

Rapport

Økt balansekraftkapasitet i norske vannkraftverk

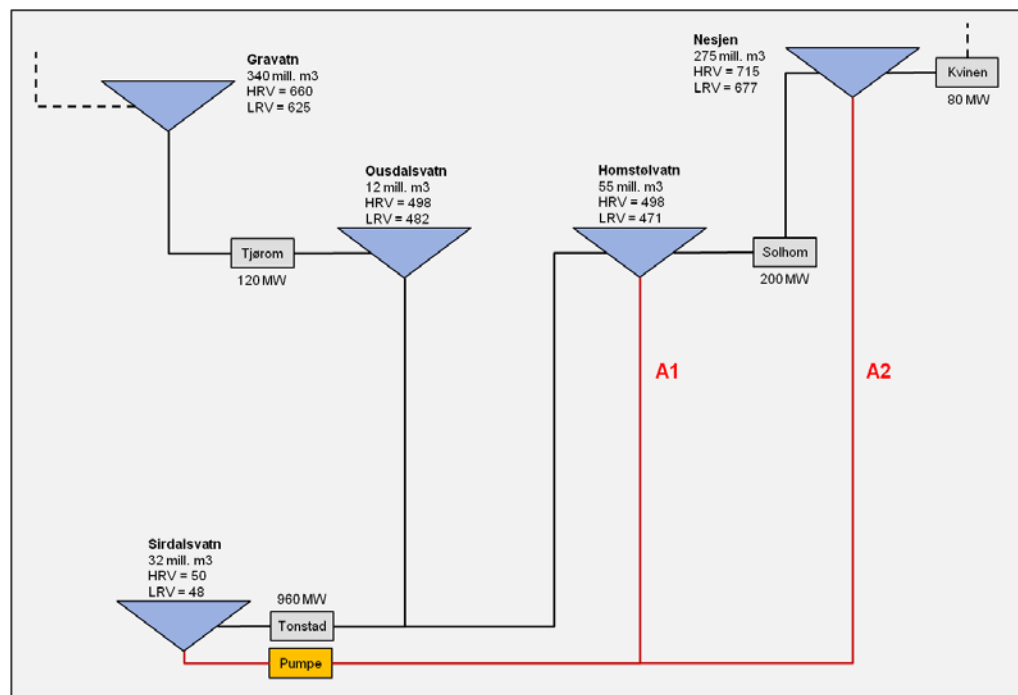
Innledende studie av konkrete case i Sør-Norge

Forfatter(e)

Eivind Solvang

Atle Harby

Ånund Killingtveit



SINTEF Energi ASPostadresse:
Postboks 4761 Sluppen
7465 TrondheimSentralbord: 73597200
Telefaks: 73597250energy.research@sintef.no
www.sintef.no/energi
Foretaksregister:
NO 939 350 675 MVA

Rapport

Økt balansekraftkapasitet i norske vannkraftverk

Innledende studie av konkrete case i Sør-Norge

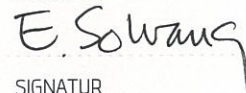
EMNEORD:
Balansekraft
Effektpotensial
Effektverk
Pumpekraftverk
Miljøvirkninger
Nettilknytning**VERSJON**
1.1**DATO**
2011-11-29**FORFATTER(E)**
Eivind Solvang
Atle Hørby
Ånund Killingtveit**OPPDRAKSGIVER(E)**
CEDREN**OPPDRAKSGIVERS REF.**
CEDRENs styre**PROSJEKTNR**
12X757**ANTALL SIDER OG VEDLEGG:**
84**SAMMENDRAG**

Rapporten beskriver resultater fra en innledende studie vedrørende økt effektkapasitet fra eksisterende vannkraftmagasiner i Sør-Norge innenfor dagens bestemmelser om høyeste og laveste regulerte vannstand (HRV og LRV). Hovedscenariot består av 12 nye kraftverk med en samlet effektkapasitet på 11 200 MW. Kraftverkene tenkes etablert med ny tunnel til oppstrøms magasin og til nedstrøms utløp i magasin eller fjord/sjø. 5 av kraftverkene er pumpekraftverk (5 200 MW), mens resterende 7 er effektverk (6 000 MW) som med ett unntak har utløp til fjord/sjø. Ingen av de valgte kraftverkene gir vannstands- endringer hurtigere enn 14 cm pr time i berørte magasin oppstrøms og nedstrøms. Det er størst begrensninger knyttet til nedstrøms magasin. For de fleste oppstrøms magasin vil det ta 2-4 uker med konstant effektkjøring før magasinet tømmes. Det er antatt uendret drift av det eksisterende kraftverk. De største miljøutfordringene i berørte magasin med økt effektinstallasjon knytter seg til faren for økt erosjon, endret sirkulasjon, endret vanntemperatur, redusert isdekke og økt fare for usikker is. Alle disse fysiske endringene kan gi effekt på økosystemene. Mange av de utvalgte magasinene er allerede i dag sterkt påvirket av regulering. I magasin som mottar pumpet vann fra lavereliggende magasin eller nabovassdrag kan miljøeffektene bli større, fordi overført vann kan innebære større endringer i vannkjemii og vanntemperatur, og en rekke organismer kan overføres fra det nedre til det øvre magasinet. Kunnskapen om mulige effekter av slik overføring er mangelfull. Miljøutfordringene knyttet til balansekraft vil variere fra prosjekt til prosjekt og være avhengig av hva slags driftsmønster og restriksjoner som blir innført. Vår evne til å utvikle og bruke kunnskap om miljøeffekter vil være avgjørende for hva slags lokale effekter balansekraftprosjekter kan gi.

Hver av de undersøkte effektinstallasjonene vil kreve tilknytning med egen 420 kV forbindelse til aktuelle tilknytningspunkter i sentralnettet dersom effektutvekslingen med utlandet skal skje via sentralnettet.

UTARBEIDET AV
Eivind Solvang

SIGNATUR

**KONTROLLERT AV**
Michael Belsnes

SIGNATUR

**GODKJENT AV**
Magnus Korpås

SIGNATUR

**RAPPORTNR**
TR A7126**ISBN**
978-82-594-3491-3**GRADERING**
Åpen**GRADERING DENNE SIDE**
Åpen

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	5
1.1	Økt balansekraftkapasitet i Sør-Norge.....	5
1.2	Andre studier.....	5
1.3	Oversikt over case.....	6
1.4	Beregningsmodell.....	7
2	Analyse av valgte case	12
2.1	Tonstad.....	12
2.2	Blåsjø – Svartevatn – Otramagasinenene.....	18
2.3	Møsvatn – Tinnsjø – Kallhovd/Mår.....	38
2.4	Lysebotn.....	46
2.5	Mauranger – Oksla – Tysso.....	50
2.6	Sima.....	58
2.7	Aurland - Tyin.....	62
3	Eksempler på ny effekt- og pumpekraftkapasitet	70
3.1	Installasjoner.....	70
3.2	Potensial for økt effekt- og pumpekraftkapasitet i Norge.....	71
4	Miljøvirkninger	72
4.1	Generelt.....	72
4.1.1	Anleggsfasen.....	72
4.1.2	Driftsfasen.....	73
4.2	Miljøvirkninger i utvalgte case.....	74
5	Nettilknytning	76
6	Kostnader	79
7	Konklusjoner	81
8	Referanser	83

1 Innledning

1.1 Økt balansekraftkapasitet i Sør-Norge

Mange land er på vei til å inkludere en større andel fornybar energi i el-forsyning, og for land i Europa vil dette i hovedsak gi en større andel vind- og solkraft. Det er ikke mulig å lagre vind- og solkraft og det vil derfor bli et større behov for å utjevne forholdet mellom forbruk og produksjon. Vannkraft med magasin kan lagre energi i form av vann lagret i magasinet, og det er også mulig å pumpe vann fra et lavere magasin til et høytliggende magasin for å spare energien til seinere bruk. Denne form for utjevning av forskjellen mellom produksjon og forbruk kaller vi balansekraft. Det er stor lagringskapasitet i norske vannkraftmagasin, og det knytter seg stor internasjonal og nasjonal interesse om Norges mulighet for å levere balansekrafttjenester på ulike tidsskala til det europeiske markedet. Muligheter og utfordringer er i liten grad undersøkt. Denne rapporten beskriver en forstudie av det tekniske potensialet for balansekraft fra Norge inkludert forenklete betraktninger om miljøvirkninger og nettilknytning.

Balansekraftkapasiteten i norske vannkraftverk kan økes ved å øke slukeevnen og turbin-/generatorytelsen i en del kraftverk, samt installere (reversible) pumpe- og turbiner i kraftverk som kan pumpe mellom to magasiner. Dette vil fortrinnsvis kunne skje ved at det bygges nye tunneler i parallell med eksisterende tunneler, samt at det bygges nye kraftverk plassert i tilknytning til eksisterende kraftverk.

Balansekraftkapasiteten til vannkraftverk avhenger av hvor mye effekt som kan leveres når det er underskudd på effekt og hvor mye effekt som kan absorberes når det er overskudd på effekt. Effektkapasiteten avhenger av hvor høy effekt som kan leveres/absorberes innenfor et gitt tidsrom.

Effekt kan absorberes hvis kraftverk kan pumpe opp vann til et høyereliggende magasin. I mange kraftverk vil kapasiteten i nedstrøms magasin begrense hvor mye effekt som kan leveres. Pumping på tider av døgnet når effektbehovet er minst (f.eks. natt) vil redusere kapasitetsbegrensningen i nedstrøms magasin. Slik pumping vil også øke kapasiteten i oppstrøms magasin og kunne forlenge periodene med effektkjøring ved at vann pumpes tilbake den tiden av døgnet effektbehovet er minst for å brukes den tiden effektbehovet er størst.

Økt utnyttelse av magasiner for balansekraftformål forutsettes å skje innenfor eksisterende reguleringsbestemmelser med hensyn til høyeste (HRV) og laveste (LRV) regulerte vannstand. Hurtige vannstandsendringer i magasiner som følge av økt effektproduksjon (tapping) kan skade arter som lever i magasinene, men også selve magasinene. Pumping kan medføre uheldig spredning av arter fra et vassdrag til et annet. Det er sett helt bort fra bygging av nye magasiner for balansekraftformål.

1.2 Andre studier

NVE har undersøkt muligheten (potensialet) for økt effektkapasitet i 89 eksisterende vannkraftverk over 50 MW [1]. Dette er fortrinnsvis kraftverk med utløp til sjø, magasin eller stor innsjø. Mulighetene som pumping gir er ikke med i denne undersøkelsen.

De 89 kraftverkene i undersøkelsen til NVE har en gjennomsnittlig brukstid på ca 3 900 timer. Hvis brukstiden for hvert enkelt kraftverk kan reduseres til 2 000 timer ved oppgradering av effektkapasiteten kan den samlede effektkapasiteten for disse kraftverkene økes fra 17 000 MW til 33 500 MW. Det er en økning

på 16 500 MW. Reduksjonen av brukstiden til 2 000 timer ble valgt for å illustrere potensialet. For enkelte kraftverk kan effektkapasiteten økes vesentlig mer enn det som tilsvarer brukstider på 2 000 timer.

EC Group og THEMA Consulting Group Energi har utført en studie for Energi Norge [2] der følgende prosjekthypotese er undersøkt: *Det er mulig å etablere minst 10 000 MW lønnsom effektkapasitet i Norge for å bidra til å balansere mer enn 100 000 MW ny og lite regulerbar kraftproduksjon i Europa innen 2030 og redusere klimautslipp fra tilsvarende termisk kraftproduksjon og gi en forbedret klimaløsning.* Studien konkluderer med at dette er mulig, men at det er flere sentrale barrierer som kan gjøre det krevende. CEDREN og SINTEF Energi har bidratt til nevnte studie med resultatene som presenteres her i denne rapporten. Samlet kapasitet for de 12 kraftverkene i Tabell 3.1 er 11 200 MW. Disse er brukt som eksempel i studien til Energi Norge på at det er mulig å etablere 10 000 MW i ny kapasitet med bruk av eksisterende reguleringsmagasin innenfor dagens bestemmelser om høyeste og laveste regulerte vannstand.

Flere energiselskap har startet egne studier av mulighetene for økt effektinstallasjon og pumpekraft, men disse er ikke ferdigstilte eller offentlig tilgjengelige.

I Tyskland har et regjeringsoppnevnt utvalgt utredet [3,4] hvordan utstrakt utveksling med norsk vannkraft kan gjøre den tyske energiforsyningen 100 prosent fornybar innen 2050. Blant flere alternativer viser rapporten at utveksling med Norge også blir det klart billigste alternativet hvis Tysklands energiforsyning skal bli 100 prosent fornybar innen 2050.

1.3 Oversikt over case

Vi har valgt ut 19 konkrete case i Sør-Norge for å analysere muligheten for økt effektkapasitet for balansekraftformål. Analysen er utført ved hjelp av en enkel beregningsmodell. Valgte case er listet opp i det etterfølgende og beskrevet i Kapittel 2. Samtlige case er nye kraftverk som med ett unntak (B7) er plassert i tilknytning til eksisterende kraftverk. De nye kraftverkene tenkes etablert med ny tunnel til oppstrøms magasin og til nedstrøms utløp i magasin eller fjord/sjø.

Kraftverkene betegnes pumpekraftverk eller effektverk. Førstnevnte kategori har (reversible) pumpeturbiner for pumping mellom to magasiner, mens effektverk er kraftverk uten pumpeturbiner. Effektverkene har med ett unntak (G2) utløp til fjord/sjø. I casebetegnelsen inngår navnet på kraftverket som det nye kraftverket plasseres i tilknytning til (f.eks. Tonstad), eventuelt navnet på nedstrøms magasin eller fjord. I parentes står navnet på henholdsvis oppstrøms og nedstrøms magasin eller fjord.

A Tonstad

- A1 Pumpekraftverk Tonstad (Homstølvatn – Sirdalsvatn)
- A2 Pumpekraftverk Tonstad (Nesjen – Sirdalsvatn)

B Blåsjø – Svartevatn – Otramagasinen

- B1 Pumpekraftverk Bossvatn (Blåsjø – Bossvatn)
- B2 Pumpekraftverk Bossvatn (Svartevatn – Bossvatn)
- B3 Pumpekraftverk Holen (Urarvatn – Bossvatn)
- B4 Pumpekraftverk Vatnedalsvatn (Urarvatn – Vatnedalsvatn)
- B5 Pumpekraftverk Kvilldal (Sandsavatn – Suldalsvatn)
- B6 Pumpekraftverk Kvilldal (Blåsjø – Suldalsvatn)
- B7 Effektverk Jøsenfjorden (Blåsjø – Jøsenfjorden/sjø)

C Møsvatn – Tinnsjø – Kallhovd/Mår

- C1 Pumpekraftverk Tinnsjø (Møsvatn – Tinnsjø)
- C2 Pumpekraftverk Tinnsjø (Møsvatn – Tinnsjø) + pumpekraftverk Tinnsjø (Kallhovd – Tinnsjø)
- C3 Pumpekraftverk Tinnsjø (Kallhovd – Tinnsjø) + pumpekraftverk Tinnsjø (Møsvatn – Tinnsjø)

C1 og C2 gjelder samme kraftverk, Tinnsjø (Møsvatn – Tinnsjø). Forskjellen på C1 og C2 er at C2 også inkluderer tapping fra Kallhovd til Tinnsjø i fra kraftverket i C3, Tinnsjø (Kallhovd – Tinnsjø).

D Lysebotn

- D1 Effektverk Lysebotn (Lyngsvatn – Lysefjorden/sjø)

E Mauranger – Oksla – Tysso

- E1 Effektverk Mauranger (Juklavatn – Hardangerfjorden/sjø)
- E2 Effektverk Oksla (Ringedalsvatn – Hardangerfjorden/sjø)
- E3 Pumpekraftverk Tysso (Langevatn – Ringedalsvatn)

F Sima

- F1 Effektverk Sy-Sima (Sysenvatn – Hardangerfjorden/sjø)

G Aurland - Tyin

- G1 Effektverk Aurland/Vangen (Viddalsvatn – Aurlandsfjorden/sjø)
- G2 Effektverk Tyin (Tyin – Årdalsvatnet)

1.4 Beregningsmodell

Det er tatt utgangspunkt i store enheter med hensyn til effektkapasitet. Mindre og flere enheter kan være en alternativ løsning som vil være avhengig av lokale forhold og helhetsvurderinger. Vannvei- og tunneltraséer er svært forenklet bestemt direkte i kartet i NVEs *Atlas - vannkraftverk* [5] (se f.eks. Figur 2.1).

Det er benyttet en enkel beregningsmodell i Excel som i det etterfølgende er beskrevet i tilknytning til case A2 (se Tabell 2.4).

Ved analysene av vannstandsendringer som følge av ny effektkapasitet kommer den nye effektproduksjonen i tillegg til den eksisterende maksimale effektproduksjonen (nominell ytelse) i kraftverk som benytter de aktuelle magasinene både oppstrøms og nedstrøms.

Det forutsettes maksimal effektproduksjon (nominell ytelse) samtidig i både eksisterende og nye enheter. I praksis vil det være naturlig å velge en strategi for effektproduksjon og pumping som disponerer magasinene optimalt innenfor aktuelt regulerings-/markedsregime. Det er ikke gjort her siden det antas maksimal effektproduksjon samtidig i alle enheter.

Magasinene er modellert med vertikale sideflater som i en vertikalstilt sylinder.

I pumpekraftverk er det antatt samme installerte ytelse (MW) for effektproduksjon og pumping. Kapasiteten ved pumping (m^3/s) er satt til 80 % av kapasiteten ved effektproduksjon. Det betyr at pumping av en viss mengde vann tar 20 % lengre tid enn effektproduksjonen basert på samme vannmengde.

Den øverste delen av regnearket omfatter følgende opplysninger:

A2 Pumpekraftverk Tonstad (Nesjen - Sirdalsvatn)						
Magasin	Nesjen	Sirdalsvatn				
Volum	275,0	32,0	mill. m ³	Effektkjøring med maks. effekt	24	timer/døgn
HRV	715,0	49,5	m	Pumping med maks. effekt	0	timer/døgn
LRV	677,0	47,5	m			
HRV - LRV	38,0	2,0	m	Brutto fallhøyde (2/3 mag.nivå)	653,5	m
Startnivå ¹	75	50	%	Avstand inntak-til-utløp	23000	m (horisontalt)
Øvrig innløp ²	76,9	254,0	m ³ /s	Tunnel lengde	22371	m
Øvrig utløp ³	109,8	362,0	m ³ /s	Trykksjakt lengde	890	m

Her angis data for øvre (Nesjen) og nedre (Sirdalsvatn) magasin, inkludert eventuelle innløp² og utløp³ som følge av maksimal produksjon i øvrige kraftverk tilknyttet magasinene, som i dette tilfellet er:

²Innløp til Nesjen (76,9 m³/s) skyldes:

- 80 MW i Kvinen

²Øvrig innløp til Sirdalsvatn (254,0 m³/s) skyldes:

- 960 MW i Tonstad

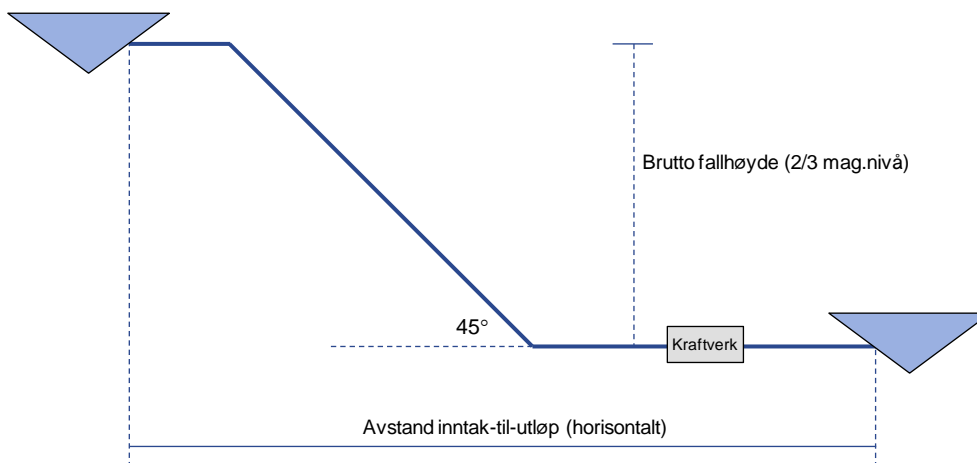
³Øvrig utløp fra Nesjen (109,8 m³/s) skyldes:

- 200 MW i Solhom

³Utløp fra Sirdalsvatn (362,0 m³/s) skyldes:

- 150 MW i Åna-Sira

Lengden på tilløps-/utløpstunnel og trykksjakt er beregnet på grunnlag av brutto fallhøyde, den horisontale avstanden mellom inntak og utløp og 45 graders trykksjakt (se Figur 1.1). Den horisontale avstanden mellom inntak og utløp er målt ved hjelp av avstandsmåleren i kartet i NVEs *Atlas - vannkraftverk* [5]. Brutto fallhøyde er beregnet ved 2/3 magasinnivå, dvs. $2 \cdot (\text{HRV} - \text{LRV}) / 3$.



Figur 1.1: Modell av tunnel og trykksjakt.

Den midterste delen av regnearket viser beregninger for vannstandsending som funksjon av ”Maks. effekt produsert” (MW):

Maks. effekt produsert [MW]	Vannstands-reduksjon [cm/time]	Vannstands-reduksjon 1 døgn [m]	Vannstands-reduksjon 3 døgn [m]	Vannstands-reduksjon 7 døgn [m]	Tømming av øvre magasin [døgn]	Vannstands-økning [cm/time]	Fylling av nedre magasin [døgn]
1000	11	2,6	7,7	18,0	11,1	2	2,5
1100	12	2,8	8,4	19,5	10,2	2	2,0
1200	13	3,0	9,0	21,0	9,5	2	1,7
1300	13	3,2	9,7	22,5	8,9	3	1,4
1400	14	3,4	10,3	24,1	8,3	3	1,3
1500	15	3,7	11,0	25,6	7,8	4	1,1
1600	16	3,9	11,6	27,1	7,4	4	1,0
2000	20	4,7	14,2	33,2	6,0	6	0,7

Verdiene i cellene ”Effektkjøring med maks. effekt” (h/døgn), ”Pumping med maks. effekt” (h/døgn) og ”Startnivå” (%) brukes til beregning av ”Vannstandsreduksjon” (m pr 1-3-7 døgn), samt tid for ”Tømming av øvre magasin” (døgn) og ”Fylling av nedre magasin” (døgn).

Den neste (nederste) delen av regnearket viser beregninger for volum av tunnel, trykksjakt og stasjonshall som funksjon av installert effekt i kolonnen ”Maks. effekt produsert” (MW):

Maks. effekt produsert [MW]	Maks. slukeevne [m ³ /s]	Tunnel tverrsnitt [m ²]	Trykksjakt tverrsnitt [m ²]	Tunnel volum [mill. m ³]	Trykksjakt volum [mill. m ³]	Stasjonshall volum [mill. m ³]	Sum volum uttak av masse [mill. m ³]
1000	182	91	61	2,038	0,054	0,090	2,181
1100	200	100	67	2,241	0,059	0,097	2,397
1200	219	109	73	2,445	0,065	0,104	2,614
1300	237	118	79	2,649	0,070	0,110	2,830
1400	255	128	85	2,853	0,076	0,117	3,046
1500	273	137	91	3,056	0,081	0,124	3,261
1600	291	146	97	3,260	0,086	0,130	3,477
2000	364	182	121	4,075	0,108	0,156	4,339

Vannstandsreduksjonen (cm/time) i øvre magasin og vannstandsøkningen (cm/time) i nedre magasin i modellen som er brukt er kun gitt av størrelsen på effektproduksjonen. Det er sett bort fra tilsig og eventuell pumping inn/ut av magasinene samtidig med effektproduksjonen. Tilsiget antas å være lite i forhold til tappingen fra magasinene.

Reduksjonen i magasinnivå (m) og tiden det tar å tømme ned til LRV og fylle opp til HRV for magasinene er i tillegg til størrelsen på effektproduksjonen (MW) også gitt av hvor lenge effektkjøringen varer (timer/døgn), om og hvor lenge det pumpes i perioden (timer/døgn), samt magasinnivåene (%) når effektkjøringen starter.

