

Statkraft Energi AS

► Hydraulisk modellering av vannstrengen Norefjorden - Kravikfjorden

Nore redesign

Oppdragsnr.: 52306096 Dokumentnr.: R03 Versjon: J03 Dato: 2024-09-20



Oppdragsgiver: Statkraft Energi AS
Oppdragsgivers kontaktperson: Rita Berthelsen Johnsen / Hanne Ommedal
Rådgiver: Norconsult Norge AS,
Oppdragsleder: Franziska Ludescher-Huber
Fagansvarlig: Carolina Frias Uribe
Andre nøkkelpersoner: Trond Rinde, Aslak Løvoll

J03	2024-09-20	Oppdatert etter målinger av vannstand og produksjonsvannføringer	C. F. Uribe	A. Løvoll	F. Ludescher-Huber
J02	2024-04-24	Oppdatert etter kommentar fra oppdragsgiver	C. F. Uribe	A. Løvoll	F. Ludescher-Huber
B01	2024-02-16	For kommentarer hos oppdragsgiver	C. F. Uribe	T. Rinde	F. Ludescher-Huber
Versjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult som del av det oppdraget som dokumentet omhandler. Opphavsretten tilhører Norconsult. Dokumentet må bare benyttes til det formål som oppdragsavtalen beskriver, og må ikke kopieres eller gjøres tilgjengelig på annen måte eller i større utstrekning enn formålet tilsier.

Sammendrag

Statkraft vurderer muligheter for å erstatte Nore 1 og Nore 2 kraftverk, enten med ett nytt kraftverk eller med to nye kraftverker «i serie». Utbyggingsmulighetene er følgende

- 1) Scenario C1 med inntak i Tunhovdfjorden og utløp i Norefjorden (i konsesjonssøknaden kalles scenario C1 for utbyggingsalternativ Nytt Nore kraftverk).
- 2) Scenario C2 er en teknisk forbedret versjon av dagens utbygginger, med et Nytt Nore 1 med inntak i Tunhovdfjorden og utløp i Rødbergdammen og med et Nytt Nore 2 med inntak i Rødbergdammen og utløp i Norefjorden (i konsesjonssøknaden kalles scenario C2 for Nytt Nore 1 og 2). Begge alternativene omfatter økt effekt og slukeevner i kraftverkene.

I forbindelse med scenario C1 er det behov for å vurdere når vann fra det nye kraftverket vil nå inntaket til Mykstufoss kraftverk. I tillegg er det behov for å vurdere vannstandsvariasjoner i Norefjorden. Denne rapporten omtaler strømningsforholdene i vannstrengen Norefjorden - Kravikfjorden i dagens situasjon (A0) og med scenario C1. Blant annet er det vurdert mulige trange partier i Eidstryken som kan være bestemmende for vannstand i Norefjorden, samt vannstandsendringer i Norefjorden og Kravikfjorden som følge av variasjoner i produksjonsvannføringer.

For vurderingene er det utarbeidet en én-dimensjonal hydraulisk modell i Hec-Ras. Modellen inkluderer dybder i Norefjorden og Kravikfjorden estimert ut ifra papirkart. Ved bruk av den hydrauliske modellen er det utarbeidet en vannføringskurve for utløpet av Norefjorden. I tillegg er det utført en ruting av produksjonsvannføringer for dagens situasjon og for et Nytt Nore kraftverk med større slukeevne.

Norconsult har mottatt produksjonsvannføringer for dagens situasjon (A0) og Nytt Nore med scenario C1 for tre spesifikke uker. Disse ukene representerer middels – lave tilsig, middels – høye tilsig og svært høye tilsig. I dagens situasjon og ved middels – lave tilsig varierer vannføringen i Nore 2 (med utløp i oppstrøms ende av Norefjorden) mellom ca. 30 m³/s og 70 m³/s. Ved middels – høye og svært høye tilsig er vannføringen i Nore 2 på det meste stabil på ca. 70 m³/s. Med scenario C1 vil vannføringen inn i oppstrøms ende av Norefjorden variere mellom 0 m³/s og 120 m³/s uavhengig av tilsigsituasjon.

Raske endringer i driftsvannføringen vil bli dempet i Norefjorden og særlig i Kravikfjorden. Variasjoner i driftsvannføringen i scenario C1 er slik at det ikke nås en stabil situasjon/vannføring ved utløpet av Norefjorden (heller ikke ved Kravikfjorden). Derfor er de maksimale vannføringene avhengig av tidspunktet til reduksjon/stans av produksjonen.

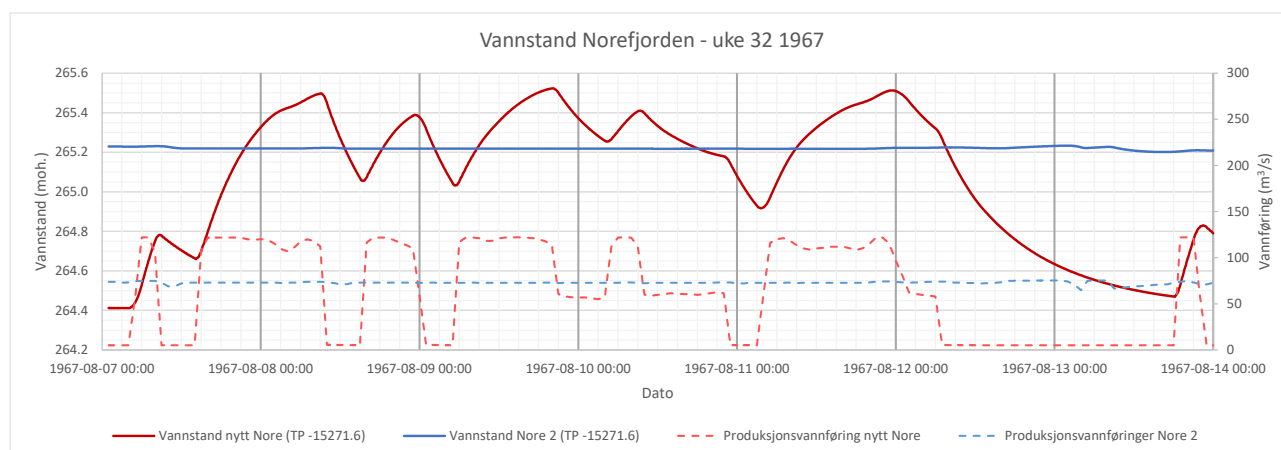
Resultater viser at maksimal vannføring nås i utløpet av Norefjorden ca. 13 minutter etter stans av produksjonen. Maksimal vannføring ved Kjerredammen nås ca. 2 timer etter stans av produksjonen i oppstrøms ende av Norefjorden. Mens produksjonsvannføringene varierer mellom 0 og 120 m³/s, varierer vannføringene ved Kjerredammen under normal drift mellom 40/50 m³/s og 100 m³/s.

Kjøremønsteret for scenario C1 vil medføre større vannstandsvariasjoner i Norefjorden enn dagens kjøremønster. Med Nytt Nore kraftverk vil vannføringen kunne endres fra 120 til 0 m³/s i løpet av kort tid. Det vil ikke være uvanlig med vannstandsvariasjoner på 40-50 cm, men dette vil skje i løpet av flere timer (7 – 17 timer). Ved en langvarig stans i produksjonen kan man få en senkning av vannstanden på opptil ca. 1 m (i løpet av 36 timer), se Figur 1-1. I dagens situasjon er senkningen ved langvarig stans av produksjonen opptil 0,5 m (i løpet av 7/10 timer), da vannføringen kun senkes fra ca. 70 til 0 m³/s.

Tabell 1-1 viser en oppsummering av de beregnede vannstandsendingene i Norefjorden. Vannstandsvariasjoner i Norefjorden vil være noe mindre ved større vannføringer i vassdraget (minstevannføring eller driftsvannføringen fra Ulvdal II).

Tabell 1-1 Oppsummering av vannstandsendinger i Norefjorden.

Scenario:	Uke 5 1967	Uke 22 1941	Uke 32 1967	Tid for stigning eller senkning (timer)	Endringshastighet (cm/ time)
Stigning (cm)	50	-	-	9	6
Senkning (cm)	50	-	-	7	7
Stigning (cm)	-	50	-	16	3
Senkning (cm)	-	60	-	10	6
Stigning (cm)	-	-	60	16	4
Senkning (cm)	-	-	100	36	3



Figur 1-1 Vannstand i Norefjorden med produksjonsvannføring i uke 32 i 1967, scenario A0 (Nore 2) og C1 (Nytt Nore kraftverk). Produksjonsvannføringer for hvert scenario er vist med stiplede linjer.

Det er utført en kontroll/ validering av den hydrauliske modellen ved å sammenligne de simulerte vannstandene med observasjoner av driftsvannføring ved Nore II og Ulvdal II sammen med registrerte vannstander i Norefjorden (ved Vrenne og Eidstryken). Det konkluderes at den hydrauliske modellen representerer forholdsvis bra vannstandsvariasjoner i Norefjorden og at resulterende vannstandseningninger er konservative. Tidsforskyvningen antyder at magasinet tømmes saktere enn hva som er simulert, og dette medfører at det vil være noe unøyaktigheter på tidspunktet produksjonsvannet kommer inn i Kravikfjorden.

Konsekvensene av vannstandsendingene er ikke vurdert i dette notatet.

► Innhold

1	Innledning	7
2	Grunnlag for beregninger	10
2.1	Terrengmodell	10
2.2	Magasinkart	10
2.3	Hydraulisk modell	14
2.4	Bruer	15
2.5	Kjerredammen og Mykstufoss kraftverk	16
2.6	Vannføringer	18
3	Kalibrering av modellen	21
3.1	Kalibrering mot normalvannstand i Norefjorden	21
3.2	Vannføringskurve for Norefjorden	23
3.3	Kontroll/ validering av modellen mot målte vannstander og produksjonsvannføringer	24
4	Resultater av simulering av produksjonsvannføringer	28
4.1	Ruting av produksjonsvannføringer i dagens situasjon (A0) og med nytt Nore (C1)	28
4.1.1	<i>Produksjonsvannføringer i uke 5 i 1967 (middels – lave vannføringer)</i>	30
4.1.2	<i>Produksjonsvannføringer i uke 22 i 1941 (middels – høye vannføringer)</i>	32
4.1.3	<i>Produksjonsvannføringer i uke 32 i 1967 (svært høye vannføringer)</i>	34
4.1.4	<i>Oppsummering av resultater</i>	36
4.2	Simuleringer med «standard»-kjøremønstre	39
4.3	Usikkerheter	45
5	Referanser	46
	Vedlegg	47
1	Tidsserier	48
1.1	Vannføringer i uke 5 i 1967 – A0	48
1.2	Vannføringer i uke 5 i 1967 – C1	49
1.3	Vannstand i utvalgte profiler med produksjonsvannføring i uke 5 i 1967, scenario A0 og C1	50
1.4	Vannføringer i uke 22 i 1941 – A0	51
1.5	Vannføringer i uke 22 i 1941 – C1	52
1.6	Vannstand i utvalgte profiler med produksjonsvannføring i uke 22 i 1941, scenario A0 og C1	52
1.7	Vannføringer i uke 32 i 1967 – A0	53
1.8	Vannføringer i uke 32 i 1967 – C1	54
1.9	Vannstand i utvalgte profiler med produksjonsvannføring i uke 32 i 1967, scenario A0 og C1	55
2	Kort beskrivelse av bølger	57

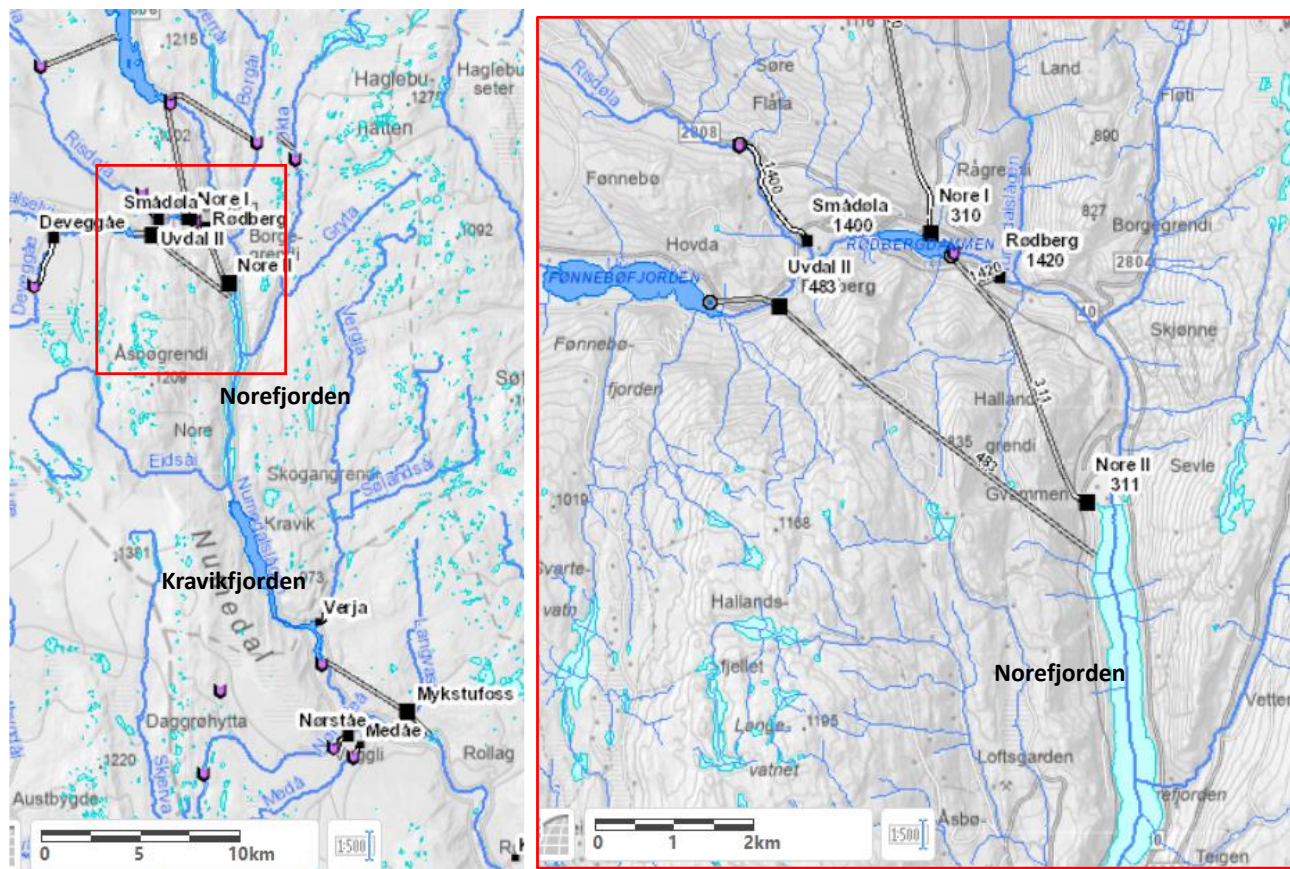
1 Innledning

Statkraft vurderer muligheter for å erstatte Nore 1 og Nore 2 kraftverk med et nytt kraftverk. Alternativ C1 har inntak i Tunhovdfjorden og utløp i Norefjorden. Alternativ C2 er en teknisk forbedret versjon av dagens utbygging, med et nytt Nore 1 med inntak i Tunhovdfjorden og utløp i Røddbergdammen og med et nytt Nore 2 med inntak i Røddbergdammen og utløp i Norefjorden. Begge alternativene omfatter økt effekt og slukeevner i kraftverkene. Dette notatet vurderer strømningsforholdene i vannstrengen Norefjorden - Kravikfjorden i dagens situasjon (A0) og med alternativ C1.

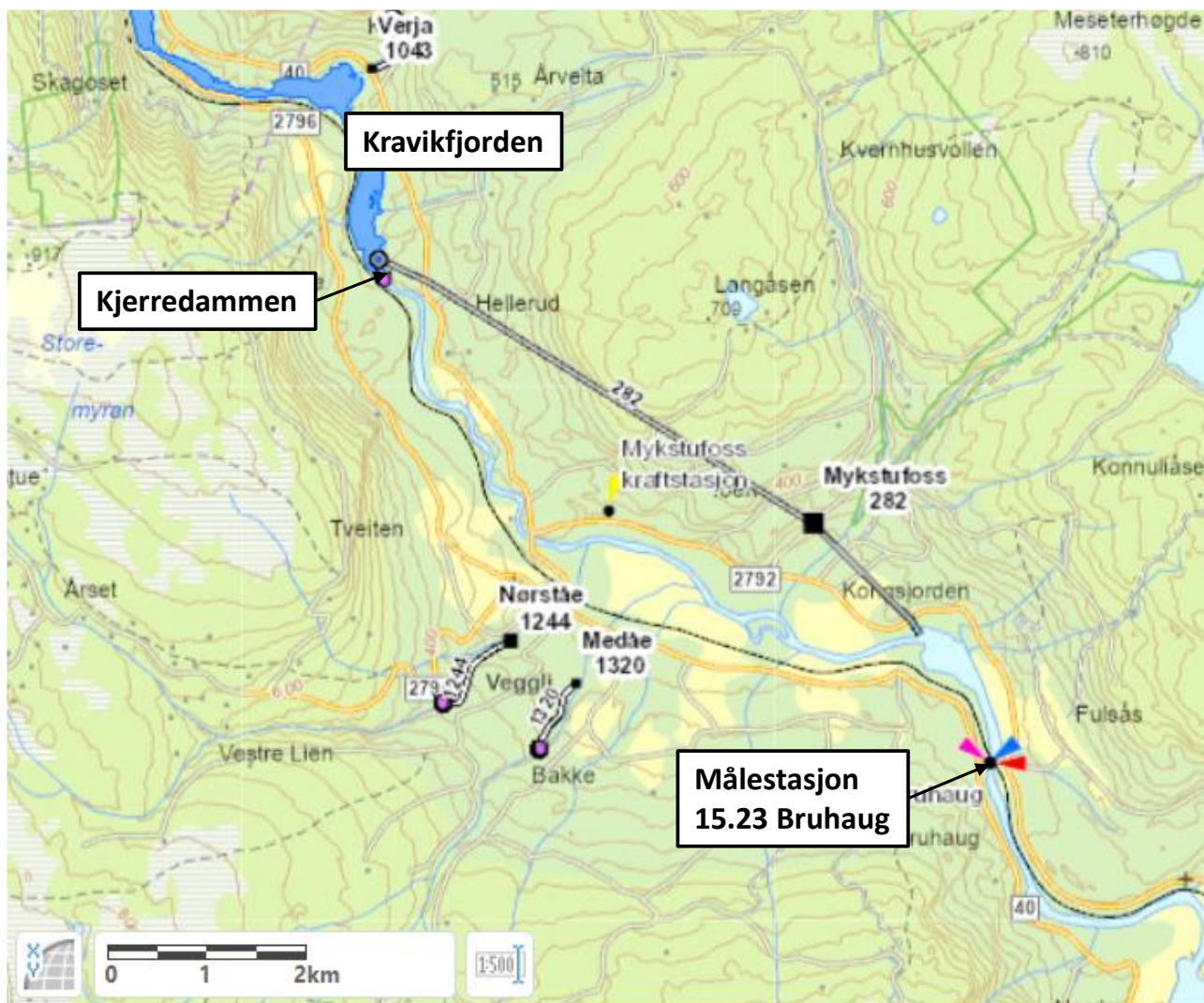
I NVE Atlas er normalvannstand i Norefjorden oppgitt til 265 moh., mens normalvannstand ved Kravikfjorden er oppgitt til 262 moh. Mellom Norefjorden og Kravikfjorden ligger Eidstryken, med en høydeforskjell på ca. 3 m. Ved utløpet av Kravikfjorden ligger Kjerredammen og inntaket til Mykstufoss kraftverk.

I dette notatet er det vurdert om trange partier i Eidstryken kan være bestemmende for vannstanden i Norefjorden, og hvilke vannstandsendringer som vil oppstå i Norefjorden og Kravikfjorden som følge av endring i produksjonsvannføringer med det nye kraftverket.

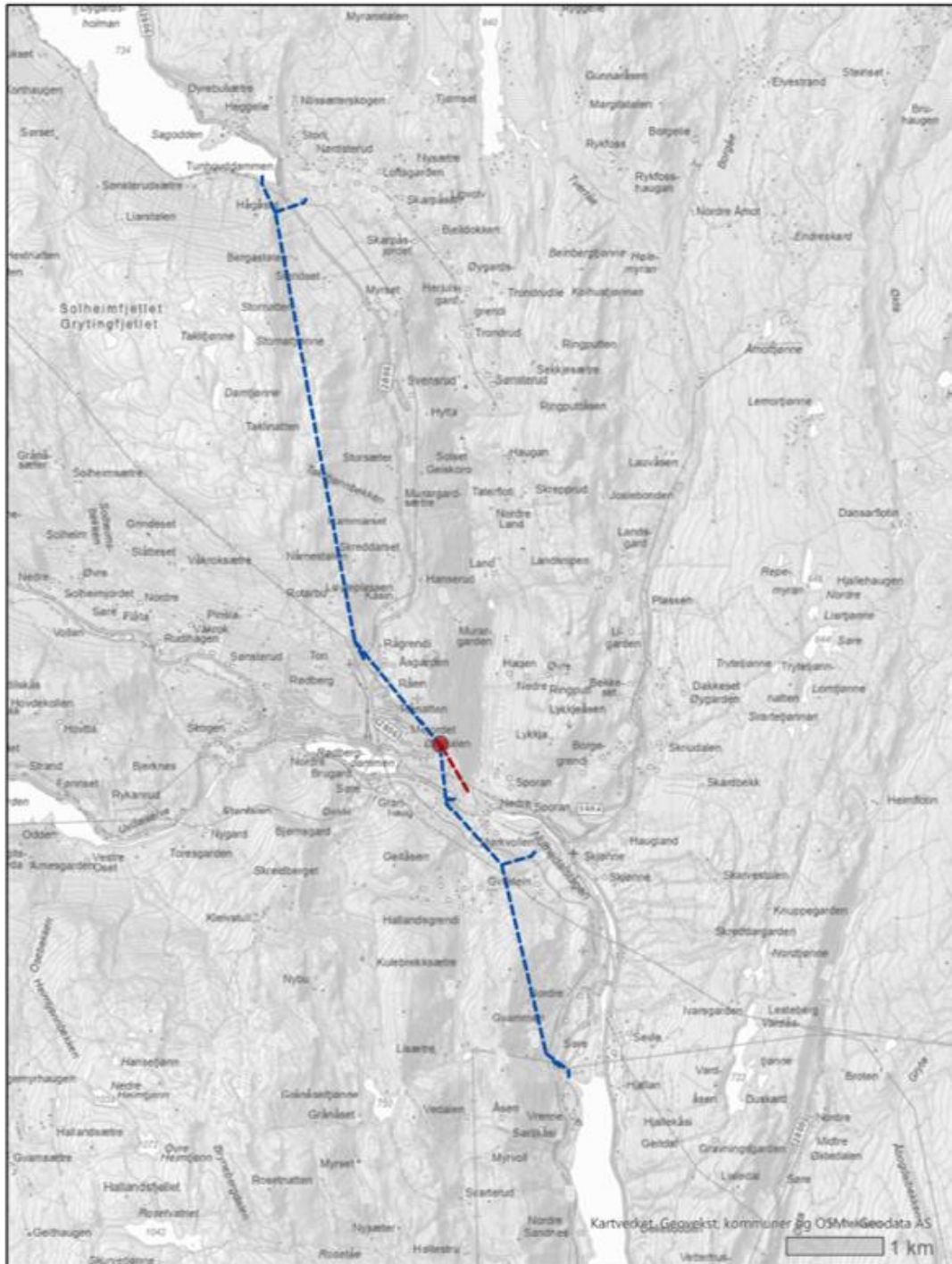
Figur 1-1 og Figur 1-2 viser en oversikt for dagens situasjon, mens Figur 1-3 viser en skisse av alternativ C1.



Figur 1-1 Oversikt over beregningstreking inkludert kraftstasjoner



Figur 1-2 Oversikt over nedre delen av Kravikfjorden med Kjerredammen og Mykstufoss kraftverk



Figur 1-3 Skisse over det vurderte alternativet C1

2 Grunnlag for beregninger

2.1 Terrengmodell

Alle tilgjengelige høydemodeller fra Høydedata [1] er vurdert og de som hadde laveste vannstand ved laserskanningen er benyttet. I den nordre delen av prosjektområdet (Norefjorden) er høydemodellen fra 2017 benyttet, mens i den nederste delen av prosjektområdet (Kravikfjorden) er høydemodellen fra 2010 benyttet. For Eidstryken er modellen fra 2010 benyttet.

