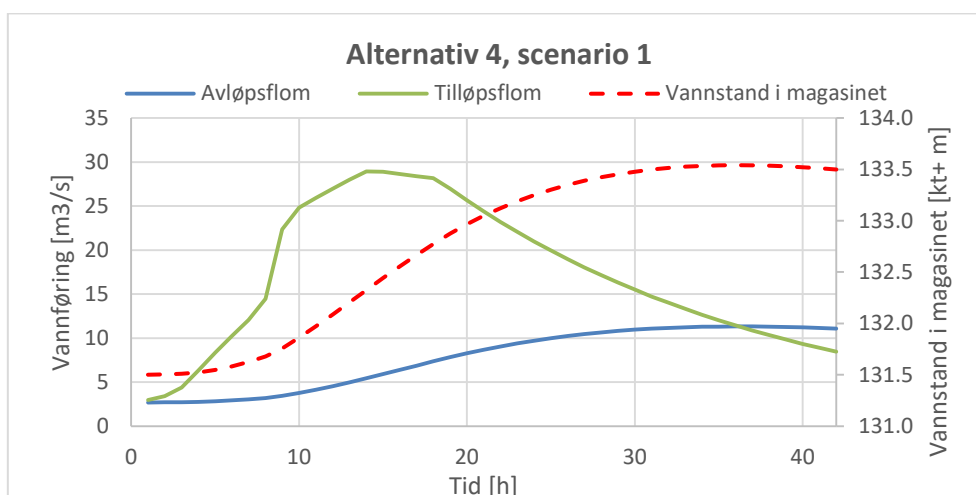
Kapasitetskurven er konstruert med bruk av likning 1 og likning 2. Fra kt.131.5 m til kt 132m er vannføringen kun gjennom luken. Fra kt 132 m er det åpningen med en terskel med lengde 2m som bidrar til vannføringen, i tillegg. Fra kt. 133.7 m begynner de to andre sideterskelene å bidra. De har en samlet effektiv lengde på 9m (4m i fra den gamle terskelen og samlet 5m i fra den nybygde delen). Fra kt 133.15 bidrar i tillegg den tredje delen av overløpet som er en terskel med effektiv lengde 3m og bredde 2m.



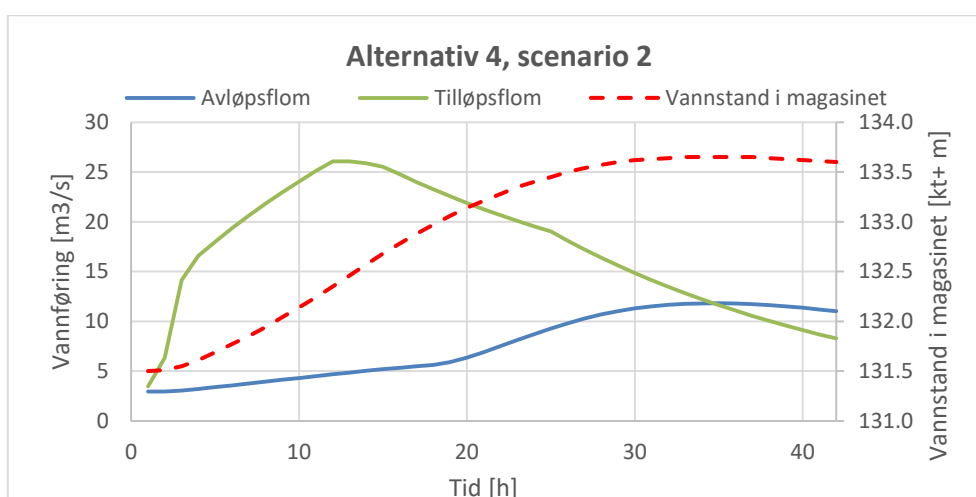
Figur 28- Kapasitetskurven for overløp, alternativ 4;

Tabell 12- Numeriske verdier av kapasitetskurve for overløpet, alternativ 4

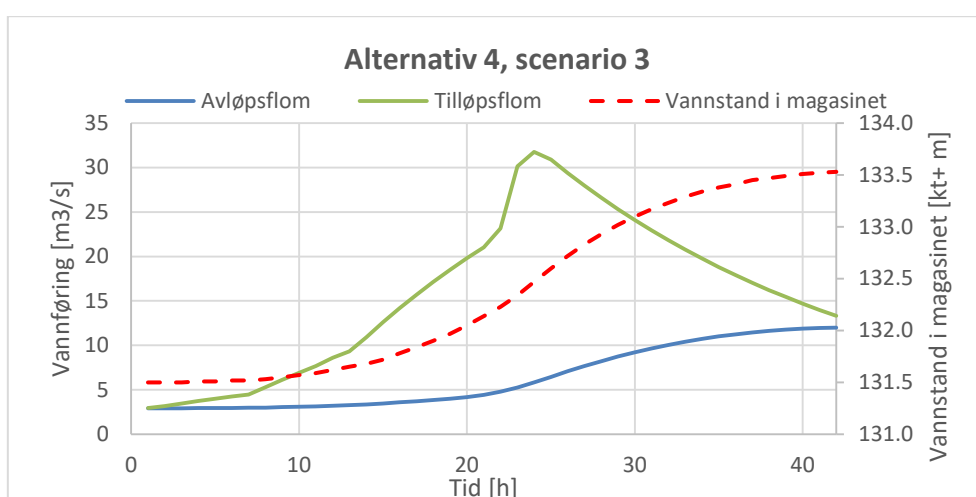
H(m)	131.5	132.1	132.6	132.8	133.2	133.7	134.1	134.4	134.7
Q(m ³ /s)	2.9	4.3	6.5	7.5	9.9	13.2	19.5	27.0	36.3



Figur 29 Routing av Q200 gjennom magasinet alternativ 4, scenario 1



Figur 30 Routing av Q200 gjennom magasinet alternativ 4, scenario 2



Figur 31 Routing av Q200 gjennom magasinet alternativ 4, scenario 3

Resultat:

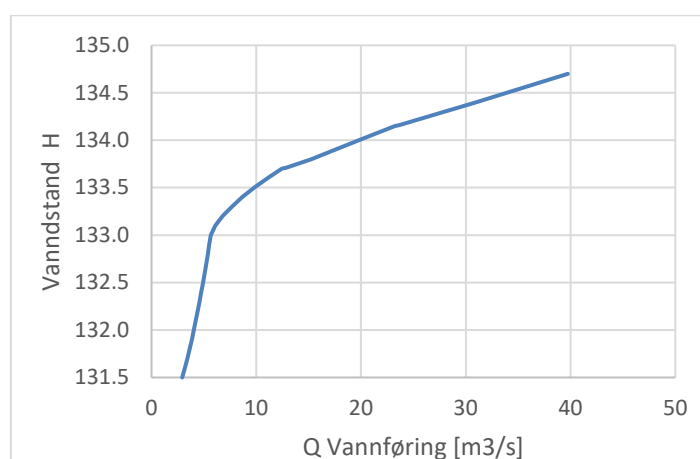
Tabell 13- Resultater (kulminasjonsvannføring), Alternativ 4

	Tilløpsflom (m ³ /s)	Avløpsflom (m ³ /s)	Vannstandendring (m) Fra kt 131.5m		Flomtopp forsinkelse (timer)
Scenario 1	29	11	2.0	Til 133.5	24
Scenario 2	26	11	2.0	Til 133.5	24
Scenario 3	32	12	2.0	Til 133.5	18

5.6 ALTERNATIV 5 - Nytt overløp og bruk av luken, (kombinasjon av 1 og 3)

Eksisterende overløp er hevet 1m (tilsvarende alternativ 3). Bunntappeluken står åpen og magasinet er permanent tappet ned (tilsvarende alternativ 1).

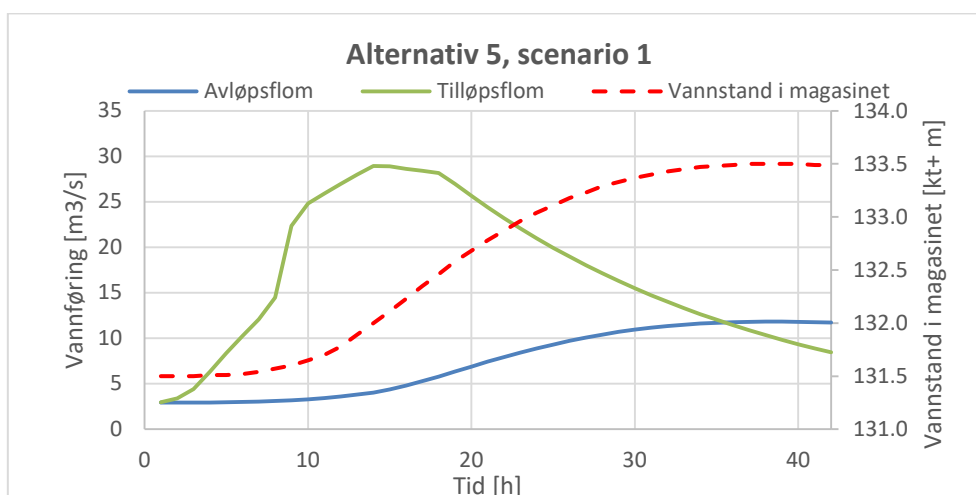
Kapasitetskurven er konstruert med bruk av likning 1 og likning 2. Fra kt. 131.5m til kt. 133m er det kun luken som bidrar til vannføringen. Fra kt. 133 m bidrar det nye overløpet (7m lengde), i tillegg til vannføringen. Fra kt. 133.7 er det både hoved- og sideoverløpet (4m effektiv lengde) som bidrar til vannføringen. Fra kt 134.15 bidrar i tillegg den tredje delen av overløpet som er en terskel med effektiv lengde 3m og bredde 2m. Initialvannstand er satt til kt. 131.5m.



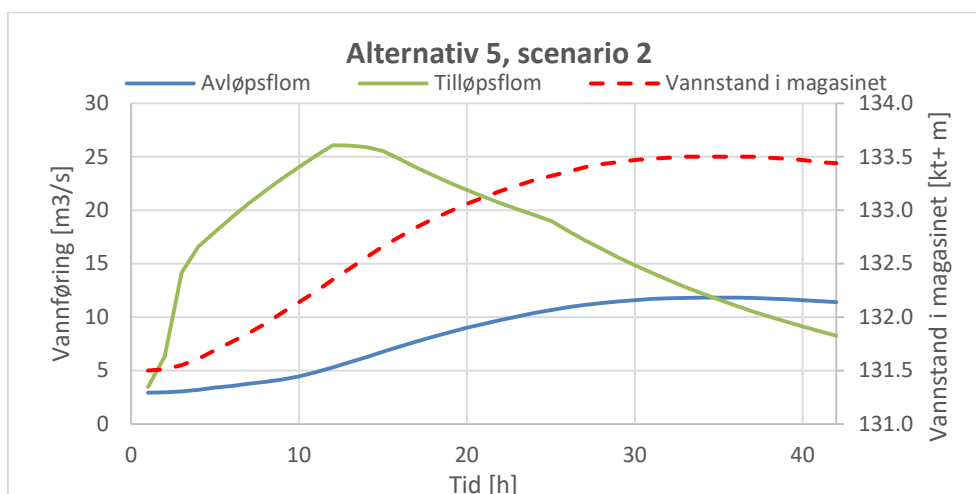
Figur 32 Kapasitetskurven for overløpet, alternativ 5;

Tabell 14- Numeriske verdier av kapasitetskurve for overløpet, alternativ 5

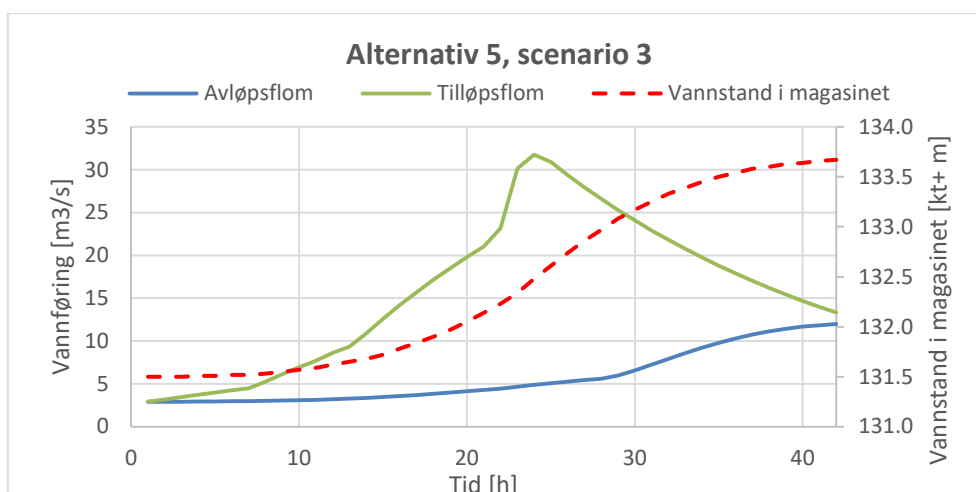
H(m)	131.5	132.6	133	133.5	133.7	134	134.15	134.4	134.7
Q(m ³ /s)	2.9	5.1	5.7	9.8	12.4	19.8	23.2	31.0	39.7