Vannstandsreduksjonen (m) pr døgn og tiden det tar å tømme øvre og fylle nedre magasin er beregnet for kombinasjonene av varighet av effektkjøring/pumping og startnivå i øvre/nedre magasin som vist i Tabell 1.1 og Tabell 1.2. Resultatene fra en slik beregning for case A2 er vist i Tabell 2.5 og Tabell 2.6. For hver case er beregningen gjort for effektproduksjonen som ble valgt for scenario 1 (Tabell 3.1) og scenario 2 (Tabell 3.2).

Tabell 1.1: Vannstandsreduksjon og tømmingstid for øvre magasin.

Eff.kjøring (timer/døgn)	Pumping (timer/døgn)	Startnivå (%)	Reduksjon 1 døgn (m)	Tømming (døgn)
24	0	100		
		75		
		50		
18	0	75		
	6			
12	0			
	6			
	12			

Tabell 1.2: Fyllingstid for nedre magasin.

Eff.kjøring (timer/døgn)	Pumping (timer/døgn)	Startnivå (%)	Fylling (døgn)
24	0	25	
		50	
		75	
18	0	50	
	6		
12	0		
	6		
	12		

Sammenhengen mellom produsert effekt og slukeevne (vannføring gjennom turbin, tunnel og trykksjakt) er beregnet ut fra følgende uttrykk:

$$P = \rho \cdot Q \cdot g \cdot H \cdot \eta_{tot} \quad (1.1)$$

der:

P - utnyttbar effekt (W)

ρ - vannets tetthet (1000 kg/m³)

Q - vannføring/slukeevne (m³/s)

g - tyngdens akselerasjon (9,81 m/s²)

H - brutto fallhøyde (m)

η_{tot} - totalvirkningsgrad (vannvei, turbin og generator, settes her til 0,86)

Når totalvirkningsgraden settes lik 0,86 blir uttrykket for P:

$$P(kW) = 8,4 \cdot Q(m^3/s) \cdot H(m) \quad (1.2)$$

Tverrsnittene for tunnel og trykksjakt er satt slik at vannhastigheten blir henholdsvis 2 m/s og 3 m/s.

Sprengningsvolum for selve kraftstasjonshallene er beregnet i henhold til følgende formel i NVEs *Kostnadsgrunnlag for vannkraftanlegg* [6]:

$$V = 78 \cdot H^{0,5} \cdot Q^{0,7} \cdot n^{0,1} \quad (1.3)$$

der:

V - utsprengt volum (m³)

H - netto fallhøyde (m),

Q - total maksimal vannføring (m³/s)

n - antall aggregater (aggregatstørrelsen settes her til 200 MW)

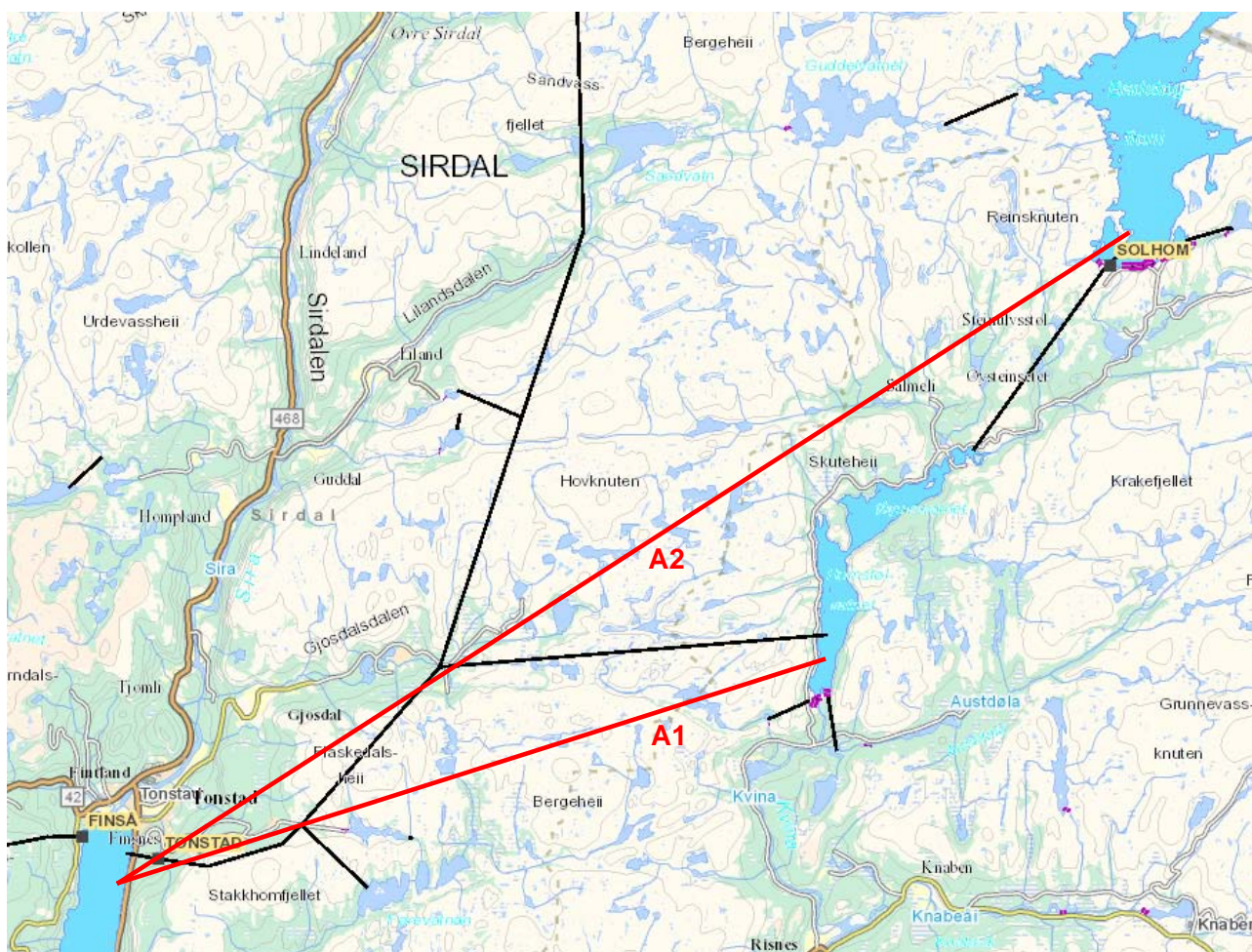
2 Analyse av valgte case

2.1 Tonstad

Følgende 2 case er analysert i tilknytning til Tonstad kraftverk:

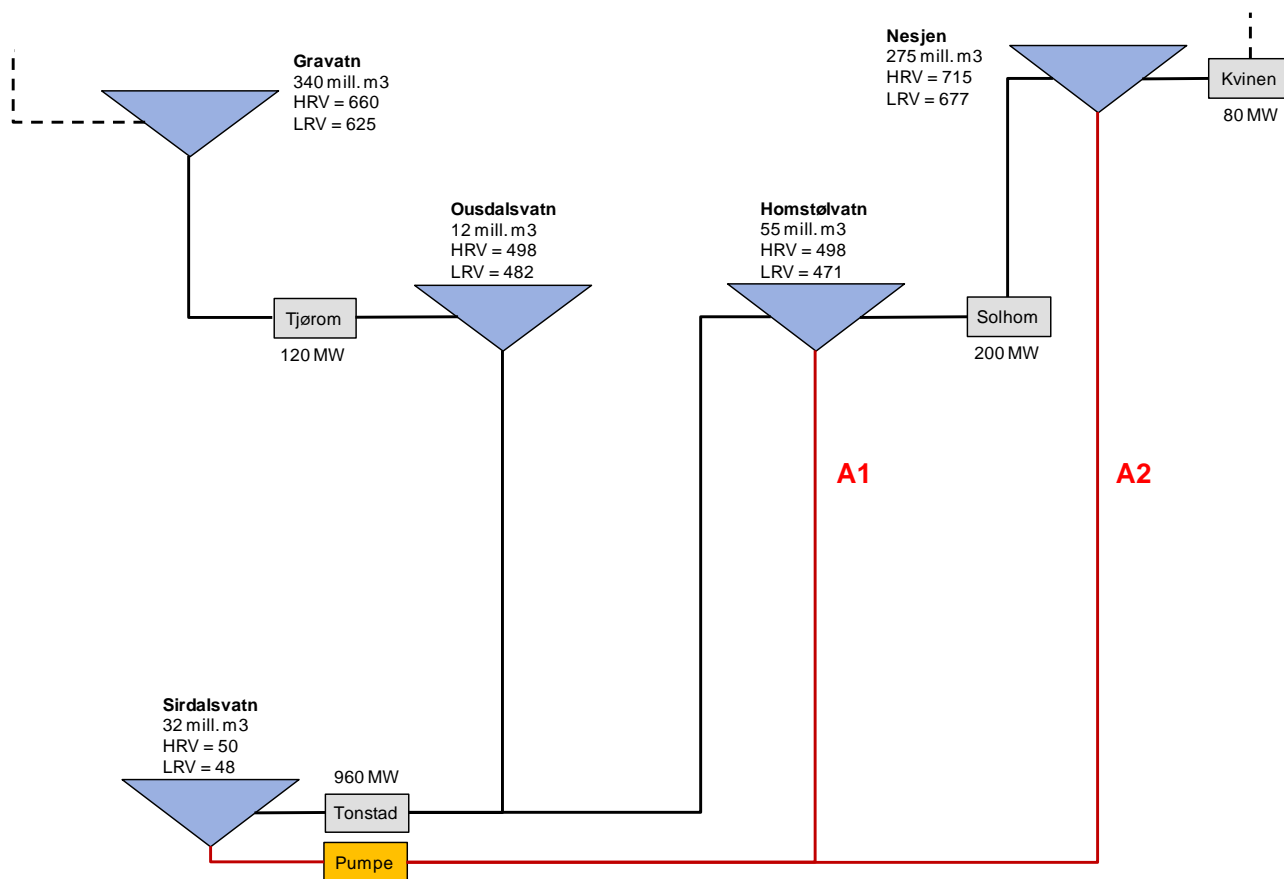
- A1 Pumpekraftverk Tonstad (Homstølvatn – Sirdalsvatn)
- A2 Pumpekraftverk Tonstad (Nesjen – Sirdalsvatn)

De nye tunnelene i case A1 og A2 er tegnet inn med røde streker på kartutsnittet i Figur 2.1, som er fra NVEs *Atlas - vannkraftverk* [5]. Sorte streker er eksisterende tunneler.



Figur 2.1: Case Tonstad.

Nytt pumpekraftverk, nye tunneler og tilhørende magasiner i case A1– A2 framgår av Figur 2.2.



Figur 2.2: Case Tonstad.

A1 Pumpekraftverk Tonstad (Homstølvatn – Sirdalsvatn)

Tabell 2.1: Case A1 Pumpekraftverk Tonstad (Homstølvatn – Sirdalsvatn).

A1 Pumpekraftverk Tonstad (Homstølvatn - Sirdalsvatn)							
Magasin	Homstølvatn	Sirdalsvatn					
Volum	55,0	32,0	mill. m3	Effektkjøring med maks. effekt	24	timer/døgn	
HRV	498,0	49,5	m	Pumping med maks. effekt	0	timer/døgn	
LRV	471,0	47,5	m				
HRV - LRV	27,0	2,0	m	Brutto fallhøyde (2/3 mag.nivå)	440,2	m	
Startnivå ¹	75	50	%	Avstand inntak-til-utløp	12500	m (horisontalt)	
Øvrig innløp ²	109,8	254,0	m ³ /s	Tunnel lengde	12077	m	
Øvrig utløp ³	144,2	362,0	m ³ /s	Trykksjakt lengde	599	m	
Maks. effekt produsert [MW]	Vannstands-reduksjon [cm/time]	Vannstands-reduksjon 1 døgn [m]	Vannstands-reduksjon 3 døgn [m]	Vannstands-reduksjon 7 døgn [m]	Tømming av øvre magasin [døgn]	Vannstands-økning [cm/time]	Fylling av nedre magasin [døgn]
100	11	2,6	7,8	18,2	7,8		
200	16	3,8	11,3	26,3	5,4		
300	20	4,9	14,7	34,3	4,1		
400	25	6,0	18,1	42,3	3,3	0	
500	30	7,2	21,6	50,4	2,8	1	6,8
600	35	8,3	25,0	58,4	2,4	1	3,4
700	40	9,5	28,5	66,4	2,1	2	2,3
800	44	10,6	31,9	74,5	1,9	2	1,7
Maks. effekt produsert [MW]	Maks. slukeevne [m ³ /s]	Tunnel tverrsnitt [m ²]	Trykksjakt tverrsnitt [m ²]	Tunnel volum [mill. m ³]	Trykksjakt volum [mill. m ³]	Stasjonshall volum [mill. m ³]	Sum volum uttak av masse [mill. m ³]
100	27	14	9	0,163	0,005	0,015	0,184
200	54	27	18	0,327	0,011	0,027	0,364
300	81	41	27	0,490	0,016	0,037	0,543
400	108	54	36	0,653	0,022	0,047	0,721
500	135	68	45	0,817	0,027	0,056	0,899
600	162	81	54	0,980	0,032	0,064	1,077
700	189	95	63	1,143	0,038	0,073	1,254
800	216	108	72	1,306	0,043	0,081	1,431

¹Startnivå brukes kun til beregning av tid for tømming av øvre magasin og fylling av nedre magasin.

²Innløp til Homstølvatn (109,8 m³/s) skyldes:

- 200 MW i Solhom

²Øvrig innløp til Sirdalsvatn (254,0 m³/s) skyldes:

- 960 MW i Tonstad

³Øvrig utløp fra Homstølvatn (144,2 m³/s) skyldes:

- 960 MW i Tonstad (har fordelt 254 m³/s fra Tonstad med 144,2 m³/s fra Homstølvatn og 109,8 m³/s fra Ousdalsvatn)

³Utløp fra Sirdalsvatn (362,0 m³/s) skyldes:

- 150 MW i Åna-Sira

Modellen i Tabell 2.1 tar ikke hensyn til forbindelsen mellom Ousdalsvatn og Homstølvatn. I modellen pumpes det kun til Homstølvatn i case A1.

Tabell 2.1 viser vannstandsreduksjon i Homstølvatn (øvre magasin) og vannstandsøkning i Sirdalsvatn (nedre magasin) ved maksimal effektproduksjon 24 timer/døgn i Tonstad pumpekraftverk når installert effektkapasitet er 100 – 800 MW. Øvrige innløp og utløp for disse to magasinene framgår av fotnotene til tabellen. Startnivået i øvre og nedre magasin er henholdsvis 75 % og 50 %.

Tabell 2.2 viser vannstandsreduksjon (m) pr døgn og tømningstid (døgn) ned til LRV for Homstølvatn når effektproduksjonen i Tonstad pumpekraftverk er 400 MW. Antall timer/døgn med effektkjøring og pumping og startnivået (%) i Homstølvatn varieres. Tabell 2.3 viser fyllingstiden (døgn) opp til HRV for Sirdalsvatn ved tilsvarende forutsetninger.

Tabell 2.2: Vannstandsreduksjon og tømningstid for Homstølvatn når Tonstad pumpekraftverk produserer 400 MW.

Eff.kjøring (timer/døgn)	Pumping (timer/døgn)	Startnivå (%)	Reduksjon 1 døgn (m)	Tømming (døgn)
24	0	100	6,0	4,5
		75		3,3
		50		2,2
18	0	75	4,5	4,5
	6		3,3	6,1
12	0		3,0	6,7
	6		1,8	11,2
	12		0,6	33,5

Tabell 2.3: Fyllingstid for Sirdalsvatn når Tonstad pumpekraftverk produserer 400 MW.

Eff.kjøring (timer/døgn)	Pumping (timer/døgn)	Startnivå (%)	Fylling ¹ (døgn)
24	0	25	-
		50	-
		75	-
18	0	50	-
	6		-
12	0		-
	6		-
	12		-

¹ Med valgte innløp fra Tonstad (254 m³/s) og utløp til Åna-Sira (362,0 m³/s) blir det liten (~ 0 cm/time) vannstandsending i Sirdalsvatn som følge av 400 MW produksjon i Tonstad pumpekraftverk (108 m³/s). Fyllingstiden opp til HRV er derfor utelatt i tabellen.

Pumpekraftverk Tonstad (Nesjen – Sirdalsvatn)

Tabell 2.4: A2 Pumpekraftverk Tonstad (Nesjen – Sirdalsvatn).

A2 Pumpekraftverk Tonstad (Nesjen - Sirdalsvatn)							
Magasin	Nesjen	Sirdalsvatn					
Volum	275,0	32,0	mill. m3	Effektkjøring med maks. effekt	24	timer/døgn	
HRV	715,0	49,5	m	Pumping med maks. effekt	0	timer/døgn	
LRV	677,0	47,5	m				
HRV - LRV	38,0	2,0	m	Brutto fallhøyde (2/3 mag.nivå)	653,5	m	
Startnivå ¹	75	50	%	Avstand inntak-til-utløp	23000	m (horisontalt)	
Øvrig innløp ²	76,9	254,0	m ³ /s	Tunnel lengde	22371	m	
Øvrig utløp ³	109,8	362,0	m ³ /s	Trykksjakt lengde	890	m	
Maks. effekt produsert [MW]	Vannstands-reduksjon [cm/time]	Vannstands-reduksjon 1 døgn [m]	Vannstands-reduksjon 3 døgn [m]	Vannstands-reduksjon 7 døgn [m]	Tømming av øvre magasin [døgn]	Vannstands-økning [cm/time]	Fylling av nedre magasin [døgn]
1000	11	2,6	7,7	18,0	11,1	2	2,5
1100	12	2,8	8,4	19,5	10,2	2	2,0
1200	13	3,0	9,0	21,0	9,5	2	1,7
1300	13	3,2	9,7	22,5	8,9	3	1,4
1400	14	3,4	10,3	24,1	8,3	3	1,3
1500	15	3,7	11,0	25,6	7,8	4	1,1
1600	16	3,9	11,6	27,1	7,4	4	1,0
2000	20	4,7	14,2	33,2	6,0	6	0,7
Maks. effekt produsert [MW]	Maks. slukeevne [m ³ /s]	Tunnel tverrsnitt [m ²]	Trykksjakt tverrsnitt [m ²]	Tunnel volum [mill. m ³]	Trykksjakt volum [mill. m ³]	Stasjonshall volum [mill. m ³]	Sum volum uttak av masse [mill. m ³]
1000	182	91	61	2,038	0,054	0,090	2,181
1100	200	100	67	2,241	0,059	0,097	2,397
1200	219	109	73	2,445	0,065	0,104	2,614
1300	237	118	79	2,649	0,070	0,110	2,830
1400	255	128	85	2,853	0,076	0,117	3,046
1500	273	137	91	3,056	0,081	0,124	3,261
1600	291	146	97	3,260	0,086	0,130	3,477
2000	364	182	121	4,075	0,108	0,156	4,339

¹Startnivå brukes kun til beregning av tid for tømming av øvre magasin og fylling av nedre magasin.

²Innløp til Nesjen (76,9 m³/s) skyldes:

- 80 MW i Kvinen

²Øvrig innløp til Sirdalsvatn (254,0 m³/s) skyldes:

- 960 MW i Tonstad

³Øvrig utløp fra Nesjen (109,8 m³/s) skyldes:

- 200 MW i Solhom

³Utløp fra Sirdalsvatn (362,0 m³/s) skyldes:

- 150 MW i Åna-Sira

960 MW i Tonstad kraftverk vil gi en reduksjon i vannstanden i Ousdalsvatn og Homstølvatn når Tjørom kraftverk og Solhom kraftverk produserer henholdsvis 120 MW og 200 MW. Vannstanden ville vært uforandret med 660 MW produksjon i Tonstad kraftverk.

Tabell 2.4 viser vannstandsreduksjon i Nesjen (øvre magasin) og vannstandsøkning i Sirdalsvatn (nedre magasin) ved maksimal effektproduksjon 24 timer/døgn i Tonstad pumpekraftverk når installert effektkapasitet er 1 000 – 2 000 MW. Øvrige innløp og utløp for disse to magasinene framgår av fotnotene til tabellen. Startnivået i øvre og nedre magasin er henholdsvis 75 % og 50 %.

Tabell 2.5 viser vannstandsreduksjon (m) pr døgn og tømningstid (døgn) ned til LRV for Nesjen når effektproduksjonen i Tonstad pumpekraftverk er 1400 MW. Antall timer/døgn med effektkjøring og pumping og startnivået (%) i Nesjen varieres. Tabell 2.6 viser fyllingstiden (døgn) opp til HRV for Sirdalsvatn ved tilsvarende forutsetninger.

Tabell 2.5: Vannstandsreduksjon og tømningstid for Nesjen når Tonstad pumpekraftverk produserer 1400 MW.

Eff.kjøring (timer/døgn)	Pumping (timer/døgn)	Startnivå (%)	Reduksjon 1 døgn (m)	Tømming (døgn)
24	0	100	3,4	11,1
		75		8,3
		50		5,5
18	0	75	2,6	11,1
	6		1,9	15,1
12	0		1,7	16,6
	6		1,0	27,6
	12		0,3	82,9

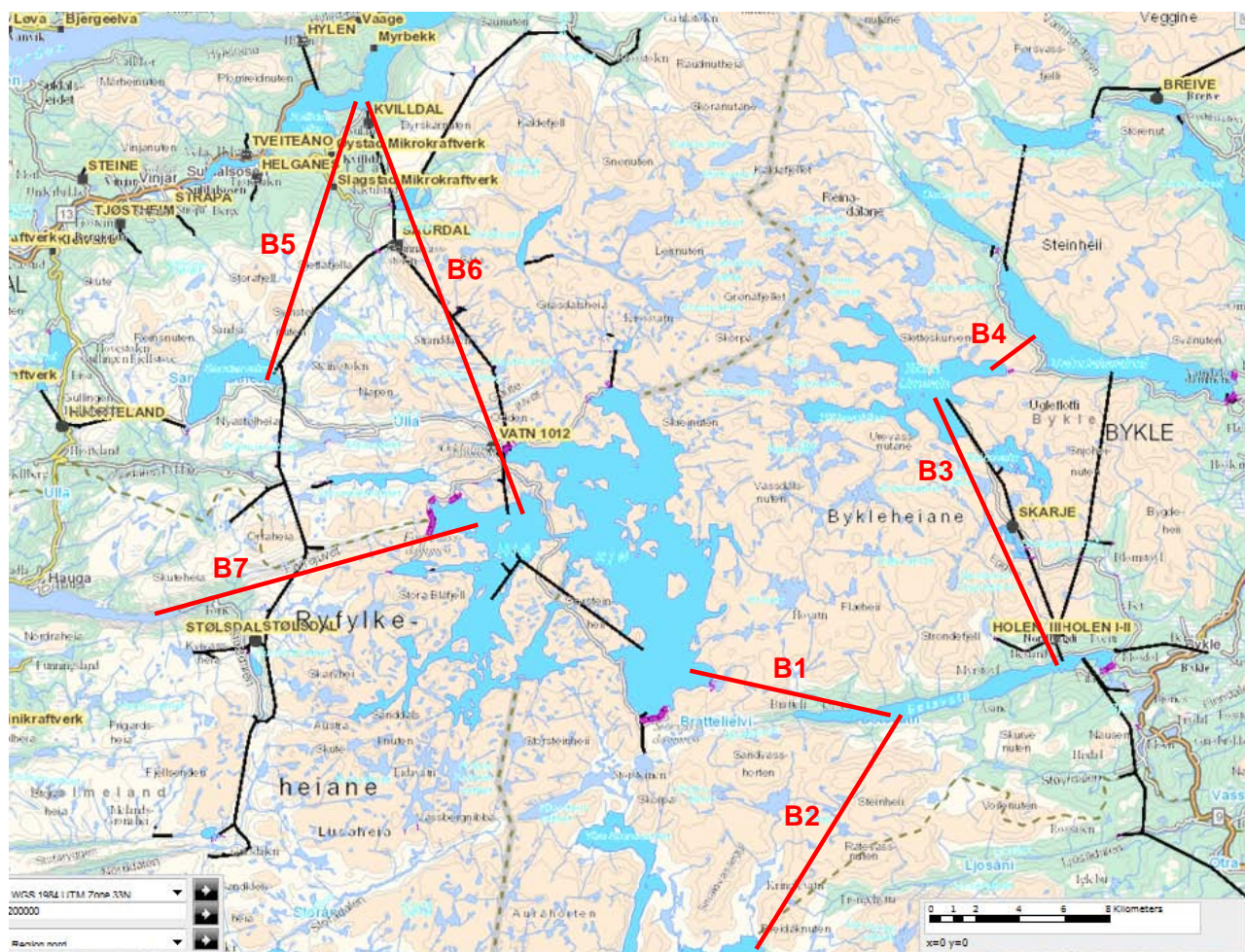
Tabell 2.6: Fyllingstid for Sirdalsvatn når Tonstad pumpekraftverk produserer 1400 MW.