Terrengmodellene er i høydesystem NN2000.

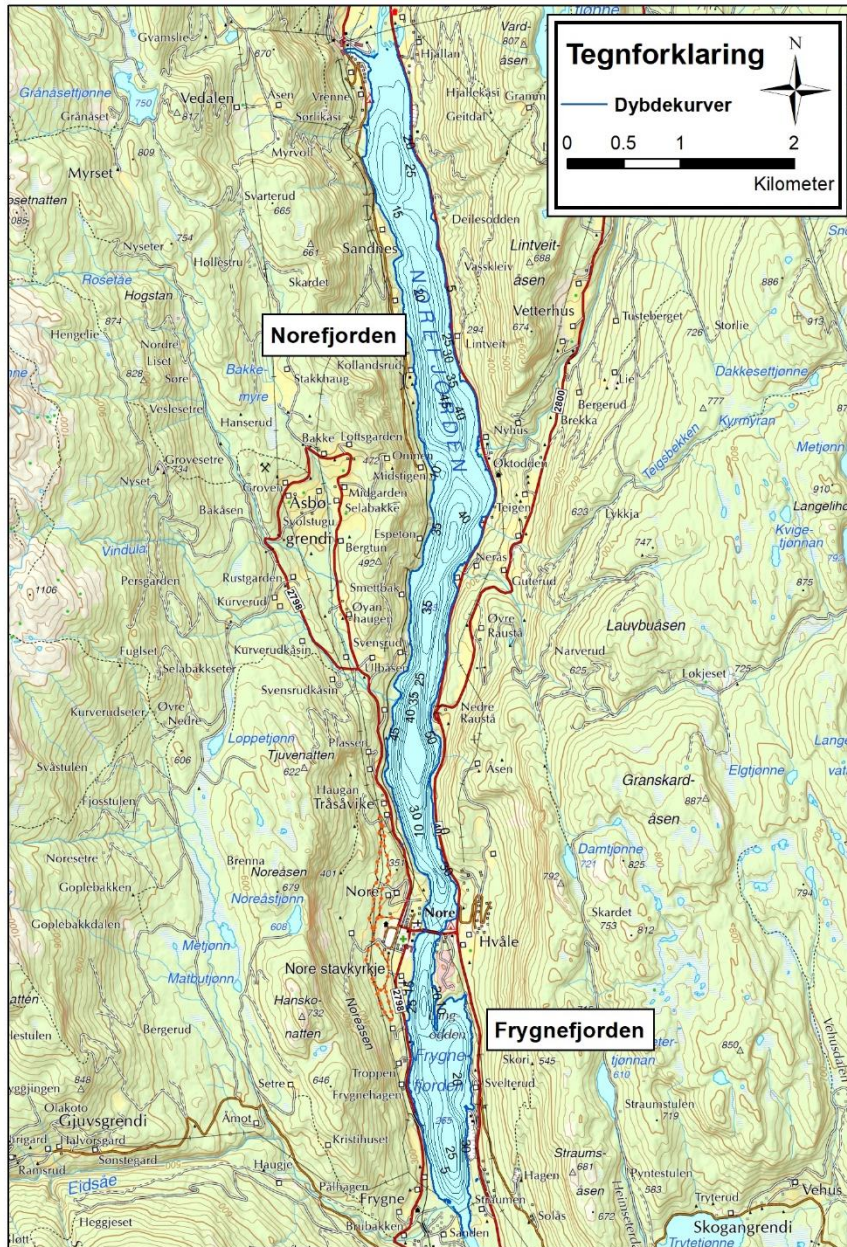
For å få en idé om vannføring i vassdraget ved skanningstidspunktene er det brukt vannføringer fra målestasjonen 15.23 Bruhaug. Dato for laserskanningene og samtidig registrerte vannføringer ved målestasjon 15.23 Bruhaug er vist i Tabell 2-1. Målestasjonen ligger i Numedalslågen ca. 9,5 km nedstrøms Kjerredammen og ca. 1,6 km nedstrøms utløpet til Mykstufoss kraftverk. Plasseringen av målestasjonen er vist i Figur 1-2.

Tabell 2-1 Opplysninger om høydemodeller benyttet i beregninger og vannføring i Numedalslågen nedstrøms Kravikfjorden ved skanningstidspunktene

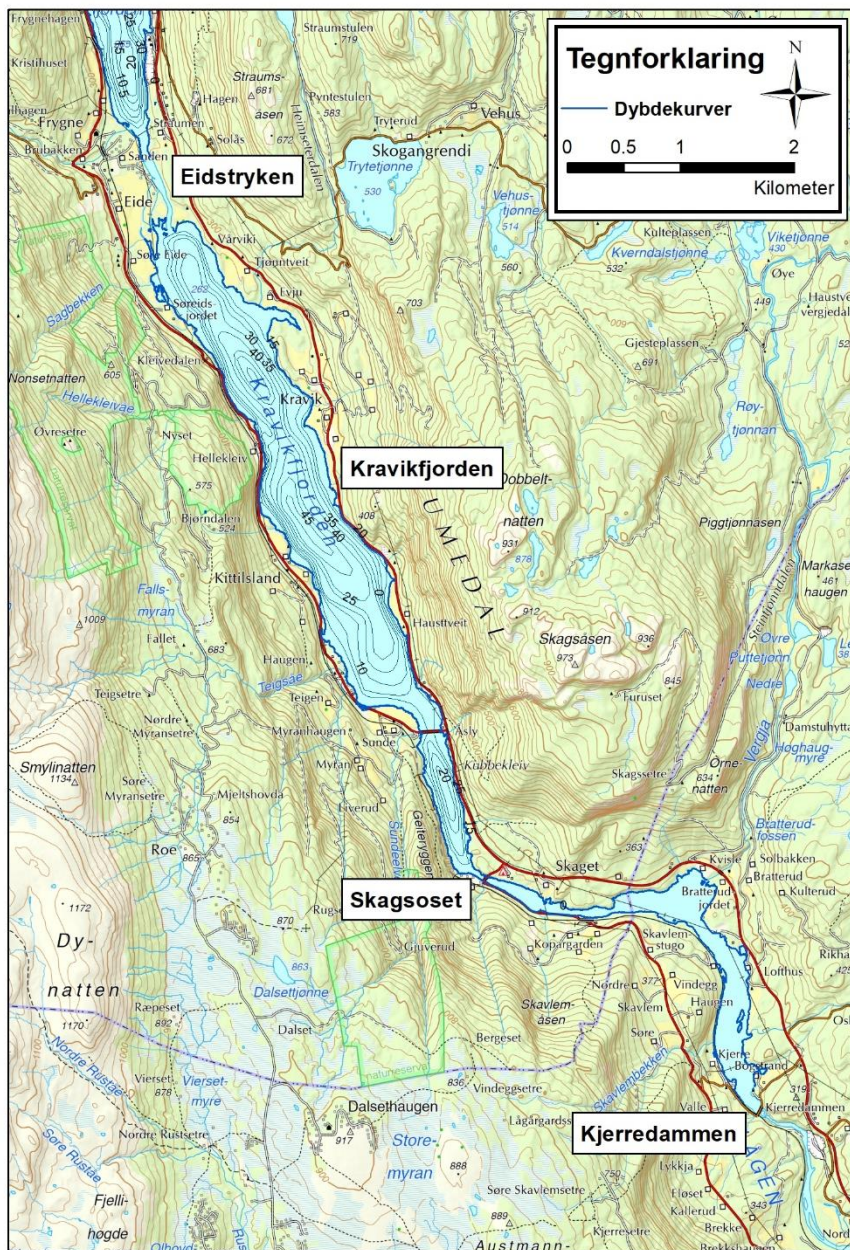
Prosjekt	Dato for laserskanning	Vannføring v/ 15.23 Bruhaug (m ³ /s)
Nore og Uvdal 2010, 1 punkt/ m ²	2010-08-30	61
Flesberg – Rollag - Øvre Eiker 2017, 5 pkt/ m ²	2017-06-17	85

2.2 Magasinkart

Dybdekart for Norefjorden og Kravikfjorden er innhentet fra NVE Atlas [2]. Dybdekartene foreligger i PDF og vi har digitalisert disse i ArcGIS. De digitaliserte dybdekartene er vist i Figur 2-1 (Norefjorden) og Figur 2-2 (Kravikfjorden). For Kravikfjorden finnes det ingen dybdekurver for strekningen mellom Skagsoset og Kjerredammen, da det opprinnelige utløpet til Kravikfjorden lå ved Skagsoset. Dybdene på denne strekningen er skjønnsmessig vurdert.

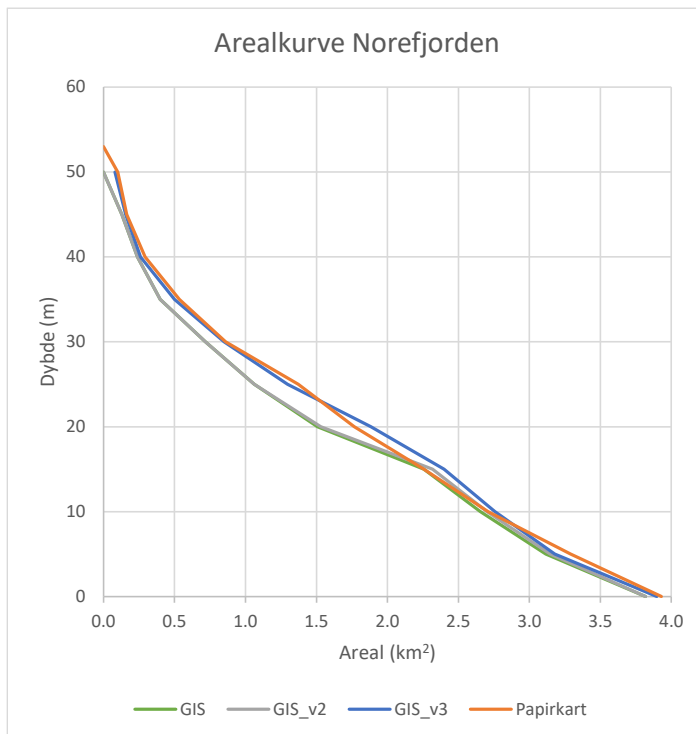


Figur 2-1 Oversikt dybdekart for Norefjorden utarbeidet basert på papirkart hentet fra NVE Atlas [2]

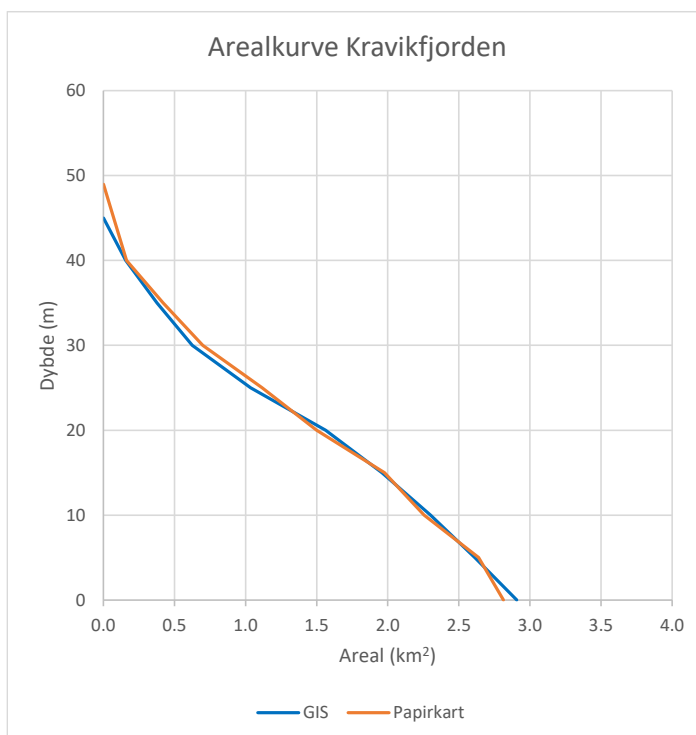


Figur 2-2 Oversikt dybdekart for Kravikfjorden utarbeidet basert på papirkart hentet fra NVE Atlas [2]

Ved bruk av Arc Gis verktøy er arealkurver beregnet fra de digitaliserte dybdekurvene, og kontrollert mot arealkurvene oppgitt i papirkartene. For Norefjorden ble de digitaliserte kurvene justert for å få bedre tilpassing i øvre delen av magasinet. Arealkurvene beregnet med Arc GIS og fra papirkartet er vist i Figur 2-3 (Norefjorden) og Figur 2-4 (Kravikfjorden).



Figur 2-3 Arealkurver for Norefjorden



Figur 2-4 Arealkurver for Kravikfjorden

2.3 Hydraulisk modell

Det er utarbeidet en én-dimensjonal hydraulisk modell i simuleringsprogrammet Hec-Ras. Figur 2-5 viser en oversikt av modellen. Tverrprofiler er hentet fra terrengmodellen beskrevet i 2.1 inkludert magasinkartene, og supplert med tverrprofiler benyttet i dambruddsbølgeberegninger for dam Pålsbu og dam Tunhovd. Denne modellen ble utarbeidet av Norconsult i 2014 og videreutviklet i forbindelse med nyere dambruddsbølgeberegninger.

Friksjonsforholdene er modellert ved bruk av Gauckler–Mannings koeffisient (n). Det er benyttet $0,032 \text{ s/m}^{1/3}$ for innsjøene og elvene unntatt Eidstryken. Ved Eidstryken er det benyttet en koeffisient n på $0,04 \text{ s/m}^{1/3}$.

Som oppstrøms grensebetingelse er brukt vannføringen i vassdraget oppstrøms Norefjorden. I tillegg er produksjonsvannføring lagt inn som sidetilsig ved tverrprofil -5999, som samsvarer med utløpet av Nore 2 kraftverk (A0) eller det nye Nore kraftverk (C1). Vannføringene som er lagt inn i simuleringene er omtalt i kapittel 2.6.

Som nedstrøms grensebetingelsen er brukt normalstrømning med et fall på $0,006 \text{ m/m}$ (hentet fra terrengmodellen).



Figur 2-5 Oversikt over HEC-RAS modellen (tverrprofilene er vist med grønn farge)

2.4 Bruer

Det er fire bruer på beregningstrekningsen. Brutegninger og bilder er hentet fra SVVs database BRUTUS. Tabell 2-2 viser bilder av bruene. Disse vil i liten grad påvirke strømningsforholdene eller gi vannføringsendringer og er derfor ikke lagt inn som strukturer i modellen. Ved alle bruene er det tegnet inn et tverrprofil.

Tabell 2-2 Bruer langs beregningstrekningsen

Bru/ sted	Bilde
Gvammen bru	
Norefjord bru	

Bru/ sted	Bilde
Kravikfjord bru	
Skagsoet II bru Vanddybde ved denne bruen er ut fra tegningen estimert til ca. 3m.	

2.5 Kjerredammen og Mykstufoss kraftverk

Mykstufoss kraftverk ble satt i drift i 1964 og har per 2023 en installert effekt på 52 MW med en slukeevne på 105 m³/s. Kraftverket har en årsproduksjon på om lag 289 GWh og nytter de reguleringer som følger av Nore I og Nore II [3]. Kraftverket kan regulere Kravikfjorden mellom HRV = 262,14 moh. (262,22 moh. i NN2000¹)

¹ I Norgeskart og for fastmerket Bogstrandkollen, øst for Kjerredammen, er det oppgitt at NN2000 høyder ligger 8 cm høyere enn høyder i NN1954.

og 258,14 moh. (258,22 moh. i NN2000), som tilsvarer ca. 14,8 mill. m³. Kraftverket utnytter et fall på 57,5 m fra inntaket ved Kjerredammen [3].

Damanlegget ved Mykstufoss har en sektorluke, en segmentluke og en bunnluke. På damtegnning 3435000 fra 2005 [4], er HRV oppgitt til 262,14 moh. i NN1954-høyder, som tilsvarer 262,22 moh. i NN2000 høydesystem.

Det er hentet en kort beskrivelse av dammen fra rapporten «Flomberegning Numedalslågen» [4] utarbeidet av Norconsult i 2012, og gjengitt nedenfor.

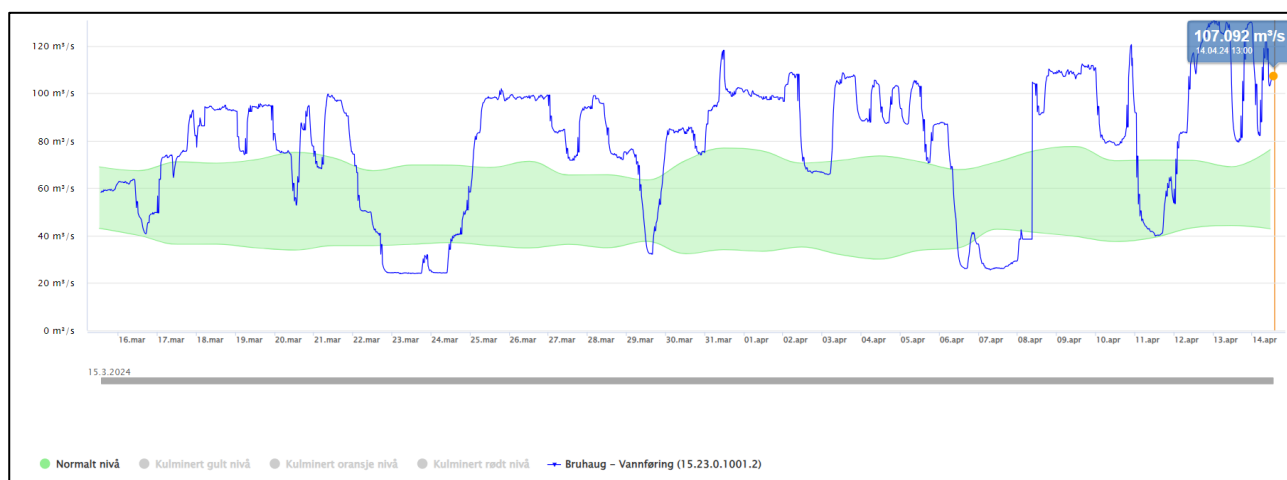
Dam Mykstufoss/ Kjerredammen (HRV 262,14 i NN1954):

- Damkronen (brystning) er 50 m lang på kote 263,54 med c-faktor 1,80.
- Sektorluken er 14 m bred med terskel på kote 257,66 og c-faktor 1,70.
- Segmentluken er 15,3 m bred med terskel på kote 253,13 og c-faktor 2,15 (k=0,7).
- Bunnluken er 2,1 m bred med terskel på kote 242,7, men er ikke medregnet i kapasiteten.

Ifølge vannføringskurven for Mykstufoss/ Kjerredammen presentert i [4] er avledningskapasiteten ved HRV ca. 1000 m³/s. Beregninger presentert i dette notatet forutsetter at vannstanden ved Kjerredammen/ utløp av Kravikfjorden ligger på 262,22 moh. (NN2000), og at det er mulig å beholde vannstanden ved HRV ved å regulere pådraget til kraftstasjonen eller å regulere lukene ved Kjerredammen.

Opplysninger om kjøremønsteret til Mykstufoss kraftverket viser at vannstanden ved Kjerredammen ligger oftest rundt HRV (262,14 moh. i NN1954). Det ser ut til at vannstanden varierer med forholdet tilsig/ produksjon. Vannstanden ved dammen senkes før flommer da lukene sannsynligvis åpner. Ifølge [3] er Mykstufoss et elvekraftverk som driftes i tråd med tilsiget og inngår i et reguleringssamarbeid med Nore I og II. I vilkårene ble det stadfestet at inntaksmagasinet, med høyest regulerte vannstand (HRV) på 262,14 moh. i NN1954 og lavest regulerte vannstand (LRV) på 258,14 moh. i NN1954, skal nyttes til døgn- og ukeregulering [3].

Målestasjonen Bruhaug ligger ca. 1,5 km nedstrøms utløpet til Mykstufoss kraftverket. Registrerte vannføringer ved målestasjonen i mars-april 2024 er vist i Figur 2-6. De laveste registrerte vannføringene ligger på ca. 25 m³/s mens de høyeste er på ca. 100 - 120 m³/s.



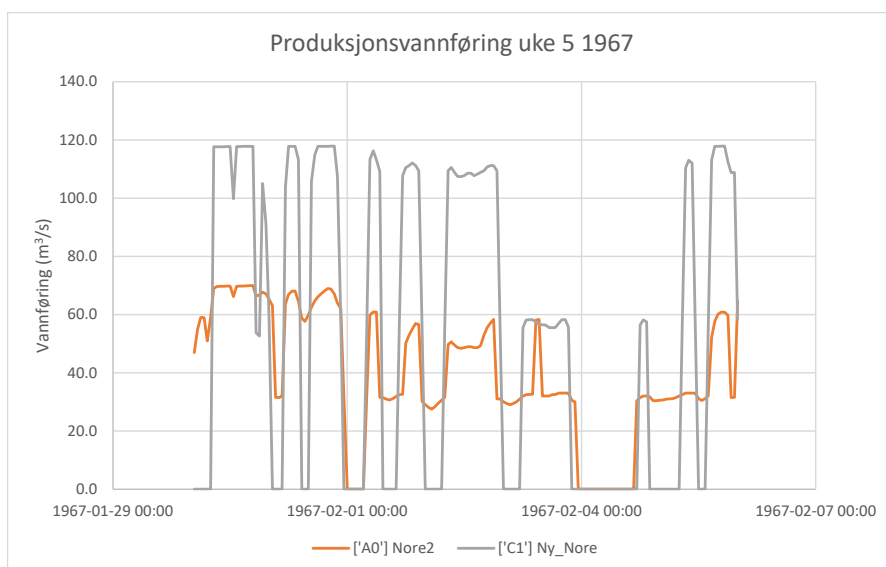
Figur 2-6 Vannføring ved målestasjon 15.23 Bruhaug i mars 2024 (kilde: Sildre [5])

2.6 Vannføringer

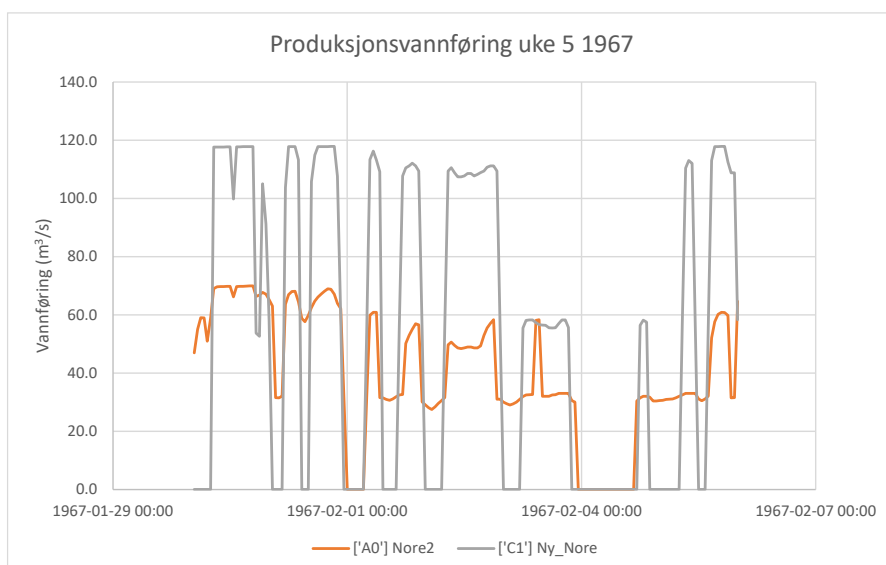
Statkraft har oversendt produksjonsvannføringer for dagens situasjon (A0) og med ny Nore (C1) for tre eksempel-uker:

- Uke 5 i 1967 (Figur 2-7): middels – lave vannføringer
- Uke 22 i 1941 (Figur 2-8): middels – høye vannføringer
- Uke 32 i 1967 (Figur 2-9): svært høye vannføringer

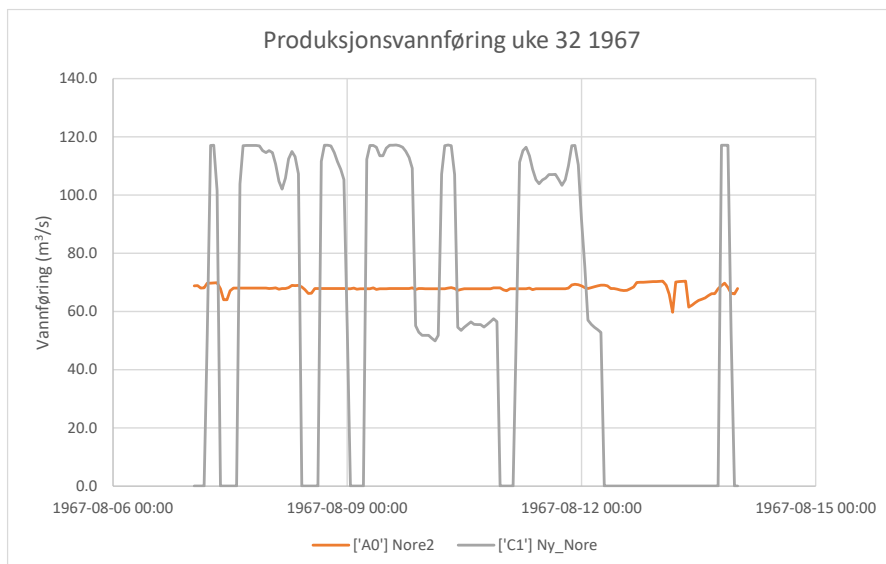
Endringer i kraftverkernes kjøremønster ved utløp i Norefjorden mellom dagens situasjon (A0) og nytt Nore (C1) er simulert med Hec-Ras modellen.