Figur 33 Routing av Q200 gjennom magasinet alternativ 5, scenario 1



Figur 34 Routing av Q200 gjennom magasinet alternativ 5, scenario 2



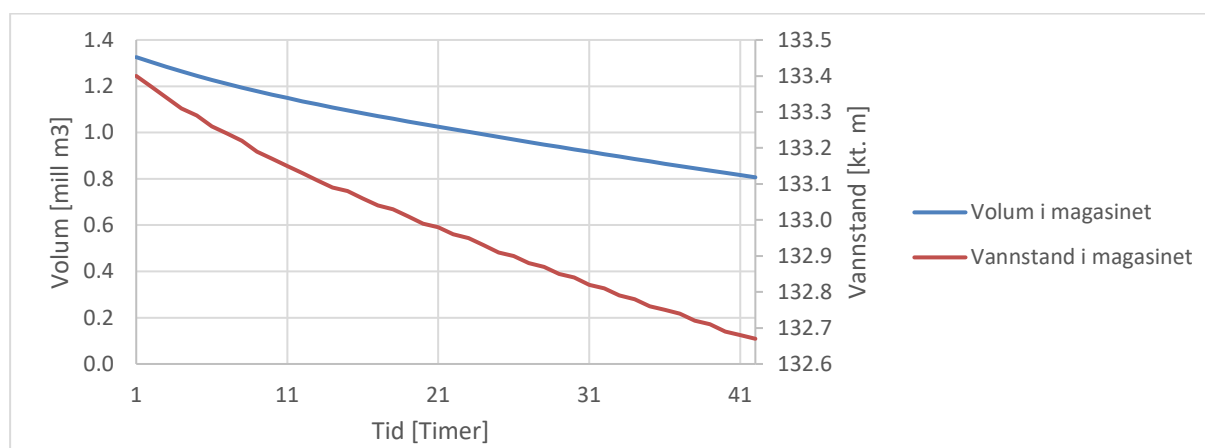
Figur 35 Flomfordeling ut fra magasinet alternativ 5, scenario 3

Tabell 15- Resultater (kulminasjonsvannføring), Alternativ 5

	Tilløpsflom (m³/s)	Avløpsflom (m³/s)	Vannstandendring (m) Fra kt. 131.5		Flomtopp forsinkelse (timer)
Scenario 1	29	12	2.0	Til 133.5	24
Scenario 2	26	12	2.0	Til 133.5	22
Scenario 3	32	12	2.2	Til 133.7	18

5.7 ALTERNATIV 6- Tapping av magasinet før flommen

Et annet alternativ er å tappe ned magasinet ved bruk av bunntappelken før flommen kommer. Initial vannstand er størst for alternativ 3 (kt 133.4 m). Tapping vil derfor foregå raskest for dette alternativet som derfor velges som utgangspunkt for beregningen. Antagelsen i beregningene er videre at tilsiget til magasinet er lik 3 ganger den årlige middelavrenningen (ca. 2.5m/s) gjennom hele nedtappingstiden.



Figur 36- Vannstand og volum forløp ved nedtapping av magasinet

Resultat:

En og halv dag med nedtapping vil senke vannstanden ca. 0.7m og gi plass til 0.5mill m3 vann, dette er ikke nok til å utnytte dempningsmuligheten til magasinet fullstendig. Å bruke luken for å senke vannstanden før flommen med dagens situasjon eller sammen med tiltaket fra alternativ 2 vil ta enda lengre tid. I tilfelle magasinet blir full etter den første flomhendelsen er det nødvendig med minst 1.5 dag til den neste flomhendelsen for at dempningseffekten av magasinet skal bli betydelig. Dette gjelder alle alternativer.

5.8 Samlede resultater

Tabell 16- Samlede resultater for avløpsflom fra magasinet

	Tilløpsflo m	Avløpsflom	Magasinets dempningseffekt	Forbedring i forhold til dagens situasjon	Vannstandsending		Flomtopp forsinkelse
	(m³/s)	(m³/s)	(%)	(%)	(m)		(timer)
Dagens situasjon				Fra 132.4			
Scenario 1	29	20	31	0	1.1	Til 133.5	14
Scenario 2	26	19	27	0	1.1	Til 133.5	12
Scenario 3	32	20	38	0	1.1	Til 133.5	10
Alternativ 1				Fra 131.5			
Scenario 1	29	17	41	15	1.5	til 134	15
Scenario 2	26	17	35	11	1.5	til 134	16
Scenario 3	32	18	44	10	1.5	til 134	13
Alternativ 2				Fra 132.8			
Scenario 1	29	18	38	10	1.5	til 134.3	16
Scenario 2	26	17	35	11	1.5	til 134.3	15
Scenario 3	32	19	41	5	1.5	til 134.3	11
Alternativ 3				Fra 133.4			
Scenario 1	29	22	24	-10	1.0	til 134.4	12
Scenario 2	26	21	19	-11	1.0	til 134.4	10
Scenario 3	32	23	28	-15	1.0	til 134.4	8
Alternativ 4 (1+2)				Fra 131.5m			
Scenario 1	29	11	61	43	2.0	Til 133.5	24
Scenario 2	26	12	54	37	2.0	Til 133.5	24
Scenario 3	32	12	63	40	2.0	Til 133.5	18
Alternativ 5 (1+3)				Fra 131.5			
Scenario 1	29	12	59	40	2.0	Til 133.5	24
Scenario 2	26	12	54	37	2.0	Til 133.5	22
Scenario 3	32	12	63	40	2.2	Til 133.7	18