Eff.kjøring (timer/døgn)	Pumping (timer/døgn)	Startnivå (%)	Fylling (døgn)
24	0	25	1,9
		50	1,3
		75	0,6
18	0	50	1,7
	6		2,3
12	0		2,5
	6		4,2
	12		12,6

2.2 Blåsjø – Svartevatn – Otramagasinene

Følgende 9 case er analysert i tilknytning til Blåsjø – Svartevatn – Otramagasinene:

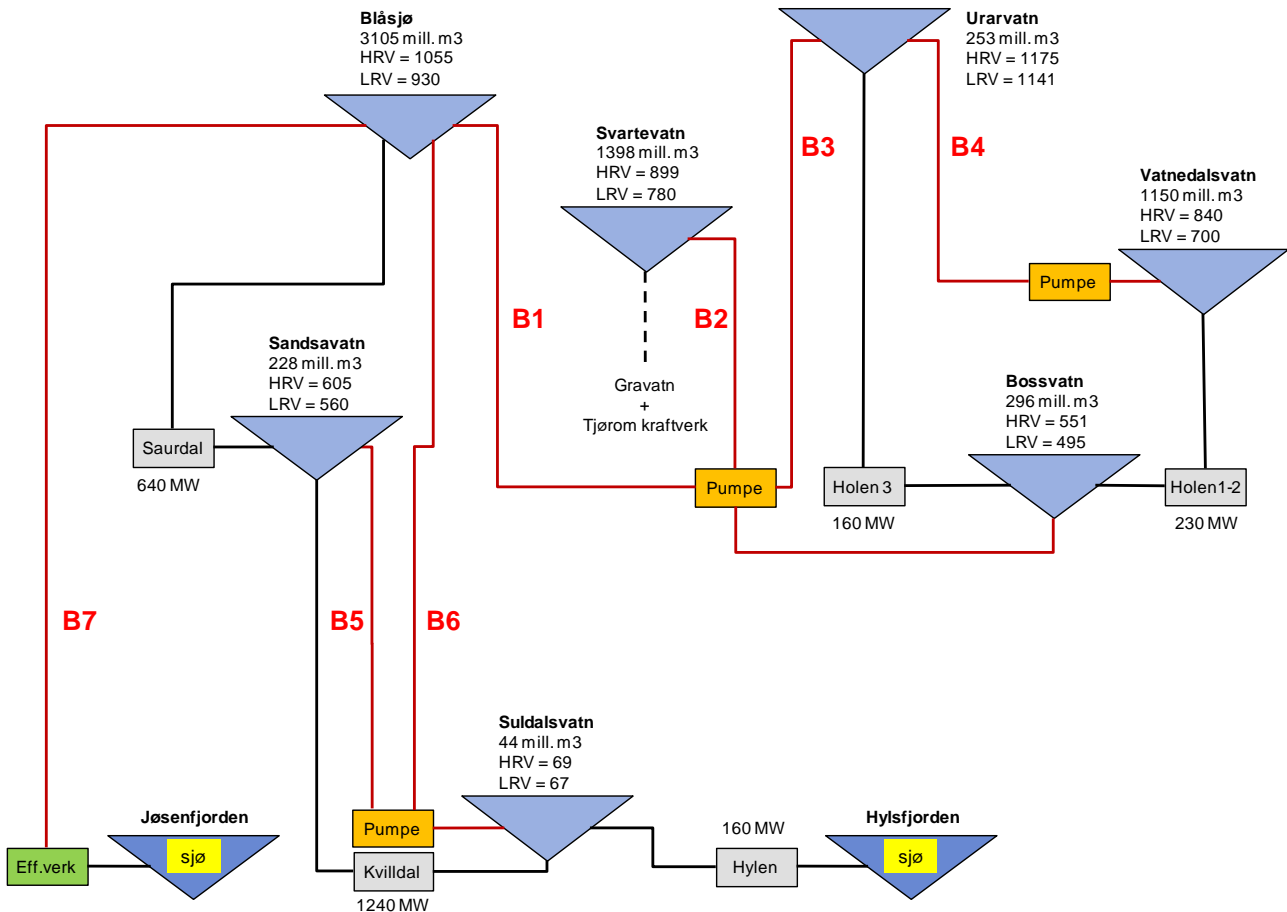
- B1 Pumpekraftverk Bossvatn (Blåsjø – Bossvatn)
- B2 Pumpekraftverk Bossvatn (Svartevatn – Bossvatn)
- B3 Pumpekraftverk Holen (Urarvatn – Bossvatn)
- B4 Pumpekraftverk Vatnedalsvatn (Urarvatn – Vatnedalsvatn)
- B5 Pumpekraftverk Kvilldal (Sandsavatn – Suldalsvatn)
- B6 Pumpekraftverk Kvilldal (Blåsjø – Suldalsvatn)
 - a. 1 400 MW effektverk Jøsenfjorden
 - b. 2 400 MW effektverk Jøsenfjorden
- B7 Effektverk Jøsenfjorden (Blåsjø – Jøsenfjorden)
 - a. 1 400 MW pumpekraftverk Kvilldal
 - b. 2 400 MW pumpekraftverk Kvilldal



Figur 2.3: Case Blåsjø – Svartevatn – Otramagasinene.

De nye tunnelene i case B1 – B7 er tegnet inn med røde streker på kartutsnittet i Figur 2.3, som er fra NVEs *Atlas - vannkraftverk* [5]. Sorte streker er eksisterende tunneler.

Nytt effektverk, nye pumpekraftverk, nye tunneler og tilhørende magasiner i case B1– B6 framgår av Figur 2.4.



Figur 2.4: Case Blåsjø – Svartevatn – Otramagasinenene.

Pumping i Kvilldal pumpekraftverk fra Suldalsvatn til Blåsjø i case B6 må gjøres i to trinn på grunn av den store høydeforskjellen (brutto fallhøyde på 945 m).

Vannstandsreduksjonen i Blåsjø i case B1, B6 og B7 inkluderer tapping til Sandsavatn som følge av 640 MW produksjon i Saurdal kraftverk. Case B6 og B7 kunne også vært med null produksjon i Saurdal kraftverk da tappingen dit som tilsvarer 640 MW ville gitt mer effekt om vannet ble brukt i Kvilldal pumpekraftverk (B6) og Jøsenfjorden effektverk (B7) pga større fallhøyde.

B1 Pumpekraftverk Bossvatn (Blåsjø – Bossvatn)

Tabell 2.7: Case B1 Pumpekraftverk Bossvatn (Blåsjø – Bossvatn).

B1 Pumpekraftverk Bossvatn (Blåsjø - Bossvatn)							
Magasin	Blåsjø	Bossvatn					
Volum	3105,0	296,0	mill. m3	Effektkjøring med maks. effekt	24	timer/døgn	
HRV	1055,0	551,0	m	Pumping med maks. effekt	0	timer/døgn	
LRV	930,0	495,0	m				
HRV - LRV	125,0	56,0	m	Brutto fallhøyde (2/3 mag.nivå)	481,0	m	
Startnivå ¹	75	50	%	Avstand inntak-til-utløp	8000	m (horisontalt)	
Øvrig innløp ²		307,0	m ³ /s	Tunnel lengde	7565	m	
Øvrig utløp ³	757,3	131,0	m ³ /s	Trykksjakt lengde	615	m	
Maks. effekt produsert [MW]	Vannstands-reduksjon [cm/time]	Vannstands-reduksjon 1 døgn [m]	Vannstands-reduksjon 3 døgn [m]	Vannstands-reduksjon 7 døgn [m]	Tømming av øvre magasin [døgn]	Vannstands-økning [cm/time]	Fylling av nedre magasin [døgn]
300	12	2,9	8,7	20,2	32,4	17	6,8
400	12	3,0	8,9	20,8	31,5	19	6,2
500	13	3,1	9,2	21,5	30,6	20	5,7
600	13	3,2	9,5	22,1	29,8	22	5,3
700	13	3,2	9,7	22,7	29,0	24	4,9
800	14	3,3	10,0	23,3	28,2	25	4,6
900	14	3,4	10,2	23,9	27,5	27	4,3
1000	15	3,5	10,5	24,5	26,8	29	4,0
Maks. effekt produsert [MW]	Maks. slukeevne [m ³ /s]	Tunnel tverrsnitt [m ²]	Trykksjakt tverrsnitt [m ²]	Tunnel volum [mill. m ³]	Trykksjakt volum [mill. m ³]	Stasjonshall volum [mill. m ³]	Sum volum uttak av masse [mill. m ³]
300	74	37	25	0,281	0,015	0,036	0,332
400	99	50	33	0,374	0,020	0,046	0,441
500	124	62	41	0,468	0,025	0,055	0,548
600	149	74	50	0,562	0,030	0,063	0,655
700	173	87	58	0,655	0,036	0,072	0,762
800	198	99	66	0,749	0,041	0,080	0,869
900	223	111	74	0,843	0,046	0,087	0,976
1000	248	124	83	0,936	0,051	0,095	1,082

¹Startnivå brukes kun til beregning av tid for tømming av øvre magasin og fylling av nedre magasin.

²Øvrig innløp til Bossvatn (307,0 m³/s) skyldes:

- 230 MW i Holen 1-2
- 160 MW i Holen 3
- 1000 MW i Holen pumpekraftverk (Urarvatn)
- 0 MW i Holen pumpekraftverk (Svartevatn)

³Øvrig utløp fra Blåsjø (757,3 m³/s) skyldes:

- 640 MW i Saurdal
- 2400 MW i Jøsenfjorden
- 2400 MW i Kvilldal pumpekraftverk (Blåsjø)

³Utløp fra Bossvatn (131,0 m³/s) skyldes:

- 330 MW i Brokke

Tabell 2.7 viser vannstandsreduksjon i Blåsjø (øvre magasin) og vannstandsøkning i Bossvatn (nedre magasin) ved maksimal effektproduksjon 24 timer/døgn i Bossvatn pumpekraftverk når installert effektkapasitet er 300 – 1 000 MW. Øvrige innløp og utløp for disse to magasinene framgår av fotnotene til tabellen. Startnivået i øvre og nedre magasin er henholdsvis 75 % og 50 %.

Tabell 2.8 viser vannstandsreduksjon (m) pr døgn og tømmingstid (døgn) ned til LRV for Blåsjø når effektproduksjonen i Bossvatn pumpekraftverk er 700 MW. Antall timer/døgn med effektkjøring og pumping og startnivået (%) i Blåsjø varieres. Tabell 2.9 viser fyllingstiden (døgn) opp til HRV for Bossvatn ved tilsvarende forutsetninger.

Tabell 2.8: Vannstandsreduksjon og tømmingstid for Blåsjø når Bossvatn pumpekraftverk produserer 700 MW.

Eff.kjøring (timer/døgn)	Pumping (timer/døgn)	Startnivå (%)	Reduksjon 1 døgn (m)	Tømming (døgn)
24	0	100	3,2	38,6
		75		29,0
		50		19,3
18	0	75	2,4	38,6
	6		1,8	52,7
12	0		1,6	57,9
	6		1,0	96,5
	12		0,3	289,6

Tabell 2.9: Fyllingstid for Bossvatn når Bossvatn pumpekraftverk produserer 700 MW.

Eff.kjøring (timer/døgn)	Pumping (timer/døgn)	Startnivå (%)	Fylling (døgn)
24	0	25	7,4
		50	4,9
		75	2,5
18	0	50	6,5
	6		8,9
12	0		9,8
	6		16,3
	12		49,0

B2 Pumpekraftverk Bossvatn (Svartevatn – Bossvatn)

Tabell 2.10: Case B2 Pumpekraftverk Bossvatn (Svartevatn – Bossvatn).

B2 Pumpekraftverk Bossvatn (Svartevatn - Bossvatn)							
Magasin	Svartevatn	Bossvatn					
Volum	1938,0	296,0	mill. m3	Effektkjøring med maks. effekt	24	timer/døgn	
HRV	899,0	551,0	m	Pumping med maks. effekt	0	timer/døgn	
LRV	780,0	495,0	m				
HRV - LRV	119,0	56,0	m	Brutto fallhøyde (2/3 mag.nivå)	327,0	m	
Startnivå ¹	75	50	%	Avstand inntak-til-utløp	11000	m (horisontalt)	
Øvrig innløp ²		307,0	m ³ /s	Tunnel lengde	10715	m	
Øvrig utløp ³	100,0	131,0	m ³ /s	Trykksjakt lengde	403	m	
Maks. effekt produsert [MW]	Vannstands-reduksjon [cm/time]	Vannstands-reduksjon 1 døgn [m]	Vannstands-reduksjon 3 døgn [m]	Vannstands-reduksjon 7 døgn [m]	Tømming av øvre magasin [døgn]	Vannstands-økning [cm/time]	Fylling av nedre magasin [døgn]
300	5	1,1	3,3	7,8	80,4	19	6,0
400	5	1,3	3,9	9,1	68,5	22	5,3
500	6	1,5	4,5	10,5	59,6	24	4,8
600	7	1,7	5,1	11,8	52,8	27	4,3
700	8	1,9	5,6	13,2	47,4	29	4,0
800	9	2,1	6,2	14,5	43,0	32	3,7
900	9	2,3	6,8	15,9	39,3	34	3,4
1000	10	2,5	7,4	17,2	36,3	37	3,2
Maks. effekt produsert [MW]	Maks. slukeevne [m ³ /s]	Tunnel tverrsnitt [m ²]	Trykksjakt tverrsnitt [m ²]	Tunnel volum [mill. m ³]	Trykksjakt volum [mill. m ³]	Stasjonshall volum [mill. m ³]	Sum volum uttak av masse [mill. m ³]
300	109	55	36	0,585	0,015	0,039	0,639
400	146	73	49	0,780	0,020	0,049	0,849
500	182	91	61	0,975	0,024	0,059	1,059
600	218	109	73	1,170	0,029	0,068	1,268
700	255	127	85	1,365	0,034	0,077	1,477
800	291	146	97	1,560	0,039	0,086	1,686
900	328	164	109	1,755	0,044	0,095	1,894
1000	364	182	121	1,950	0,049	0,103	2,102

¹Startnivå brukes kun til beregning av tid for tømming av øvre magasin og fylling av nedre magasin.

²Øvrig innløp til Bossvatn (307,0 m³/s) skyldes:

- 230 MW i Holen 1-2
- 160 MW i Holen 3
- 1000 MW i Holen pumpekraftverk (Urarvatn)
- 0 MW i Holen pumpekraftverk (Blåsjø)

³Øvrig utløp fra Svartevatn (100,0 m³/s) skyldes:

- 200 MW i Duge

³Utløp fra Bossvatn (131,0 m³/s) skyldes:

- 330 MW i Brokke

Tabell 2.10 viser vannstandsreduksjon i Svartevatn (øvre magasin) og vannstandsøkning i Bossvatn (nedre magasin) ved maksimal effektproduksjon 24 timer/døgn i Bossvatn pumpekraftverk når installert effektkapasitet er 300 – 1 000 MW. Øvrige innløp og utløp for disse to magasinene framgår av fotnotene til tabellen. Startnivået i øvre og nedre magasin er henholdsvis 75 % og 50 %.

Tabell 2.11 viser vannstandsreduksjon (m) pr døgn og tømmingstid (døgn) ned til LRV for Svartevatn når effektproduksjonen i Bossvatn pumpekraftverk er 700 MW. Antall timer/døgn med effektkjøring og pumping og startnivået (%) i Svartevatn varieres. Tabell 2.12 viser fyllingstiden (døgn) opp til HRV for Bossvatn ved tilsvarende forutsetninger.

Tabell 2.11: Vannstandsreduksjon og tømmingstid for Svartevatn når Bossvatn pumpekraftverk produserer 700 MW.

Eff.kjøring (timer/døgn)	Pumping (timer/døgn)	Startnivå (%)	Reduksjon 1 døgn (m)	Tømming (døgn)
24	0	100	1,9	63,2
		75		47,4
		50		31,6
18	0	75	1,4	63,2
	6		1,0	86,2
12	0		0,9	94,8
	6		0,6	158,0
	12		0,2	474,1

Tabell 2.12: Fyllingstid for Bossvatn når Bossvatn pumpekraftverk produserer 700 MW.

Eff.kjøring (timer/døgn)	Pumping (timer/døgn)	Startnivå (%)	Fylling (døgn)
24	0	25	6,0
		50	4,0
		75	2,0
18	0	50	5,3
	6		7,2
12	0		8,0
	6		13,3
	12		39,8

B3 Pumpekraftverk Holen (Urarvatn – Bossvatn)

Tabell 2.13: Case B3 Pumpekraftverk Holen (Urarvatn – Bossvatn).

B3 Pumpekraftverk Holen (Urarvatn - Bossvatn)							
Magasin	Urarvatn	Bossvatn					
Volum	253,0	296,0	mill. m3	Effektkjøring med maks. effekt	24	timer/døgn	
HRV	1175,0	551,0	m	Pumping med maks. effekt	0	timer/døgn	
LRV	1141,0	495,0	m				
HRV - LRV	34,0	56,0	m	Brutto fallhøyde (2/3 mag.nivå)	631,3	m	
Startnivå ¹	75	50	%	Avstand inntak-til-utløp	13000	m (horisontalt)	
Øvrig innløp ²	0,0	118,0	m ³ /s	Tunnel lengde	12354	m	
Øvrig utløp ³	28,0	131,0	m ³ /s	Trykksjakt lengde	914	m	
Maks. effekt produsert [MW]	Vannstands-reduksjon [cm/time]	Vannstands-reduksjon 1 døgn [m]	Vannstands-reduksjon 3 døgn [m]	Vannstands-reduksjon 7 døgn [m]	Tømming av øvre magasin [døgn]	Vannstands-økning [cm/time]	Fylling av nedre magasin [døgn]
400	5	1,2	3,6	8,4	21,2	4	27,4
500	6	1,4	4,3	9,9	18,0	6	21,1
600	7	1,6	4,9	11,5	15,6	7	17,1
700	8	1,9	5,6	13,0	13,7	8	14,4
800	9	2,1	6,2	14,5	12,3	9	12,4
1000	10	2,5	7,5	17,6	10,1	12	9,8
1200	12	3,0	8,9	20,7	8,6	15	8,0
1400	14	3,4	10,2	23,7	7,5	17	6,8
Maks. effekt produsert [MW]	Maks. slukeevne [m ³ /s]	Tunnel tverrsnitt [m ²]	Trykksjakt tverrsnitt [m ²]	Tunnel volum [mill. m ³]	Trykksjakt volum [mill. m ³]	Stasjonshall volum [mill. m ³]	Sum volum uttak av masse [mill. m ³]
400	75	38	25	0,466	0,023	0,043	0,532
500	94	47	31	0,582	0,029	0,052	0,663
600	113	57	38	0,699	0,034	0,060	0,793
700	132	66	44	0,815	0,040	0,068	0,923
800	151	75	50	0,932	0,046	0,075	1,053
1000	189	94	63	1,165	0,057	0,090	1,312
1200	226	113	75	1,398	0,069	0,104	1,571
1400	264	132	88	1,631	0,080	0,118	1,829

¹Startnivå brukes kun til beregning av tid for tømming av øvre magasin og fylling av nedre magasin.

²Innløp (0,0 m³/s) til Urarvatn:

- 0 MW pumping i Vatnedalsvatn pumpekraftverk

²Øvrig innløp til Bossvatn (118,0 m³/s) skyldes:

- 230 MW i Holen 1-2
- 160 MW i Holen 3
- 0 MW i Holen pumpekraftverk (Svartevatn)
- 0 MW i Holen pumpekraftverk (Blåsjø)

³Øvrig utløp fra Urarvatn (28,0 m³/s) skyldes:

- 0 MW i Vatnedalsvatn pumpekraftverk
- 160 MW i Holen 3

³Utløp fra Bossvatn (131,0 m³/s) skyldes:

- 330 MW i Brokke

Tabell 2.13 viser vannstandsreduksjon i Urarvatn (øvre magasin) og vannstandsøkning i Bossvatn (nedre magasin) ved maksimal effektproduksjon 24 timer/døgn i Holen pumpekraftverk når installert effektkapasitet er 400 – 1 400 MW. Øvrige innløp og utløp for disse to magasinene framgår av fotnotene til tabellen. Startnivået i øvre og nedre magasin er henholdsvis 75 % og 50 %.

Tabell 2.14 viser vannstandsreduksjon (m) pr døgn og tømmingstid (døgn) ned til LRV for Urarvatn når effektproduksjonen i Holen pumpekraftverk er 700 MW. Antall timer/døgn med effektkjøring og pumping og startnivået (%) i Urarvatn varieres. Tabell 2.15 viser fyllingstiden (døgn) opp til HRV for Bossvatn ved tilsvarende forutsetninger.

Tabell 2.14: Vannstandsreduksjon og tømmingstid for Urarvatn når Holen pumpekraftverk produserer 700 MW.

Eff.kjøring (timer/døgn)	Pumping (timer/døgn)	Startnivå (%)	Reduksjon 1 døgn (m)	Tømming (døgn)
24	0	100	1,9	18,3
		75		13,7
		50		9,2
18	0	75	1,4	18,3
	6		1,0	25,0
12	0		0,9	27,5
	6		0,6	45,8
	12		0,2	137,3

Tabell 2.15: Fyllingstid for Bossvatn når Holen pumpekraftverk produserer 700 MW.

Eff.kjøring (timer/døgn)	Pumping (timer/døgn)	Startnivå (%)	Fylling (døgn)
24	0	25	21,6
		50	14,4
		75	7,2
18	0	50	19,2
	6		26,2
12	0		28,8
	6		48,0
	12		143,9

B4 Pumpekraftverk Vatnedalsvatn (Urarvatn – Vatnedalsvatn)
Tabell 2.16: Case B4 Pumpekraftverk Vatnedalsvatn (Urarvatn – Vatnedalsvatn).

B4 Pumpekraftverk Vatnedalsvatn (Urarvatn - Vatnedalsvatn)							
Magasin	Urarvatn	Vatnedalsvatn					
Volum	253,0	1150,0	mill. m3	Effektkjøring med maks. effekt	24	timer/døgn	
HRV	1175,0	840,0	m	Pumping med maks. effekt	0	timer/døgn	
LRV	1141,0	700,0	m				
HRV - LRV	34,0	140,0	m	Brutto fallhøyde (2/3 mag.nivå)	370,3	m	
Startnivå ¹	75	50	%	Avstand inntak-til-utløp	4700	m (horisontalt)	
Øvrig innløp ²			m3/s	Tunnel lengde	4259	m	
Øvrig utløp ³	217,0	90,0	m3/s	Trykksjakt lengde	624	m	
Maks. effekt produsert [MW]	Vannstands-reduksjon [cm/time]	Vannstands-reduksjon 1 døgn [m]	Vannstands-reduksjon 3 døgn [m]	Vannstands-reduksjon 7 døgn [m]	Tømming av øvre magasin [døgn]	Vannstands-økning [cm/time]	Fylling av nedre magasin [døgn]
100	12	2,9	8,7	20,2	8,8	-3	
200	14	3,3	9,8	22,9	7,8	-1	
300	15	3,6	10,9	25,5	7,0	0	
400	17	4,0	12,0	28,1	6,4	2	172,5
500	18	4,4	13,2	30,7	5,8	3	94,1
600	20	4,8	14,3	33,3	5,4	5	64,7
700	21	5,1	15,4	35,9	5,0	6	49,3
800	23	5,5	16,5	38,5	4,6	7	39,8
Maks. effekt produsert [MW]	Maks. slukeevne [m3/s]	Tunnel tverrsnitt [m2]	Trykksjakt tverrsnitt [m2]	Tunnel volum [mill. m3]	Trykksjakt volum [mill. m3]	Stasjonshall volum [mill. m3]	Sum volum uttak av masse [mill. m3]
100	32	16	11	0,068	0,007	0,016	0,091
200	64	32	21	0,137	0,013	0,028	0,178
300	96	48	32	0,205	0,020	0,038	0,264
400	129	64	43	0,274	0,027	0,048	0,349
500	161	80	54	0,342	0,033	0,058	0,433
600	193	96	64	0,411	0,040	0,067	0,517
700	225	113	75	0,479	0,047	0,075	0,601
800	257	129	86	0,548	0,053	0,084	0,685

¹Startnivå brukes kun til beregning av tid for tømming av øvre magasin og fylling av nedre magasin.