Figur 2-7 Produksjonsvannføring uke 5 i 1967 - middels – lave vannføringer

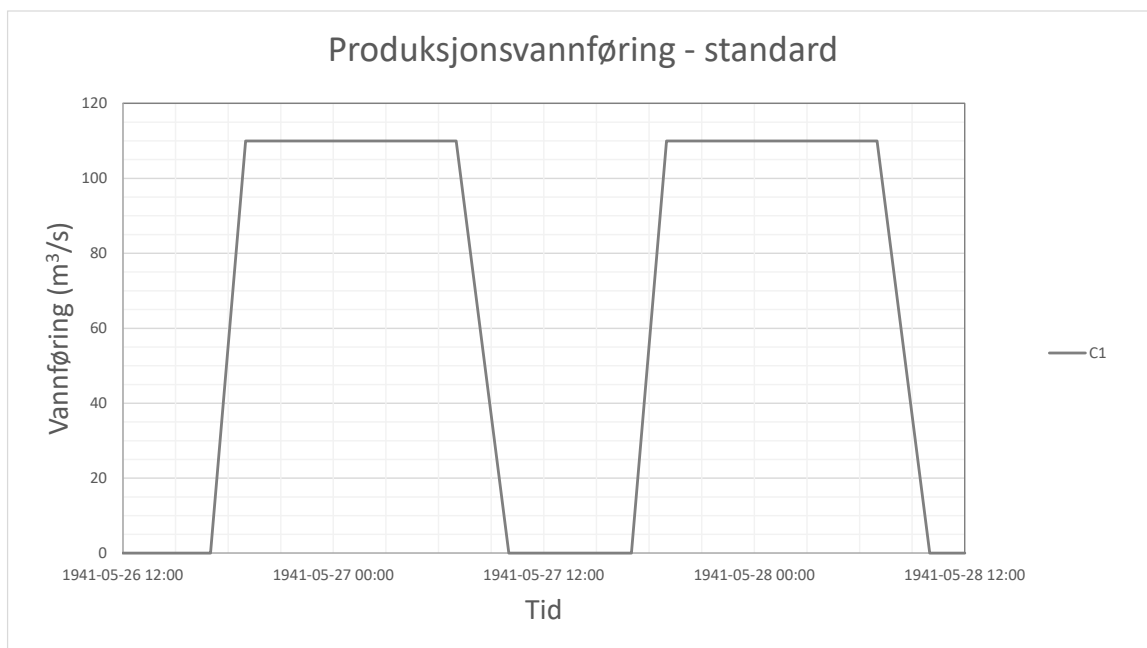


Figur 2-8 Produksjonsvannføring uke 22 i 1941 - middels – høye vannføringer



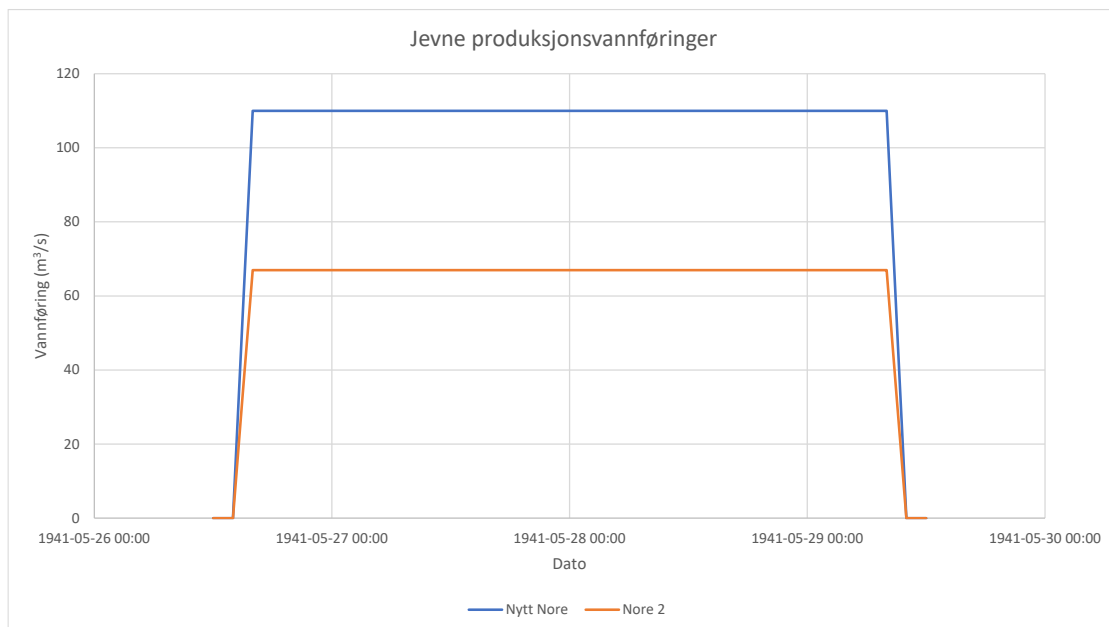
Figur 2-9 Produksjonsvannføring uke 32 i 1967 - svært høye vannføringer

For å teste en standard kjøring av nytt Nore (C1) er det lagt en fiktiv produksjonsvannføring for 2 døgn, som vist i Figur 2-10. Kjøremonsteret er basert på data for uke 22 i 1941, og har en økning i produksjon fra 0 til 110 m³/s mellom kl. 17 og 19. Deretter kjører kraftverket jevn til kl. 07 og jevn nedtrapping til 0 m³/s kl. 10. Dette mønsteret repeteres i dag 2.



Figur 2-10 Produksjonsvannføring «standard»

For å vurdere hvor lang tid det tar å nå en stasjonær situasjon ved utløpet av Kravikfjorden er det kjørt produksjonsvannføringer som vist i Figur 2-11.



Figur 2-11 Stabil og jevn produksjonsvannføring. Nytt Nore med 110 m³/s og Nore med 67 m³/s.

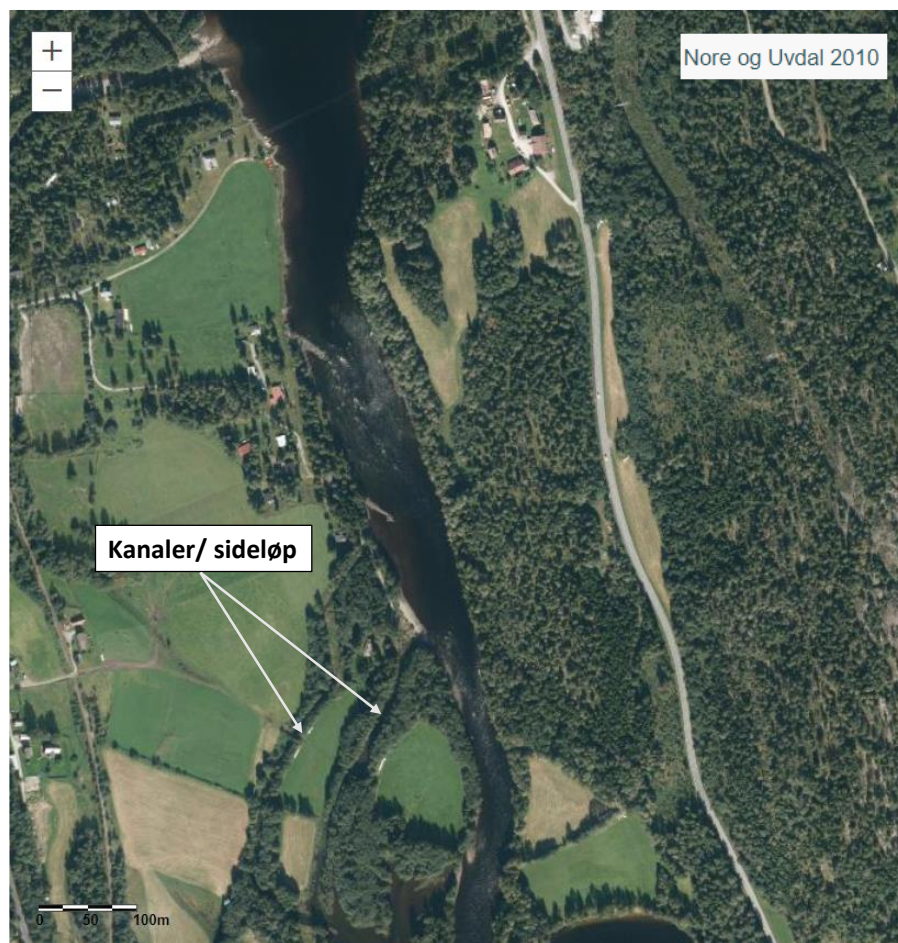
3 Kalibrering av modellen

3.1 Kalibrering mot normalvannstand i Norefjorden

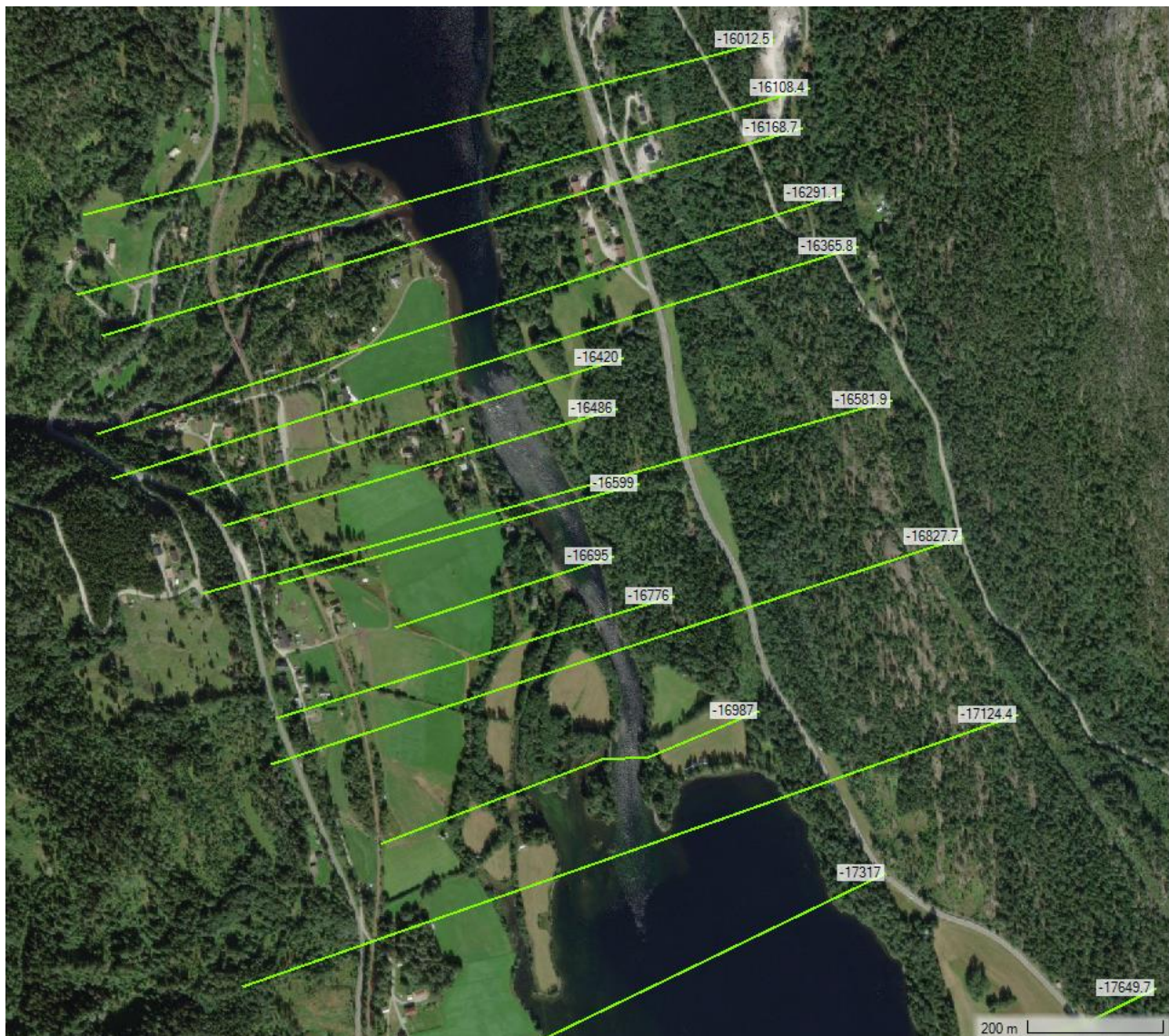
Ifølge NVE atlas har Norefjorden en normalvannstand på 265,0 moh. i NN1954, som tilsvarer 265,08 moh. i NN2000. Magasinarealet er oppgitt til 3,923 km². Middelvannføring ved Eidstryken er estimert til 59 m³/s basert på beregnet normalavrenning for 1961-1990 (19,3 l/skm²) og nedbørfeltareal (3065 km²) i Nevina-applikasjonen.

Vi har ingen opplysninger om elvebunnen for tverrprofilene ved Eidstryken siden vanlig laserskanning ikke penetrerer vannoverflaten. Det er derfor behov for å justere disse profilene manuelt. Justeringen er basert på flyfotoer og antagelsen om at man får normalvannstand i Norefjorden oppgitt i NVE Atlas (265,08 moh.) ved vannføring lik normalavrenning ved Eidstryken.

Figur 3-1 viser et flyfoto av Eidstryken fra 2010, der man kan tydelig se to buner på vestsiden av elveløpet, samt to strekninger med markert stryk. Både terrengmodellen og flyfotoet viser at det finnes to kanaler/sideløp på vestsiden av hovedelven, men disse er stengte. Figur 3-2 viser en oversikt over tverrprofilene ved Eidstryken som er benyttet i Hec-Ras modellen.

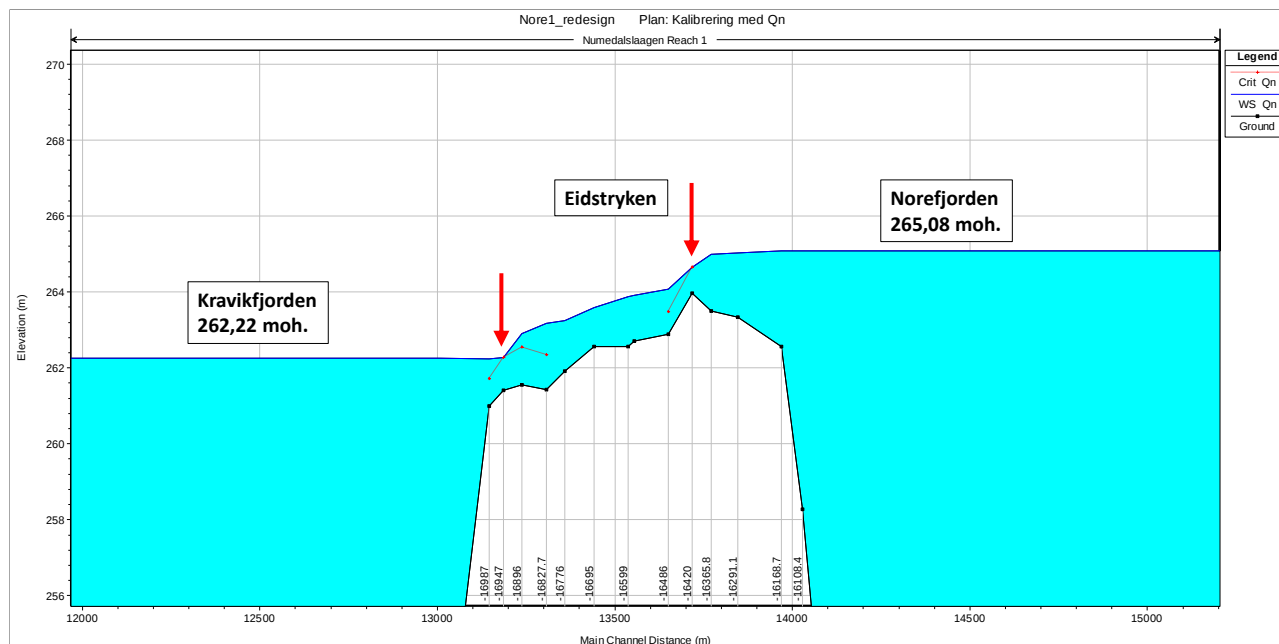


Figur 3-1 Eidstryken i flyfoto fra 2010 (27-07-2010), kilde: Norge i bilder [6]



Figur 3-2 Tverrprofilene benyttet i Hec-Ras modellen ved Eidstryken

Elvebunnen i alle tverrprofilene ved Eidstryken ble først senket ca. 1 m, unntatt profilet -16420 som ble senket bare 0,7 m. Dette tverrprofilet ligger ved den øverste bunnen og det er her den hydrauliske modellen simulerer kritiskstrømning, som avgjør vannstanden i Norefjorden. Figur 3-3 viser lengdeprofil og vannlinje for Eidstryken ved $59 \text{ m}^3/\text{s}$ (antatt vannføring som gir «normal» vannstand i Norefjorden). Litt før utløpet i Kravikfjorden ser man ett tverrprofil til som kan gi kritisk strømning, men dette stedet ligger mye lavere enn vannstanden i Norefjorden, og innvirker ikke på vannstanden der for vannføringene vurdert i dette notatet.



Figur 3-3 Lengdeprofil ved Eidstryken ved vannføring lik 59 m³/s. Snitt som har/kan ha kritisk strøm er markert. Det er utført beregninger opptil 240 m³/s.

Det er også utført en kontroll av magasinarealet modellert i Hec-Ras modellen ved normalvannstand i Norefjorden og Kravikfjorden. Tabell 3-1 viser en sammenligning av innsjøarealer oppgitt i NVE atlas og arealer beregnet i Hec-Ras modellen. De modellerte arealene er noe mindre enn hva som er oppgitt i NVE Atlas. Dette kan skyldes at tverrprofilene ikke får med seg alle buktene langs innsjøene. Differansene på 3 % for Norefjorden og 1 % for Kravikfjorden vurderes dog som akseptable.

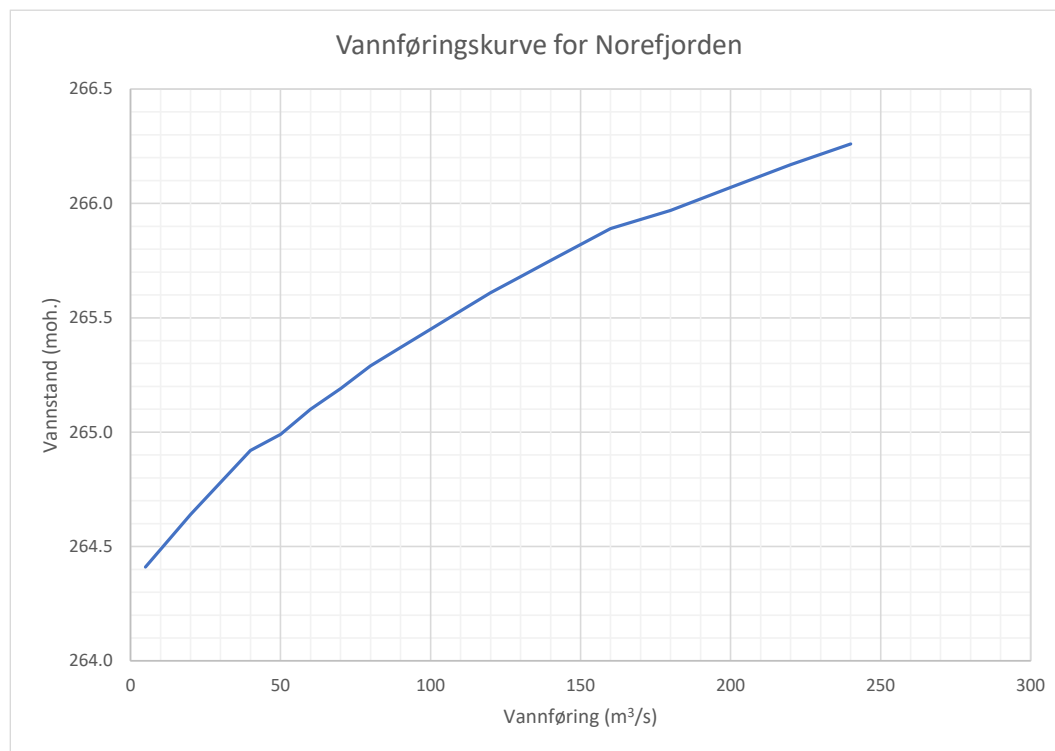
Tabell 3-1 Arealer ved normalvannstand til Norefjorden og Kravikfjorden

	Norefjorden	Kravikfjorden
Normalvannstand fra NVE Atlas (NN 2000)	265,08	262,08/ 262,22 ¹
Areal fra NVE Atlas (km ²)	3,923	3,806
Areal fra Hec-Ras modell (km ²)	3,7038	3,664

¹ Tegningen av dammen oppgir HRV på 262,22 moh. i NN2000 (262,14 moh. i NN 1954), og denne vannstanden er videre brukt i beregningene.

3.2 Vannføringskurve for Norefjorden

Ved bruk av den hydrauliske modellen omtalt i avsnitt 2.3 og 3.1 er det utarbeidet en vannføringskurve for utløp av Norefjorden. Vannføringskurven er vist i Figur 3-4, og er utarbeidet for vannføringer mellom 5 m³/s og 240 m³/s. For alle de simulerte vannføringene er det tverrprofilet -16420 som er bestemmende (kritisk strømning) for vannstanden ovenfor. Vannstanden i Kravikfjorden er satt til HRV på 262,22 moh.