5.9 Samlet flomstørrelse for hele vassdraget, til samløp med Audna

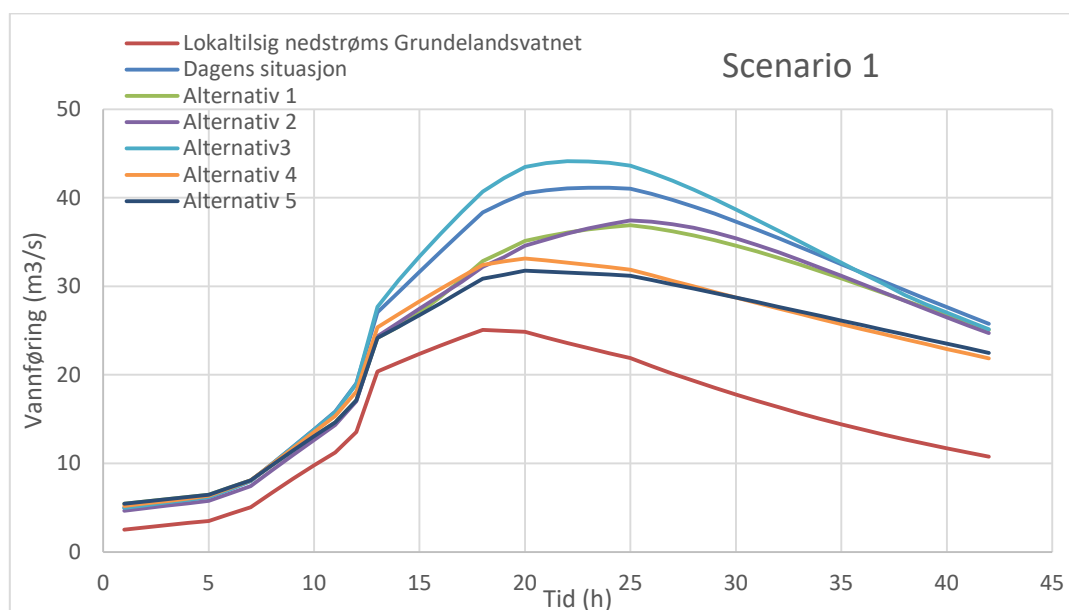
For å bestemme vannføringen for hele vassdraget til samløp med Audna må avløpsflommen fra magasinet suppleres med avrenningen fra nedbørfeltet nedstrøms magasinet (se figur 3 og figur 4).

Karmodellen PQRUT er benyttet for å beregne avrenningen fra nedbørfeltet nedstrøms magasinet ved bruk av nedbørdata for de tre scenarioene og feltparametre fra tabell 1.

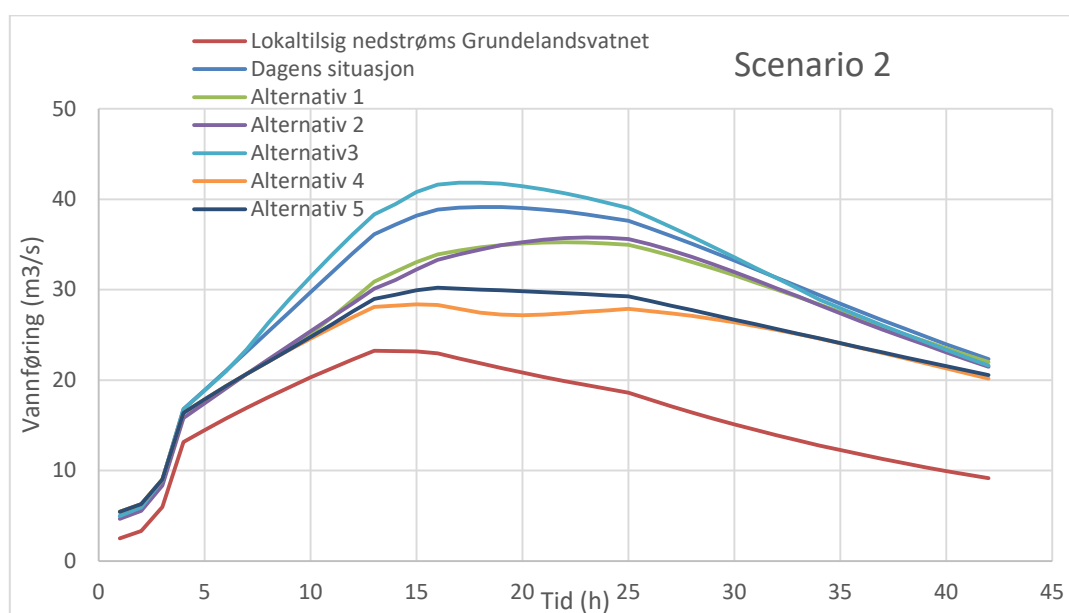
Tabell 17- Kulminasjonsverdier for avrenning fra nedbørfeltet nedstrøms magasinet for de tre ulike scenarioene

	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
Kulminasjonsvannføring	25.1 m ³ /s	23.2 m ³ /s	28.1 m ³ /s

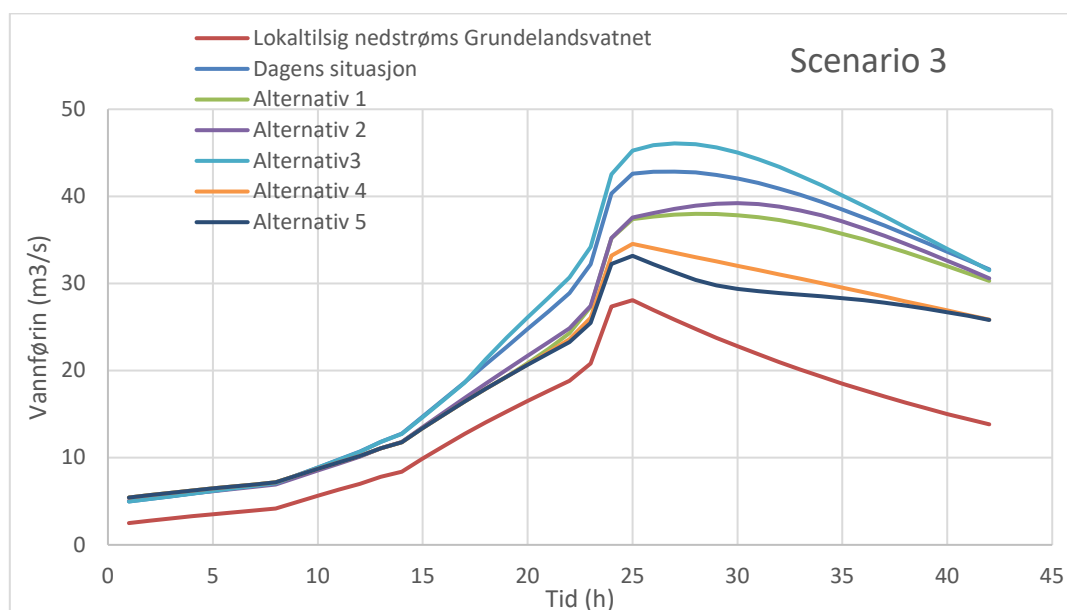
Figur 37, 38 og 39 viser de summerte hydrogrammene for hele nedbørfeltet og for de ulike tiltaksalternativene for de tre beregnede nedbørscenarioene. Det antas ingen forsinkelse av avløpsflommen i forhold til tilsiget fra nedbørfeltet nedstrøms magasinet. Det vil si at avløpet fra magasinet kulminerer samtidig med kulminasjonen for tilsiget fra nedbørfeltet nedstrøms magasinet.