²Øvrig innløp til Urarvatn og Vatnedalsvatn: 0,0 m³/s

³Øvrig utløp fra Urarvatn (217,0 m³/s) skyldes:

- 160 MW i Holen 3
- 1000 MW i Holen pumpekraftverk (Urarvatn)

³Utløp fra Vatnedalsvatn (90,0 m³/s) skyldes:

- 230 MW i Holen 1-2

Tabell 2.16 viser vannstandsreduksjon i Urarvatn (øvre magasin) og vannstandsøkning i Vatnedalsvatn (nedre magasin) ved maksimal effektproduksjon 24 timer/døgn i Vatnedalsvatn pumpekraftverk når installert effektkapasitet er 100 – 800 MW. Øvrige innløp og utløp for disse to magasinene framgår av fotnotene til tabellen. Startnivået i øvre og nedre magasin er henholdsvis 75 % og 50 %.

Tabell 2.17 viser vannstandsreduksjon (m) pr døgn og tømmingstid (døgn) ned til LRV for Urarvatn når effektproduksjonen i Vatnedalsvatn pumpekraftverk er 400 MW. Antall timer/døgn med effektkjøring og pumping og startnivået (%) i Urarvatn varieres. Tabell 2.18 viser fyllingstiden (døgn) opp til HRV for Vatnedalsvatn ved tilsvarende forutsetninger.

Tabell 2.17: Vannstandsreduksjon og tømmingstid for Urarvatn når Vatnedalsvatn pumpekraftverk produserer 400 MW.

Eff.kjøring (timer/døgn)	Pumping (timer/døgn)	Startnivå (%)	Reduksjon 1 døgn (m)	Tømming (døgn)
24	0	100	4,0	8,5
		75		6,4
		50		4,2
18	0	75	3,0	8,5
	6		2,2	11,6
12	0		2,0	12,7
	6		1,2	21,2
	12		0,4	63,5

Tabell 2.18: Fyllingstid for Vatnedalsvatn når Vatnedalsvatn pumpekraftverk produserer 400 MW.

Eff.kjøring (timer/døgn)	Pumping (timer/døgn)	Startnivå (%)	Fylling (døgn)
24	0	25	258,7
		50	172,5
		75	86,2
18	0	50	230,0
	6		313,6
12	0		345,0
	6		574,9
	12		1724,8

B5 Pumpekraftverk Kvilldal (Sandsavatn – Suldalsvatn)

Tabell 2.19: Case B5 Pumpekraftverk Kvilldal (Sandsavatn – Suldalsvatn).

B5 Pumpekraftverk Kvilldal (Sandsavatn - Suldalsvatn)							
Magasin	Sandsavatn	Suldalsvatn					
Volum	228,0	44,0	mill. m3	Effektkjøring med maks. effekt	24	timer/døgn	
HRV	605,0	69,0	m	Pumping med maks. effekt	0	timer/døgn	
LRV	560,0	67,0	m				
HRV - LRV	45,0	2,0	m	Brutto fallhøyde (2/3 mag.nivå)	521,7	m	
Startnivå ¹	75	50	%	Avstand inntak-til-utløp	3900	m (horisontalt)	
Øvrig innløp ²	173,3	656,9	m ³ /s	Tunnel lengde	3407	m	
Øvrig utløp ³	263,0	269,0	m ³ /s	Trykksjakt lengde	697	m	
Maks. effekt produsert [MW]	Vannstands-reduksjon [cm/time]	Vannstands-reduksjon 1 døgn [m]	Vannstands-reduksjon 3 døgn [m]	Vannstands-reduksjon 7 døgn [m]	Tømming av øvre magasin [døgn]	Vannstands-økning [cm/time]	Fylling av nedre magasin [døgn]
300	11	2,7	8,1	18,9	12,5	7	0,6
400	13	3,1	9,3	21,6	10,9	8	0,5
500	14	3,5	10,4	24,3	9,7	8	0,5
600	16	3,9	11,6	27,1	8,7	9	0,5
700	18	4,3	12,8	29,8	7,9	9	0,5
800	19	4,6	13,9	32,5	7,3	9	0,4
900	21	5,0	15,1	35,2	6,7	10	0,4
1000	23	5,4	16,3	37,9	6,2	10	0,4
Maks. effekt produsert [MW]	Maks. slukeevne [m ³ /s]	Tunnel tverrsnitt [m ²]	Trykksjakt tverrsnitt [m ²]	Tunnel volum [mill. m ³]	Trykksjakt volum [mill. m ³]	Stasjonshall volum [mill. m ³]	Sum volum uttak av masse [mill. m ³]
300	68	34	23	0,117	0,016	0,036	0,168
400	91	46	30	0,155	0,021	0,045	0,222
500	114	57	38	0,194	0,027	0,054	0,275
600	137	68	46	0,233	0,032	0,062	0,327
700	160	80	53	0,272	0,037	0,070	0,380
800	183	91	61	0,311	0,042	0,078	0,432
900	205	103	68	0,350	0,048	0,086	0,484
1000	228	114	76	0,389	0,053	0,094	0,535

¹Startnivå brukes kun til beregning av tid for tømming av øvre magasin og fylling av nedre magasin.

²Innløp til Sandsavatn (173,3 m³/s) skyldes:

- 640 MW i Saurdal

²Øvrig innløp til Suldalsvatn (656,9 m³/s) skyldes:

- 1240 MW i Kvilldal
- 2400 MW i Kvilldal pumpekraftverk (Blåsjø)
- 160 MW i Suldal 1
- 150 MW i Suldal 2

³Øvrig utløp fra Sandsavatn (263,0 m³/s) skyldes:

- 1240 MW i Kvilldal

³Utløp fra Suldalsvatn (269,0 m³/s) skyldes:

- 160 MW i Hysten

Tabell 2.19 viser vannstandsreduksjon i Sandsavatn (øvre magasin) og vannstandsøkning i Suldalsvatn (nedre magasin) ved maksimal effektproduksjon 24 timer/døgn i Kvilldal pumpekraftverk når installert effektkapasitet er 300 – 1 000 MW. Øvrige innløp og utløp for disse to magasinene framgår av fotnotene til tabellen. Startnivået i øvre og nedre magasin er henholdsvis 75 % og 50 %.

Tabell 2.20 viser vannstandsreduksjon (m) pr døgn og tømmingstid (døgn) ned til LRV for Sandsavatn når effektproduksjonen i Kvilldal pumpekraftverk er 500 MW. Antall timer/døgn med effektkjøring og pumping og startnivået (%) i Sandsavatn varieres. Tabell 2.21 viser fyllingstiden (døgn) opp til HRV for Suldalsvatn ved tilsvarende forutsetninger.

Tabell 2.20: Vannstandsreduksjon og tømmingstid for Sandsavatn når Kvilldal pumpekraftverk produserer 500 MW.

Eff.kjøring (timer/døgn)	Pumping (timer/døgn)	Startnivå (%)	Reduksjon 1 døgn (m)	Tømming (døgn)
24	0	100	3,5	12,9
		75		9,7
		50		6,5
18	0	75	2,6	12,9
	6		1,9	17,7
12	0		1,7	19,4
	6		1,0	32,4
	12		0,3	97,1

Tabell 2.21: Fyllingstid for Suldalsvatn når Kvilldal pumpekraftverk produserer 500 MW.

Eff.kjøring (timer/døgn)	Pumping (timer/døgn)	Startnivå (%)	Fylling (døgn)
24	0	25	0,8
		50	0,5
		75	0,3
18	0	50	0,7
	6		0,9
12	0		1,0
	6		1,7
	12		5,1

B6a Pumpekraftverk Kvilldal (Blåsjø – Suldalsvatn)

Tabell 2.22: Case B6a Pumpekraftverk Kvilldal (Blåsjø – Suldalsvatn).

B6a Pumpekraftverk Kvilldal (Blåsjø - Suldalsvatn), 1 400 MW i Effektverk Jøsenfjorden							
Magasin	Blåsjø	Suldalsvatn					
Volum	3105,0	44,0	mill. m3	Effektkjøring med maks. effekt	24	timer/døgn	
HRV	1055,0	69,0	m	Pumping med maks. effekt	0	timer/døgn	
LRV	930,0	67,0	m				
HRV - LRV	125,0	2,0	m	Brutto fallhøyde (2/3 mag.nivå)	945,0	m	
Startnivå ¹	75	50	%	Avstand inntak-til-utløp	20000	m (horisontalt)	
Øvrig innløp ²		354,9	m ³ /s	Tunnel lengde	19137	m	
Øvrig utløp ³	337,3	269,0	m ³ /s	Trykksjakt lengde	1220	m	
Maks. effekt produsert [MW]	Vannstands-reduksjon [cm/time]	Vannstands-reduksjon 1 døgn [m]	Vannstands-reduksjon 3 døgn [m]	Vannstands-reduksjon 7 døgn [m]	Tømming av øvre magasin [døgn]	Vannstands-økning [cm/time]	Fylling av nedre magasin [døgn]
1000	7	1,6	4,8	11,3	58,2	3	1,2
1200	7	1,7	5,1	11,9	55,2	4	1,1
1400	7	1,8	5,4	12,5	52,5	4	1,0
1600	8	1,9	5,6	13,1	50,0	5	0,9
1800	8	2,0	5,9	13,7	47,8	5	0,8
2000	9	2,0	6,1	14,3	45,7	6	0,8
2200	9	2,1	6,4	15,0	43,9	6	0,7
2400	9	2,2	6,7	15,6	42,1	6	0,7
Maks. effekt produsert [MW]	Maks. slukeevne [m ³ /s]	Tunnel tverrsnitt [m ²]	Trykksjakt tverrsnitt [m ²]	Tunnel volum [mill. m ³]	Trykksjakt volum [mill. m ³]	Stasjonshall volum [mill. m ³]	Sum volum uttak av masse [mill. m ³]
1000	126	63	42	1,205	0,051	0,083	1,340
1200	151	76	50	1,446	0,061	0,096	1,604
1400	176	88	59	1,688	0,072	0,109	1,868
1600	202	101	67	1,929	0,082	0,121	2,132
1800	227	113	76	2,170	0,092	0,133	2,395
2000	252	126	84	2,411	0,102	0,145	2,658
2200	277	139	92	2,652	0,113	0,156	2,921
2400	302	151	101	2,893	0,123	0,168	3,183

¹Startnivå brukes kun til beregning av tid for tømming av øvre magasin og fylling av nedre magasin.

²Øvrig innløp til Suldalsvatn (354,9 m³/s) skyldes:

- 1240 MW i Kvilldal
- 0 MW i Kvilldal pumpekraftverk (Sandsavatn)
- 160 MW i Suldal 1
- 150 MW i Suldal 2

³Øvrig utløp fra Blåsjø (337,3 m³/s) skyldes:

- 640 MW i Saurdal
- 1400 MW i effektverk i Jøsenfjorden
- 0 MW i Holen pumpekraftverk

³Utløp fra Suldalsvatn (269,0 m³/s) skyldes:

- 160 MW i Hysten

Tabell 2.22 viser vannstandsreduksjon i Blåsjø (øvre magasin) og vannstandsøkning i Suldalsvatn (nedre magasin) ved maksimal effektproduksjon 24 timer/døgn i Kvilldal pumpekraftverk når installert effektkapasitet er 1 000 – 2 400 MW. Øvrige innløp og utløp for disse to magasinene framgår av fotnotene til tabellen. Startnivået i øvre og nedre magasin er henholdsvis 75 % og 50 %.

Tabell 2.23 viser vannstandsreduksjon (m) pr døgn og tømmingstid (døgn) ned til LRV for Blåsjø når effektproduksjonen i Kvilldal pumpekraftverk er 1 400 MW. Antall timer/døgn med effektkjøring og pumping og startnivået (%) i Blåsjø varieres. Tabell 2.24 viser fyllingstiden (døgn) opp til HRV for Suldalsvatn ved tilsvarende forutsetninger.

Tabell 2.23: Vannstandsreduksjon og tømmingstid for Blåsjø når Kvilldal pumpekraftverk produserer 1 400 MW.

Eff.kjøring (timer/døgn)	Pumping (timer/døgn)	Startnivå (%)	Reduksjon 1 døgn (m)	Tømming (døgn)
24	0	100	1,8	70,0
		75		52,5
		50		35,0
18	0	75	1,3	70,0
	6		1,0	95,4
12	0		0,9	104,9
	6		0,5	174,9
	12		0,2	524,7

Tabell 2.24: Fyllingstid for Suldalsvatn når Kvilldal pumpekraftverk produserer 1 400 MW.

Eff.kjøring (timer/døgn)	Pumping (timer/døgn)	Startnivå (%)	Fylling (døgn)
24	0	25	1,5
		50	1,0
		75	0,5
18	0	50	1,3
	6		1,8
12	0		1,9
	6		3,2
	12		9,7

B6b Pumpekraftverk Kvilldal (Blåsjø – Suldalsvatn)
Tabell 2.25: Case B6b Pumpekraftverk Kvilldal (Blåsjø – Suldalsvatn).

B6b Pumpekraftverk Kvilldal (Blåsjø - Suldalsvatn), 2 400 MW i Effektverk Jøsenfjorden							
Magasin	Blåsjø	Suldalsvatn					
Volum	3105,0	44,0	mill. m3	Effektkjøring med maks. effekt	24	timer/døgn	
HRV	1055,0	69,0	m	Pumping med maks. effekt	0	timer/døgn	
LRV	930,0	67,0	m				
HRV - LRV	125,0	2,0	m	Brutto fallhøyde (2/3 mag.nivå)	945,0	m	
Startnivå ¹	75	50	%	Avstand inntak-til-utløp	20000	m (horisontalt)	
Øvrig innløp ²		354,9	m ³ /s	Tunnel lengde	19137	m	
Øvrig utløp ³	455,3	269,0	m ³ /s	Trykksjakt lengde	1220	m	
Maks. effekt produsert [MW]	Vannstands-reduksjon [cm/time]	Vannstands-reduksjon 1 døgn [m]	Vannstands-reduksjon 3 døgn [m]	Vannstands-reduksjon 7 døgn [m]	Tømming av øvre magasin [døgn]	Vannstands-økning [cm/time]	Fylling av nedre magasin [døgn]
1600	10	2,3	6,9	16,0	41,0	5	0,9
1800	10	2,4	7,1	16,6	39,5	5	0,8
2000	10	2,5	7,4	17,2	38,1	6	0,8
2200	11	2,5	7,6	17,8	36,8	6	0,7
2400	11	2,6	7,9	18,4	35,6	6	0,7
2600	11	2,7	8,2	19,1	34,4	7	0,6
2800	12	2,8	8,4	19,7	33,4	7	0,6
3000	12	2,9	8,7	20,3	32,3	8	0,5
Maks. effekt produsert [MW]	Maks. slukeevne [m ³ /s]	Tunnel tverrsnitt [m ²]	Trykksjakt tverrsnitt [m ²]	Tunnel volum [mill. m ³]	Trykksjakt volum [mill. m ³]	Stasjonshall volum [mill. m ³]	Sum volum uttak av masse [mill. m ³]
1600	202	101	67	1,929	0,082	0,121	2,132
1800	227	113	76	2,170	0,092	0,133	2,395
2000	252	126	84	2,411	0,102	0,145	2,658
2200	277	139	92	2,652	0,113	0,156	2,921
2400	302	151	101	2,893	0,123	0,168	3,183
2600	328	164	109	3,134	0,133	0,179	3,446
2800	353	176	118	3,375	0,143	0,190	3,708
3000	378	189	126	3,616	0,154	0,200	3,970

¹Startnivå brukes kun til beregning av tid for tømming av øvre magasin og fylling av nedre magasin.

²Øvrig innløp til Suldalsvatn (354,9 m³/s) skyldes:

- 1240 MW i Kvilldal
- 0 MW i Kvilldal pumpekraftverk (Sandsavatn)
- 160 MW i Suldal 1
- 150 MW i Suldal 2

³Øvrig utløp fra Blåsjø (455,3 m³/s) skyldes:

- 640 MW i Saurdal
- 2400 MW i effektverk i Jøsenfjorden
- 0 MW i Holen pumpekraftverk

³Utløp fra Suldalsvatn (269,0 m³/s) skyldes:

- 160 MW i Hysten

Tabell 2.25 viser vannstandsreduksjon i Blåsjø (øvre magasin) og vannstandsøkning i Suldalsvatn (nedre magasin) ved maksimal effektproduksjon 24 timer/døgn i Kvilldal pumpekraftverk når installert effektkapasitet er 1 600 – 3 000 MW. Øvrige innløp og utløp for disse to magasinene framgår av fotnotene til tabellen. Startnivået i øvre og nedre magasin er henholdsvis 75 % og 50 %.

Tabell 2.26 viser vannstandsreduksjon (m) pr døgn og tømmingstid (døgn) ned til LRV for Blåsjø når effektproduksjonen i Kvilldal pumpekraftverk er 2 400 MW. Antall timer/døgn med effektkjøring og pumping og startnivået (%) i Blåsjø varieres. Tabell 2.27 viser fyllingstiden (døgn) opp til HRV for Suldalsvatn ved tilsvarende forutsetninger.

Tabell 2.26: Vannstandsreduksjon og tømmingstid for Blåsjø når Kvilldal pumpekraftverk produserer 2 400 MW.

Eff.kjøring (timer/døgn)	Pumping (timer/døgn)	Startnivå (%)	Reduksjon 1 døgn (m)	Tømming (døgn)
24	0	100	2,6	47,4
		75		35,6
		50		23,7
18	0	75	2,0	47,4
	6		1,4	64,7
12	0		1,3	71,1
	6		0,8	118,6
	12		0,3	355,7

Tabell 2.27: Fyllingstid for Suldalsvatn når Kvilldal pumpekraftverk produserer 2 400 MW.

Eff.kjøring (timer/døgn)	Pumping (timer/døgn)	Startnivå (%)	Fylling (døgn)
24	0	25	1,0
		50	0,7
		75	0,3
18	0	50	0,9
	6		1,2
12	0		1,3
	6		2,2
	12		6,6

B7a Effektverk Jøsenfjorden (Blåsjø – Jøsenfjorden)

Tabell 2.28: Case B7a Effektverk Jøsenfjorden (Blåsjø – Jøsenfjorden).

B7a Effektverk Jøsenfjorden (Blåsjø - Jøsenfjorden), 1 400 MW i Pumpekraftverk Kvilldal							
Magasin	Blåsjø	(sjø)					
Volum	3105,0		mill. m3	Effektkjøring med maks. effekt	24	timer/døgn	
HRV	1055,0	0,0	m	Pumping med maks. effekt		timer/døgn	
LRV	930,0	0,0	m				
HRV - LRV	125,0	0,0	m	Brutto fallhøyde (2/3 mag.nivå)	1013,3	m	
Startnivå ¹	75		%	Avstand inntak-til-utløp	15000	m (horisontalt)	
Øvrig innløp ²			m3/s	Tunnel lengde	14070	m	
Øvrig utløp ³	349,3		m3/s	Trykksjakt lengde	1315	m	
Maks. effekt produsert [MW]	Vannstands-reduksjon [cm/time]	Vannstands-reduksjon 1 døgn [m]	Vannstands-reduksjon 3 døgn [m]	Vannstands-reduksjon 7 døgn [m]	Tømming av øvre magasin [døgn]	Vannstands-økning [cm/time]	Fylling av nedre magasin [døgn]
1000	7	1,6	4,9	11,4	57,7		
1200	7	1,7	5,1	11,9	55,0		
1400	7	1,8	5,4	12,5	52,5		
1600	8	1,9	5,6	13,1	50,2		
1800	8	2,0	5,9	13,7	48,1		
2000	8	2,0	6,1	14,2	46,1		
2200	9	2,1	6,3	14,8	44,3		
2400	9	2,2	6,6	15,4	42,7		
Maks. effekt produsert [MW]	Maks. slukeevne [m3/s]	Tunnel tverrsnitt [m2]	Trykksjakt tverrsnitt [m2]	Tunnel volum [mill. m3]	Trykksjakt volum [mill. m3]	Stasjonshall volum [mill. m3]	Sum volum uttak av masse [mill. m3]
1000	117	59	39	0,826	0,052	0,082	0,960
1200	141	70	47	0,992	0,062	0,095	1,148
1400	164	82	55	1,157	0,072	0,107	1,337
1600	188	94	63	1,322	0,082	0,119	1,524
1800	211	106	70	1,488	0,093	0,131	1,712
2000	235	117	78	1,653	0,103	0,143	1,899
2200	258	129	86	1,818	0,113	0,154	2,086
2400	282	141	94	1,984	0,124	0,165	2,272

¹Startnivå brukes kun til beregning av tid for tømming av øvre magasin og fylling av nedre magasin.

³Øvrig utløp fra Blåsjø (349,3 m³/s) skyldes:

- 640 MW i Saurdal
- 1400 MW i Kvilldal pumpekraftverk
- 0 MW i Holen pumpekraftverk (Blåsjø)

Tabell 2.28 viser vannstandsreduksjon i Blåsjø (øvre magasin) ved maksimal effektproduksjon 24 timer/døgn i Jøsenfjorden effektverk når installert effektkapasitet er 1 000 – 2 400 MW. Øvrige innløp og utløp for magasinet framgår av fotnotene til tabellen. Startnivået i Blåsjø er 75 %.

Tabell 2.29 viser vannstandsreduksjon (m) pr døgn og tømmingstid (døgn) ned til LRV for Blåsjø når effektproduksjonen i Jøsenfjorden effektverk er 1 400 MW. Antall timer/døgn med effektkjøring og startnivået (%) i Blåsjø varierer.

Tabell 2.29: Vannstandsreduksjon og tømmingstid for Blåsjø når Jøsenfjorden effektverk produserer 1 400 MW.

Eff.kjøring (timer/døgn)	Startnivå (%)	Reduksjon 1 døgn (m)	Tømming (døgn)
24	100	1,8	69,9
	75		52,5
	50		35,0
18	75	1,3	69,9
12		0,9	104,9

B7b Effektverk Jøsenfjorden (Blåsjø – Jøsenfjorden)
Tabell 2.30: Case B7b Effektverk Jøsenfjorden (Blåsjø – Jøsenfjorden).

B7b Effektverk Jøsenfjorden (Blåsjø - Jøsenfjorden), 2 400 MW i Pumpekraftverk Kvilldal							
Magasin	Blåsjø	(sjø)					
Volum	3105,0		mill. m3	Effektkjøring med maks. effekt	24	timer/døgn	
HRV	1055,0	0,0	m	Pumping med maks. effekt		timer/døgn	
LRV	930,0	0,0	m				
HRV - LRV	125,0	0,0	m	Brutto fallhøyde (2/3 mag.nivå)	1013,3	m	
Startnivå ¹	75		%	Avstand inntak-til-utløp	15000	m (horisontalt)	
Øvrig innløp ²			m3/s	Tunnel lengde	14070	m	
Øvrig utløp ³	475,3		m3/s	Trykksjakt lengde	1315	m	
Maks. effekt produsert [MW]	Vannstands-reduksjon [cm/time]	Vannstands-reduksjon 1 døgn [m]	Vannstands-reduksjon 3 døgn [m]	Vannstands-reduksjon 7 døgn [m]	Tømming av øvre magasin [døgn]	Vannstands-økning [cm/time]	Fylling av nedre magasin [døgn]
2000	10	2,5	7,4	17,3	37,9		
2200	11	2,6	7,7	17,9	36,7		
2400	11	2,6	7,9	18,4	35,6		
2600	11	2,7	8,1	19,0	34,5		
2800	12	2,8	8,4	19,6	33,5		
3000	12	2,9	8,6	20,2	32,6		
3200	12	3,0	8,9	20,7	31,7		
3400	13	3,0	9,1	21,3	30,8		
Maks. effekt produsert [MW]	Maks. slukeevne [m3/s]	Tunnel tverrsnitt [m2]	Trykksjakt tverrsnitt [m2]	Tunnel volum [mill. m3]	Trykksjakt volum [mill. m3]	Stasjonshall volum [mill. m3]	Sum volum uttak av masse [mill. m3]
2000	235	117	78	1,653	0,103	0,143	1,899
2200	258	129	86	1,818	0,113	0,154	2,086
2400	282	141	94	1,984	0,124	0,165	2,272
2600	305	153	102	2,149	0,134	0,176	2,459
2800	329	164	110	2,314	0,144	0,187	2,645
3000	352	176	117	2,479	0,155	0,197	2,831
3200	376	188	125	2,645	0,165	0,208	3,018
3400	399	200	133	2,810	0,175	0,218	3,203

¹Startnivå brukes kun til beregning av tid for tømming av øvre magasin og fylling av nedre magasin.