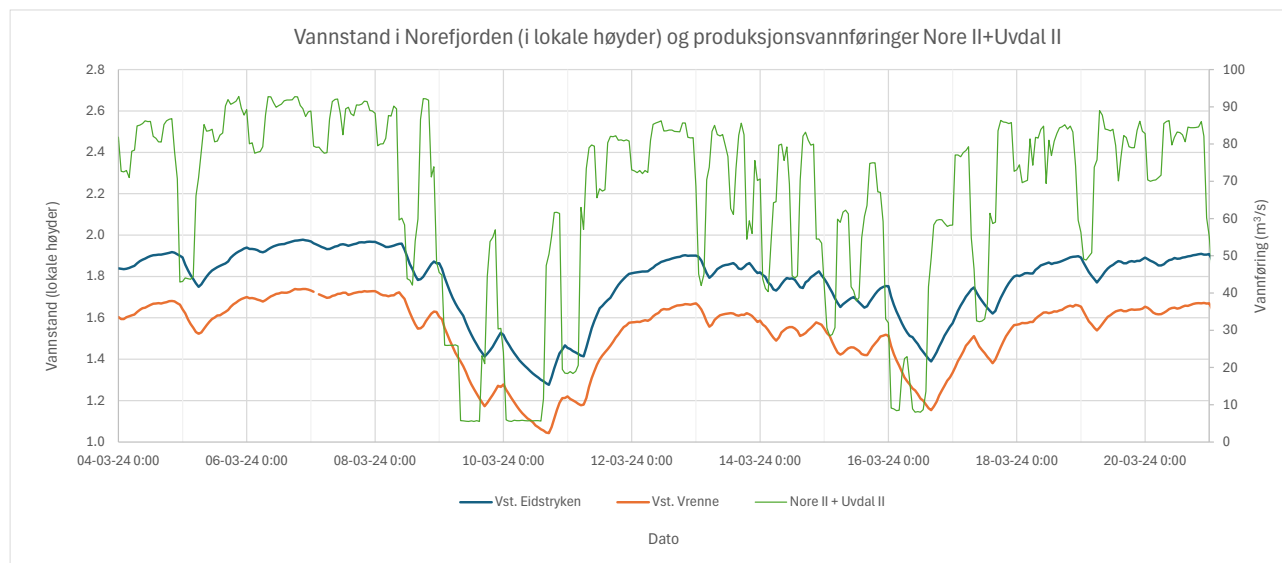


Figur 3-4 Vannføringskurve for Norefjorden beregnet med Hec-Ras (NN2000)

3.3 Kontroll/ validering av modellen mot målte vannstander og produksjonsvannføringer

I juni og september 2024 fikk vi registrerte vannstander i Norefjorden samt produksjonsvannføringer for Nore II og Uvdal II. Vannstander i Norefjorden er oppgitt ved Vrenne og Eidtrsyken og er i lokalt høydesystem. Dataen har en felles periode mellom 19.01.2024 og 07.06.2024. Vi har valgt perioden mellom 04. og 21.03.2024 (vist i Figur 3-5) for å kjøre en simulering i HEC-RAS modellen. Denne perioden ble valgt da det er registrert merkbare senkninger av vannstand i Norefjorden som følge av reduksjon/ stans i produksjon, og i tillegg forventes det lite/ ingen annet tilsig til Norefjorden enn produksjonsvannføringer.

I tillegg til produksjonsvannføringer til Nore II og Uvdal II er det lagt til 5 m³/s i elvestrekningen oppstrøms Norefjorden. Dette pga. stabiliteten for simuleringene i HEC-RAS.

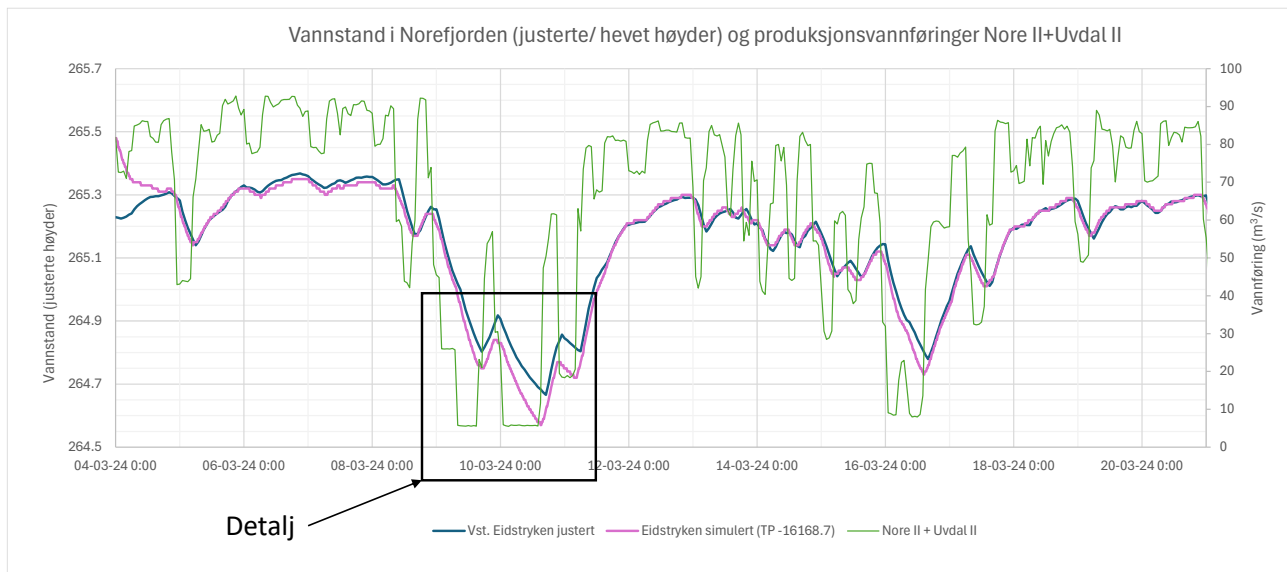


Figur 3-5 Vannstand i Norefjorden ved Vrenne og Eidstryken (i lokale høyder) samt produksjonsberegninger med utløp i Norefjorden (Nore II og Uvdal II)

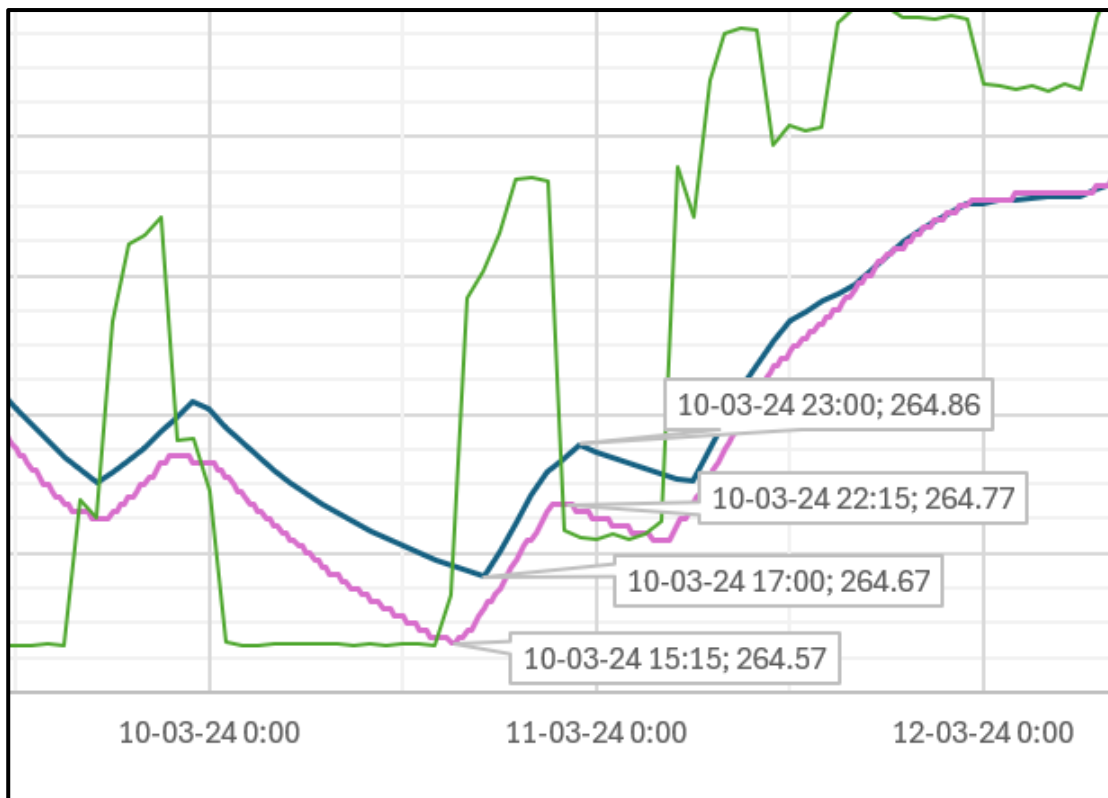
Registrerte vannstander ved Vrenna (øverst i Norefjorden) og vannstander ved Eidstryken (ca. ved utløpet av Norefjorden) viser at vannstanden i hele fjorden går opp og ned uten merkbar tidsforsinkelse. Det bemerkes at vannstanden registreres i times-verdier. Det er derfor valgt å presentere resultater av simuleringen bare ved Eidstryken, vist i Figur 3-6. For å kunne sammenligne den registrerte med den simulerte vannstanden har vi høydejustert mottatt målingene. Justeringen er gjort skjønnsmessig slik at begge verdiene passer godt med hverandre etter ca. ett døgn inn i simuleringen (første døgnet av simuleringen regulerer modellen den initiale tilstanden i vassdraget).

Simuleringen i HEC-RAS viser at simulerte vannstander i Norefjorden passer godt overens med registrerte vannstander, unntatt ved vannstand i Norefjorden under 265,0 moh. I denne situasjonen overestimerer modellen vannstandsengkningen med opptil ca. 10 cm.

I tillegg, ved vannstandsengkning, er det en tidsforskyvning på ca. 2 timer, der minimum vannstand i Norefjorden nås i modellen raskere enn observasjonene, se Figur 3-7. Ved vannstandsøkning nås toppen i modellen ca. 1 time før enn observasjonene. Tidsforskyvningen blir ikke merkbare senere i simuleringene når vannstand i fjorden øker over ca. 265 moh.



Figur 3-6 Registrert vannstand i Norefjorden ved Eidstryken (med justerte høyder), simulert vannstand på samme sted samt produksjonsberegninger med utløp i Norefjorden (Nore II og Uvdal II)



Figur 3-7 Detalj av Figur 3-6 registrert vannstand i Norefjorden ved Eidstryken (med justerte høyder), simulert vannstand på samme sted samt produksjonsberegninger med utløp i Norefjorden (Nore II og Uvdal II)

Unøyaktigheter i resultatene under kote 265 kan skyldes at modellen ble utarbeidet uten oppmålte tverrprofiler i Eidstryken, og modifisering av tverrsnittene ved Eidstryken basert på vannføring ved normalavrenning (59 m³/s) overestimerer den hydrauliske kapasiteten ved utløpet. Muligens burde man modifisere tverrsnittene antatt at normalvannstand nås med en lavere vannføring enn det som ble brukt.

Det konkluderes at den hydrauliske modellen representerer forholdsvis bra vannstandsvariasjoner i Norefjorden og at resulterende vannstandsenkninger er konservative. Tidsforskyvningen antyder at magasinet tømmes saktere enn hva som er simulert, og dette medfører at det vil være noe unøyaktigheter på tidspunktet produksjonsvannet kommer inn i Kravikfjorden.

4 Resultater av simulering av produksjonsvannføringer

Resultater av simuleringer er presentert med formål å belyse konsekvenser for vannstandsvariasjoner i Norefjorden samt tiden det tar for produksjonsvannet å nå Kravikfjorden, der inntaket til Mykstufoss kraftverk ligger.

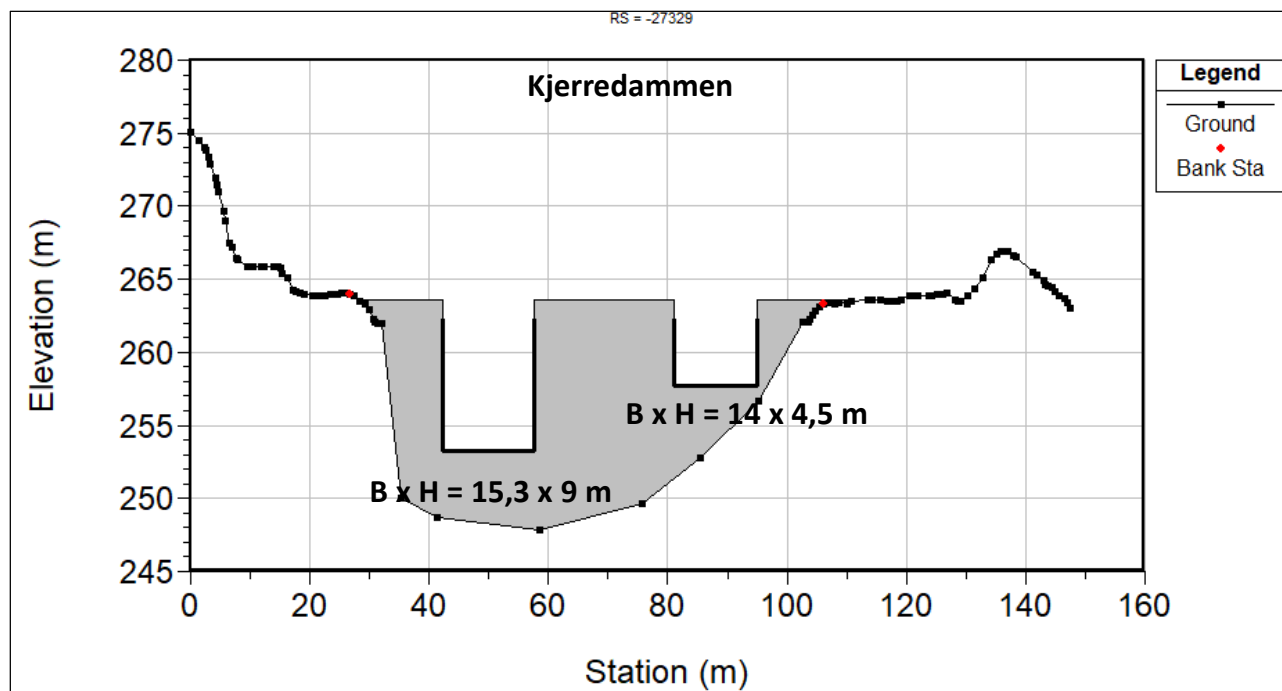
4.1 Ruting av produksjonsvannføringer i dagens situasjon (A0) og med nytt Nore (C1)

Siden initialvannføringen i vassdraget er ukjent, har vi valgt å benytte en minstevannføring oppstrøms Norefjorden på 5 m³/s.

Vannstanden i Norefjorden i begynnelsen av simuleringene vil være avhengig av vannføringen i starten, men selv om det er lite vann i starten av perioden som simuleres, kan vannstanden i Norefjorden være høyere pga. kjøring i uken før. Dette vil være spesielt merkbart når man har null vannføring i starten av simuleringen. Kjøring med forskjellige initiale vannstander i Norefjorden antyder at det tar ca. ett døgn til å regulere den initiale tilstanden i vassdraget, og resultater for det første døgnet bør ikke vektlegges.

Slukeevnen til Uvdal II kraftverk som også har utløp i Norefjorden er 24 m³/s. I simuleringene er det ikke lagt til noe sidetilsig fra dette kraftverket, men det er gjort en kontroll for en av produksjonsvannføringene med jevn kjøring av kraftverket.

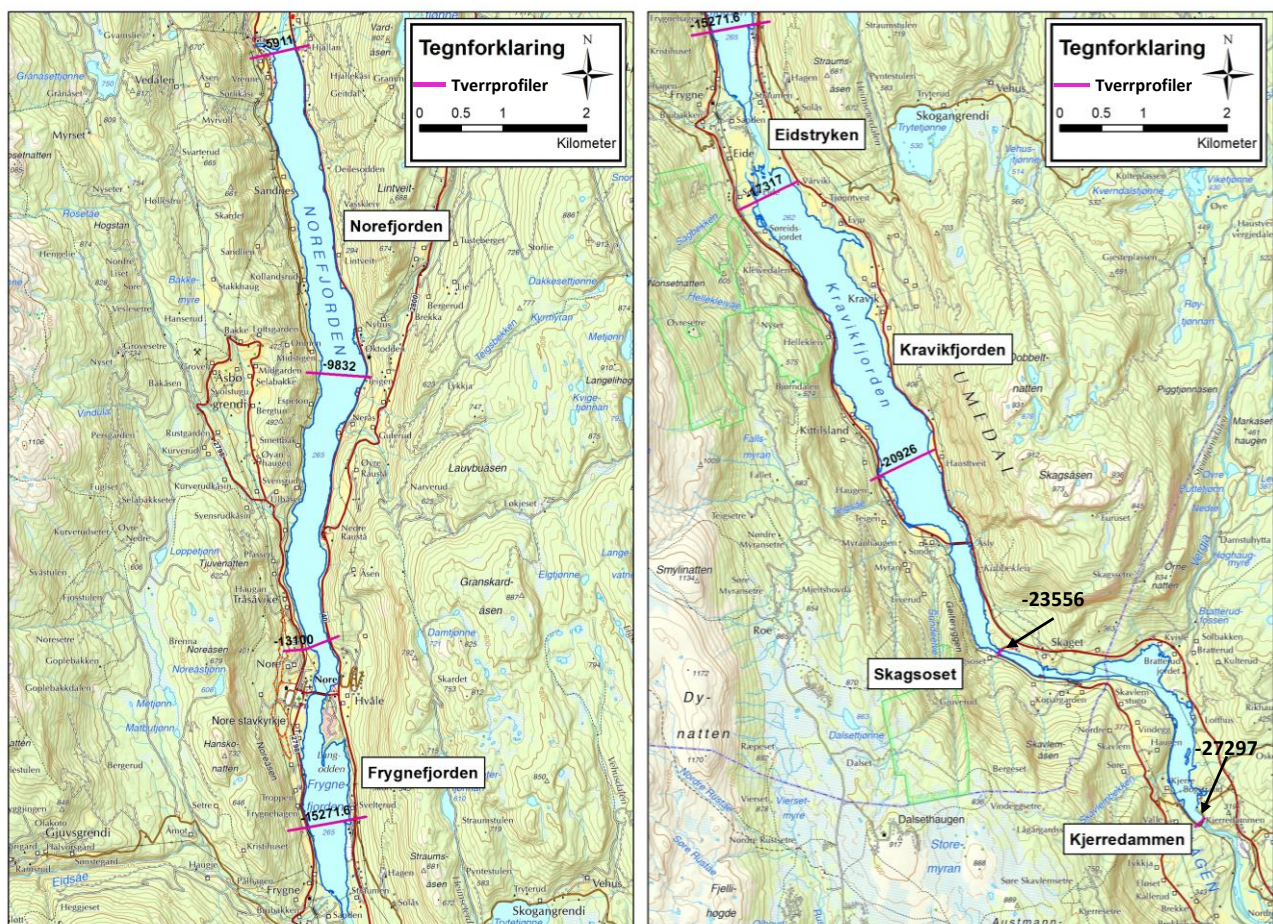
Ved Kjerredammen/ inntak til Mykstufoss kraftverket antas det at det er mulig å beholde vannstanden på HRV ved å regulere pådraget til kraftstasjonen eller å regulere lukene. Kjerredammen ved utløp av Kravikfjorden er simulert som en damstruktur med regulerbare luker, se Figur 4-1. Kraftverket reguleres automatisk i modellen (åpning og luking av lukene) slik at vannstand ved dammen beholdes på mellom 262,12 moh. og 262,32 moh., dvs. HRV $\pm$ 10 cm.



Figur 4-1 Kjerredammen lagt inn i Hec-Ras modell

Resultatene er presentert som tidsserier for vannstand og vannføring langs Norefjorden og Kravikfjorden. Det er kommet frem at det er ingen merkbar forskjell/ tidsforskyvning i vannstandsvariasjoner i vannene. Derfor er tidsseriene for vannstand presentert ved utløpet av Norefjorden, dvs. tverrprofil -15271.6. Tidsserier for vannføringer er presentert for de utvalgte tverrprofilene vist i Figur 4-2. Tverrprofilene er listet nedenfor:

- Norefjorden: -5911 (oppstrøms i Norefjorden); -9832; -13600 og -15271.6 (ved utløpet)
- Kravikfjorden: -17317 (oppstrøms i Kravikfjorden); -20926; -23556 og -27297 (ved Kjerredammen)



Figur 4-2 Oversikt over utvalgte tverrprofiler for presentasjon av tidsserier for vannstand og vannføring

I vedlegg 1.1 til 1.9 er det presentert tidsserier for vannstand og vannføring for produksjonsvannføringen for scenarioene A0 og C1. Maksimum og minimums vannføringene i utslippspunktet øverst i Norefjorden dempes nedover innsjøen, og vannstand langs innsjøen følger samme mønster. Vannstanden i Kravikfjorden viser små endringer, men dette er en konsekvens av hvordan vannstanden ved dammen er simulert, siden det er antatt at det reguleres for å holde vannstanden på HRV.

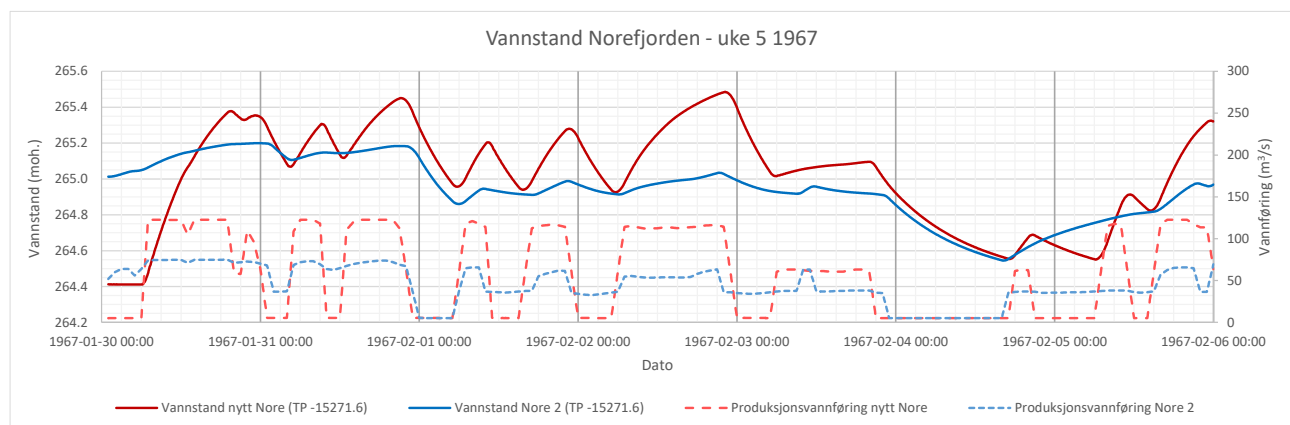
Tegnforklaring for figurene som viser vannstander og vannføringer i Norefjorden og Kravikfjorden

- Tverrprofilene i Norefjorden: -5911 (oppstrøms); -9832; -13600 og -15271.6 (ved utløpet)
- Tverrprofilene i Kravikfjorden: -17317 (oppstrøms); -20926; -23556 og -27297 (ved Kjerredammen)
- Benevnelsen før tallene: «Nytt Nore» tilsvarer vannstand og vannføring ved det tverrprofilet med det nye Nore kraftverket (scenario C1) og «Nore 2» tilsvarer vannstand og vannføring ved det tverrprofilet i dagens situasjon, dvs. med avløp fra Nore II (scenario A0).
- Vannstand kan nås på ca. samme tidspunktet i hvert vann/ magasin og derfor er det presentert bare resultater for ett tverrprofil.

4.1.1 Produksjonsvannføringer i uke 5 i 1967 (middels – lave vannføringer)

Figur 4-3 viser en sammenligning av vannstandsutviklingen i Norefjorden med simulering av produksjonsvannføringen i uke 5 i 1967 for scenario A0 og C1.

Det bemerkes at startvannstand i Norefjorden i de to scenarioene er forskjellig, og dette vil påvirke størrelsen på vannstandsvariasjonene i begynnelsen av simuleringen. I tillegg bruker modellen ca. ett døgn på å regulere initialtilstanden i vassdraget. Derfor er det i analysen ikke hensyntatt resultater fra første døgnet. Den maksimale vannstandsøkningen i Norefjorden (i døgn 4) er beregnet til ca. 60 cm² (i løpet av 17 timer) med det nye Nore kraftverk (C1), mens den med Nore 2 (A0) på samme tidspunkt er beregnet til kun ca. 15 cm. Den raskeste vannstandsøkningen er beregnet til ca. 50 cm i løpet av 9 timer. Den raskeste vannstandsenkningen med det nye Nore kraftverk (C1) er beregnet til ca. 50 cm i løpet av ca. 7 timer (i døgn 5). For begge scenarioer vil vannstanden senkes til ca. samme nivået etter en periode med stans av produksjonen (døgn 6). Med det nye Nore kraftverk vil vannstanden senkes fra et høyere nivå i Norefjorden, ca. 30 cm høyere enn med Nore 2. Vannstandstigningen etter stans i produksjonen (i døgn 7) med Nore 2 skjer sakte og jevn, mens med det nye Nore vil vannstanden i Norefjorden gå noe opp og ned mens den øker.