Figur 37 Samlet avløpsflom for hele nedbørsfeltet, Scenario 1



Figur 38 Samlet avløpsflom for hele nedbørsfeltet, Scenario 2



Figur 39 Samlet avløpsflom for hele nedbørsfeltet, Scenario 3

Tabell 18 viser kulminasjonsverdier for samlet avløpsflom (Q) for ulike scenario og endring på størrelsen av flomtoppen i forhold til dagens situasjon for hele nedbørsfeltet til samløp med Audna.

Tabell 18- Samlet avløpsflom for hele nedbørsfeltet (kulminasjonsverdier)

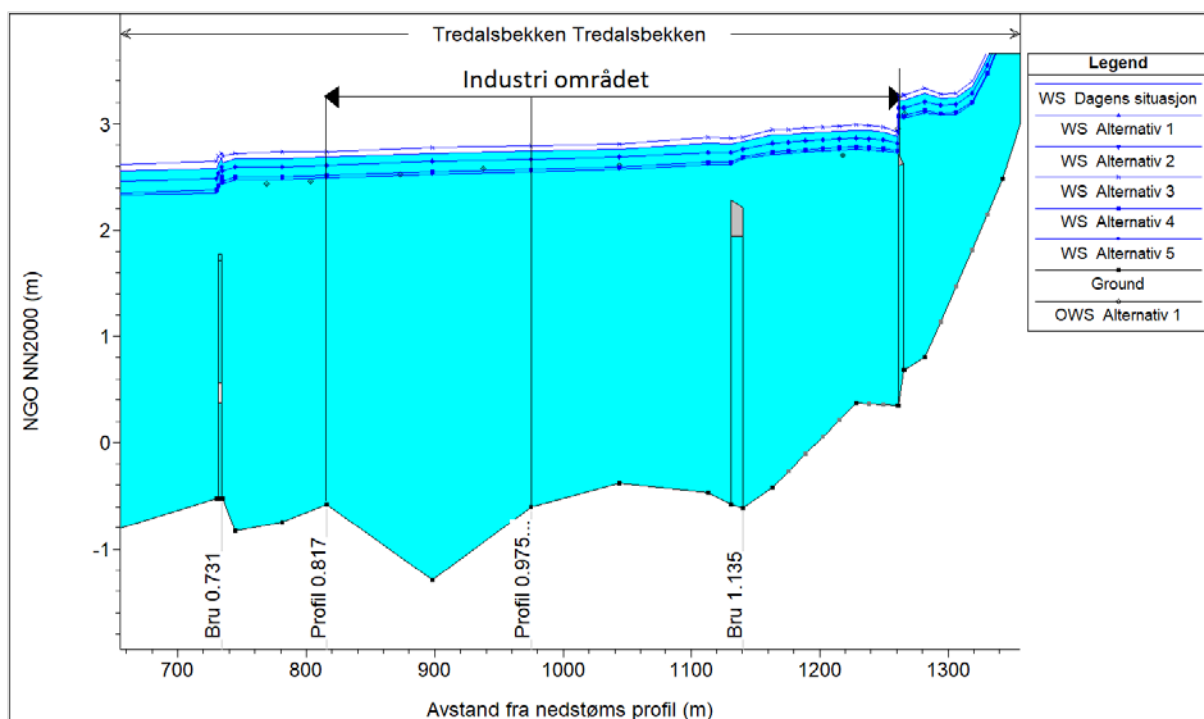
Q-kulminasjonsverdi for samlet avløpsflom Endring- endring på størrelsen av flomtoppen i forhold til dagens situasjon		Scenario 1		Scenario 2		Scenario 3	
		Q	Endring	Q	Endring	Q	Endring
		m³/s	%	m³/s	%	m³/s	%
Dagens situasjon		41	-	39	-	43	-
Alternativ:	Foreslått tiltak						
1	Åpning av bunntappeløpet og permanent senking av magasinet	37	10	35	10	38	11
2	Oppbygging av dammen (Delvis stenging av flomløpet)	37	9	36	9	39	8
3	Oppbygging av dammen (Heving av flomløpet i hele lengden)	44	-7	42	-7	46	-8
4	Kombinasjon av 1 og 2	33	19	30	23	35	19
5	Kombinasjon av 1 og 3	32	23	28	27	33	23

6 Vannlinjeberegning for en 200-årsflom etter gjennomføring av de ulike fordrøyningsiltakene (Alternativ 1-5)

En hydraulisk modell for Tredalsvassdraget har blitt konstruert ved bruk av programvaren HEC-RAS. Se NVE *Notat*- «Dokumentasjon av vannlinjeberegninger for Tredalsvassdraget» [5] for en nærmere beskrivelse av dette arbeidet.

Modellen beregner vannstander ut fra vannføring og gir dermed mulighet for å simulere hvor mye en gitt reduksjon av vannføring i Tredalsbekken vil redusere vannstandene langs vassdraget.

Figuren 40 viser vannlinjer på strekningen rundt industriområdet. Tabel 19 viser forskjell i vannstand i profil 0.975 som er plassert i industri området.