³Øvrig utløp fra Blåsjø (475,3 m³/s) skyldes:

- 640 MW i Saurdal
- 2400 MW i Kvilldal pumpekraftverk
- 0 MW i Holen pumpekraftverk (Blåsjø)

Tabell 2.30 viser vannstandsreduksjon i Blåsjø (øvre magasin) ved maksimal effektproduksjon 24 timer/døgn i Jøsenfjorden effektverk når installert effektkapasitet er 2 000 – 3 400 MW. Øvrige innløp og utløp for magasinet framgår av fotnotene til tabellen. Startnivået i Blåsjø er 75 %.

Tabell 2.31 viser vannstandsreduksjon (m) pr døgn og tømmingstid (døgn) ned til LRV for Blåsjø når effektproduksjonen i Jøsenfjorden effektverk er 2 400 MW. Antall timer/døgn med effektkjøring og startnivået (%) i Blåsjø varierer.

Tabell 2.31: Vannstandsreduksjon og tømmingstid for Blåsjø når Jøsenfjorden effektverk produserer 2 400 MW.

Eff.kjøring (timer/døgn)	Startnivå (%)	Reduksjon 1 døgn (m)	Tømming (døgn)
24	100	2,6	47,5
	75		35,6
	50		23,7
18	75	2,0	47,5
12		1,3	71,2

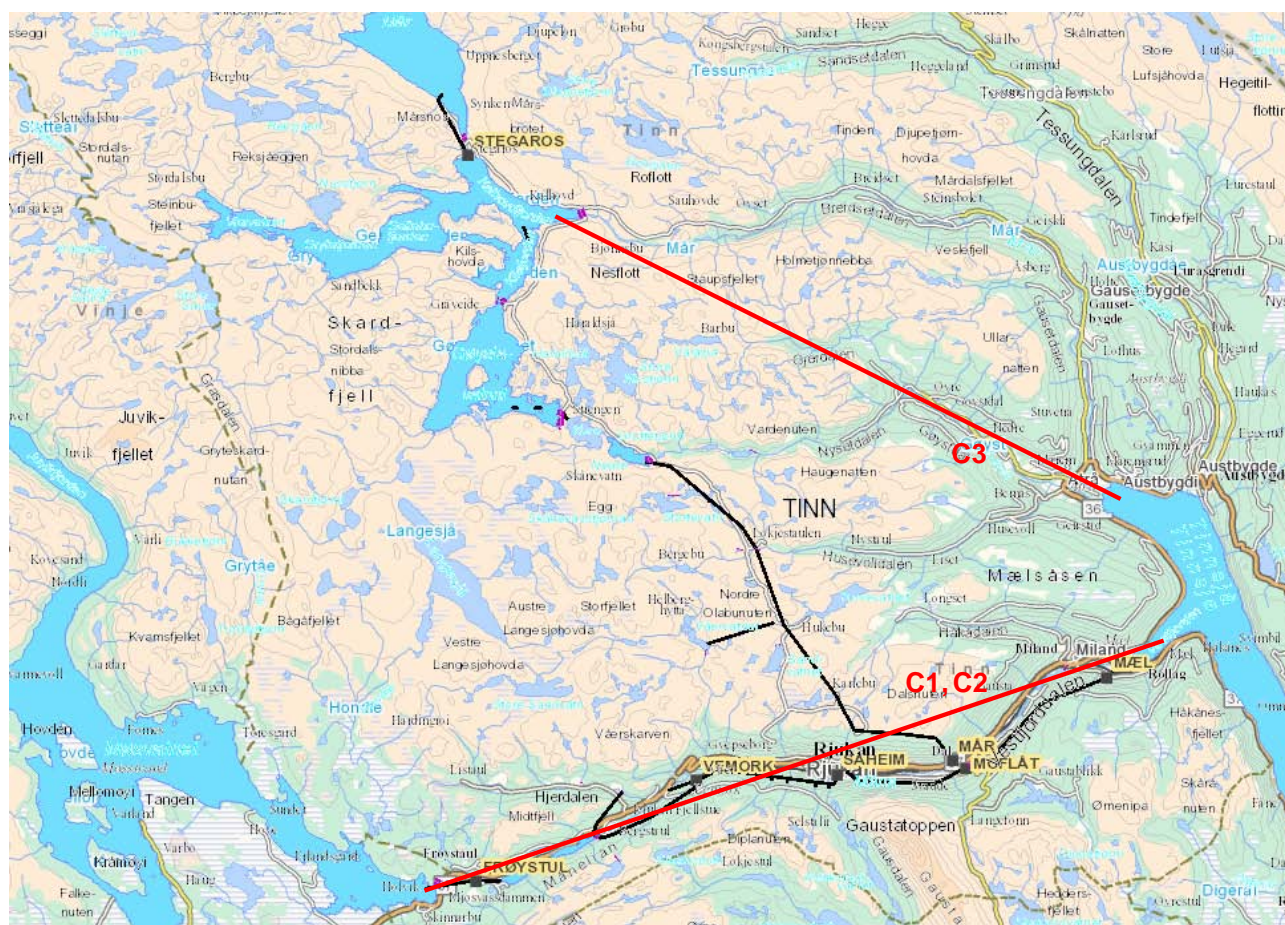
2.3 Møsvatn – Tinnsjø – Kallhovd/Mår

Følgende 3 case er analysert i tilknytning til Møsvatn – Tinnsjø – Kallhovd/Mår:

- C1 Pumpekraftverk Tinnsjø (Møsvatn – Tinnsjø)
- C2 Pumpekraftverk Tinnsjø (Møsvatn – Tinnsjø) + pumpekraftverk Tinnsjø (Kallhovd – Tinnsjø)
- C3 Pumpekraftverk Tinnsjø (Kallhovd – Tinnsjø) + pumpekraftverk Tinnsjø (Møsvatn – Tinnsjø)

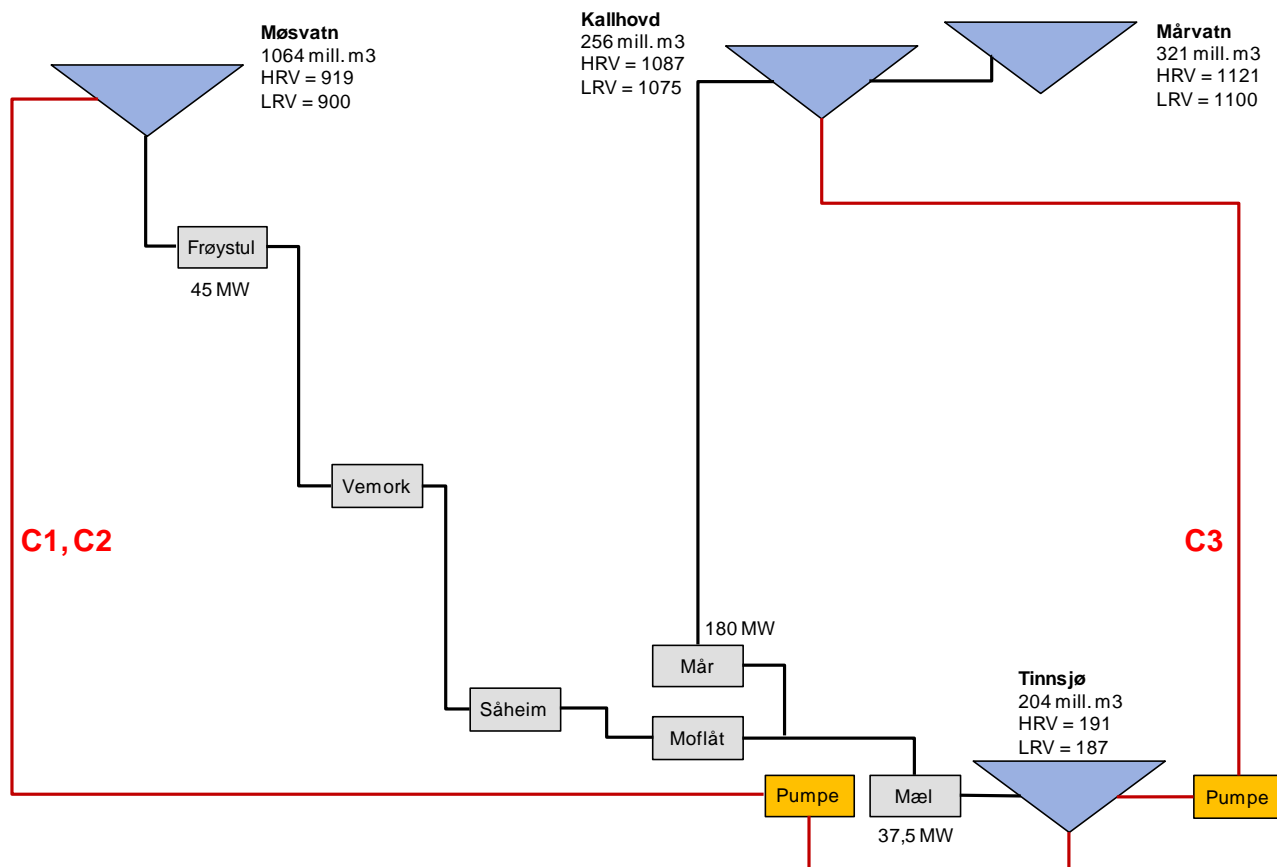
C1 og C2 gjelder samme kraftverk, Tinnsjø (Møsvatn – Tinnsjø). Forskjellen på C1 og C2 er at C2 også inkluderer tapping fra Kallhovd til Tinnsjø i fra kraftverket i C3, Tinnsjø (Kallhovd – Tinnsjø).

De nye tunnelene i case C1 – C3 er tegnet inn med røde streker på kartutsnittet i Figur 2.5, som er fra NVEs *Atlas - vannkraftverk* [5]. Sorte streker er eksisterende tunneler.



Figur 2.5: Møsvatn – Tinnsjø – Kallhovd/Mår.

Nye pumpekraftverk, nye tunneler og tilhørende magasiner i case C1– C3 framgår av Figur 2.6.



Figur 2.6: Møsvatn – Tinnsjø – Kallhovd/Mår.

C1 Pumpekraftverk Tinnsjø (Møsvatn – Tinnsjø)

Tabell 2.32: Case C1 Pumpekraftverk Tinnsjø (Møsvatn – Tinnsjø).

C1 Pumpekraftverk Tinnsjø (Møsvatn - Tinnsjø)							
Magasin	Møsvatn	Tinnsjø					
Volum	1064,0	204,0	mill. m3	Effektkjøring med maks. effekt	24	timer/døgn	
HRV	919,0	191,0	m	Pumping med maks. effekt	0	timer/døgn	
LRV	900,0	187,0	m				
HRV - LRV	19,0	4,0	m	Brutto fallhøyde (2/3 mag.nivå)	723,0	m	
Startnivå ¹	75	50	%	Avstand inntak-til-utløp	30000	m (horisontalt)	
Øvrig innløp ²		99,7	m ³ /s	Tunnel lengde	29287	m	
Øvrig utløp ³	87,1	150,2	m ³ /s	Trykksjakt lengde	1008	m	
Maks. effekt produsert [MW]	Vannstands-reduksjon [cm/time]	Vannstands-reduksjon 1 døgn [m]	Vannstands-reduksjon 3 døgn [m]	Vannstands-reduksjon 7 døgn [m]	Tømming av øvre magasin [døgn]	Vannstands-økning [cm/time]	Fylling av nedre magasin [døgn]
700	1	0,3	0,9	2,2	45,6	0	18,2
800	1	0,3	1,0	2,4	42,2	1	14,5
900	2	0,4	1,1	2,5	39,3	1	12,1
1000	2	0,4	1,2	2,7	36,7	1	10,3
1100	2	0,4	1,2	2,9	34,4	1	9,0
1200	2	0,4	1,3	3,1	32,4	1	8,0
1300	2	0,5	1,4	3,3	30,7	1	7,2
1400	2	0,5	1,5	3,4	29,1	1	6,6
Maks. effekt produsert [MW]	Maks. slukeevne [m ³ /s]	Tunnel tverrsnitt [m ²]	Trykksjakt tverrsnitt [m ²]	Tunnel volum [mill. m ³]	Trykksjakt volum [mill. m ³]	Stasjonshall volum [mill. m ³]	Sum volum uttak av masse [mill. m ³]
700	115	58	38	1,688	0,039	0,066	1,793
800	132	66	44	1,929	0,044	0,073	2,047
900	148	74	49	2,170	0,050	0,081	2,301
1000	165	82	55	2,411	0,055	0,088	2,554
1100	181	91	60	2,652	0,061	0,095	2,808
1200	198	99	66	2,893	0,066	0,102	3,061
1300	214	107	71	3,135	0,072	0,108	3,315
1400	231	115	77	3,376	0,077	0,115	3,568

¹Startnivå brukes kun til beregning av tid for tømming av øvre magasin og fylling av nedre magasin.

²Øvrig innløp til Tinnsjø (99,7 m³/s) skyldes:

- 37,5 MW i Mæl

³Øvrig utløp fra Møsvatn (87,1 m³/s) skyldes:

- 45 MW i Frøystul

³Utløp fra Tinnsjø (150,2 m³/s) skyldes:

- 22,2 MW i Årlifoss

Tabell 2.32 viser vannstandsreduksjon i Møsvatn (øvre magasin) og vannstandsøkning i Tinnsjø (nedre magasin) ved maksimal effektproduksjon 24 timer/døgn i Tinnsjø pumpekraftverk når installert effektkapasitet er 700 – 1 400 MW. Øvrige innløp og utløp for disse to magasinene framgår av fotnotene til tabellen. Startnivået i øvre og nedre magasin er henholdsvis 75 % og 50 %.

Tabell 2.33 viser vannstandsreduksjon (m) pr døgn og tømmingstid (døgn) ned til LRV for Møsvatn når effektproduksjonen i Tinnsjø pumpekraftverk er 1 000 MW. Antall timer/døgn med effektkjøring og pumping og startnivået (%) i Møsvatn varieres. Tabell 2.34 viser fyllingstiden (døgn) opp til HRV for Tinnsjø ved tilsvarende forutsetninger.

Tabell 2.33: Vannstandsreduksjon og tømmingstid for Møsvatn når Tinnsjø pumpekraftverk produserer 1 000 MW.

Eff.kjøring (timer/døgn)	Pumping (timer/døgn)	Startnivå (%)	Reduksjon 1 døgn (m)	Tømming (døgn)
24	0	100	0,4	48,9
		75		36,7
		50		24,5
18	0	75	0,3	48,9
	6		0,2	66,7
12	0		0,2	73,4
	6		0,1	122,3
	12		0,0	366,9

Tabell 2.34: Fyllingstid for Tinnsjø når Tinnsjø pumpekraftverk produserer 1 000 MW.

Eff.kjøring (timer/døgn)	Pumping (timer/døgn)	Startnivå (%)	Fylling (døgn)
24	0	25	15,5
		50	10,3
		75	5,2
18	0	50	13,8
	6		18,8
12	0		20,7
	6		34,5
	12		103,4

C2 Pumpekraftverk Tinnsjø (Møsvatn – Tinnsjø)

Tabell 2.35: Case C2 Pumpekraftverk Tinnsjø (Møsvatn – Tinnsjø).

C2 Pumpekraftverk Tinnsjø (Møsvatn - Tinnsjø)							
Magasin	Møsvatn	Tinnsjø					
Volum	1064,0	204,0	mill. m3	Effektkjøring med maks. effekt	24	timer/døgn	
HRV	919,0	191,0	m	Pumping med maks. effekt	0	timer/døgn	
LRV	900,0	187,0	m				
HRV - LRV	19,0	4,0	m	Brutto fallhøyde (2/3 mag.nivå)	723,0	m	
Startnivå ¹	75	50	%	Avstand inntak-til-utløp	30000	m (horisontalt)	
Øvrig innløp ²		419,7	m ³ /s	Tunnel lengde	29287	m	
Øvrig utløp ³	87,1	150,2	m ³ /s	Trykksjakt lengde	1008	m	
Maks. effekt produsert [MW]	Vannstands-reduksjon [cm/time]	Vannstands-reduksjon 1 døgn [m]	Vannstands-reduksjon 3 døgn [m]	Vannstands-reduksjon 7 døgn [m]	Tømming av øvre magasin [døgn]	Vannstands-økning [cm/time]	Fylling av nedre magasin [døgn]
1400	2	0,5	1,5	3,4	29,1	4	2,4
1600	2	0,5	1,6	3,8	26,3	4	2,2
1800	2	0,6	1,8	4,1	24,1	4	2,1
2000	3	0,6	1,9	4,5	22,2	4	2,0
2200	3	0,7	2,1	4,9	20,6	4	1,9
2400	3	0,7	2,2	5,2	19,2	5	1,8
2600	3	0,8	2,4	5,6	17,9	5	1,7
2800	4	0,8	2,5	5,9	16,8	5	1,6
Maks. effekt produsert [MW]	Maks. slukeevne [m ³ /s]	Tunnel tverrsnitt [m ²]	Trykksjakt tverrsnitt [m ²]	Tunnel volum [mill. m ³]	Trykksjakt volum [mill. m ³]	Stasjonshall volum [mill. m ³]	Sum volum uttak av masse [mill. m ³]
1400	231	115	77	3,376	0,077	0,115	3,568
1600	263	132	88	3,858	0,089	0,128	4,074
1800	296	148	99	4,340	0,100	0,140	4,580
2000	329	165	110	4,822	0,111	0,153	5,086
2200	362	181	121	5,305	0,122	0,165	5,591
2400	395	198	132	5,787	0,133	0,177	6,096
2600	428	214	143	6,269	0,144	0,188	6,601
2800	461	231	154	6,751	0,155	0,200	7,106

¹Startnivå brukes kun til beregning av tid for tømming av øvre magasin og fylling av nedre magasin.

²Øvrig innløp til Tinnsjø (419,7 m³/s) skyldes:

- 37,5 MW i Mæl
- 2400 MW i pumpekraftverk Tinnsjø (Kallhovd – Tinnsjø)

³Øvrig utløp fra Møsvatn (87,1 m³/s) skyldes:

- 45 MW i Frøystul

³Utløp fra Tinnsjø (150,2 m³/s) skyldes:

- 22,2 MW i Årlifoss

Tabell 2.35 viser vannstandsreduksjon i Møsvatn (øvre magasin) og vannstandsøkning i Tinnsjø (nedre magasin) ved maksimal effektproduksjon 24 timer/døgn i Tinnsjø pumpekraftverk når installert effektkapasitet er 1 400 – 2 800 MW. Øvrige innløp og utløp for disse to magasinene framgår av fotnotene til tabellen. Startnivået i øvre og nedre magasin er henholdsvis 75 % og 50 %.

Tabell 2.36 viser vannstandsreduksjon (m) pr døgn og tømmingstid (døgn) ned til LRV for Møsvatn når effektproduksjonen i Tinnsjø pumpekraftverk er 2 000 MW. Antall timer/døgn med effektkjøring og pumping og startnivået (%) i Møsvatn varieres. Tabell 2.37 viser fyllingstiden (døgn) opp til HRV for Tinnsjø ved tilsvarende forutsetninger.

Tabell 2.36: Vannstandsreduksjon og tømmingstid for Møsvatn når Tinnsjø pumpekraftverk produserer 2 000 MW.

Eff.kjøring (timer/døgn)	Pumping (timer/døgn)	Startnivå (%)	Reduksjon 1 døgn (m)	Tømming (døgn)
24	0	100	0,6	29,6
		75		22,2
		50		14,8
18	0	75	0,5	29,6
	6		0,4	40,3
12	0		0,3	44,4
	6		0,2	73,9
	12		0,1	221,8

Tabell 2.37: Fyllingstid for Tinnsjø når Tinnsjø pumpekraftverk produserer 2 000 MW.

Eff.kjøring (timer/døgn)	Pumping (timer/døgn)	Startnivå (%)	Fylling (døgn)
24	0	25	3,0
		50	2,0
		75	1,0
18	0	50	2,6
	6		3,6
12	0		3,9
	6		6,6
	12		19,7

C3 Pumpekraftverk Tinnsjø (Kallhovd – Tinnsjø)

Tabell 2.38: Case C3 Pumpekraftverk Tinnsjø (Kallhovd – Tinnsjø).

C3 Pumpekraftverk Tinnsjø (Kallhovd - Tinnsjø)							
Magasin	Kallhovd	Tinnsjø					
Volum	256,0	204,0	mill. m3	Effektkjøring med maks. effekt	24	timer/døgn	
HRV	1087,0	191,0	m	Pumping med maks. effekt	0	timer/døgn	
LRV	1075,0	187,0	m				
HRV - LRV	12,0	4,0	m	Brutto fallhøyde (2/3 mag.nivå)	893,3	m	
Startnivå ¹	75	50	%	Avstand inntak-til-utløp	25000	m (horisontalt)	
Øvrig innløp ²		428,7	m ³ /s	Tunnel lengde	24112	m	
Øvrig utløp ³	87,1	150,2	m ³ /s	Trykksjakt lengde	1256	m	
Maks. effekt produsert [MW]	Vannstands-reduksjon [cm/time]	Vannstands-reduksjon 1 døgn [m]	Vannstands-reduksjon 3 døgn [m]	Vannstands-reduksjon 7 døgn [m]	Tømming av øvre magasin [døgn]	Vannstands-økning [cm/time]	Fylling av nedre magasin [døgn]
1800	6	1,3	4,0	9,3	6,8	4	2,3
2000	6	1,4	4,3	10,0	6,3	4	2,2
2200	6	1,5	4,6	10,8	5,8	4	2,1
2400	7	1,6	4,9	11,5	5,5	4	2,0
2600	7	1,8	5,3	12,3	5,1	4	1,9
2800	8	1,9	5,6	13,0	4,8	5	1,8
3000	8	2,0	5,9	13,8	4,6	5	1,7
3200	9	2,1	6,2	14,6	4,3	5	1,7
Maks. effekt produsert [MW]	Maks. slukeevne [m ³ /s]	Tunnel tverrsnitt [m ²]	Trykksjakt tverrsnitt [m ²]	Tunnel volum [mill. m ³]	Trykksjakt volum [mill. m ³]	Stasjonshall volum [mill. m ³]	Sum volum uttak av masse [mill. m ³]
1800	240	120	80	2,892	0,100	0,135	3,127
2000	267	133	89	3,213	0,112	0,146	3,471
2200	293	147	98	3,535	0,123	0,158	3,815
2400	320	160	107	3,856	0,134	0,169	4,159
2600	346	173	115	4,177	0,145	0,181	4,503
2800	373	187	124	4,499	0,156	0,192	4,846
3000	400	200	133	4,820	0,167	0,203	5,190
3200	426	213	142	5,141	0,179	0,213	5,533

¹Startnivå brukes kun til beregning av tid for tømming av øvre magasin og fylling av nedre magasin.

²Innløp til Kallhovd (0 m³/s):

- Hva er bidraget fra Mårvatn? (sikkert mer enn det som 2,4 MW i Stegaros kraftverk gir)

²Øvrig innløp til Tinnsjø (428,7 m³/s) skyldes:

- 37,5 MW i Mæl
- 2000 MW i pumpekraftverk fra Møsvatn

³Øvrig utløp fra Kallhovd (87,1 m³/s) (25,2 iflg NVE-databasen) skyldes:

- 180 MW i Mår

³Utløp fra Tinnsjø (150,2 m³/s) skyldes:

- 22,2 MW i Årlifoss

Tabell 2.38 viser vannstandsreduksjon i Kallhovd (øvre magasin) og vannstandsøkning i Tinnsjø (nedre magasin) ved maksimal effektproduksjon 24 timer/døgn i Tinnsjø pumpekraftverk når installert effektkapasitet er 1 800 – 3 200 MW. Øvrige innløp og utløp for disse to magasinene framgår av fotnotene til tabellen. Startnivået i øvre og nedre magasin er henholdsvis 75 % og 50 %.

Tabell 2.39 viser vannstandsreduksjon (m) pr døgn og tømmingstid (døgn) ned til LRV for Kallhovd når effektproduksjonen i Tinnsjø pumpekraftverk er 2 400 MW. Antall timer/døgn med effektkjøring og pumping og startnivået (%) i Kallhovd varieres. Tabell 2.40 viser fyllingstiden (døgn) opp til HRV for Tinnsjø ved tilsvarende forutsetninger.

Tabell 2.39: Vannstandsreduksjon og tømmingstid for Kallhovd når Tinnsjø pumpekraftverk produserer 2 400 MW.