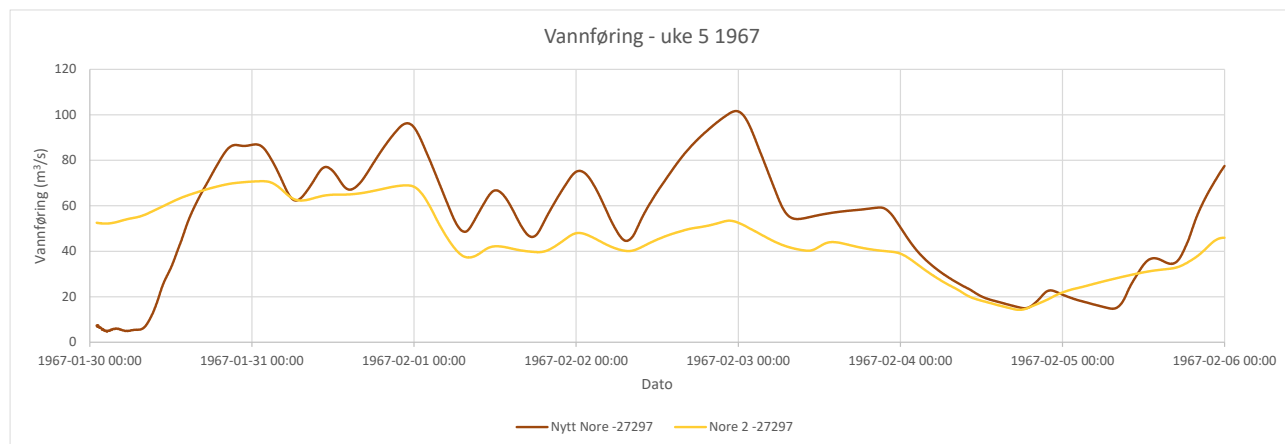
Figur 4-3 Vannstand i Norefjorden med produksjonsvannføring i uke 5 i 1967, scenario A0 (Nore 2) og C1 (Nytt Nore). Produksjonsvannføringer for hvert scenario er vist med stiplede linjer.

² Ekskludert oppstart etter en langvarig stans i produksjon, som gir ca. 1 m vannstandstigning i løpet av ca. 14 timer.

Vannføringer ved inn- og utløp av Norefjorden for begge scenarioene er vist i Figur 4-4, mens vannføringene ved Kjerredammen er vist i Figur 4-5. I scenario A0 varierer vannføringen ved Kjerredammen mellom ca. 15 m³/s og 70 m³/s, mens i scenarioet C1 varierer vannføringer mellom 15 m³/s og 100 m³/s, dvs. innenfor slukeevnen til Mykstufoss kraftverk. Tidsserier for andre tverrprofiler er vist i vedlegg 1.1 til 1.3.



Figur 4-4 Vannføring inn og ut av Norefjorden for simulering av produksjonsvannføring i uke 5 i 1967, scenario A0 øverst (Nore 2) og scenario C1 nederst (Nytt Nore)

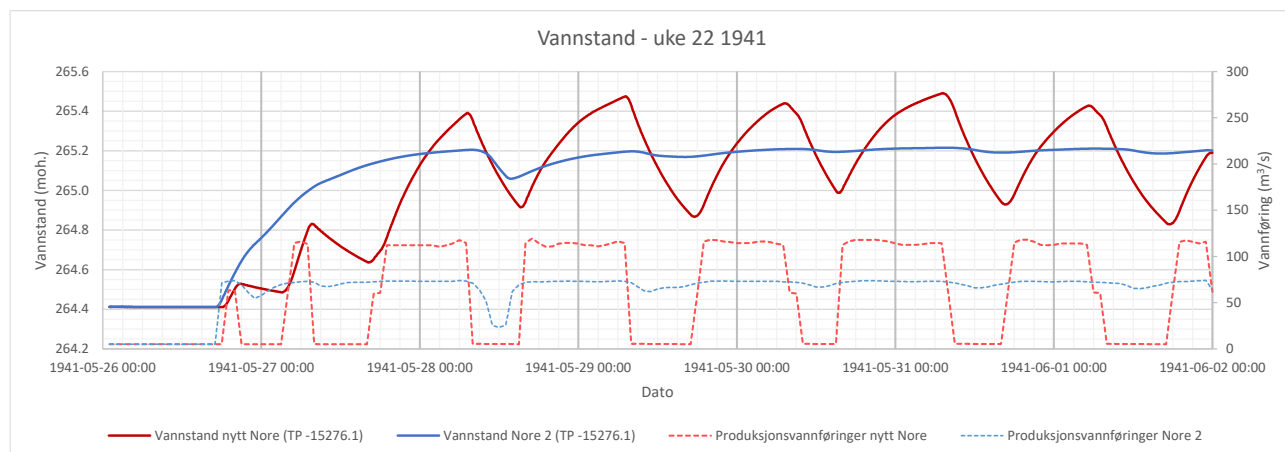


Figur 4-5 Vannføring ved Kjerredammen/ utløp av Kravikfjorden for simulering av produksjonsvannføring i uke 5 i 1967, scenario A0 (Nore 2) og C1 (Nytt Nore)

4.1.2 Produksjonsvannføringer i uke 22 i 1941 (middels – høye vannføringer)

Figur 4-6 viser vannstandsutviklingen i Norefjorden med produksjonsvannføringen fra uke 22 i 1941 for scenario A0 og C1. I simuleringene tar det ca. 2 døgn før vannstand i Norefjorden når «normalvannstand». Dette skyldes at produksjonsvannføringen for begge scenarioene er lik 0 i begynnelsen av uken.

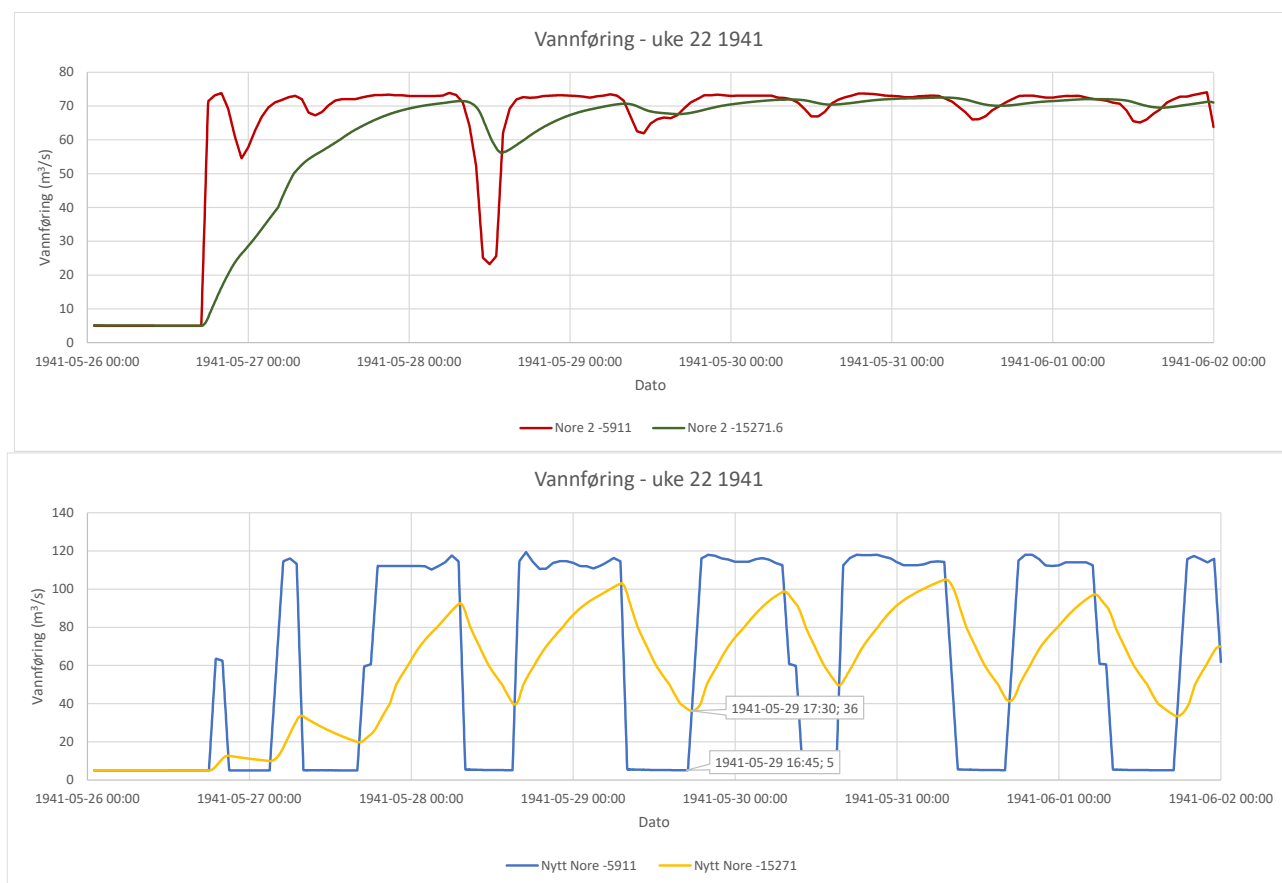
Den maksimale og raskeste vannstandsøkningen i Norefjorden de neste 5 døgnene er beregnet til ca. 50 cm³ (i løpet av ca. 16 timer) med det nye Nore kraftverk (C1), mens det for Nore 2 (A0) er simulert en maksimal variasjon på ca. 10 cm. Den maksimale vannstandsenkningen er beregnet til ca. 60 cm i løpet av 10 timer (i døgn 4).



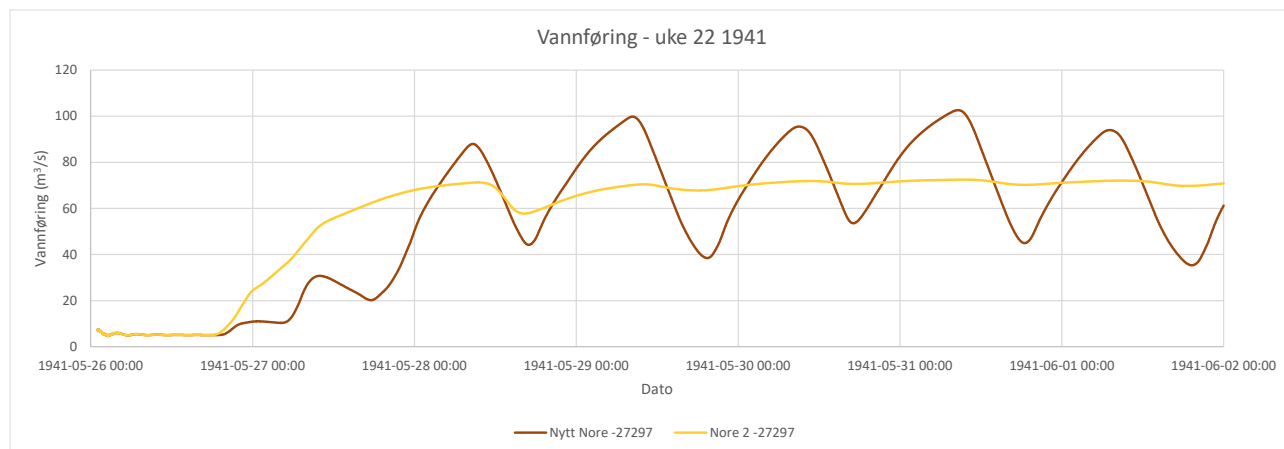
Figur 4-6 Vannstand i Norefjorden med produksjonsvannføring i uke 22 i 1941, scenario A0 og C1. Produksjonsvannføringer for hvert scenario er vist med stiplede linjer.

³ Ekskludert vannstandstigningen i begynnelsen av simuleringen som representerer oppstart etter en langvarig stans i produksjon.

Tilhørende vannføringer ved inn- og utløp av Norefjorden er vist i Figur 4-7, mens vannføringene ved Kjerredammen er vist i Figur 4-8. I scenario A0 er vannføringen ved Kjerredammen stort sett stabilt på ca. 70 m³/s, mens i scenarioet C1 varierer vannføringer mellom 10 m³/s og 105 m³/s, dvs. innenfor slukeevnen til Mykstufoss kraftverk. Tidsserier for andre tverrprofiler er vist i vedlegg 1.4 til 1.6 .



Figur 4-7 Vannføringer ved inn- og utløp av Norefjorden for simulering av produksjonsvannføring i uke 22 i 1941



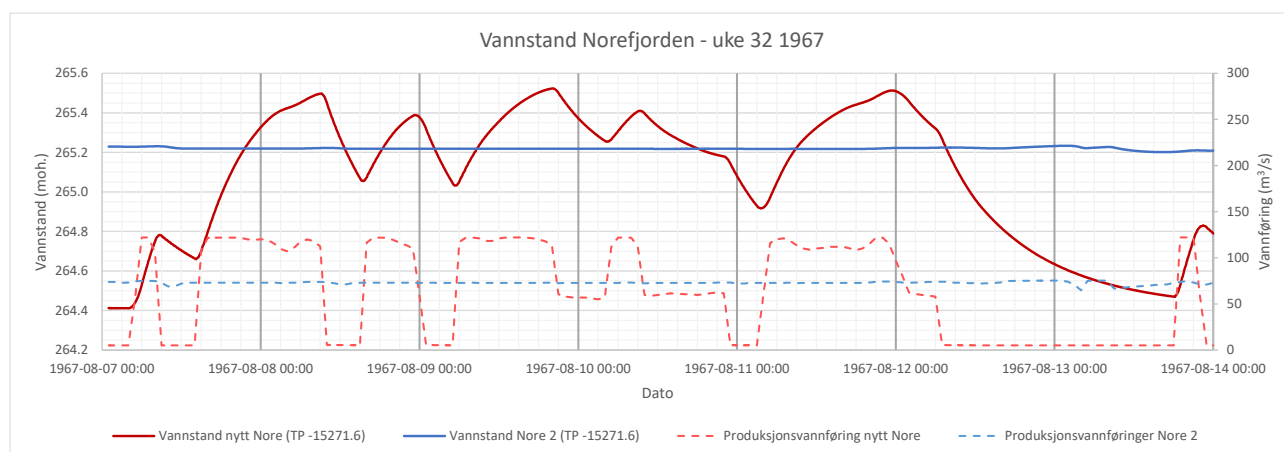
Figur 4-8 Vannføringer ved Kjerredammen/ utløp av Kravikfjorden for simulering av produksjonsvannføring i uke 22 i 1941

4.1.3 Produksjonsvannføringer i uke 32 i 1967 (svært høye vannføringer)

Figur 4-9 viser vannstandsutviklingen i Norefjorden med produksjonsvannføringen fra uke 32 i 1967 for scenario A0 og C1. I scenario A0 er både produksjon og vannstand i Norefjorden ganske stabile (full produksjon nesten hele tiden), mens man med det nye Nore vil få variasjoner i produksjon og vannstand.

Det bemerkes at startvannstand i Norefjorden i de to scenarioene er forskjellig, og dette vil påvirke størrelsen på vannstandsvariasjonene i begynnelsen av simuleringen. I tillegg bruker modellen ca. ett døgn på å regulere initialtilstanden i vassdraget. Derfor er det i analysen ikke hensyntatt resultater fra første døgnet.

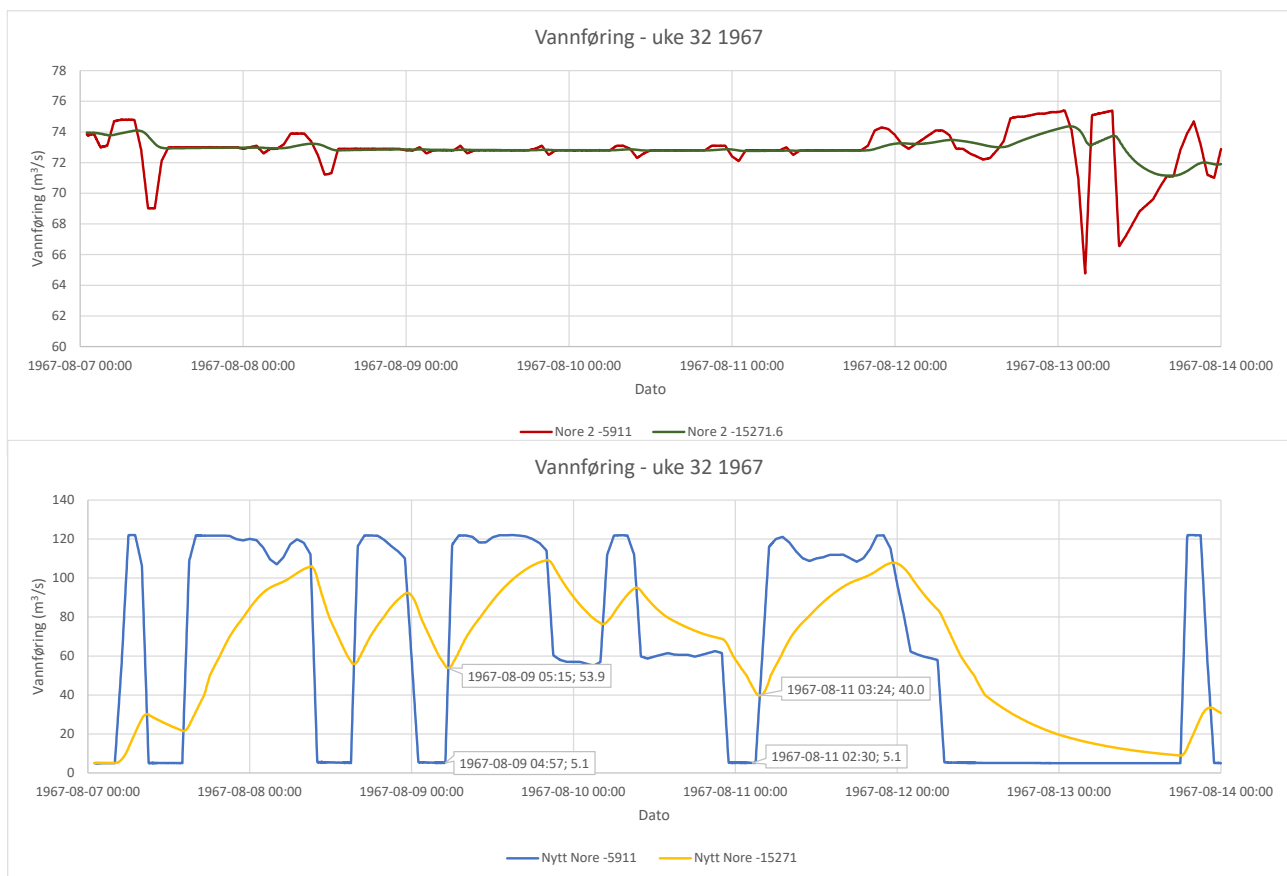
Med det nye Nore er den raskeste vannstandssenkningen i Norefjorden i en normal situasjon (uten en langvarig stans i produksjon) beregnet til ca. 40 cm i løpet av 6 timer (i døgn 2). Etter en langvarig stans i produksjonen er vannstandssenkningen beregnet til nesten 1 m (i løpet av ca. 1,5 døgn), i døgn 6 og 7. Maksimal vannstandstigningen er beregnet til ca. 60 cm i løpet av 16 timer (i døgn 5).



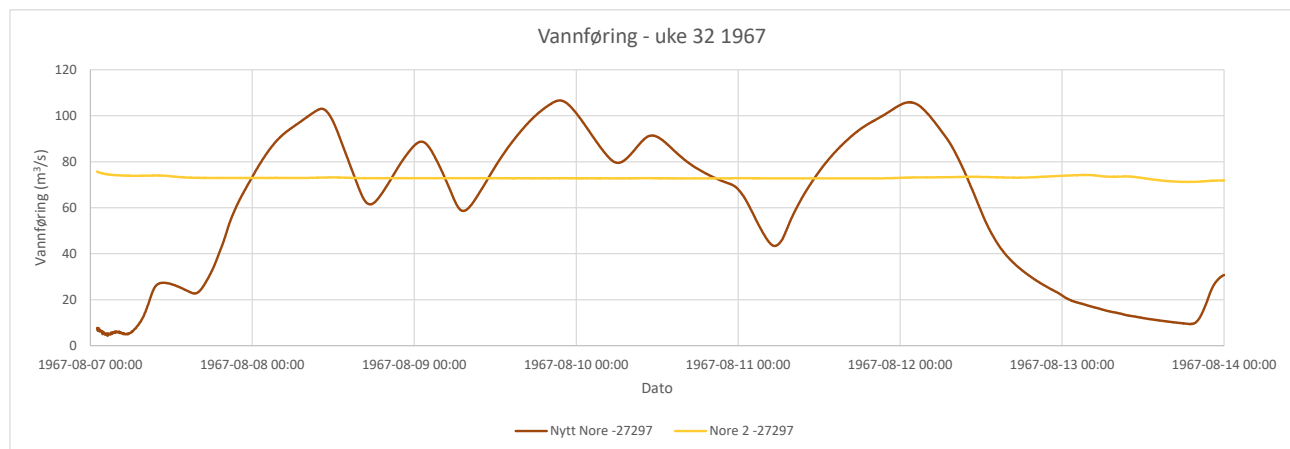
Figur 4-9 Vannstand i Norefjorden med produksjonsvannføring i uke 32 i 1967, scenario A0 og C1. Produksjonsvannføringer for hvert scenario er vist med stiplede linjer.

Vannføringene inn og ut av Norefjorden er vist i Figur 4-10, mens vannføringene ved Kjerredammen er vist i Figur 4-11. I scenario A0 varierer vannføringen ved Kjerredammen på mellom ca. 60 m³/s og 70 m³/s, mens i scenarioet C1 varierer vannføringer til vanlig mellom 40 m³/s og 100 m³/s. Disse verdiene ekskluderer oppstart av produksjon etter en langvarig stans (i døgn 1 og 7), der man kan få vannføringer ned mot 10 m³/s. Vannføringsverdiene er innenfor slukeevnen til Mykstufoss kraftverk.

Flere tidsserier er vist i vedlegg 1.7 til 1.9.



Figur 4-10 Vannføringer ved inn- og utløp av Norefjorden for simulering av produksjonsvannføring i uke 32 i 1967



Figur 4-11 Vannføring ved Kjerredammen for simulering av produksjonsvannføring i uke 32 i 1967

4.1.4 Oppsummering av resultater

4.1.4.1 Vannstandsendringer ved ulike kjøremønstre

Det nye kjøremønsteret for et nytt Nore kraftverk vil medføre større vannstandsvariasjoner i Norefjorden enn det som er tilfelle for dagens kjøremønster. Det vil ikke være uvanlig med vannstandsvariasjoner på 40-50 cm. ved kjøremønstre til det nye Nore kraftverket, men dette vil skje i løpet av flere timer. Ved langvarig stans i produksjonen kan man få en senkning av vannstand på opptil ca. 1 m med det nye Nore (Figur 4-9), da vannføringen endres fra 118 til 0 m³/s. I dagens situasjon er senkningen ved langvarig stans av produksjonen opptil 0,5 m, og vannføringen senkes fra 68 – 0 m³/s.