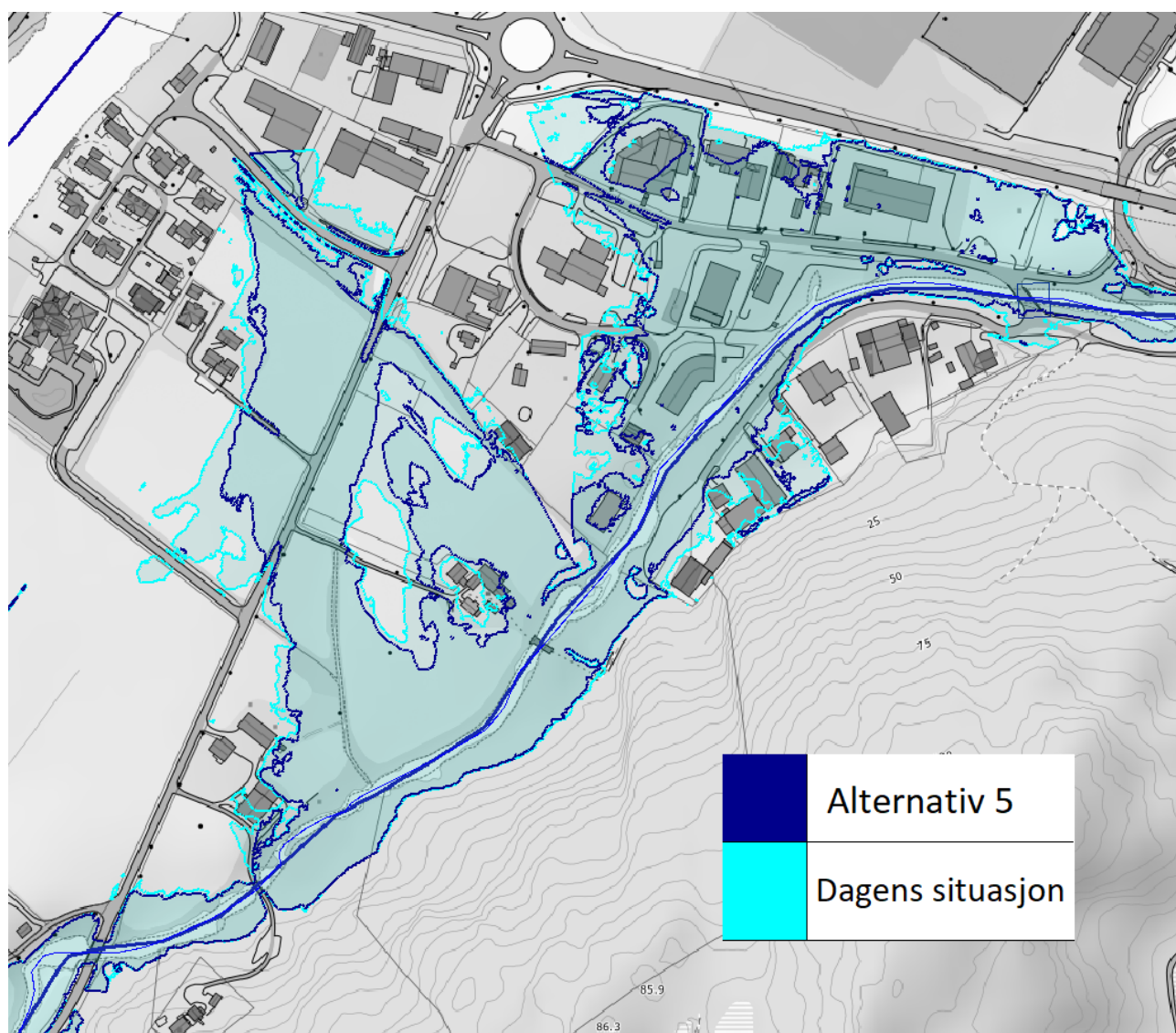
Figur 40- Vannlinje for ulike alternativ, Hestehaven industriområde, 200-årsflom

Fordrøyningsalternativene 4 og 5 gir den største vannstandsreduksjonen tilsvarende ca 0.2m i profil 0.975 for en 200-årsflom-

Tabell 19 Vannstandsending i profil 0.975(industri området) for ulike tiltak i forhold til dagens situasjon ved en 200-årsflom

	Dagens situasjon	Alternativ 1	Alternativ 2	Alternativ 3	Alternativ 4	Alternativ 5
Vannstand i profil 0.975	Kt+ 2.75	Kt+ 2.66	Kt+ 2.66	Kt+ 2.79	Kt+ 2.57	Kt+ 2.55

Figuren nedenfor viser området som blir oversvømmet under en 200-årsflom etter gjennomføring av fordrøyningsiltakene fra enten alternativene 4 eller 5 (de med størst dempningseffekt). Resultatet viser kun en liten forbedring i flomsituasjon rundt industriområdet. Det er derfor nødvendig å supplere med andre typer sikringstiltak for å sikre mot en såpass stor flom som en 200-årshendelse.



Figur 41- Flomsonekart, Hestehaven industriområdet, Alternativ 5 og dagens situasjon, for en 200-årsflom

7 Konklusjon

I tidligere beregninger NVE *Notat- «Dokumentasjon av vannlinjeberegninger for Tredalsvassdraget»* [5] er det vurdert og antatt at flomvannføringer fra Audna og Tredalsbekken kulminerer samtidig. For alle tilfeller bortsett fra alternativ 3 vil kulminasjonsvannføringen bli lavere enn dagens situasjon, uavhengig av flomvarigheten. Det vil si at det ikke blir noen negativ effekt fra forsinkelsen av flomtoppen i forhold til samtidighetshendelser med Audna.

- Alternativ 1- Størrelsen på dempningseffekten er for liten til å gi en vesentlig forbedring i det nedre feltet (industriområdet) ved en flomhendelse. Vannstanden i Grundelandsvatnet er senket permanent.
- Alternativ 2- Størrelsen på dempningseffekten er for liten til å gi en vesentlig forbedring i det nedre feltet (industriområdet) ved en flomhendelse. Vannstanden i Grundelandsvatnet er hevet permanent.
- Alternativ 3- Gir en negativ effekt. Størrelsen på flommen nedstrøms Grundelandsvatnet øker og vannstander ved en flom stiger tilsvarende.
- Alternativ 4 -En vesentlig økning av dempningseffekten. Hvis luken blir sperret før flommen, viser resultatene fra alternativ 2 at det vil ikke ha noen større konsekvenser i forhold til dagens situasjon.
- Alternativ 5 - Gir de beste resultatene, men hvis luken blir sperret før flommen kan det føre til økt vannføring nedstrøms Grundelandsvatnet. Resultatene fra alternativ 3 viser at størrelsen på avløpsflommen vil øke.
- Alternativ 6- Senking av magasinet før flommen ved bruk av bunntappeluku vurderes som en dårlig løsning da det krever for lang tid.

Alternativ 4 vurderes som den beste løsning med hensyn til størrelsen på dempningseffekten og konsekvenser ved evt sperring av bunntappeluku før flommen. En mer detaljert vurdering av størrelsen og geometrien på åpningen er nødvendig. Det kan være mulig å oppnå enda større dempningseffekt og mindre vannstandsvariasjon.