Eff.kjøring (timer/døgn)	Pumping (timer/døgn)	Startnivå (%)	Reduksjon 1 døgn (m)	Tømming (døgn)
24	0	100	1,6	7,3
		75		5,5
		50		3,6
18	0	75	1,2	7,3
	6		0,9	9,9
12	0		0,8	10,9
	6		0,5	18,2
	12		0,2	54,6

Tabell 2.40: Fyllingstid for Tinnsjø når Tinnsjø pumpekraftverk produserer 2 400 MW.

Eff.kjøring (timer/døgn)	Pumping (timer/døgn)	Startnivå (%)	Fylling (døgn)
24	0	25	3,0
		50	2,0
		75	1,0
18	0	50	2,6
	6		3,6
12	0		3,9
	6		6,6
	12		19,7

2.4 Lysebotn

Følgende case er analysert i tilknytning til dagens kraftverk i Lysebotn:

D1 Effektverk Lysebotn (Lyngsvatn – Lysefjorden)

Den nye tunnelen i case D1 er tegnet inn med rød strek på kartutsnittet i Figur 2.7, som er fra NVEs *Atlas - vannkraftverk* [5]. Sorte streker er eksisterende tunneler.



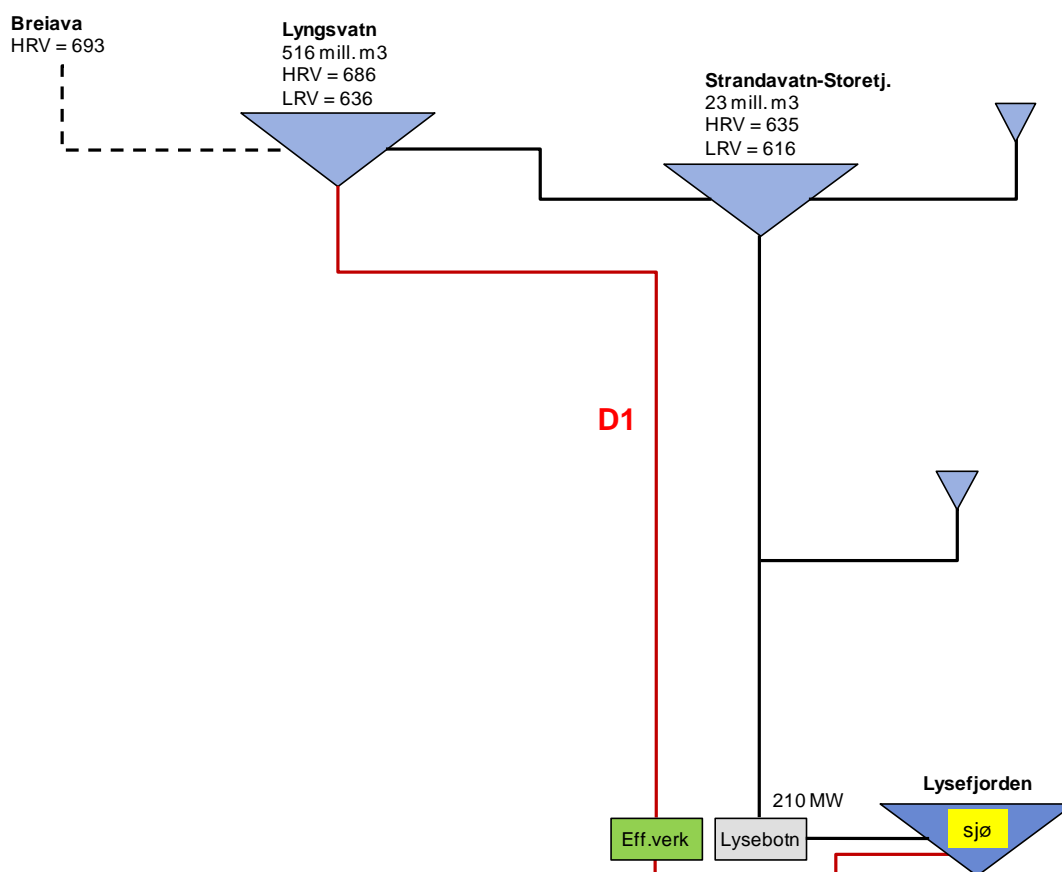
Figur 2.7: Case Lysebotn.

Lyse Energi har fått konsesjon til å bygge ett nytt kraftverk i Lysebotn, som erstatning for det gamle. Det nye kraftverket vil hente vann direkte fra Lyngsvatn, og produksjonen vil øke med 160 GWh. Denne produksjonsøkningen er ikke tatt hensyn til i case D1.

Den planlagte opprustingen innebærer at inntaket flyttes opp i hovedmagasinet Lyngsvatn.

Etter NVEs vurdering medfører opprustingen små ulemper for miljø og andre allmenne interesser. Gjeldene konsesjon med tilhørende vilkår for eksisterende kraftverk og reguleringer vil også gjelde for det nevnte nye kraftverket.

Nytt effektverk, ny tunnel og tilhørende magasiner i case D1 framgår av Figur 2.8.



Figur 2.8: Case Lysebotn.

D1 Effektverk Lysebotn (Lyngsvatn – Lysefjorden)

Tabell 2.41: Case D1 Effektverk Lysebotn (Lyngsvatn – Lysefjorden).

D1 Effektverk Lysebotn (Lyngsvatn - Lysefjorden)							
Magasin	Lyngsvatn	(sjø)					
Volum	516,0		mill. m3	Effektkjøring med maks. effekt	24	timer/døgn	
HRV	686,0	0,0	m	Pumping med maks. effekt		timer/døgn	
LRV	636,0	0,0	m				
HRV - LRV	50,0	0,0	m	Brutto fallhøyde (2/3 mag.nivå)	669,3	m	
Startnivå ¹	75		%	Avstand inntak-til-utløp	6200	m (horisontalt)	
Øvrig innløp ²	29,4		m ³ /s	Tunnel lengde	5564	m	
Øvrig utløp ³	42,0		m ³ /s	Trykksjakt lengde	899	m	
Maks. effekt produsert [MW]	Vannstands-reduksjon [cm/time]	Vannstands-reduksjon 1 døgn [m]	Vannstands-reduksjon 3 døgn [m]	Vannstands-reduksjon 7 døgn [m]	Tømming av øvre magasin [døgn]	Vannstands-økning [cm/time]	Fylling av nedre magasin [døgn]
1000	7	1,6	4,8	11,2	23,5		
1200	8	1,9	5,7	13,2	19,8		
1400	9	2,2	6,6	15,3	17,1		
1600	10	2,5	7,5	17,4	15,1		
1800	12	2,8	8,4	19,5	13,5		
2000	13	3,1	9,3	21,6	12,2		
2200	14	3,4	10,1	23,7	11,1		
2400	15	3,7	11,0	25,8	10,2		
Maks. effekt produsert [MW]	Maks. slukeevne [m ³ /s]	Tunnel tverrsnitt [m ²]	Trykksjakt tverrsnitt [m ²]	Tunnel volum [mill. m ³]	Trykksjakt volum [mill. m ³]	Stasjonshall volum [mill. m ³]	Sum volum uttak av masse [mill. m ³]
1000	178	89	59	0,495	0,053	0,089	0,637
1200	213	107	71	0,594	0,064	0,103	0,761
1400	249	125	83	0,693	0,075	0,117	0,884
1600	285	142	95	0,792	0,085	0,130	1,007
1800	320	160	107	0,891	0,096	0,143	1,129
2000	356	178	119	0,990	0,107	0,155	1,251
2200	391	196	130	1,089	0,117	0,167	1,373
2400	427	213	142	1,188	0,128	0,179	1,495

¹Startnivå brukes kun til beregning av tid for tømming av øvre magasin og fylling av nedre magasin.

²Innløp til Lyngsvatn (29,4 m³/s) skyldes:

- 14,8 MW i Breiava

³Øvrig utløp fra Lyngsvatn (42,0 m³/s) skyldes:

- 210 MW i Lysebotn

Tabell 2.41 viser vannstandsreduksjon i Lyngsvatn (øvre magasin) ved maksimal effektproduksjon 24 timer/døgn i Lysebotn effektverk når installert effektkapasitet er 1 000 – 2 400 MW. Øvrige innløp og utløp for magasinet framgår av fotnotene til tabellen. Startnivået i Lyngsvatn er 75 %.

Tabell 2.42 viser vannstandsreduksjon (m) pr døgn og tømmingstid (døgn) ned til LRV for Lyngsvatn når effektproduksjonen i Lysebotn effektverk er 1 400 MW. Antall timer/døgn med effektkjøring og startnivået (%) i Lyngsvatn varierer.

Tabell 2.42: Vannstandsreduksjon og tømmingstid for Lyngsvatn når Lysebotn effektverk produserer 1 400 MW.

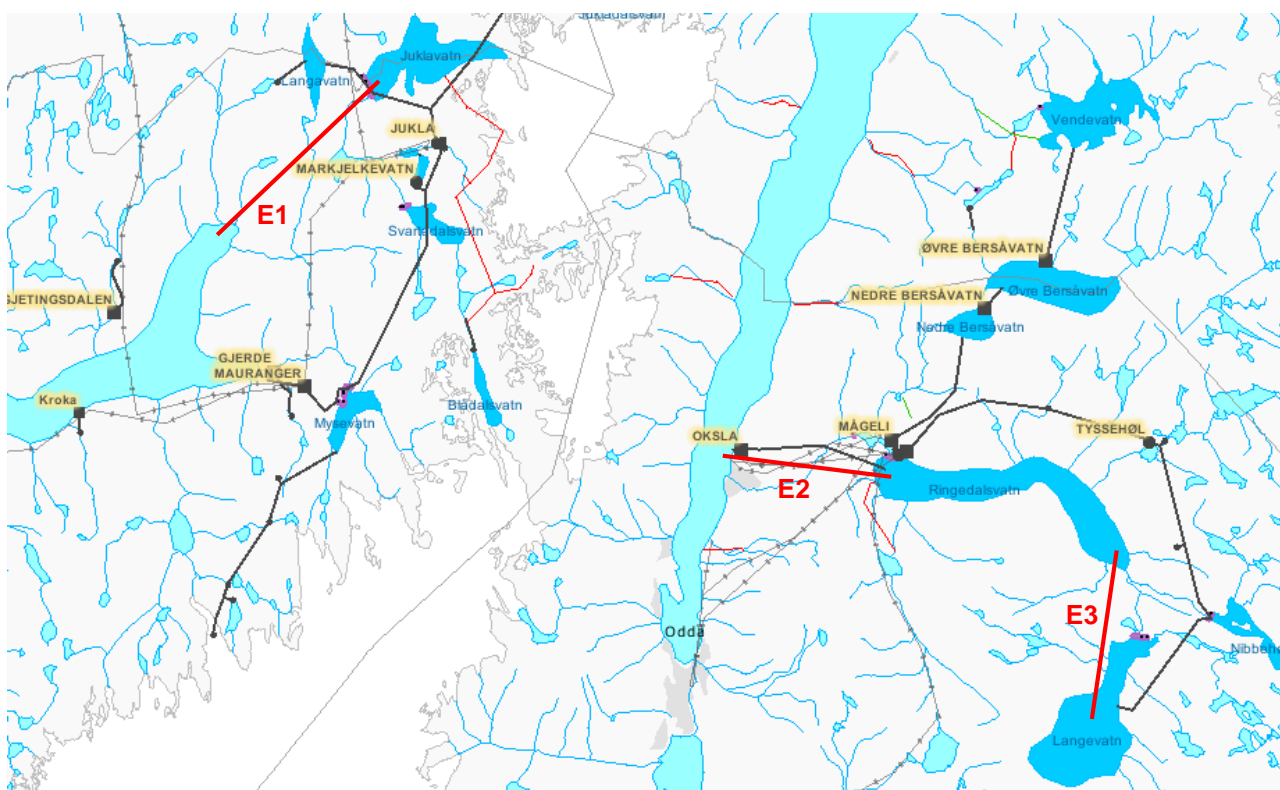
Eff.kjøring (timer/døgn)	Startnivå (%)	Reduksjon 1 døgn (m)	Tømming (døgn)
24	100	2,2	22,8
	75		17,1
	50		11,4
18	75	1,6	22,8
12		1,1	34,2

2.5 Mauranger – Oksla – Tysso

Følgende 3 case er analysert i tilknytning til Mauranger – Oksla – Tysso:

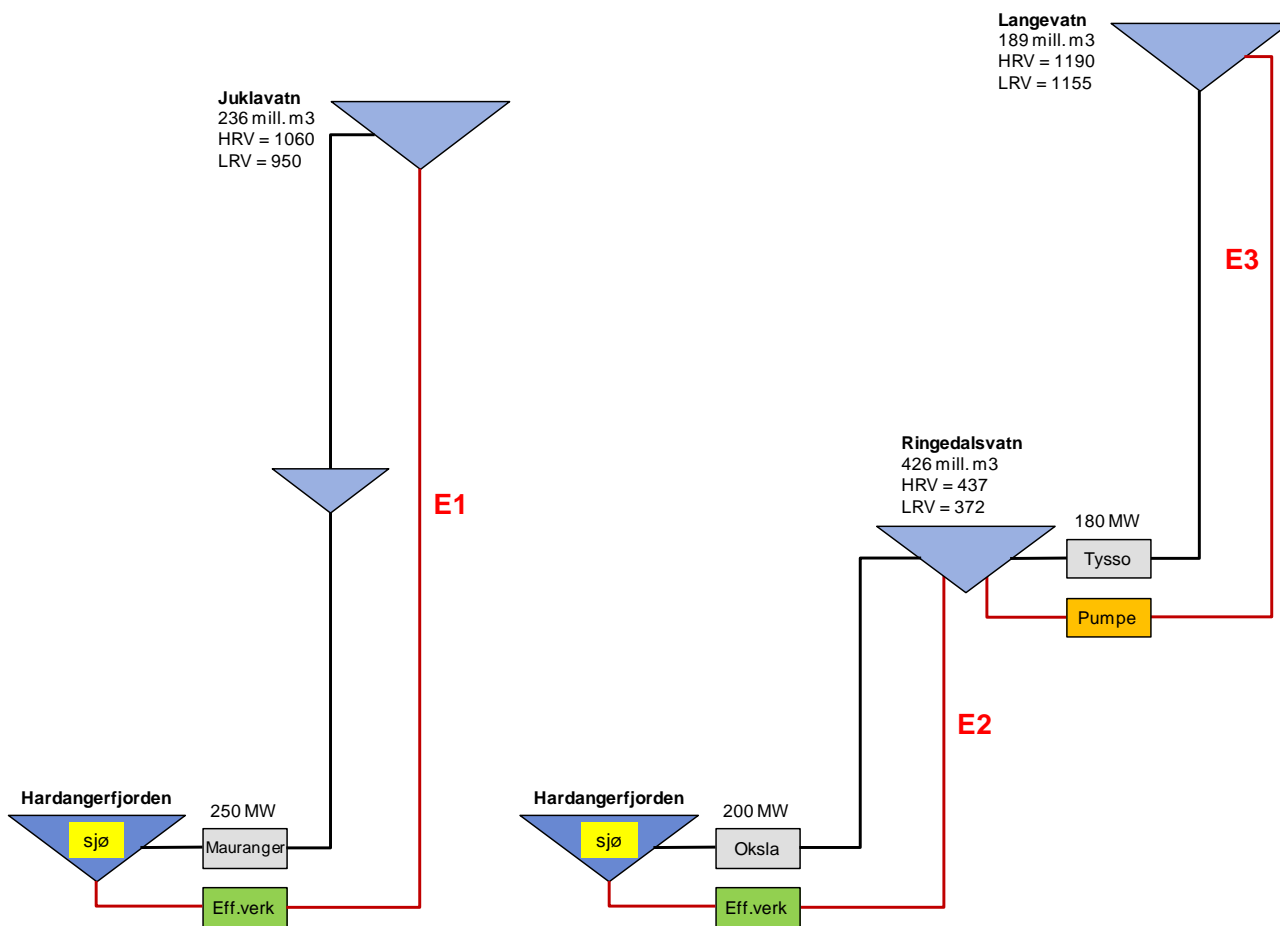
- E1 Effektverk Mauranger (Juklavatn – sjø)
- E2 Effektverk Oksla (Ringedalsvatn – sjø)
- E3 Pumpekraftverk Tysso (Langevatn – Ringedalsvatn)

De nye tunnelene i case E1 – E3 er tegnet inn med røde streker på kartutsnittet i Figur 2.9, som er fra NVEs *Atlas - vannkraftverk* [5]. Sorte streker er eksisterende tunneler.



Figur 2.9: Case Mauranger (E1) – Oksla (E2) – Tysso (E3).

Nye effektverk, nytt pumpekraftverk, nye tunneler og tilhørende magasiner i case E1– E3 framgår av Figur 2.10.



Figur 2.10: Case Mauranger (E1) – Oksla (E2) – Tysso (E3).

E1 Effektverk Mauranger (Juklavatn – sjø)

Tabell 2.43: Case E1 Effektverk Mauranger (Juklavatn – sjø).

E1 Effektverk Mauranger (Juklavatn - Hardangerfjorden)							
Magasin	Juklavatn	(sjø)					
Volum	236,0		mill. m3	Effektkjøring med maks. effekt	24	timer/døgn	
HRV	1060,0	0,0	m	Pumping med maks. effekt		timer/døgn	
LRV	950,0	0,0	m				
HRV - LRV	110,0	0,0	m	Brutto fallhøyde (2/3 mag.nivå)	1023,3	m	
Startnivå ¹	75		%	Avstand inntak-til-utløp	6200	m (horisontalt)	
Øvrig innløp ²			m ³ /s	Tunnel lengde	5250	m	
Øvrig utløp ³	36,0		m ³ /s	Trykksjakt lengde	1344	m	
Maks. effekt produsert [MW]	Vannstands-reduksjon [cm/time]	Vannstands-reduksjon 1 døgn [m]	Vannstands-reduksjon 3 døgn [m]	Vannstands-reduksjon 7 døgn [m]	Tømming av øvre magasin [døgn]	Vannstands-økning [cm/time]	Fylling av nedre magasin [døgn]
300	12	2,9	8,6	20,0	28,9		
400	14	3,3	10,0	23,3	24,8		
500	16	3,8	11,4	26,5	21,8		
600	18	4,3	12,8	29,8	19,4		
700	20	4,7	14,2	33,1	17,4		
800	22	5,2	15,6	36,4	15,9		
900	24	5,7	17,0	39,7	14,6		
1000	26	6,1	18,4	42,9	13,4		
Maks. effekt produsert [MW]	Maks. slukeevne [m ³ /s]	Tunnel tverrsnitt [m ²]	Trykksjakt tverrsnitt [m ²]	Tunnel volum [mill. m ³]	Trykksjakt volum [mill. m ³]	Stasjonshall volum [mill. m ³]	Sum volum uttak av masse [mill. m ³]
300	35	17	12	0,092	0,016	0,031	0,138
400	47	23	16	0,122	0,021	0,039	0,182
500	58	29	19	0,153	0,026	0,047	0,226
600	70	35	23	0,183	0,031	0,054	0,269
700	81	41	27	0,214	0,036	0,062	0,312
800	93	47	31	0,244	0,042	0,068	0,354
900	105	52	35	0,275	0,047	0,075	0,397
1000	116	58	39	0,305	0,052	0,082	0,439

¹Startnivå brukes kun til beregning av tid for tømming av øvre magasin og fylling av nedre magasin.

³Øvrig utløp fra Juklavatn (36,0 m³/s) skyldes:

- 250 MW i Mauranger (via Jukla)

Tabell 2.43 viser vannstandsreduksjon i Juklavatn (øvre magasin) ved maksimal effektproduksjon 24 timer/døgn i Mauranger effektverk når installert effektkapasitet er 300 – 1 000 MW. Øvrige innløp og utløp for magasinet framgår av fotnotene til tabellen. Startnivået i Juklavatn er 75 %.

Tabell 2.44 viser vannstandsreduksjon (m) pr døgn og tømmingstid (døgn) ned til LRV for Juklavatn når effektproduksjonen i Mauranger effektverk er 400 MW. Antall timer/døgn med effektkjøring og startnivået (%) i Juklavatn varieres.

Tabell 2.44: Vannstandsreduksjon og tømmingstid for Juklavatn når Mauranger effektverk produserer 400 MW.

Eff.kjøring (timer/døgn)	Startnivå (%)	Reduksjon 1 døgn (m)	Tømming (døgn)
24	100	3,3	33,1
	75		24,8
	50		16,5
18	75	2,5	33,1
12		1,7	49,6

E2 Effektverk Oksla (Ringedalsvatn – sjø)

Tabell 2.45: Case E2 Effektverk Oksla (Ringedalsvatn – sjø).

E2 Effektverk Oksla (Ringedalsvatn - Hardangerfjorden)							
Magasin	Ringedalsvatn	(sjø)					
Volum	426,0		mill. m3	Effektkjøring med maks. effekt	24	timer/døgn	
HRV	436,9	0,0	m	Pumping med maks. effekt		timer/døgn	
LRV	372,0	0,0	m				
HRV - LRV	64,9	0,0	m	Brutto fallhøyde (2/3 mag.nivå)	415,3	m	
Startnivå ¹	75		%	Avstand inntak-til-utløp	4400	m (horisontalt)	
Øvrig innløp ²	30,0		m ³ /s	Tunnel lengde	4028	m	
Øvrig utløp ³	52,0		m ³ /s	Trykksjakt lengde	526	m	
Maks. effekt produsert [MW]	Vannstands-reduksjon [cm/time]	Vannstands-reduksjon 1 døgn [m]	Vannstands-reduksjon 3 døgn [m]	Vannstands-reduksjon 7 døgn [m]	Tømming av øvre magasin [døgn]	Vannstands-økning [cm/time]	Fylling av nedre magasin [døgn]
300	6	1,4	4,3	10,0	34,2		
400	7	1,8	5,4	12,6	27,1		
500	9	2,2	6,5	15,2	22,4		
600	11	2,6	7,7	17,9	19,1		
700	12	2,9	8,8	20,5	16,6		
800	14	3,3	9,9	23,2	14,7		
900	15	3,7	11,1	25,8	13,2		
1000	17	4,1	12,2	28,4	12,0		
Maks. effekt produsert [MW]	Maks. slukeevne [m ³ /s]	Tunnel tverrsnitt [m ²]	Trykksjakt tverrsnitt [m ²]	Tunnel volum [mill. m ³]	Trykksjakt volum [mill. m ³]	Stasjonshall volum [mill. m ³]	Sum volum uttak av masse [mill. m ³]
300	86	43	29	0,173	0,015	0,037	0,226
400	115	57	38	0,231	0,020	0,047	0,298
500	143	72	48	0,289	0,025	0,056	0,370
600	172	86	57	0,346	0,030	0,065	0,442
700	201	100	67	0,404	0,035	0,074	0,513
800	229	115	76	0,462	0,040	0,082	0,584
900	258	129	86	0,520	0,045	0,090	0,655
1000	287	143	96	0,577	0,050	0,098	0,726

¹Startnivå brukes kun til beregning av tid for tømming av øvre magasin og fylling av nedre magasin.

²Innløp til Ringedalsvatn (30 m³/s) skyldes:

- 180 MW i Tysso

³Øvrig utløp fra Ringedalsvatn (22,0 m³/s) skyldes:

- 200 MW i Oksla

Tabell 2.45 viser vannstandsreduksjon i Ringedalsvatn (øvre magasin) ved maksimal effektproduksjon 24 timer/døgn i Oksla effektverk når installert effektkapasitet er 300 – 1 000 MW. Øvrige innløp og utløp for magasinet framgår av fotnotene til tabellen. Startnivået i Ringedalsvatn er 75 %.

Tabell 2.46 viser vannstandsreduksjon (m) pr døgn og tømmingstid (døgn) ned til LRV for Ringedalsvatn når effektproduksjonen i Oksla effektverk er 700 MW. Antall timer/døgn med effektkjøring og startnivået (%) i Ringedalsvatn varierer.

Tabell 2.46: Vannstandsreduksjon og tømmingstid for Ringedalsvatn når Oksla effektverk produserer 700 MW.

Eff.kjøring (timer/døgn)	Startnivå (%)	Reduksjon 1 døgn (m)	Tømming (døgn)
24	100	2,9	22,1
	75		16,6
	50		11,1
18	75	2,2	22,1
12		1,5	33,2

E3 Pumpekraftverk Tysso (Langevatn – Ringedalsvatn)

Tabell 2.47: Case E3 Pumpekraftverk Tysso (Langevatn – Ringedalsvatn).