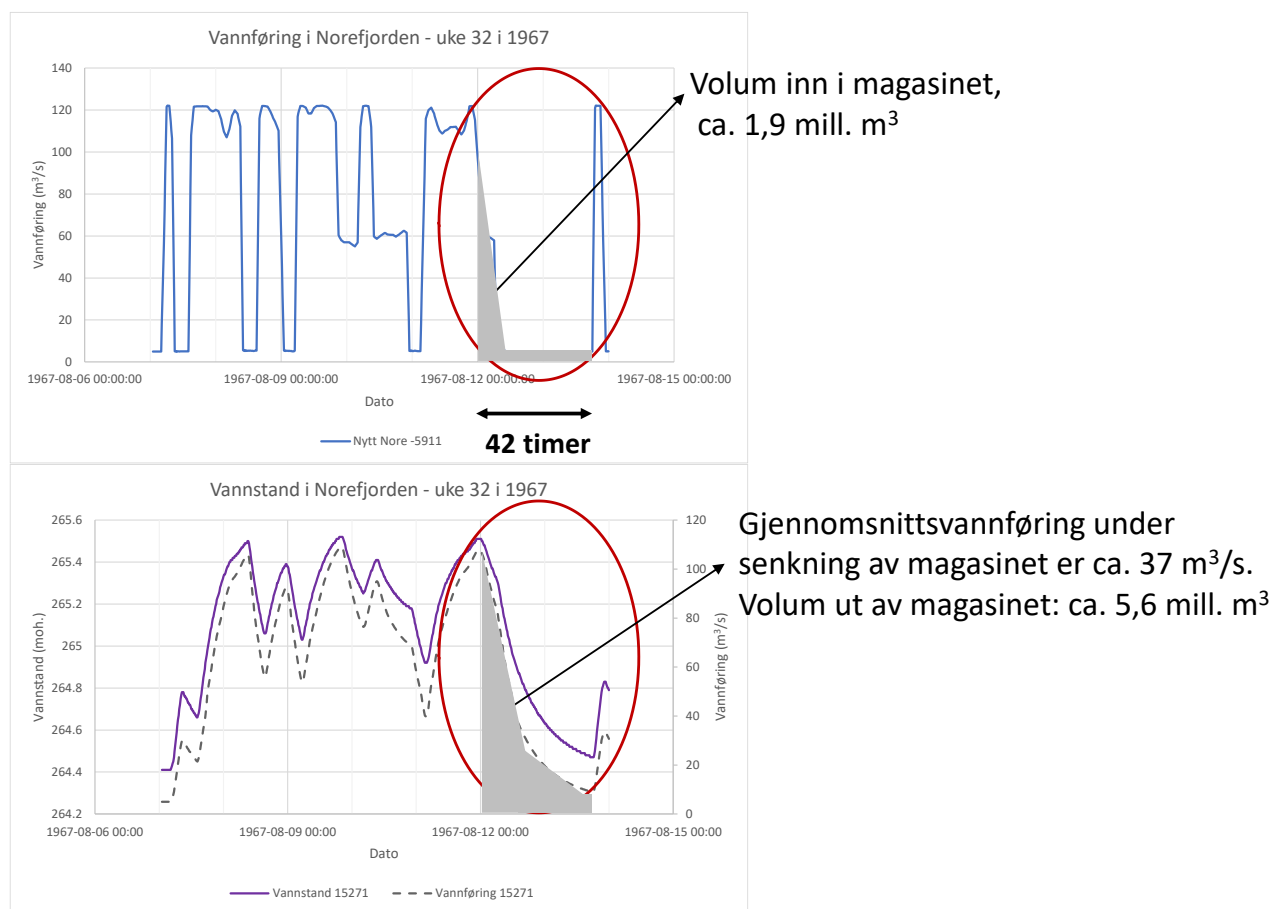
Tabell 4-1 viser en oppsummering av de beregnede vannstandsendringene i Norefjorden. Vannstandsvariasjoner i Norefjorden vil være noe mindre ved større vannføringer i vassdraget (minstevannføring eller tatt hensyn til driftsvannføringen fra Ulvdal II).

Tabell 4-1 Oppsummering av vannstandsendringer i Norefjorden. Kravikfjorden reguleres ved pådrag til Mykstufoss kraftverket (ev. lukene ved stans av kraftverket) og derfor er endringer i dette magasinet ikke beregnet.

Scenario	Uke 5 1967	Uke 22 1941	Uke 32 1967	Tid for stigning eller senkning (timer)	Endringshastighet (cm/ time)
Stigning (cm)	50	-	-	9	6
Senkning (cm)	50	-	-	7	7
Stigning (cm)	-	50	-	16	3
Senkning (cm)	-	60	-	10	6
Stigning (cm)	-	-	60	16	4
Senkning (cm)	-	-	100	36	3

Det er utført en enkel kontroll av vannvolum under senkning av magasinet ved stans av produksjon i scenario C1 og driftsvannføring uke 32 i 1967. Figur 4-12 viser driftsvannføring samt vannstand og vannføring ved utløpet av Norefjorden. Innsjøareal ved normalvannstand er 3,9 km², og 1 meter vannstandsenkning ved normalvannstand tilsvarer ca. 3,9 mill. m³.

Ved stans av produksjon er det simulert et vannvolum inn i magasinet på ca. 1,9 mill. m³ (reduksjon av produksjonsvannføring fra 100 m³/s til 5 m³/s i løpet av 7 timer, og deretter 5 m³/s i løpet av 35 timer). Gjennomsnittsvannføringen under senkning av magasinet er beregnet til 37 m³/s, og vannvolum ut av magasinet i løpet av 42 timer er beregnet til ca. 5,6 mill. m³. $5,6 - 1,9 = 3,7$ mill. m³, som stemmer med ca. 1 m senkning av magasinet.



Figur 4-12 Vannføringsproduksjon samt vannstand og vannføring ved utløp av Norefjorden, scenario C1 og produksjonsvannføring uke 32 i 1967

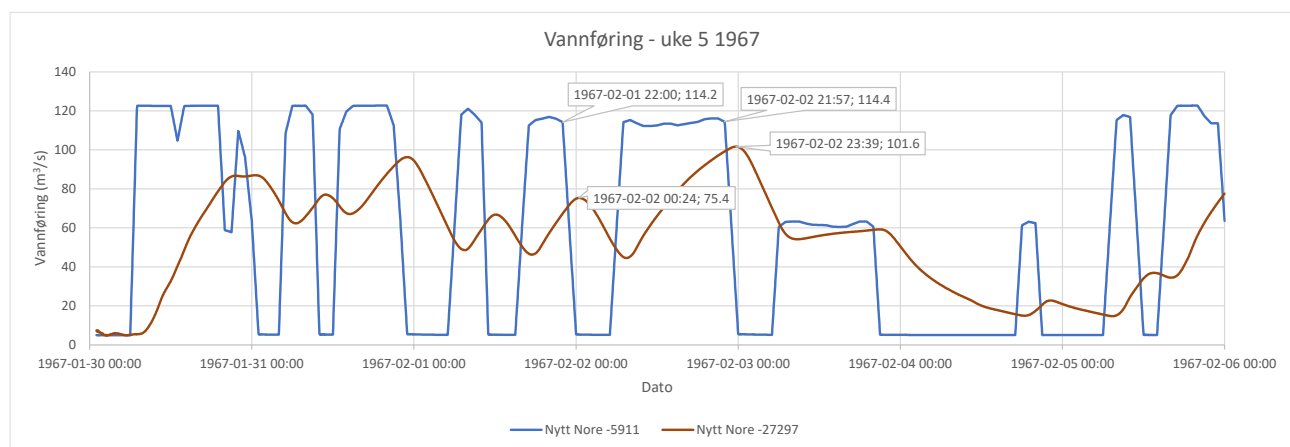
4.1.4.2 Endringer i vannføringer

Raske endringer i driftsvannføringen vil bli dempet i Norefjorden og særlig i Kravikfjorden. Variasjoner i driftsvannføringen i scenario C1 er slik at det ikke nås en stabil situasjon/ vannføring ved utløpet av Norefjorden (heller ikke ved Kravikfjorden). Derfor er de maksimale vannføringene avhengig av tidspunktet til reduksjon/ stans av produksjonen.

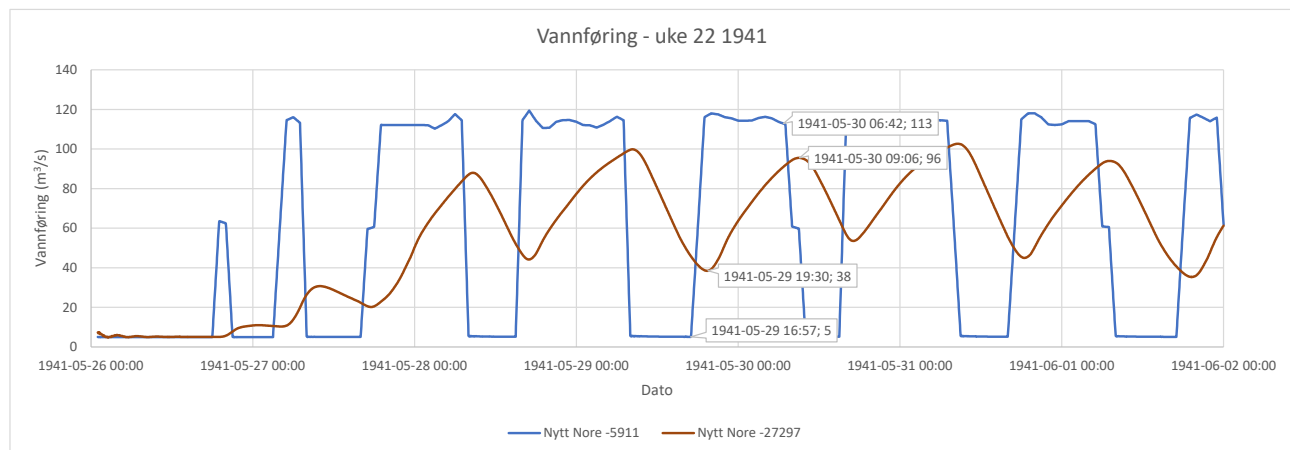
Figur 4-13 til Figur 4-15 viser produksjonsvannføringene for nytt Nore (i oppstrøms ende av Norefjorden) samt vannføringene ved Kjerredammen/ inntak til Mykstufoss kraftverket for de tre simulerte ukene. Siden simuleringene regulerer initialtilstanden i vassdraget under det første døgnet, er det ekskludert fra analysen.

Ved utløpet av Norefjorden merkes vannføringsendringene under én time etter raske endringer i produksjonsvannføringen. Ved utløpet av Kravikfjorden merkes raske endringer i vannføringer etter ca. 2 – 3 timer.

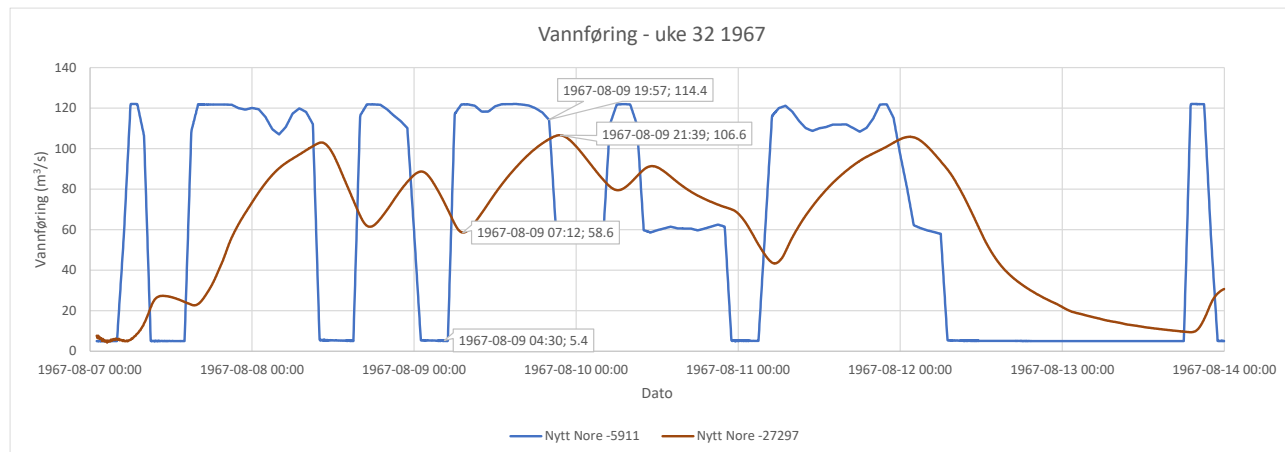
Mens produksjonsvannføringene ved Nytt Nore varierer mellom 0 og 120 m³/s, varierer vannføringene ved Kjerredammen under normal drift (uten langvarig stans i produksjon) mellom 40/ 50 m³/s og 100 m³/s.



Figur 4-13 Vannføringer ved oppstrøms ende av Norefjorden og ved Kjerredammen/ inntak til Mykstufoss kraftverket, produksjonsvannføring uke 5 i 1967 og scenario C1



Figur 4-14 Vannføringer ved oppstrøms ende av Norefjorden og ved Kjerredammen/ inntak til Mykstufoss kraftverket, produksjonsvannføring uke 22 i 1941 og scenario C1

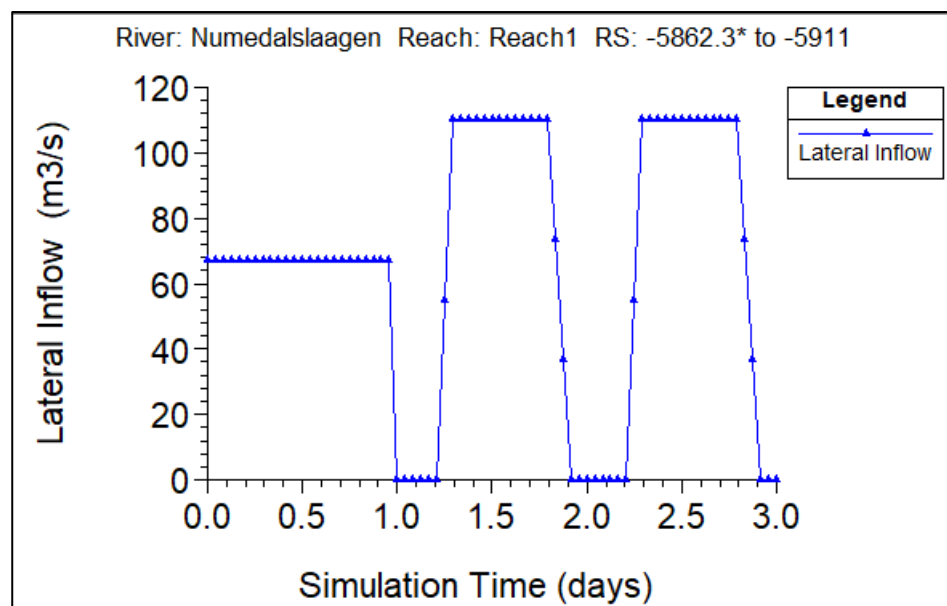


Figur 4-15 Vannføringer ved oppstrøms ende av Norefjorden og ved Kjerredammen/ inntak til Mykstufoss kraftverket, produksjonsvannføring uke 32 i 1967 og scenario C1

4.2 Simuleringer med «standard»-kjøremønstre

Det er ønskelig å vurdere når kommer vann fra det nye Nore inntaket til Mykstufoss kraftverket. For å vurdere hvor fort beveger seg vann fra utløpet til det nye Nore kraftverket til Mykstufoss inntak, er det simulert produksjonsvannføring i to døgn som vist i Figur 4-16. Det kjøres kraftverket opp og ned (standard scenario C1, vist i Figur 2-10), men for å unngå ustabiliteter i begynnelsen av simuleringen er det kjørt ett døgn med konstant vannføring på 67 m³/s. Med et kunstig hydrogram får vi bedre kontroll på tidspunktene for stans og oppstart av kraftverket.

Som forenkling, og for å vurdere konsekvensene av nytt Nore uavhengig av andre kraftverk, er det ikke tatt hensyn til produksjonsvannføringen fra Uvdal II (24 m³/s).



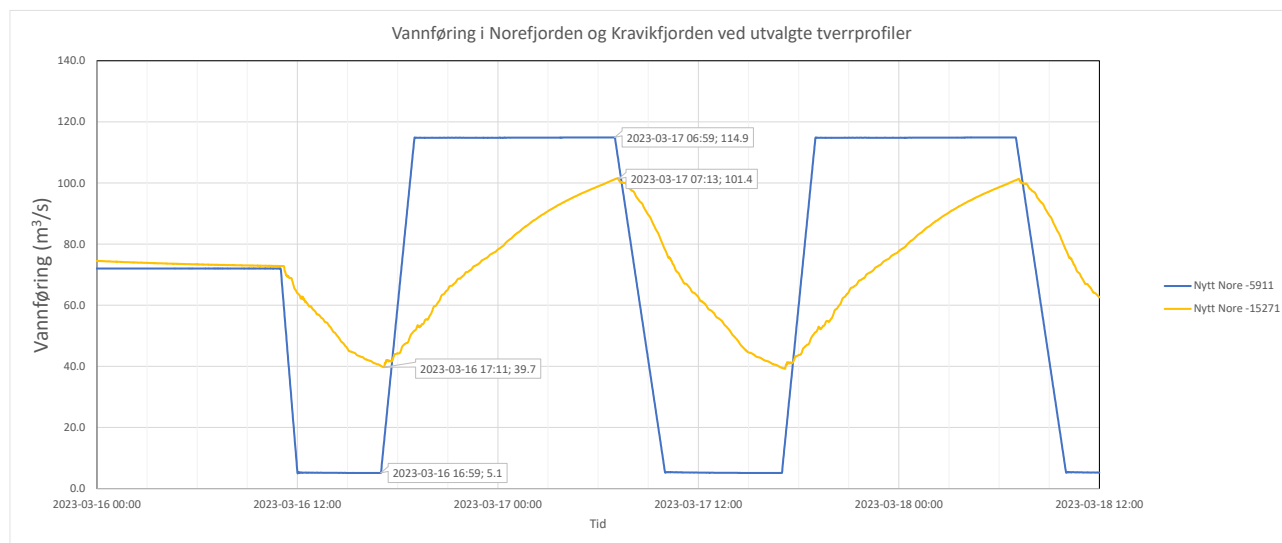
Figur 4-16 Produksjonsvannføring i oppstrøms ende av Norefjorden

Hydrogrammer ved utvalgte profiler er vist i Figur 4-17 (inn- og utløp av Norefjorden) og Figur 4-18 (innløp Norefjorden og Kjerredammen).

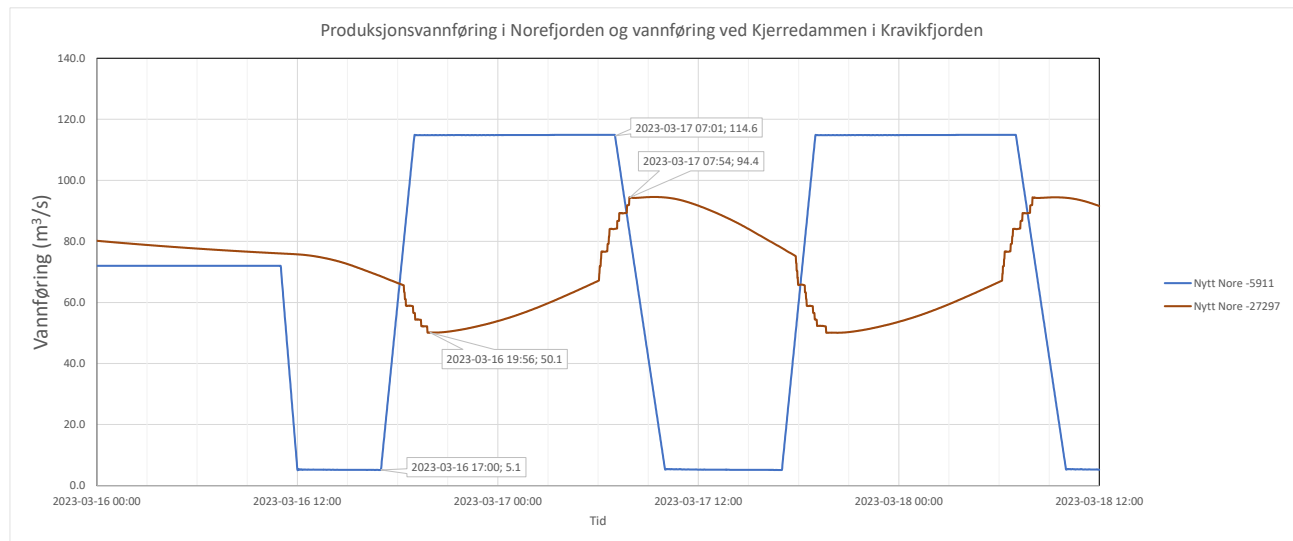
Resultater viser at toppen av vannføringen når utløpet av Norefjorden ca. 13 minutter etter stans av produksjonen, og maksimal vannføring er ca. 10 m³/s lavere enn toppen av produksjonsvannføring (110 m³/s), se Figur 4-17.

Vannføringer ved Kjerredammen varierer mellom 50 og 95 m³/s, og toppen nås ca. 1 time etter stans av produksjonen i oppstrøms ende av Norefjorden, se Figur 4-18. Her nås det ikke en stabil/ stasjonær situasjon, og vannstand/ vannføring begynner å stige når det kommer mer vann enn det som går ut.

Initialtilstanden i vassdraget har betydning for den maksimale vannføringen ved utløpet av Norefjorden og Kravikfjorden. Simulering av produksjonsvannføringen opp og ned uten en initialvannføring på 67 m³/s, resulterer i lavere vannføringer ved utløp av Norefjorden og Kravikfjorden enn det som er vist i figurene nedenfor.



Figur 4-17 Vannføring i Norefjorden ved inn- og utløp



Figur 4-18 Produksjonsvannføring inn i Norefjorden og vannføring ved Kjerredammen i Kravikfjorden

Det er utført en kontroll av bølgeforplantingen i Norefjorden ved bruk av formelen for hastigheten for bølger på grunt vann (c), [7]:

$$c = \sqrt{gd}$$

Der:

c: hastighet for bølger på grunt vann (m/s)

g: tyngdeakslerasjon (9,81 m/s²)

d: vanndybde (m)

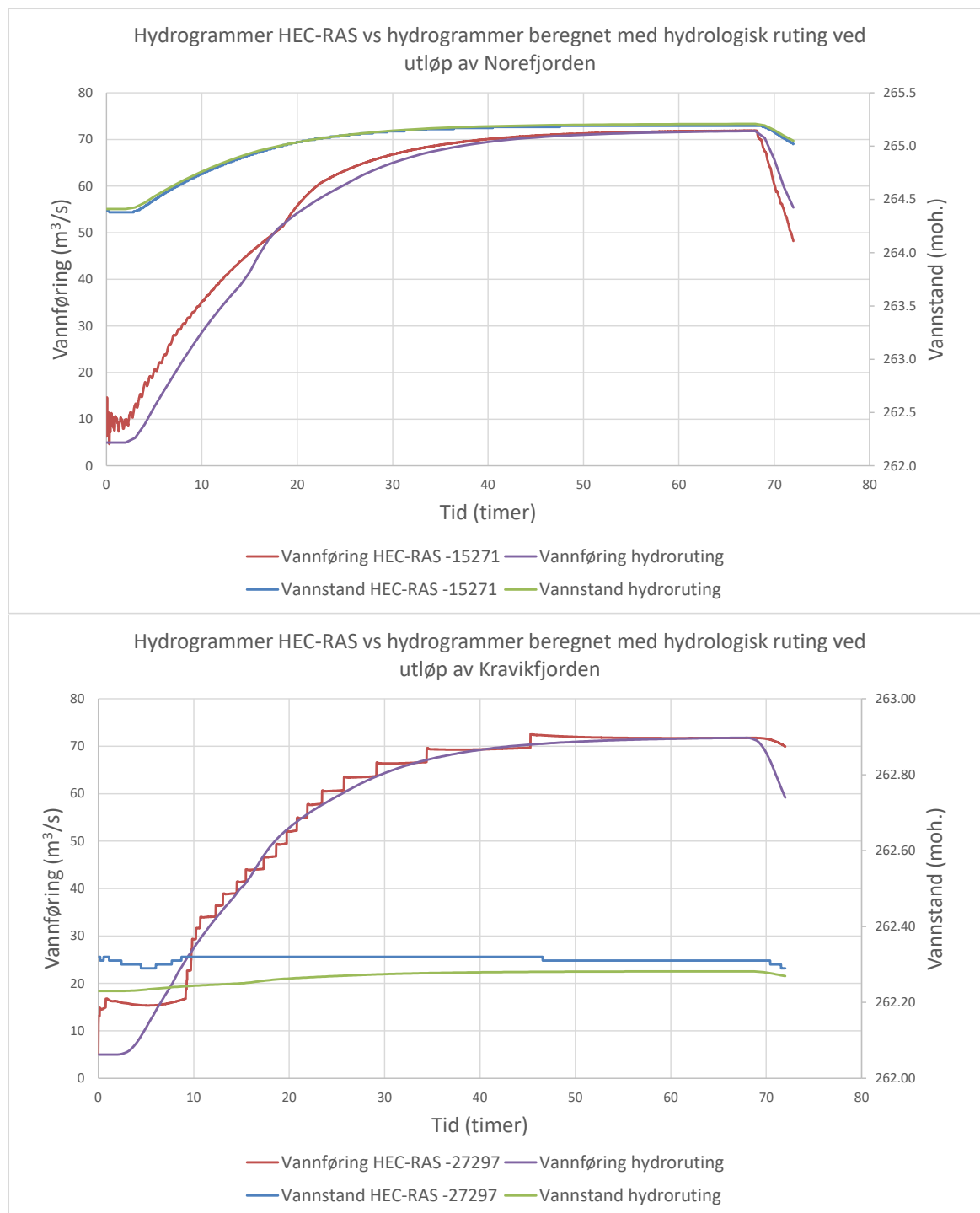
Bølgehastigheten er avhengig av dybden og øker med økning av vanndybde. Norefjorden er ca. 10,6 km lang og har på enkelte steder dybder opptil 50 m, men mye av vannet er ikke så dyp. Ved å sette en middeldybde på 20 m får man en bølgehastighet på 14 m/s, og en transporttid mellom oppstrøms og nedstrøms ende på 12-13 minutter. Dette stemmer godt overens resultater fra Hec-Ras simuleringene.