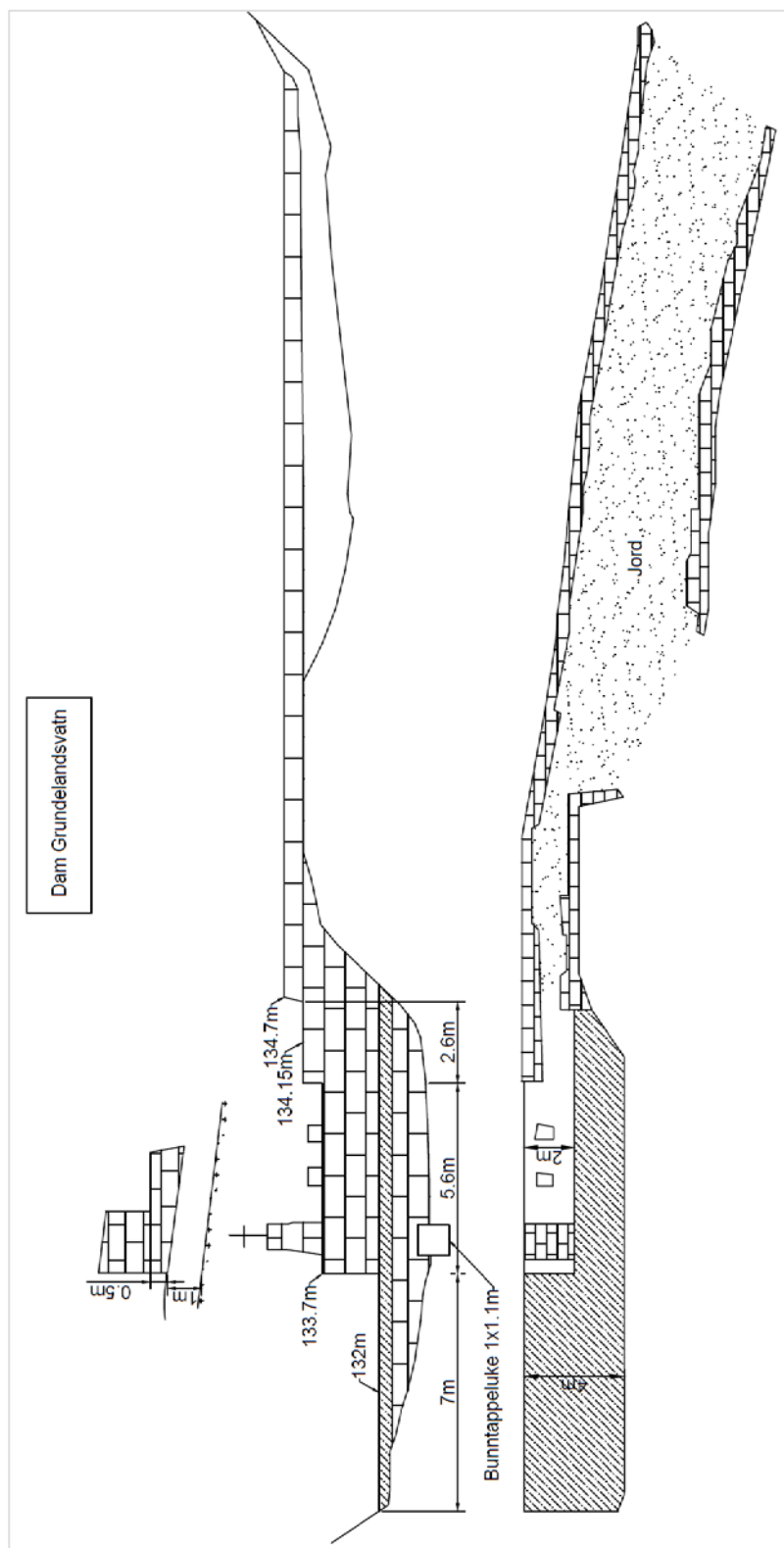
Som beskrevet ovenfor vil alternativ 4 føre til lavere normalvannstand og litt økt flomvannstand (Q200) i Grundelandsvatnet. En lavere normalvannstand vil bl.a. ha estetiske og miljømessige konsekvenser mens den litt høyere flomvannstanden vil øke belastningen på dammen som allerede vurderes å være i relativt dårlig forfatning. Dersom dette alternativet vurderes som aktuelt å jobbe videre med må disse konsekvensene utredes og vurderes nærmere.

Det er viktig å nevne at alle alternativene har blitt vurdert for situasjoner med utgangspunkt i at magasinet er tomt før nedbørhendelsen inntreffer. Alternativ 6 viser at hvis magasinet blir fullt er det nødvendig med minst 1.5 dags pause før neste nedbørhendelse slik at magasinet rekke å bli tappet ned og dermed ivareta den teoretiske dempningseffekten.

8 Referanser

1. NVE-Veileder nr. 7/2015 [Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt](#) Forfattere: Seija Stenius, Per Alve Glad, Thea Karoline Wang, Thomas Væringstad
2. NVE-Retningslinjer nr. 4/2011 [Retningslinjer for flomberegninger](#) Forfattere: Grethe Holm Midttømme, Lars Evan Pettersson, Erik Holmqvist, Øystein Nøtsund, Hege Hisdal, Roar Sivertsgård
3. NVE-Rapport nr. 2/1983 [Hydrologisk modell for flomberegninger](#) Forfattere: Jan H. Andersen, Tor Hjukse, Lars Roald, Nils Roar Sælthun
4. NVE-Retningslinjer nr.2/2005 [Retningslinjer for flomløp](#)
5. NVE- Notat- Dokumentasjon av vannlinjeberegninger for Tredalsvassdraget, Lindesnes kommune, Vest- Agder 6/2018, Forfatter: S.Perzyna
6. NVE- Notat- Flomberegning for Tredalsvassdraget, Lindesnes kommune, Vest- Agder.6/2018, Forfatter: S.Perzyna

Vedlegg1- Damskisse, for dagens situasjon



Vedlegg 2- Bilder av dammen



Vedlegg 3- Tidligere Rapporter

NVE - Vassdragsdirektoratet
Vassdragstilsynet

RAPPORT

Inspeksjon vedrørende

Mandal kommune
damanlegg i Trødalsvassdraget, Vest-Agder Elektrisitetsverk, Vassdrag 122

Utført av

Dato

Gunnar Solberg

10.06.85

Driftsingeniør Steinar Eskeland var med på synfaringen.

Trødal kraftstasjon er forlengst nedlagt, men damanleggene står. De hørte før til Mandals Elektrisitetsverk som nå er gått inn i Vest-Agder Elektrisitetsverk.