E3 Pumpekraftverk Tysso (Langevatn - Ringedalsvatn)							
Magasin	Langevatn	Ringedalsvatn					
Volum	189,0	426,0	mill. m3	Effektkjøring med maks. effekt	24	timer/døgn	
HRV	1190,0	463,9	m	Pumping med maks. effekt	0	timer/døgn	
LRV	1155,0	372,0	m				
HRV - LRV	35,0	91,9	m	Brutto fallhøyde (2/3 mag.nivå)	745,1	m	
Startnivå ¹	75	50	%	Avstand inntak-til-utløp	4000	m (horisontalt)	
Øvrig innløp ²		30,0	m ³ /s	Tunnel lengde	3217	m	
Øvrig utløp ³	30,0	52,0	m ³ /s	Trykksjakt lengde	1107	m	
Maks. effekt produsert [MW]	Vannstands-reduksjon [cm/time]	Vannstands-reduksjon 1 døgn [m]	Vannstands-reduksjon 3 døgn [m]	Vannstands-reduksjon 7 døgn [m]	Tømming av øvre magasin [døgn]	Vannstands-økning [cm/time]	Fylling av nedre magasin [døgn]
300	5	1,2	3,7	8,7	21,1	2	95,1
400	6	1,5	4,5	10,5	17,5	3	58,8
500	7	1,8	5,3	12,3	14,9	4	42,6
600	8	2,0	6,0	14,1	13,0	6	33,4
700	9	2,3	6,8	15,9	11,6	7	27,4
800	11	2,5	7,6	17,7	10,4	8	23,3
900	12	2,8	8,3	19,5	9,4	9	20,2
1000	13	3,0	9,1	21,3	8,6	11	17,9
Maks. effekt produsert [MW]	Maks. slukeevne [m ³ /s]	Tunnel tverrsnitt [m ²]	Trykksjakt tverrsnitt [m ²]	Tunnel volum [mill. m ³]	Trykksjakt volum [mill. m ³]	Stasjonshall volum [mill. m ³]	Sum volum uttak av masse [mill. m ³]
300	48	24	16	0,077	0,018	0,033	0,128
400	64	32	21	0,103	0,024	0,042	0,168
500	80	40	27	0,129	0,029	0,050	0,208
600	96	48	32	0,154	0,035	0,058	0,248
700	112	56	37	0,180	0,041	0,066	0,287
800	128	64	43	0,206	0,047	0,073	0,326
900	144	72	48	0,231	0,053	0,080	0,365
1000	160	80	53	0,257	0,059	0,087	0,403

¹Startnivå brukes kun til beregning av tid for tømming av øvre magasin og fylling av nedre magasin.

²Innløp til Ringedalsvatn (30 m³/s) skyldes:

- 180 MW i Tysso

³Øvrig utløp fra Langevatn (30,0 m³/s) skyldes:

- 180 MW i Tysso

³Utløp fra Ringedalsvatn (52,0 m³/s) skyldes:

- 200 MW i Oksla

Tabell 2.47 viser vannstandsreduksjon i Langevatn (øvre magasin) og vannstandsøkning i Ringedalsvatn (nedre magasin) ved maksimal effektproduksjon 24 timer/døgn i Tyso pumpekraftverk når installert effektkapasitet er 300 – 1 000 MW. Øvrige innløp og utløp for disse to magasinene framgår av fotnotene til tabellen. Startnivået i øvre og nedre magasin er henholdsvis 75 % og 50 %.

Tabell 2.48 viser vannstandsreduksjon (m) pr døgn og tømmingstid (døgn) ned til LRV for Langevatn når effektproduksjonen i Tyso pumpekraftverk er 700 MW. Antall timer/døgn med effektkjøring og pumping og startnivået (%) i Langevatn varieres. Tabell 2.49 viser fyllingstiden (døgn) opp til HRV for Ringedalsvatn ved tilsvarende forutsetninger.

Tabell 2.48: Vannstandsreduksjon og tømmingstid for Langevatn når Tyso pumpekraftverk produserer 700 MW.

Eff.kjøring (timer/døgn)	Pumping (timer/døgn)	Startnivå (%)	Reduksjon 1 døgn (m)	Tømming (døgn)
24	0	100	2,3	15,4
		75		11,6
		50		7,7
18	0	75	1,7	15,4
	6		1,2	21,0
12	0		1,1	23,1
	6		0,7	38,6
	12		0,2	115,7

Tabell 2.49: Fyllingstid for Ringedalsvatn når Tyso pumpekraftverk produserer 700 MW.

Eff.kjøring (timer/døgn)	Pumping (timer/døgn)	Startnivå (%)	Fylling (døgn)
24	0	25	41,2
		50	27,4
		75	13,7
18	0	50	36,6
	6		49,9
12	0		54,9
	6		91,5
	12		274,4

2.6 Sima

Følgende case er analysert i tilknytning til Sy-Sima kraftverk:

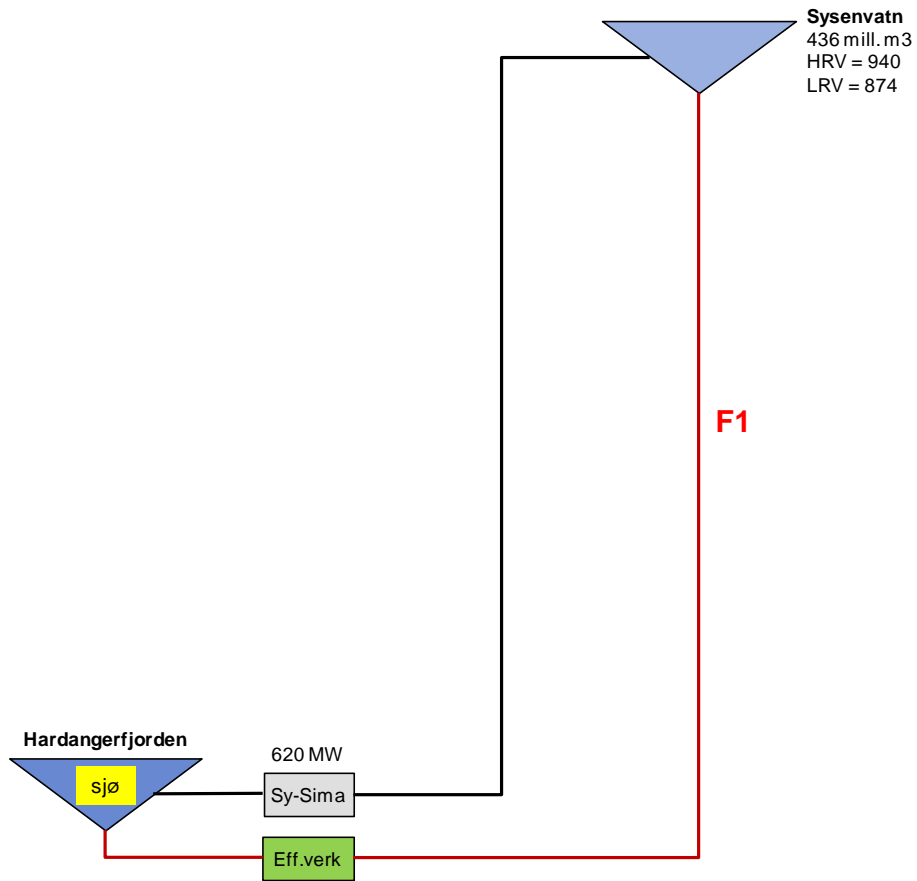
F1 Effektverk Sy-Sima (Sysenvatn – sjø)

Den nye tunnelen i case F1 er tegnet inn med rød strek på kartutsnittet i Figur 2.11, som er fra NVEs *Atlas - vannkraftverk* [5]. Sorte streker er eksisterende tunneler.



Figur 2.11: Case F1 Sy-Sima.

Nytt effektverk, ny tunnel og tilhørende magasin i case F1 framgår av Figur 2.12.



Figur 2.12: Case F1 Sy-Sima.

F1 Effektverk Sy-Sima (Sysenvatn – sjø)
Tabell 2.50: Case F1 Effektverk Sy-Sima (Sysenvatn – sjø).

F1 Effektverk Sy-Sima (Sysenvatn - Hardangerfjorden)							
Magasin	Sysenvatn	(sjø)					
Volum	436,0		mill. m3	Effektkjøring med maks. effekt	24	timer/døgn	
HRV	940,0	0,0	m	Pumping med maks. effekt		timer/døgn	
LRV	874,0	0,0	m				
HRV - LRV	66,0	0,0	m	Brutto fallhøyde (2/3 mag.nivå)	918,0	m	
Startnivå ¹	75		%	Avstand inntak-til-utløp	22600	m (horisontalt)	
Øvrig innløp ²			m3/s	Tunnel lengde	21726	m	
Øvrig utløp ³	79,4		m3/s	Trykksjakt lengde	1236	m	
Maks. effekt produsert [MW]	Vannstands-reduksjon [cm/time]	Vannstands-reduksjon 1 døgn [m]	Vannstands-reduksjon 3 døgn [m]	Vannstands-reduksjon 7 døgn [m]	Tømming av øvre magasin [døgn]	Vannstands-økning [cm/time]	Fylling av nedre magasin [døgn]
300	6	1,5	4,6	10,8	32,0		
400	7	1,7	5,2	12,0	28,8		
500	8	1,9	5,7	13,2	26,2		
600	9	2,1	6,2	14,4	24,1		
700	9	2,2	6,7	15,6	22,2		
800	10	2,4	7,2	16,8	20,7		
900	11	2,6	7,7	18,0	19,3		
1000	11	2,7	8,2	19,1	18,1		
Maks. effekt produsert [MW]	Maks. slukeevne [m3/s]	Tunnel tverrsnitt [m2]	Trykksjakt tverrsnitt [m2]	Tunnel volum [mill. m3]	Trykksjakt volum [mill. m3]	Stasjonshall volum [mill. m3]	Sum volum uttak av masse [mill. m3]
300	39	19	13	0,423	0,016	0,032	0,471
400	52	26	17	0,563	0,021	0,040	0,625
500	65	32	22	0,704	0,027	0,048	0,779
600	78	39	26	0,845	0,032	0,056	0,933
700	91	45	30	0,986	0,037	0,063	1,086
800	104	52	35	1,127	0,043	0,070	1,240
900	117	58	39	1,268	0,048	0,077	1,393
1000	130	65	43	1,409	0,053	0,084	1,546

¹Startnivå brukes kun til beregning av tid for tømming av øvre magasin og fylling av nedre magasin.

³Øvrig utløp fra Sysenvatn (79,4 m³/s) skyldes:

- 620 MW i Sy-Sima

Tabell 2.50 viser vannstandsreduksjon i Sysenvatn (øvre magasin) ved maksimal effektproduksjon 24 timer/døgn i Sy-Sima effektverk når installert effektkapasitet er 300 – 1 000 MW. Øvrige innløp og utløp for magasinet framgår av fotnotene til tabellen. Startnivået i Sysenvatn er 75 %.

Tabell 2.51 viser vannstandsreduksjon (m) pr døgn og tømmingstid (døgn) ned til LRV for Sysenvatn når effektproduksjonen i Sy-Sima effektverk er 700 MW. Antall timer/døgn med effektkjøring og startnivået (%) i Sysenvatn varierer.

Tabell 2.51: Vannstandsreduksjon og tømmingstid for Sysenvatn når Sy-Sima effektverk produserer 700 MW.

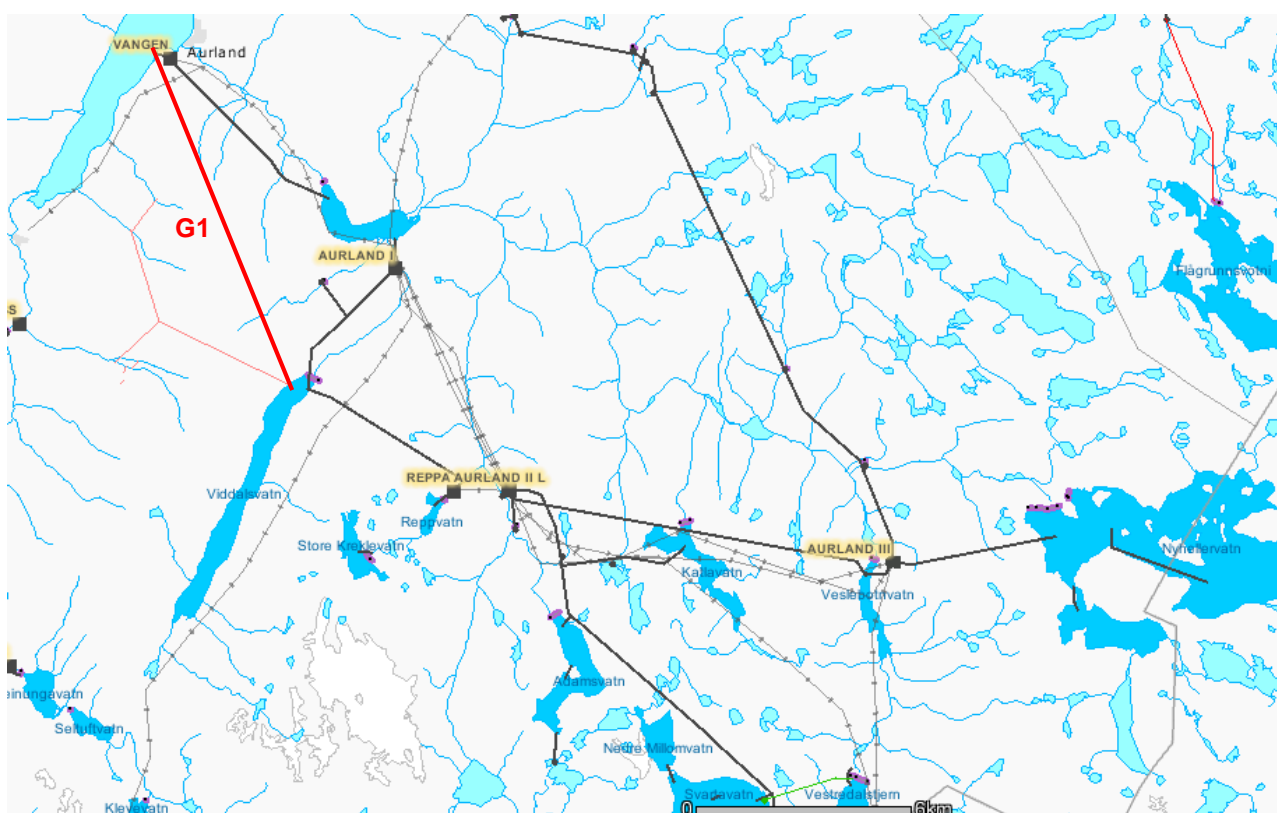
Eff.kjøring (timer/døgn)	Startnivå (%)	Reduksjon 1 døgn (m)	Tømming (døgn)
24	100	2,2	29,7
	75		22,2
	50		14,8
18	75	1,7	29,7
12		1,1	44,5

2.7 Aurland - Tyin

Følgende case er analysert i tilknytning til Aurland IV (Vangen) og Tyin kraftverk:

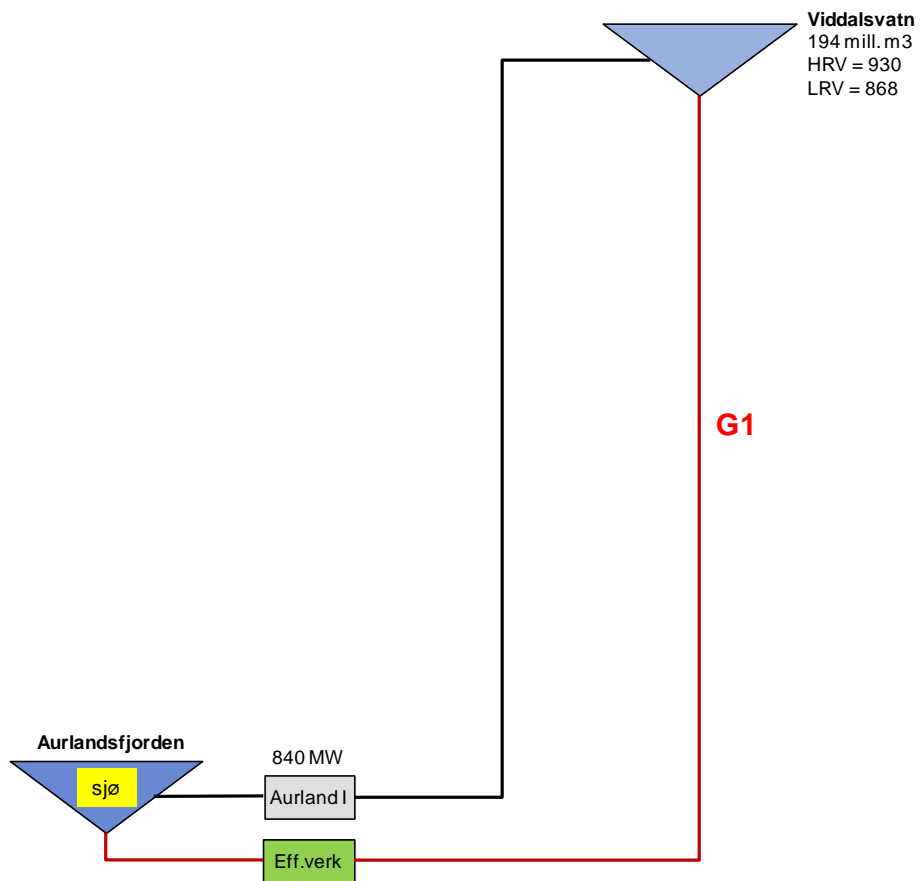
- G1 Effektverk Aurland/Vangen (Viddalsvatn – sjø)
- G2 Effektverk Tyin (Tyin – Årdalsvatnet)

Den nye tunnelen i case G1 er tegnet inn med rød strek på kartutsnittet i Figur 2.13, som er fra NVEs *Atlas - vannkraftverk* [5]. Sorte streker er eksisterende tunneler.



Figur 2.13: Case G1 Aurland/Vangen

Nytt effektverk, ny tunnel og tilhørende magasin i case G1 framgår av Figur 2.14.



Figur 2.14: Case G1 Aurland/Vangen

G1 Effektverk Aurland/Vangen (Viddalsvatn – sjø)

Tabell 2.52: Case G1 Effektverk Aurland/Vangen (Viddalsvatn – sjø).

G1 Effektverk Aurland/Vangen (Viddalsvatn - Aurlandsfjorden)							
Magasin	Viddalsvatn	(sjø)					
Volum	194,0		mill. m3	Effektkjøring med maks. effekt	24	timer/døgn	
HRV	930,0	0,0	m	Pumping med maks. effekt		timer/døgn	
LRV	868,0	0,0	m				
HRV - LRV	62,0	0,0	m	Brutto fallhøyde (2/3 mag.nivå)	909,3	m	
Startnivå ¹	75		%	Avstand inntak-til-utløp	10000	m (horisontalt)	
Øvrig innløp ²	78,1		m ³ /s	Tunnel lengde	9132	m	
Øvrig utløp ³	92,2		m ³ /s	Trykksjakt lengde	1228	m	
Maks. effekt produsert [MW]	Vannstands-reduksjon [cm/time]	Vannstands-reduksjon 1 døgn [m]	Vannstands-reduksjon 3 døgn [m]	Vannstands-reduksjon 7 døgn [m]	Tømming av øvre magasin [døgn]	Vannstands-økning [cm/time]	Fylling av nedre magasin [døgn]
300	6	1,5	4,4	10,3	31,6		
400	8	1,8	5,5	12,8	25,3		
500	9	2,2	6,6	15,4	21,2		
600	11	2,6	7,7	17,9	18,2		
700	12	2,9	8,8	20,4	15,9		
800	14	3,3	9,8	23,0	14,2		
900	15	3,6	10,9	25,5	12,8		
1000	17	4,0	12,0	28,0	11,6		
Maks. effekt produsert [MW]	Maks. slukeevne [m ³ /s]	Tunnel tverrsnitt [m ²]	Trykksjakt tverrsnitt [m ²]	Tunnel volum [mill. m ³]	Trykksjakt volum [mill. m ³]	Stasjonshall volum [mill. m ³]	Sum volum uttak av masse [mill. m ³]
300	39	20	13	0,179	0,016	0,032	0,227
400	52	26	17	0,239	0,021	0,040	0,301
500	65	33	22	0,299	0,027	0,048	0,374
600	79	39	26	0,359	0,032	0,056	0,446
700	92	46	31	0,418	0,037	0,063	0,519
800	105	52	35	0,478	0,043	0,070	0,591
900	118	59	39	0,538	0,048	0,077	0,663
1000	131	65	44	0,598	0,054	0,084	0,735

¹Startnivå brukes kun til beregning av tid for tømming av øvre magasin og fylling av nedre magasin.

²Innløp til Viddalsvatn (78,1 m³/s) skyldes:

- 60 MW i Aurland IIL
- 70 MW i Aurland IIH

³Øvrig utløp fra Viddalsvatn (92,2 m³/s) skyldes:

- 840 MW i Aurland I

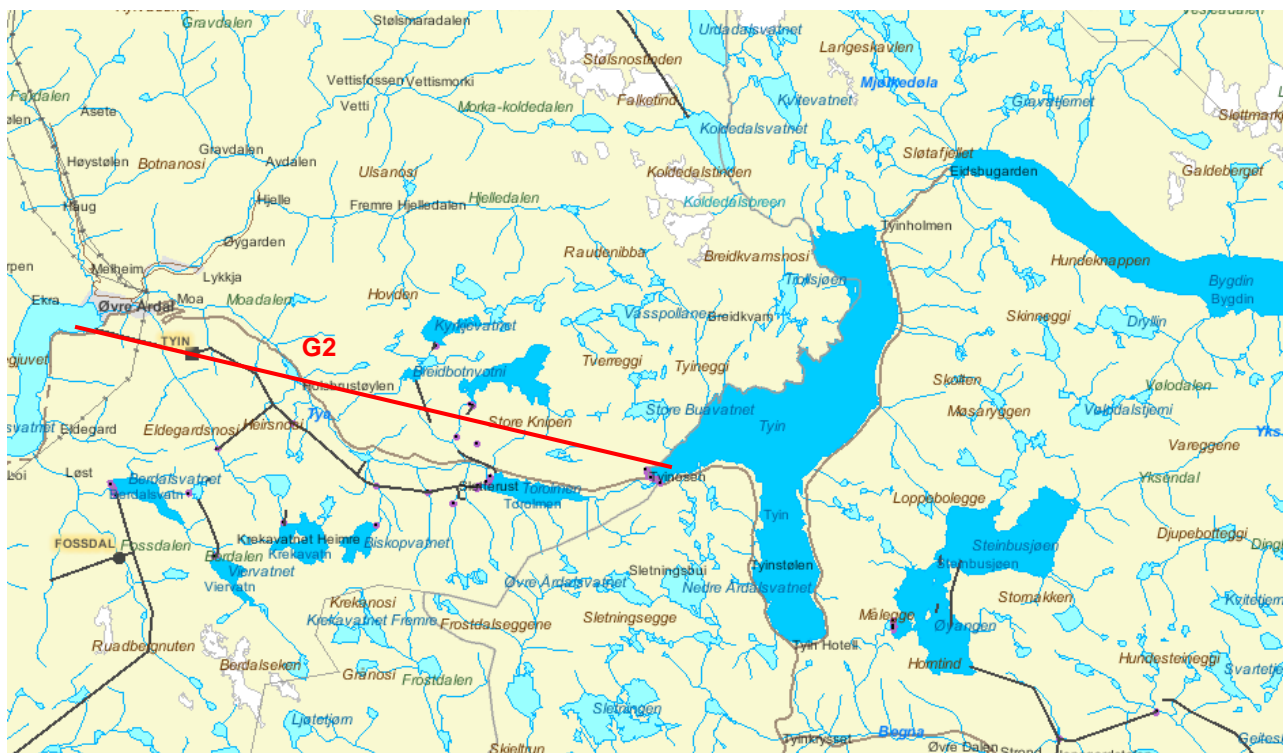
Tabell 2.52 viser vannstandsreduksjon i Viddalsvatn (øvre magasin) ved maksimal effektproduksjon 24 timer/døgn i Aurland effektverk når installert effektkapasitet er 300 – 1 000 MW. Øvrige innløp og utløp for magasinet framgår av fotnotene til tabellen. Startnivået i Viddalsvatn er 75 %.

Tabell 2.53 viser vannstandsreduksjon (m) pr døgn og tømmingstid (døgn) ned til LRV for Viddalsvatn når effektproduksjonen i Aurland effektverk er 700 MW. Antall timer/døgn med effektkjøring og startnivået (%) i Viddalsvatn varierer.