En kort beskrivelse av bølger er presentert i vedlegg 2.

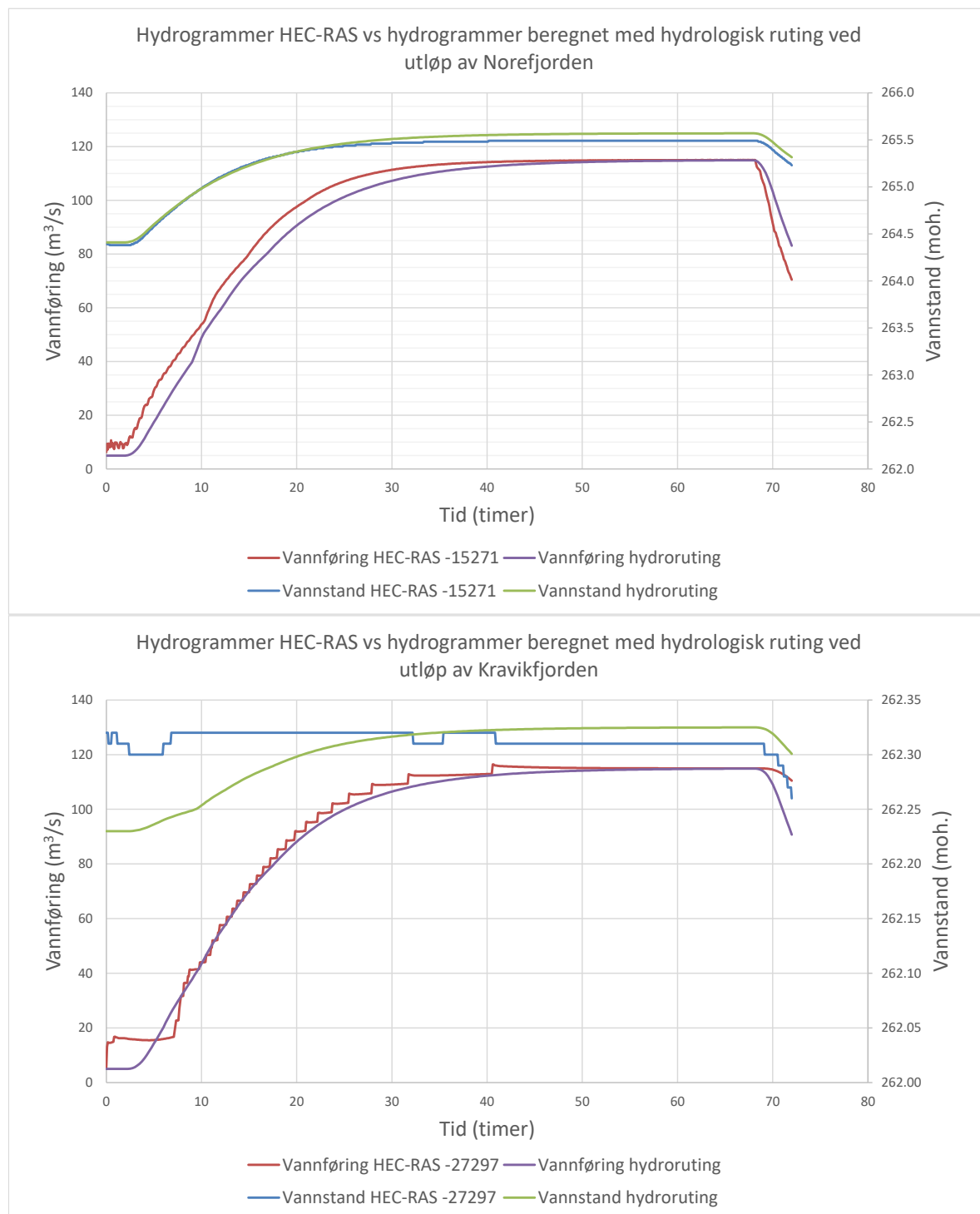
For å vurdere tiden det tar å få en stasjonær situasjon ved utløpet av Kravikfjorden ved oppstart av produksjon for scenarioer A0 og C1 er det kjørt produksjonsvannføringene som vist i Figur 2-11 (scenario A0: økning av produksjonsvannføring fra 0 til 67 m³/s og scenario C1: økning av produksjonsvannføring fra 0 til 110 m³/s). I simuleringene begynner økningen av vannføringen etter to timer og det er lagt til 5 m³/s oppstrøms Norefjorden.

Resultater fra disse simuleringene er også kontrollert ved bruk av et regneark der vannføring og vannstand i magasinene er beregnet med hydrologisk ruting.

Hydrogrammene er vist i Figur 4-19 og Figur 4-20. Vannføring i HEC-RAS øker litt raskere i begynnelsen enn vannføringen beregnet med hydrologisk routing, med en forskjell på ca. 10 m³/s. Etter ca. 40 timer er vannføringene beregnet på forskjellige måter omtrent like.



Figur 4-19 Vannføring og vannstand ved utløp av Norefjorden og Kravikfjorden med $Q = 67 \text{ m}^3/\text{s}$ og oppstart fra null

Figur 4-20 Vannføring og vannstand ved utløp av Norefjorden og Kravikfjorden med $Q = 110 \text{ m}^3/\text{s}$ og oppstart fra null

4.3 Usikkerheter

Det er utført en kontroll/ validering av den hydrauliske modellen ved å sammenligne de simulerte vannstandene med observasjoner av driftsvannføring ved Nore II og Uvdal II sammen med registrerte vannstander i Norefjorden (ved Vrenne og Eidstryken). Kontrollen viser at simulerte vannstander i Norefjorden passer generelt godt overens med observasjoner, unntatt ved vannstand i Norefjorden under ca. 265,0 moh. I disse situasjonene overestimerer modellen vannstandsengkningen med opptil ca. 10 cm. I tillegg, ved vannstandsengkning, er det en tidsforskyvning på ca. 2 timer, der minimum vannstand i modellen nås raskere enn observasjoner. Tidsforskyvningen ved heving av vannstanden er ca. 1 time, der modellen simulerer en topp raskere enn observasjoner. Tidsforskyvningen blir ikke merkbare senere i simuleringen når vannstand i Norefjorden ligger over ca. 265 moh.

Den hydrauliske modellen er utarbeidet uten oppmåling av tverrprofiler ved utløpet av Norefjorden (Eidstryken), og dette kan være årsak til unøyaktighetene. Ved behov kan modellen forbedres ved å måle tverrprofiler ved Eidstryken.

Vannstanden ved Kjerredammen er satt til 262,22 moh. da kraftstasjon og lukene ved dammen har nok kapasitet til å regulere vannstanden. Men vi vet ikke hvordan kraftverket kjøres i dag.

Den hydrauliske modellen tar ikke hensyn til ev. massetransport eller endringer i tverrprofilene. Ved Eidstryken er det bygd to buner og det kan antydes at det finnes noen steinterskler/ grunne partier i elveløpet. Oppbygging av disse terskler er ikke kjent, og vi kan ikke si om de vil tåle store vannføringer. Men det er ikke registrert store endringer i flyfotoene i Norge i Bilder, så det vurderes at tverrprofilene antagelig er stabile. Dette bør bekreftes med oppmåling og befaring/ eller bilder fra stedet.

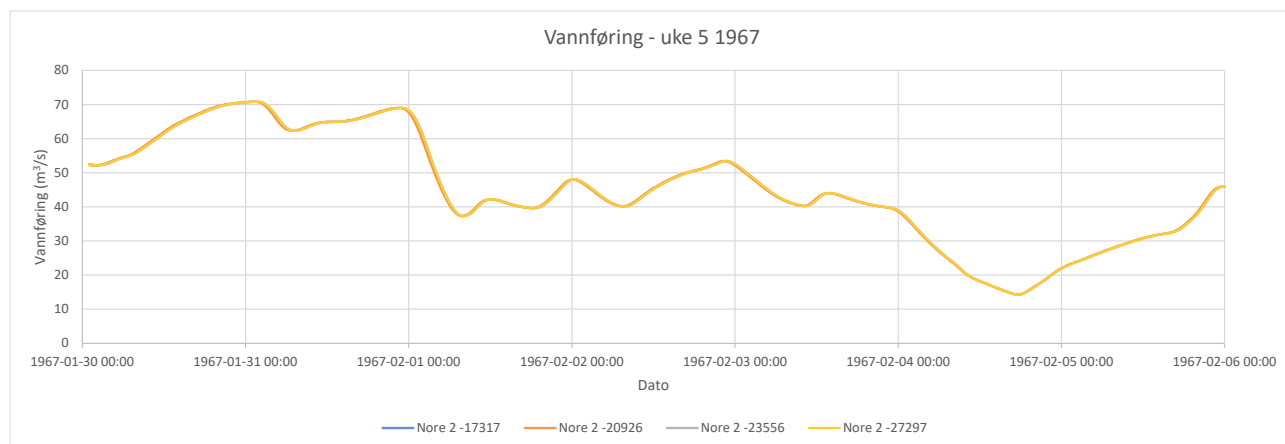
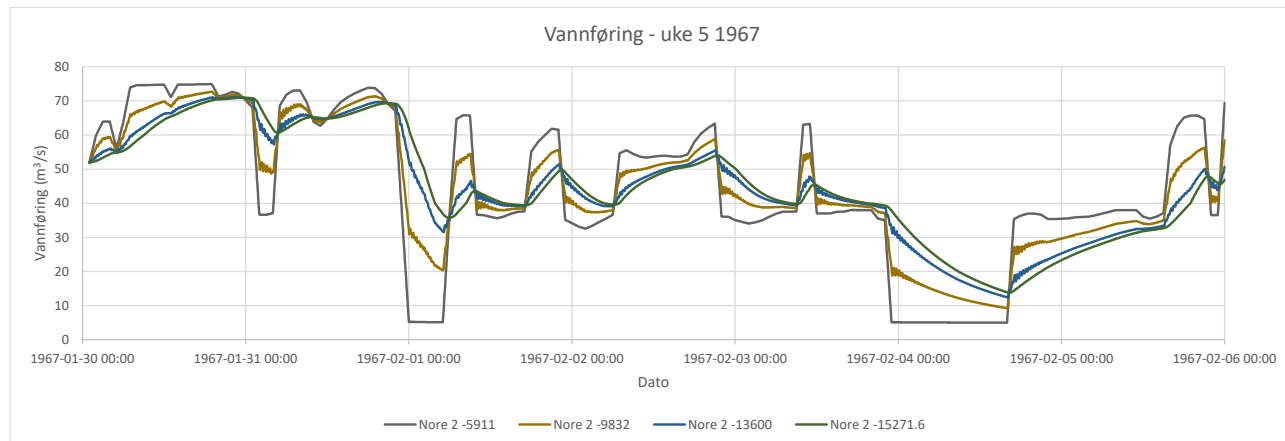
5 Referanser

- [1] Kartverket, «Høydedata,» [Internett]. Available: <https://hoydedata.no/LaserInnsyn/>. [Funnet 15 03 2023].
- [2] NVE, «NVE Atlas,» NVE, [Internett]. Available: <https://atlas.nve.no/html5Viewer/?viewer=nveatlas>. [Funnet 15 11 2021].
- [3] O.-. o. energidepartement, «Omgjøring av konsesjonsvilkår for Mykstufoss kraftverk i Rollag kommune,» 2023.
- [4] Norconsult, «Flomberegning Numedalslågen,» 2012.
- [5] NVE, «Sildre,» [Internett]. Available: <https://sildre.nve.no/station/15.23.0>. [Funnet 15 04 2024].
- [6] Kartverket, «Norge i bilder,» [Internett]. Available: <https://www.norgeibilder.no/>. [Funnet 10 01 2024].
- [7] NVE, Vassdragshåndboka. Håndbok i vassdragsteknikk, 2010.

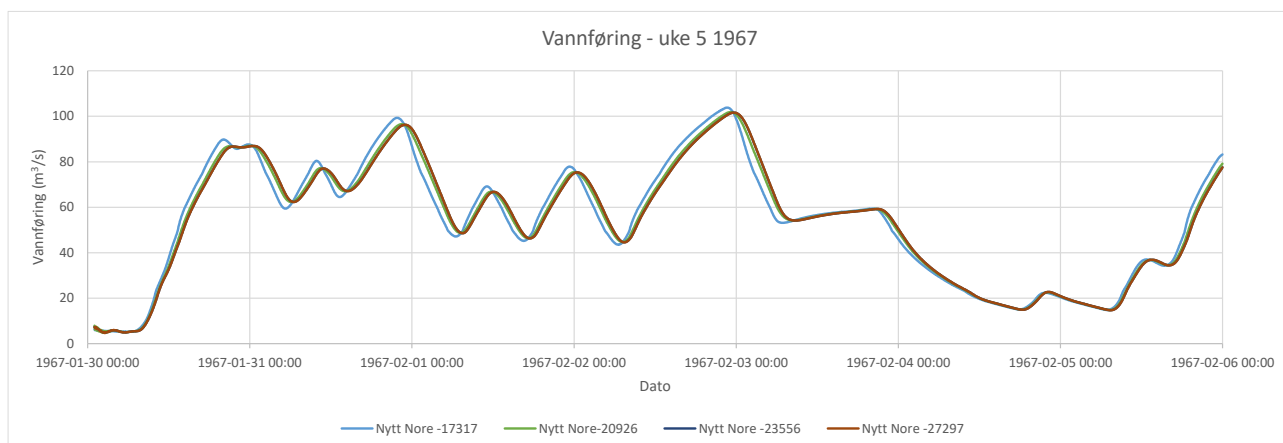
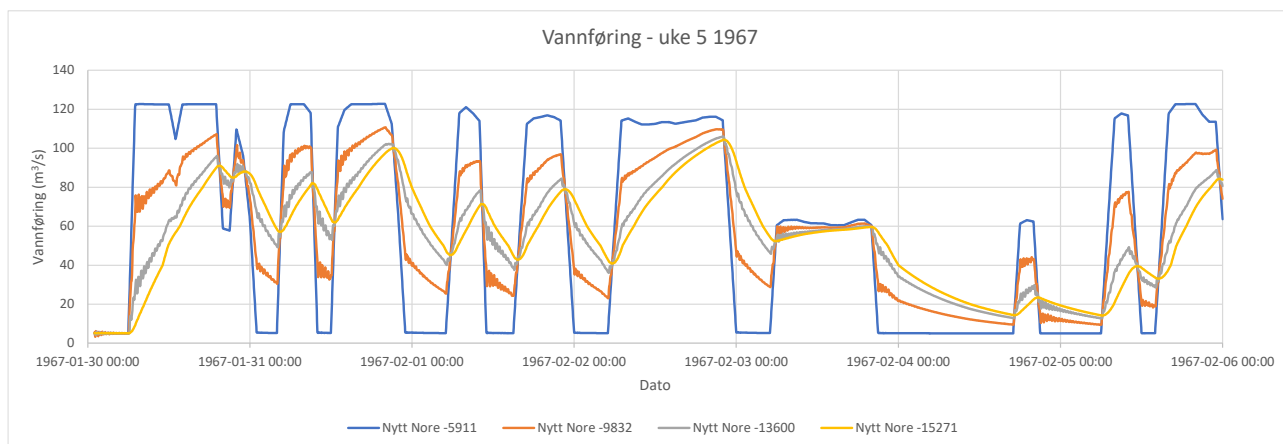
Vedlegg

1 Tidsserier

1.1 Vannføringer i uke 5 i 1967 – A0

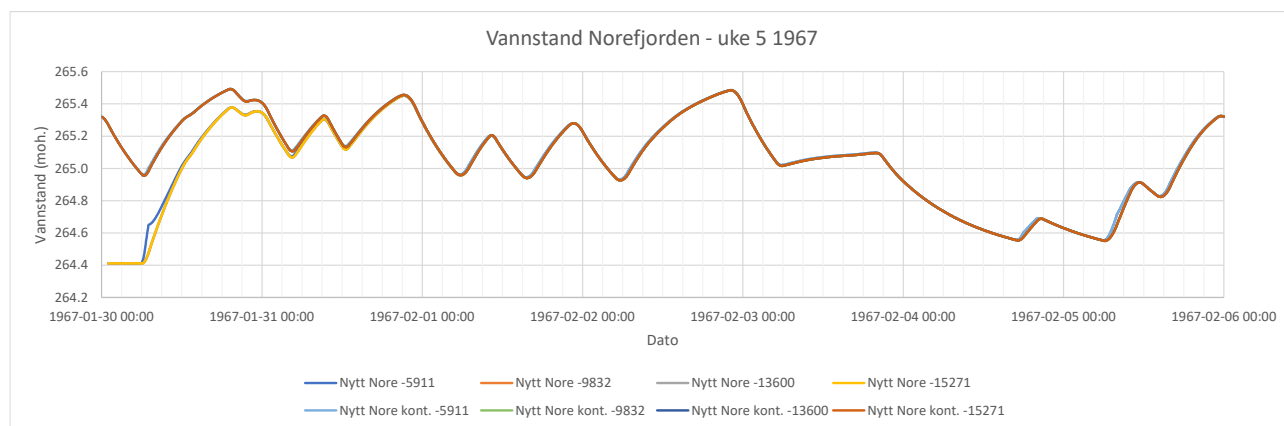


1.2 Vannføringer i uke 5 i 1967 – C1

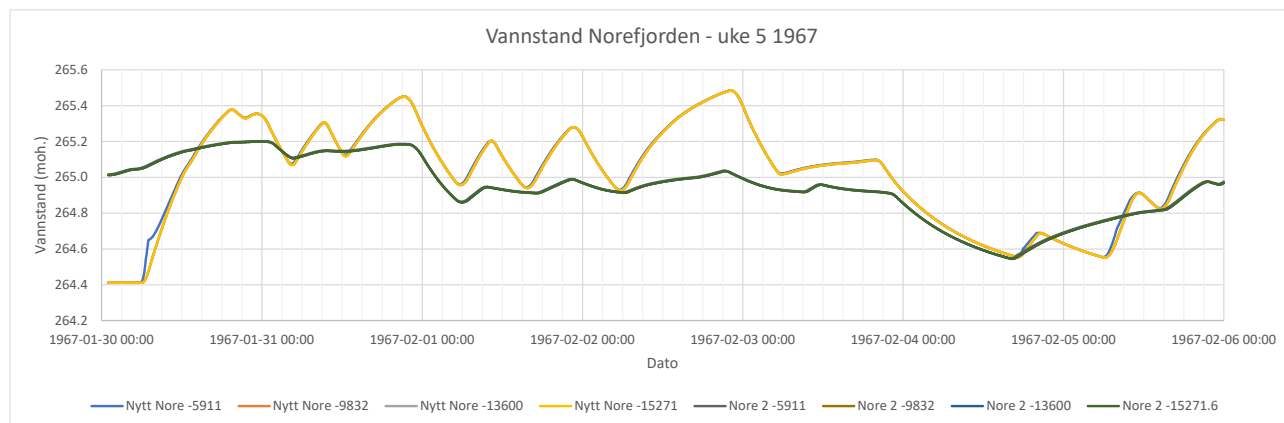


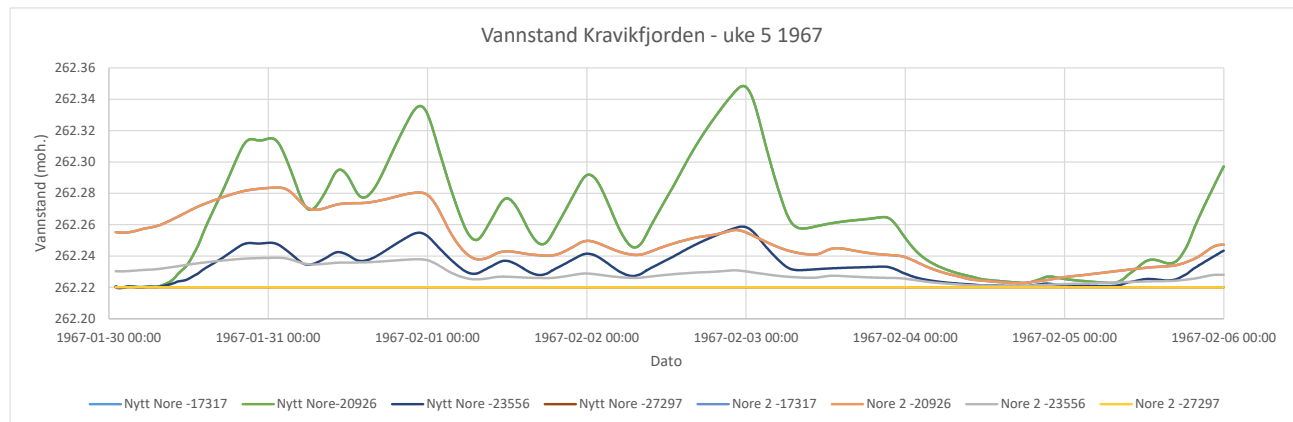
1.3 Vannstand i utvalgte profiler med produksjonsvannføring i uke 5 i 1967, scenario A0 og C1

Figur 1-1 viser en sammenligning av vannstandsutviklingen i Norefjorden for scenario C1 med ulike startvannstand i Norefjorden for produksjonsvannføringen i uke 5 i 1967. Simuleringen med lavvannstand i Norefjorden representerer en situasjon med oppstart etter en langvarig stans i produksjon. Figuren viser at startvannstanden kun har betydning det første døgnet. Deretter er vannstandsvariasjonene uavhengig av initialvannstand.

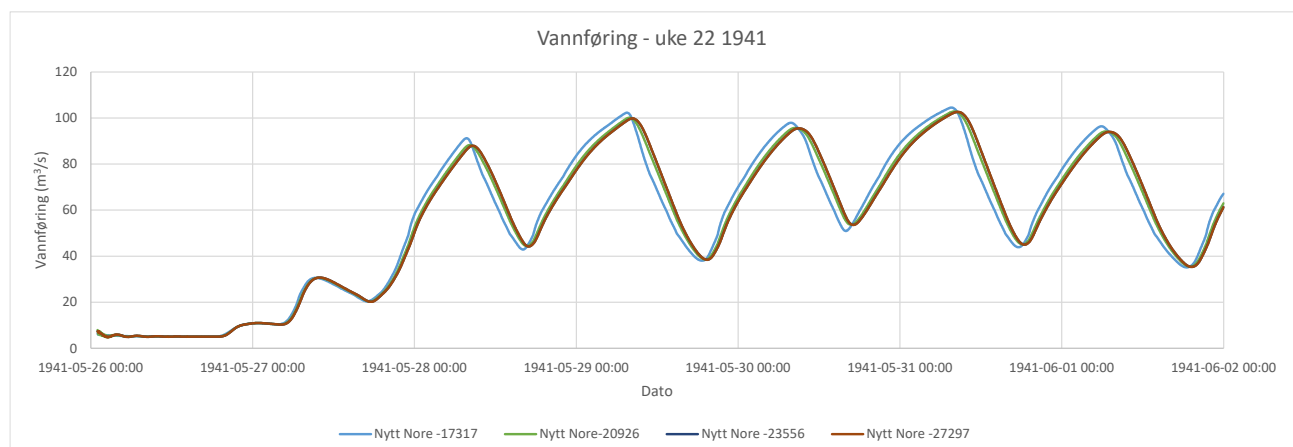
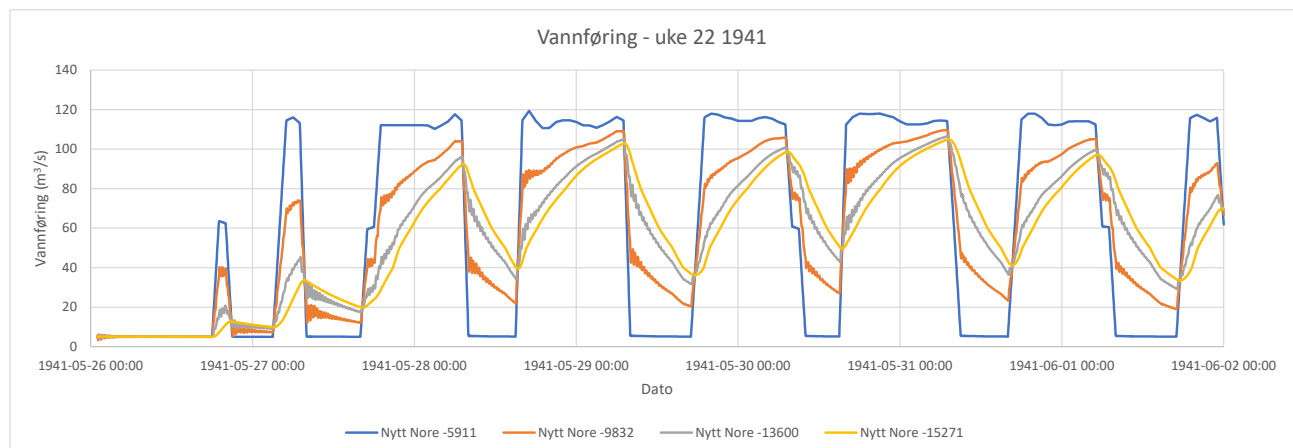


Figur 1-1 Vannstand i Norefjorden med produksjonsvannføring i uke 5 i 1967 og C1 (Nytt Nore) med forskjellige vannstander i Norefjorden i starten av simuleringsperioden.