Såvidt en kan se foreligger det ingen konsesjon for reguleringen og heller intet manøvreringsreglement, men i forbindelse med spørsmål om nedlegging er dammene blitt inspisert av Vassdragstilsynet den 07.06.58 og 12.10.70.

Inntaksdam Slottelona

Magasinet var fullt og tilsiget som nå var lite gikk i flomløpet på høyre side.

Dammen er en ca 32 m lang murdam med største høgd ved rørintaket på venstre side målt til 5,30 m. Flomløpet har en bredde på 2,20 m. Topp dam til venstre for dette var 2,0 m. Oppstrøms side vertikal, nedstrøms side helling ca 1:5. Fugene er spekket med sementmørtel på begge sider. Noen fuger var løse, men ellers så dammen ut til å være i god stand. På partiet mellom flomløp og tappeløp sås litt lekkasje og ved rørintaket til venstre for tappeluka var lekkasje, anslått til 10 l/s. Ellers var dammen tett.

Trær (en furu på ca 3 m) og noen busker på krona og i nedstrøms skråning må fjernes.

Magasinet er lite, men dammen har vasstrykk over 4 m og må derfor i samsvar med damforskriftene legges under offentlig tilsyn. Vi må få tilsendt tegning av dammen.

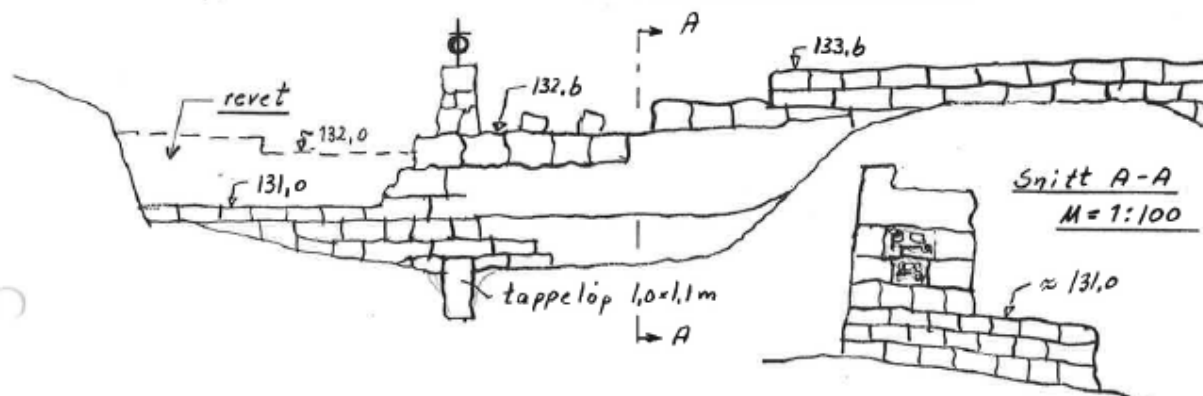
Reguleringsdam Grundelandsvatn

Dammen består av følgende tre partier fra venstre side:

1. Murdam med sentral jordkjerne. Bredde 5,80m og største høgd 3 m.
2. Murdam der begge sider er fuget og (antakelig) røys i midten. Kronebredde 2 m. Profilet har et sprang på nedstrøms side slik at bunnbredden blir vel 4 m.
3. Flomløpsparti m/tappeløp av samme konstruksjon som parti 2. Største damhøgd ca 5 m. Opprinnelig overløp var lagt til dette partiet på 3 forskjellige nivå med dyppartiet på kote 132 over en lengde på 5 m.

En av oppsitterne ved vatnet klagde over forsumping av jorden ved
høg vasstand. Av den grunn ble høyre side av dammen inklusiv nedre
flomløp revet ned til spranget i tverrsnittet, jfr. skisse.

Oppriss av nedstrøms side HM=1:100 LM=1:200



Overløpet som nå ligger på ca kote 131 er dermed blitt senket ca 1
m. Det har en lengde på 8 m. Av merker på fjellet kan en tydelig se
at det har vært røysmur i betong i midtsonen av den damdelen som er
revet. Planene for senkningen ble sendt oss av Mandals Elektrisi-
tetsverk 07.12.72 og godkjent av oss i brev av 13.12.72.

Under synfaringen randt det bare litt i overløpet og lekkasjen i
dammens venstre del - nevnt i forrige rapport - kunne en nå ikke
merke. Der er imidlertid mange trær og busker som må ryddes. Til
dammen ellers var ikke noe spesielt å merke.

Grundelandsvatn har stor sjøflate så oppdemt magasin er fortsatt
over 0,5 mill.m³ og dammen må legges under offentlig tilsyn.

Vassdragstilsynet 25.06.85

Gunnar Solberg
Gunnar Solberg

Sivilingeniør Bjarne Sundt.

VASSDRAGSTILSYNET

J. m. 9/1958

Oslo den 24. juni 1958.

Rapport

fra inspeksjon 7. juni 1958 av dammer og kraftanlegg for Trødal Kraftstasjon, Mandal Elektrisitetsverk.

Inspeksjonen ble foretatt sammen med driftsbestyrer Trovaag og maskinmester Gulbrandsen.

Mandal Elektrisitetsverk meddelte i brev av 13. august 1957 til Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen at det ^{hadde} besluttet å nedlegge Trødal kraftstasjon med tilhørende 5 kV fjernledning. Årsaken til dette var at anlegget nå var så nedslitt at det ikke var regningsssvarende å opprettholde driften.

Inspeksjonen ble foretatt på foranledning av denne meddelelse.

Reguleringsdam Grundelandsvatn.

Dammen består av tre partier. Bruddstensdam med sentral jordkjerne. Kronebredde 5 m. Bruddstensdam med fuget for- og bakside og (antagelig) røys i midten. Kronebredde 2 m. Flomløpsparti av lignende konstruksjon, samlet overløpslengde ca. 10 m. Bunntappeløp, treluke ca. 1 x 1 m.

Dammen var i dårlig forfatning, blant annet var det en ^{vesentlig} lekkasje gjennom bruddstensdammen med jordkjerne. Damkronen var her skogbevokst. Maksimal høyde ved flomløpspartiet 3 - 4 m.

Inntaksdam Slottelona.

Dammen var utført i bruddsten med spekkede fuger på vann og luftside. Maksimal høyde ved rørinntak 4 - 5 m. Kronebredde ca. 2 m. Forside vertikal, bakside hellning 1 : 5. Dammen var tett bortsett fra en del fugt ved overløpspartiet. Det ble opplyst at inntaksluken var tett.

Kraftstasjonen.

Stasjonen var utført i betong, med tretak.