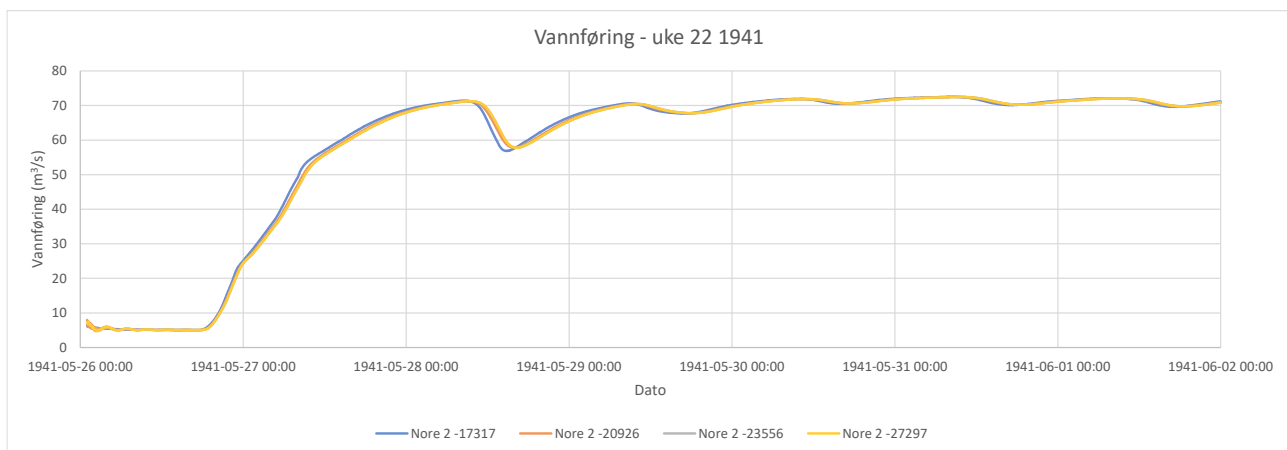
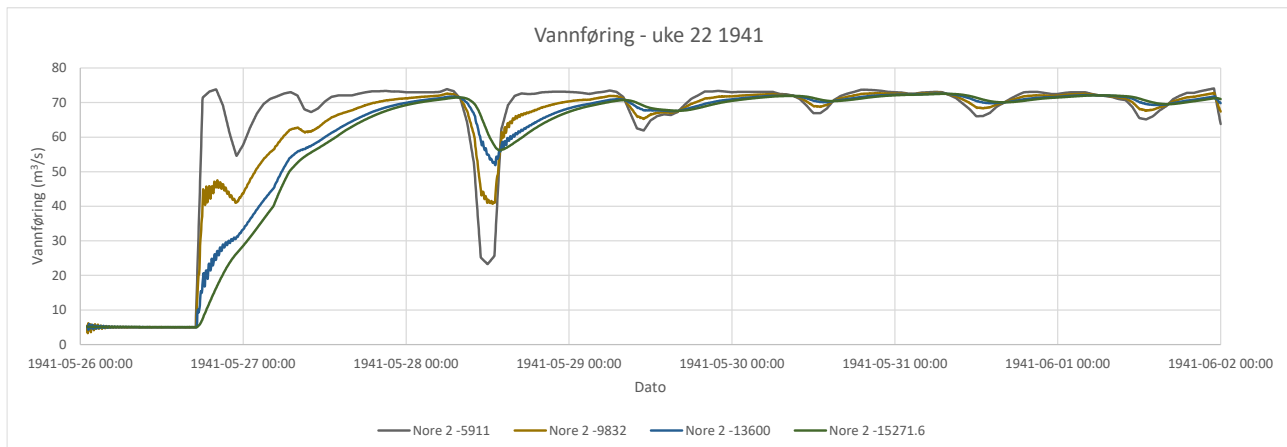




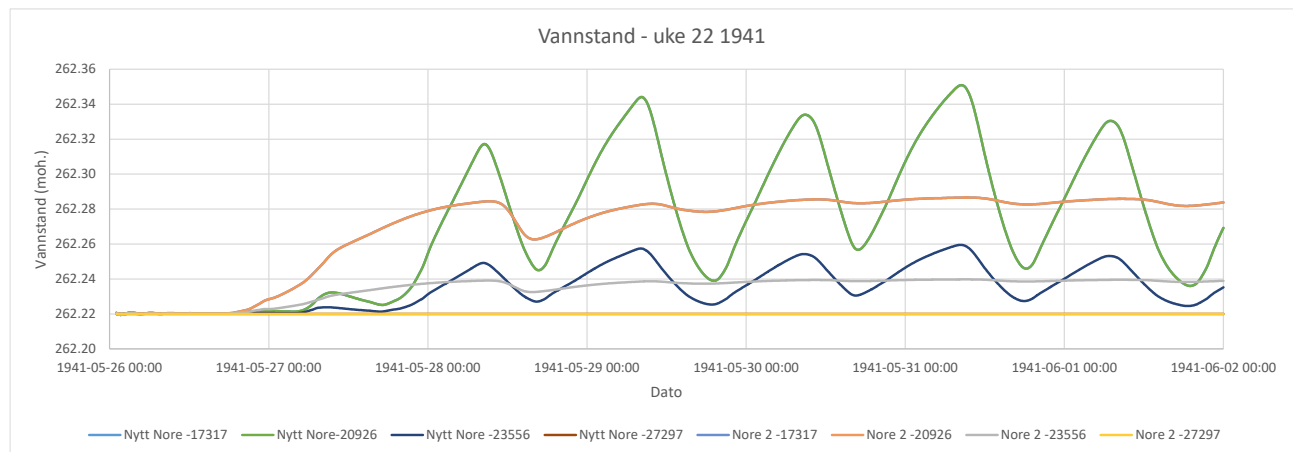
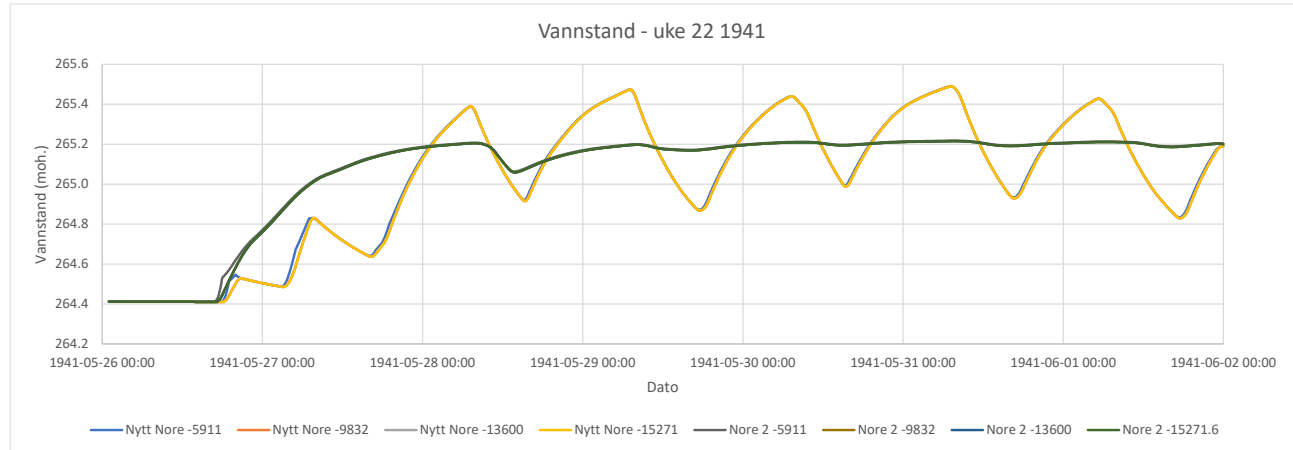
1.4 Vannføringer i uke 22 i 1941 – A0



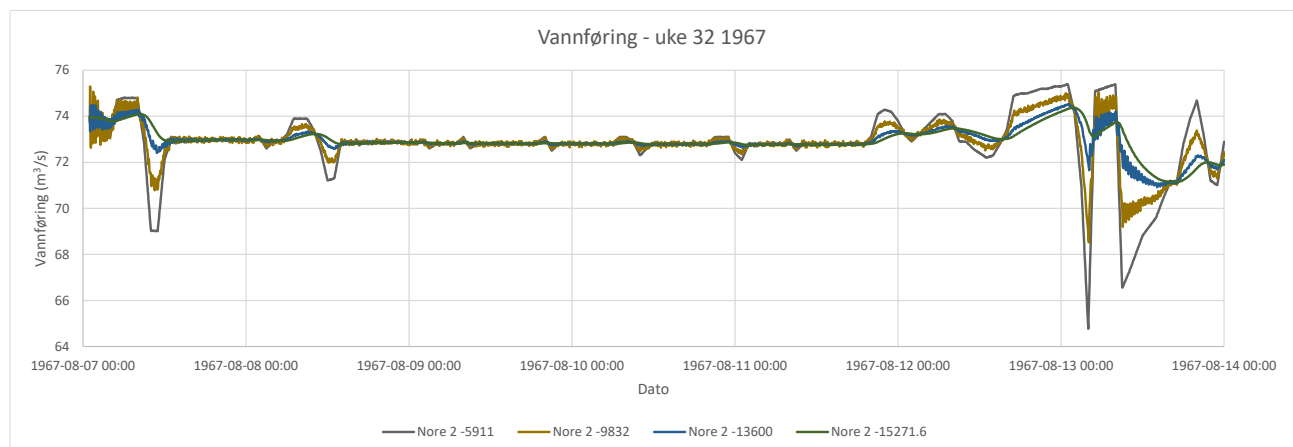
1.5 Vannføringer i uke 22 i 1941 – C1

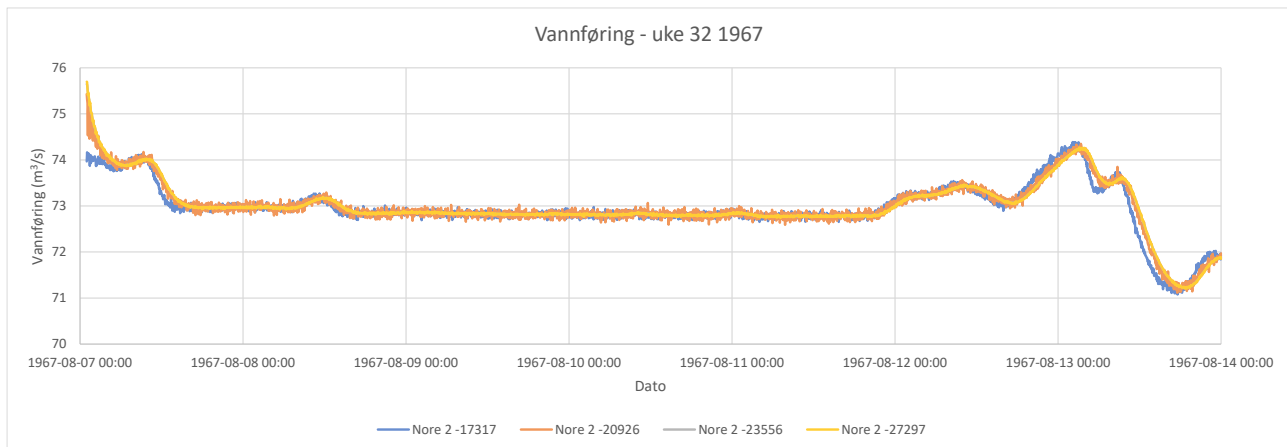


1.6 Vannstand i utvalgte profiler med produksjonsvannføring i uke 22 i 1941, scenario A0 og C1

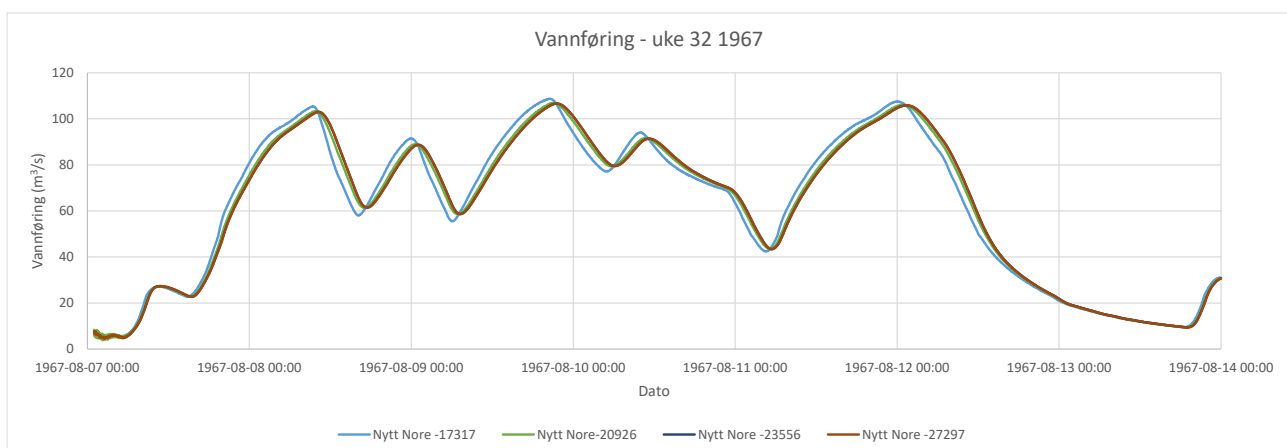
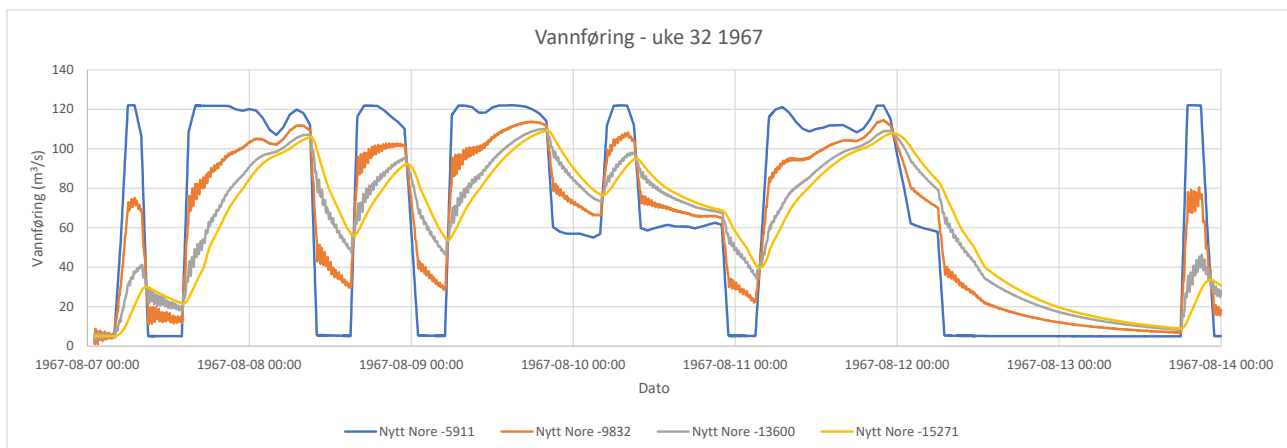


1.7 Vannføringer i uke 32 i 1967 – A0



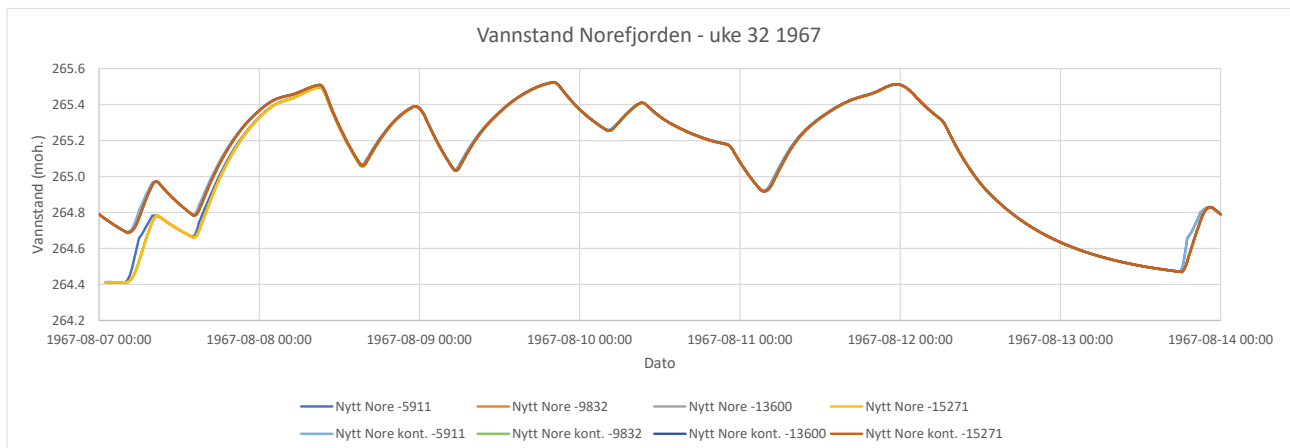


1.8 Vannføringer i uke 32 i 1967 – C1

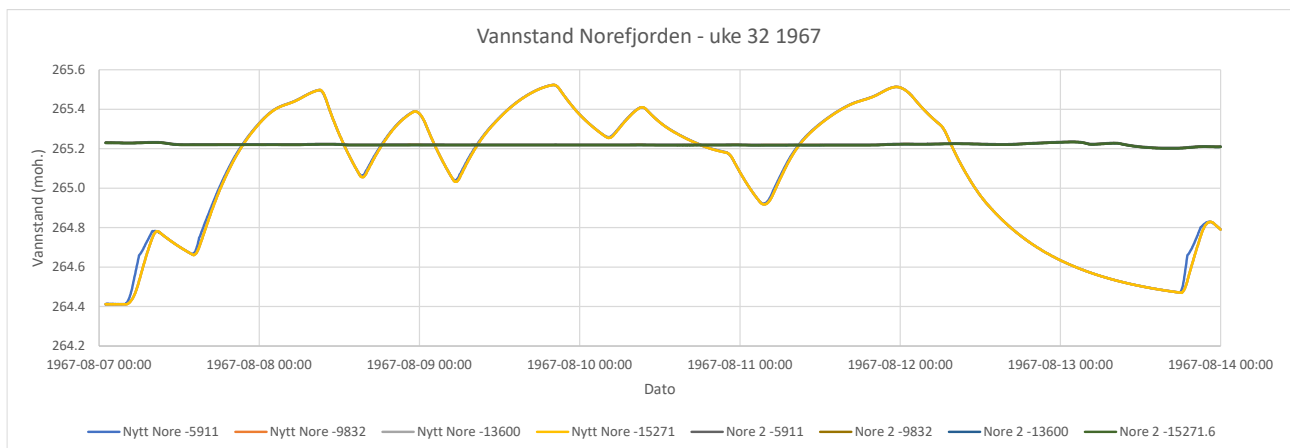


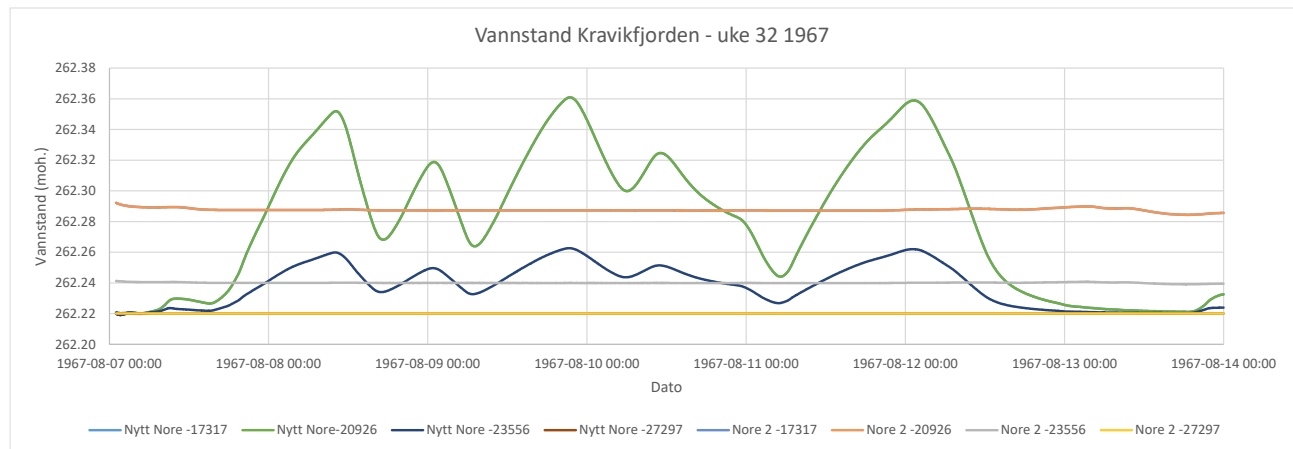
1.9 Vannstand i utvalgte profiler med produksjonsvannføring i uke 32 i 1967, scenario A0 og C1

I Figur 1-2 er effekten av å ha forskjellige initialvannstander i Norefjorden vist. Initialvannstanden har betydning kun det første døgnet.



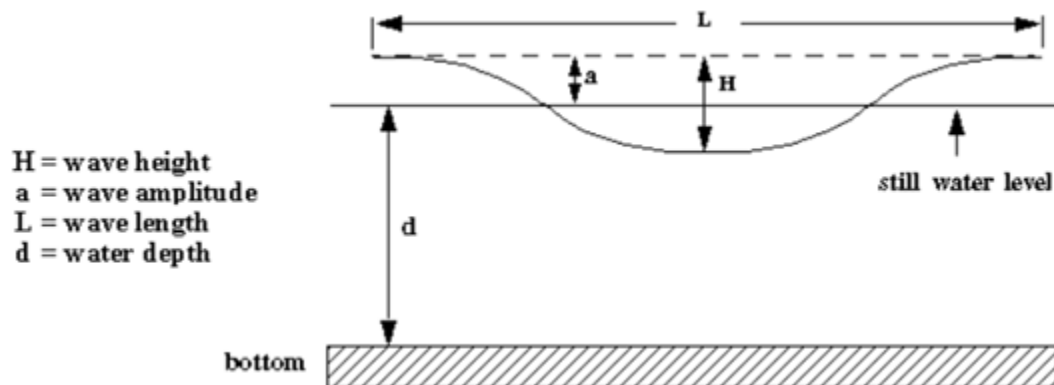
Figur 1-2 Vannstand i Norefjorden med produksjonsvannføring i uke 5 i 1967 og C1 (Nytt Nore) med forskjellige vannstander i Norefjorden i starten av simuleringsperioden.





2 Kort beskrivelse av bølger

Kilde: [Water Wave Celerity \(scubageek.com\)](https://www.scubageek.com/)



Relative Depth d/L	wave type	wave celerity	wave length
$d/L < .05$	shallow water wave	$\sqrt{gd}$	$\sqrt{gd}T$
$.05 < d/L < .50$	intermediate depth wave	$\sqrt{\frac{gL}{2\pi} \tanh\left(2\pi \frac{d}{L}\right)}$	$\frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(2\pi \frac{d}{L}\right)$
$d/L > .50$	deep water wave	$\sqrt{\frac{gL}{2\pi}}$	$\frac{gT^2}{2\pi}$