Tabell 2.53: Vannstandsreduksjon og tømmingstid for Viddalsvatn når Aurland effektverk produserer 700 MW.

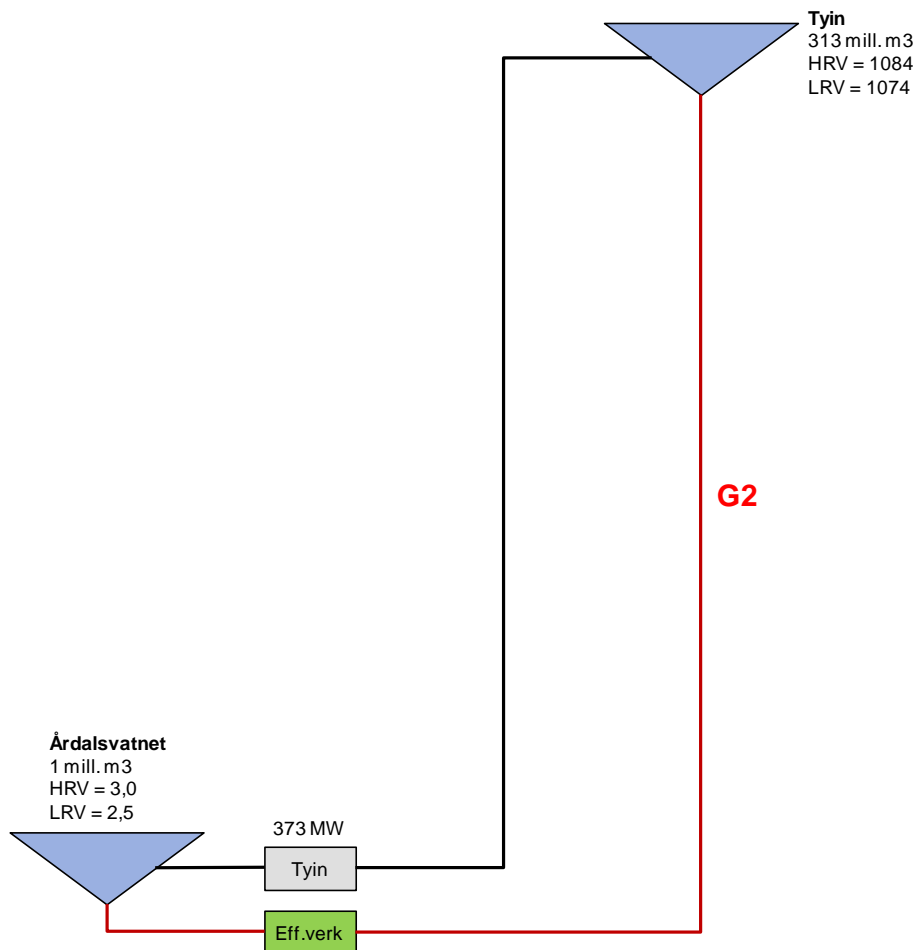
Eff.kjøring (timer/døgn)	Startnivå (%)	Reduksjon 1 døgn (m)	Tømming (døgn)
24	100	2,9	21,2
	75		15,9
	50		10,6
18	75	2,2	21,2
12		1,5	31,9

Den nye tunnelen i case G2 er tegnet inn med rød strek på kartutsnittet i Figur 2.15, som er fra NVEs *Atlas - vannkraftverk* [5]. Sorte streker er eksisterende tunneler.



Figur 2.15: Case G2 Tyin.

Nytt effektverk, ny tunnel og tilhørende magasin i case G2 framgår av Figur 2.16.



Figur 2.16: Case G2 Tyin.

G2 Effektverk Tyin (Tyin – Årdalsvatnet)

Tabell 2.54: Case G2 Effektverk Tyin (Tyin – Årdalsvatnet).

G2 Effektverk Tyin (Tyin - Årdalsvatnet)							
Magasin	Tyin	Årdalsvatnet					
Volum	313,0		mill. m3	Effektkjøring med maks. effekt	24	timer/døgn	
HRV	1083,9		m	Pumping med maks. effekt	0	timer/døgn	
LRV	1073,6		m				
HRV - LRV	10,3		m	Brutto fallhøyde (2/3 mag.nivå)	1080,5	m	
Startnivå ¹	75		%	Avstand inntak-til-utløp	4000	m (horisontalt)	
Øvrig innløp ²			m ³ /s	Tunnel lengde	2926	m	
Øvrig utløp ³	40,0		m ³ /s	Trykksjakt lengde	1518	m	
Maks. effekt produsert [MW]	Vannstands-reduksjon [cm/time]	Vannstands-reduksjon 1 døgn [m]	Vannstands-reduksjon 3 døgn [m]	Vannstands-reduksjon 7 døgn [m]	Tømming av øvre magasin [døgn]	Vannstands-økning [cm/time]	Fylling av nedre magasin [døgn]
300	1	0,2	0,6	1,5	37,2		
400	1	0,2	0,7	1,7	32,3		
500	1	0,3	0,8	1,9	28,6		
600	1	0,3	0,9	2,1	25,6		
700	1	0,3	1,0	2,3	23,2		
800	2	0,4	1,1	2,6	21,2		
900	2	0,4	1,2	2,8	19,5		
1000	2	0,4	1,3	3,0	18,1		
Maks. effekt produsert [MW]	Maks. slukeevne [m ³ /s]	Tunnel tverrsnitt [m ²]	Trykksjakt tverrsnitt [m ²]	Tunnel volum [mill. m ³]	Trykksjakt volum [mill. m ³]	Stasjonshall volum [mill. m ³]	Sum volum uttak av masse [mill. m ³]
300	33	17	11	0,048	0,017	0,031	0,096
400	44	22	15	0,064	0,022	0,039	0,126
500	55	28	18	0,081	0,028	0,046	0,155
600	66	33	22	0,097	0,033	0,054	0,184
700	77	39	26	0,113	0,039	0,061	0,213
800	88	44	29	0,129	0,045	0,068	0,241
900	99	50	33	0,145	0,050	0,074	0,270
1000	110	55	37	0,161	0,056	0,081	0,298

¹Startnivå brukes kun til beregning av tid for tømming av øvre magasin og fylling av nedre magasin.

³Øvrig utløp fra Tyin (40,0 m³/s) skyldes:

- 373 MW i Tyin

Mangler informasjon om utløpet i Årdalsvatnet og videre utløp i Årdalsfjorden via Årdalstangen for å beregne vannstandsøkning i Årdalsvatnet.

Tabell 2.54 viser vannstandsreduksjon i Tyin (øvre magasin) ved maksimal effektproduksjon 24 timer/døgn i Tyin effektverk når installert effektkapasitet er 300 – 1 000 MW. Øvrige innløp og utløp for magasinet framgår av fotnotene til tabellen. Startnivået i Tyin er 75 %.

Tabell 2.55 viser vannstandsreduksjon (m) pr døgn og tømmingstid (døgn) ned til LRV for Tyin når effektproduksjonen i Tyin effektverk er 700 MW. Antall timer/døgn med effektkjøring og startnivået (%) i Tyin varierer.

Tabell 2.55: Vannstandsreduksjon og tømmingstid for Tyin når Tyin effektverk produserer 700 MW.

Eff.kjøring (timer/døgn)	Startnivå (%)	Reduksjon 1 døgn (m)	Tømming (døgn)
24	100	0,3	30,9
	75		23,2
	50		15,4
18	75	0,3	30,9
12		0,2	46,3

3 Eksempler på ny effekt- og pumpekraftkapasitet

3.1 Installasjoner

Basert på beregningene i Kapittel 2 er det etablert to eksempler på scenarier på nye effekt- og pumpekraftinstallasjoner i Sør-Norge for balansekraftformål i Tabell 3.1 og Tabell 3.2. Scenario 1 omfatter 12 kraftverk med en samlet installasjon på 11 200 MW. Scenario 2 omfatter 7 kraftverk, men her er installasjonen i hvert kraftverk noe større. Samlet installasjon er 13 600 MW. Ett av kraftverkene i scenario 2 (C3) er ikke med i scenario 1. Vannstandsendingene i øvre og nedre magasin inkluderer eventuelle innløp og utløp som følge av maksimal effektproduksjon i øvrige kraftverk tilknyttet magasinene i hver case.

Tabell 3.1: Nye effekt- og pumpekraftinstallasjoner - scenario 1.

Case	Kraftverk	Kapasitet (MW)	Øvre magasin ¹	Nedre magasin ²
A2	Pumpekraftverk Tonstad	1 400	Nesjen (14 cm/h)	Sirdalsvatn (3 cm/h)
B3	Pumpekraftverk Holen	700	Urarvatn (8 cm/h)	Bossvatn (8 cm/h)
B6a	Pumpekraftverk Kvilldal	1 400	Blåsjø (7 cm/h)	Suldalsvatn (4 cm/h)
B7a	Effektverk Jøsenfjorden	1 400	Blåsjø (7 cm/h)	Jøsenfjorden (sjø)
C1	Pumpekraftverk Tinnsjø	1 000	Møsvatn (2 cm/h)	Tinnsjø (1 cm/h)
D1	Effektverk Lysebotn	1 400	Lyngsvatn (9 cm/h)	Lysefjorden (sjø)
E1	Effektverk Mauranger	400	Juklavatn (14 cm/h)	Hardangerfj. (sjø)
E2	Effektverk Oksla	700	Ringedalsvatn (12 cm/h)	Hardangerfj. (sjø)
E3	Pumpekraftverk Tysso	700	Langevatn (9 cm/h)	Ringedalsvatn (7 cm/h)
F1	Effektverk Sy-Sima	700	Sysenvatn (9 cm/h)	Hardangerfj. (sjø)
G1	Effektverk Aurland	700	Viddalsvatn (12 cm/h)	Aurlandsfj. (sjø)
G2	Effektverk Tyin	700	Tyin (1 cm/h)	Årdalsvatnet ³
	Sum ny effektkapasitet	11 200		

¹Vannstandsreduksjon i parentes.

²Vannstandsøkning i parentes.

³Mangler data for å beregne vannstandsøkning i Årdalsvatnet.

Tabell 3.2: Nye effekt- og pumpekraftinstallasjoner - scenario 2.

Case	Kraftverk	Kapasitet (MW)	Øvre magasin ¹	Nedre magasin ²
A2	Pumpekraftverk Tonstad	1 400	Nesjen (14 cm/h)	Sirdalsvatn (3 cm/h)
B3	Pumpekraftverk Holen	1 000	Urarvatn (10 cm/h)	Bossvatn (12 cm/h)
B6b	Pumpekraftverk Kvilldal	2 400	Blåsjø (11 cm/h)	Suldalsvatn (6 cm/h)
B7b	Effektverk Jøsenfjorden	2 400	Blåsjø (11 cm/h)	Jøsenfjorden (sjø)
C2	Pumpekraftverk Tinnsjø	2 000	Møsvatn (3 cm/h)	Tinnsjø (4 cm/h)
C3	Pumpekraftverk Tinnsjø	2 400	Kallhovd (7 cm/h)	Tinnsjø (4 cm/h)
D1	Effektverk Lysebotn	2 000	Lyngsvatn (13 cm/h)	Lysefjorden (sjø)
	Sum ny effektkapasitet	13 600		

¹Vannstandsreduksjon i parentes.

²Vannstandsøkning i parentes.

Effektkapasitetene (installasjonene) i scenarioene ble i hovedsak valgt slik at vannstandsendringen i øvre og nedre magasin ikke overstiger 13 cm/time. For to av magasinene er den 14 cm/time (Nesjen og Juklavatn). I henhold til forskning på stranding av laks i elver bør ikke vannstanden synke med mer enn 13 cm/time [8]. Selv om det ikke er direkte overførbart til magasiner har vi her brukt dette som ledetråd for akseptabel vannstandssenkning i magasiner. Scenario 2 viser hvordan kapasiteten i de 7 største kraftverkene i scenario 1 kan økes ytterligere og gi 2 400 MW mer kapasitet enn samtlige 12 kraftverk i scenario 1.

Pumping/tapping fra Blåsjø og Svartevatn til Bossvatn (case B1 og B2) inngår ikke i scenarioene da ny produksjon med utløp i Bossvatn utover 1000 MW i Holen fra Urarvatn vil gi problematisk vannstandsøkning i Bossvatn med mindre det pumpes i perioder med produksjon.

3.2 Potensial for økt effekt- og pumpekraftkapasitet i Norge

I CEDREN-prosjektet HydroPeak er det beskrevet tre scenarioer med hensyn til levering av balansekraft fra Norge [6]. Hovedscenarioet går ut på å øke kapasiteten med 20 000 MW. Tabell 3.3 viser at kapasiteten i kraftverkene som er undersøkt i Kapittel 2 kan økes med 18 200 MW uten at vannstandsendringen i øvre og nedre magasin overstiger 14 cm/time. Hvor lenge kraftverkene kan levere denne effekten vil bl.a. avhenge av dagens bestemmelser om høyeste og laveste regulerte vannstand (HRV og LRV), samt hvilke strategier med hensyn til pumping som velges for pumpekraftverkene. Tallene i Tabell 3.3 er fra tabellene i Kapittel 2, og for noen av kraftverkene samsvarer kapasiteten med scenario 1 eller 2.

Ved å ta med flere case i Sør-Norge i tillegg til noen i Nord-Norge vil kapasiteten fra eksisterende vannkraftmagasiner kunne økes med ytterligere 1 800 MW til totalt 20 000 MW for Norge. Studien til NVE gir en indikasjon som støtter denne betraktningen. Hvis brukstiden for hvert av de 89 kraftverkene i NVEs studie [1] reduseres til 2 000 timer ved å øke effektinstallasjonen kan den samlede effektkapasiteten for disse kraftverkene økes med 16 500 MW. Av disse er ca 7 500 MW i kraftverk som ikke inngår i scenario 3.

Tabell 3.3: Nye effekt- og pumpekraftinstallasjoner - scenario 3.

Case	Kraftverk	Kapasitet (MW)	Øvre magasin ¹	Nedre magasin ²
A2	Pumpekraftverk Tonstad	1 400	Nesjen (14 cm/h)	Sirdalsvatn (3 cm/h)
B3	Pumpekraftverk Holen	1 000	Urarvatn (10 cm/h)	Bossvatn (12 cm/h)
B6b	Pumpekraftverk Kvilldal	2 400	Blåsjø (11 cm/h)	Suldalsvatn (6 cm/h)
B7b	Effektverk Jøsenfjorden	2 400	Blåsjø (11 cm/h)	Jøsenfjorden (sjø)
C2	Pumpekraftverk Tinnsjø	2 000	Møsvatn (3 cm/h)	Tinnsjø (4 cm/h)
C3	Pumpekraftverk Tinnsjø	2 400	Kallhovd (7 cm/h)	Tinnsjø (4 cm/h)
D1	Effektverk Lysebotn	1 800	Lyngsvatn (12 cm/h)	Lysefjorden (sjø)
E1	Effektverk Mauranger	400	Juklavatn (14 cm/h)	Hardangerfj. (sjø)
E2	Effektverk Oksla	700	Ringedalsvatn (12 cm/h)	Hardangerfj. (sjø)
E3	Pumpekraftverk Tysso	1 000	Langevatn (13 cm/h)	Ringedalsvatn (11 cm/h)
F1	Effektverk Sy-Sima	1 000	Sysenvatn (11 cm/h)	Hardangerfj. (sjø)
G1	Effektverk Aurland	700	Viddalsvatn (12 cm/h)	Aurlandsfj. (sjø)
G2	Effektverk Tyin	1 000	Tyin (2 cm/h)	Årdalsvatnet ³
	Sum ny effektkapasitet	18 200		

¹Vannstandsreduksjon i parentes.

²Vannstandsøkning i parentes.

³Mangler data for å beregne vannstandsøkning i Årdalsvatnet.

4 Miljøvirkninger

4.1 Generelt

Miljøvirkninger av økte effekt- og pumpekraftinstallasjoner mellom eksisterende magasin i Norge kan grovt sett deles i direkte virkninger i berørte magasin og vassdrag og i direkte virkninger i berørte landområder. Det kan skilles mellom virkninger i anleggs- og driftsfasen. Virkninger i magasin og vassdrag skyldes bygging og drift av kraftverksanleggene, mens det for landområdene i hovedsak gjelder virkninger av nødvendig infrastruktur som veier, steintipper, koblingsanlegg, overføringsnett og andre installasjoner som vil være nødvendig. Det antas at alle vannveier legges i tunnel og kraftstasjoner anlegges inne i fjellrom. Denne rapporten belyser ikke indirekte miljøvirkninger som f.eks. effekten av å erstatte fossil kraftproduksjon med vannkraft eller som følge av produksjon av turbiner.

Denne rapporten kommenterer først noen mulige miljøvirkninger på generelt grunnlag før de enkelte case belyses. Det er bare tatt i bruk kjent kunnskap, bl.a. fra to prosjekter i det omfattende "EFFEKT-programmet" som ble gjennomført på slutten av 1990-tallet i regi av Forskningsrådet [7,8], samt et begrenset utvalg med dokumentasjon for overslagsmessig å vurdere miljøvirkningene. Denne rapporten må ikke på noen måte oppfattes som en fullstendig vurdering av miljøvirkningene eller en konsekvensutredning.

4.1.1 Anleggsfasen

I anleggsfasen vil de fleste miljøvirkninger som er kjent fra tradisjonell kraftverksdrift og vedlikehold inntreffe, med unntak av alle virkninger forbundet med bygging av dammer og neddemming (det antas at magasin bare skal brukes innenfor eksisterende HRV og LRV).

Magasin og vassdrag

I forbindelse med tunneldrift, anleggsarbeid og bygging av annen infrastruktur kan det bli økt erosjon og sedimenttilførsel til magasin og vassdrag, men dette kan ikke regnes som en stor miljøvirkning. Vi forutsetter da at moderne prinsipper for anleggsdrift med tilstrekkelig miljøhensyn brukes. Det kan også være behov for å endre driftsmønsteret i eksisterende anlegg i en periode under anleggsvirksomhet, men i de fleste tilfeller antar vi at driften av eksisterende anlegg ikke blir berørt.

Landområder

Det vil bli behov for stor anleggsvirksomhet spesielt i forbindelse med tunneldrift. SINTEF [9] har estimert behovet for arbeidskraft innen tunneldrift for å bygge 20 000 MW effekt- og pumpekraft innen 2030 til omtrent 30 000 årsverk.

Anleggsfasen vil påvirke naturmiljø, vilt og friluftsliv i berørte landområder der det vil være spesielt viktig å ta hensyn til sårbare eller truede arter, som f.eks. reinsdyr og eventuelle spesielle naturtyper. Det vil være svært stedsavhengig og nødvendige konsekvensutredninger og undersøkelser må gjennomføres.

Det vil være behov for å deponere om lag 40 mill m³ tunnelmasse [9], fortrinnsvis i nærheten av de aktuelle anleggene. Det vil være en stor fordel for både miljøet og for økonomien i prosjektene om det kan finnes alternativ bruk av tunnelmassene til f.eks. veier, kaier, moloer, forbygninger, forsterkning av dammer, fyllmasse til nærings- eller boligtomter eller annet. Det er imidlertid grunn til å tro at mye av massen må deponeres og plantes til, og det vil da påvirke flora og fauna. Virkningene vil variere avhengig av de lokale forholdene, og det blir viktig å finne gode lokale løsninger.

4.1.2 Driftsfasen

Vi berører ikke her virkningene av eksisterende vassdragsregulering og inngrep, men *tilleggsvirkingen* av økt effekt- og pumpekraftinstallasjon.

Magasin

Miljøvirkningene i magasin vil i hovedsak være bestemt av størrelsen og formen på de berørte magasin kombinert med hvor stor installert kapasitet og hvilket driftsmønster nye kraftverk og pumpekraftverk vil få. Felles for alle vil være at vi forventer en økt variasjon i vannstand fra time til time og fra dag til dag, mens det i mange magasin som det pumpes til vil bli høyere vannstand på seinvinteren og dermed trolig litt tidligere oppfylling om våren. Dette skyldes at produksjonen fra vindkraft vil bli størst om vinteren, men vil også være avhengig av mange andre faktorer som marked, nettilknytning og rammebetingelser.

Økt bruk av effektkjøring og pumpekraft vil i mange tilfeller føre til økt erosjon i berørte magasin, spesielt såkalt indre erosjon som følge av relativt raske endringer i vanntrykk. I de fleste tilfeller vil nedtappingssonen mellom HRV og LRV oftere bli utsatt for stigende og synkende vannstand enn med dagens drift av anleggene. Selv om det i gjennomsnitt kan gi høyere vannstand vil det også bli mindre forutsigbare endringer i vannstand, noe som kan gi større problemer for allmennhetens bruk av områdene gjennom friluftsliv, fiske og ferdsel.

De fleste reguleringsmagasin er preget av svært moderate strømningshastigheter i dag. Økt installasjon og pumping kan gi endrede strømningsforhold som både kan gi positive og negative ringvirkninger. Økte strømningshastigheter og økt gjennomstrømning kan gi bedre blanding av vannmassene og sørge for omrøring og bedre transport av næringsstoffer. Lokalt kan det i noen tilfeller føre til økt erosjon. Det vil kunne føre til endringer i lagdeling (skiktning) i magasin der dette vanligvis etableres, noe som igjen virker inn på vannkvalitet og vanntemperatur. Generelt er de fleste norske magasin næringsfattige og kalde og det har trolig ikke så stor betydning. Spesielt i noen lavereliggende magasin som kan tenkes brukt som nedre magasin i forbindelse med pumpekraft, vil dette kunne gi konsekvenser for økosystemet.

Vanntemperaturen i magasin blir påvirket indirekte gjennom endringer i strømning og lagdeling, men den største virkningen kan komme fra variasjoner i produksjon og pumping. Økt effektkjøring med vann fra høyfjellsmagasin som slippes ut i lavlandet vil gi redusert vanntemperatur i nedstrøms magasin. Ettersom veksten av de fleste arter er temperaturavhengig, vil den reduseres i perioder med økt effektkjøring. Tilsvarende vil perioder med stans i driften eller pumping gi mindre eller intet tilført kaldt vann og dermed høyere vanntemperatur i nedstrøms magasin. I oppstrøms magasin får dette samme effekt, men med motsatt fortegn.

Isforholdene vil kunne påvirkes sterkt av økt effektkjøring og pumping, og det er grunn til å ta denne utfordringen meget alvorlig. Dagens driftsmønster der magasinene tappes gradvis ned gjennom vinteren gir som regel et stabilt isdekke selv om kantene og områdene nært land vil få hellende isflater, eventuelt noe manglende eller sprekkfulle flater. Et nytt driftsmønster med vekslende pumping og produksjon, overføring av noen ganger varmere vann og økte strømningshastigheter vil kunne gi redusert eller manglende isdekke mange steder. Dette kan utgjøre en reell fare for ferdsel om vinteren og må vurderes nøye i hvert enkelt tilfelle. Manglende isdekke kan også virke inn på atferd hos fisk og gi økt energiforbruk og dårligere vinteroverlevelse, men dette må undersøkes i hvert enkelt magasin.

Endringer av de fysiske forholdene som beskrevet over vil også virke inn på økosystemet av planter, alger, næringsdyr, fisk og terrestriske arter som har tilknytning til ferskvann (vannfugl, oter, bever, osv). Et magasin har imidlertid som regel et økosystem som er betydelig påvirket av regulering allerede, og det er vanskelig å si noe generelt om hvordan økt installasjon av effekt- og pumpekraftverk vil virke inn. Dette vil

være avhengig av de lokale forholdene og må undersøkes i hvert enkelt tilfelle. Generelt vil det være mulig å påvirke reguleringsmagasinet både i positiv og negativ retning. Det er spesielt viktig å studere virkninger i nedstrøms magasin nøye, ettersom artsrikdom, produksjonsevne og sårbarhet gjerne er større i reguleringsmagasin som ligger lavt.

Pumping av vann fra et magasin til et høyere liggende magasin i samme vassdrag kan føre til at arter fra lavere deler av nedbørfeltet blir transport oppstrøms forbi sin naturlige utbredelse. Dette kan true biologisk mangfold. På samme måte kan både pumping og kraftverksdrift mellom to magasin fra ulike nedbørfelt føre til overføring av fremmede arter og påvirke det biologiske mangfoldet.

Vassdrag nedstrøms berørte magasin

Endringene som er beskrevet i magasin vil også få ringvirkninger til eventuelle elvestrekninger og vassdrag nedstrøms, men de vil dempes og utjevnes. De potensielt mest negative virkningene er trolig faren for økt sedimenttransport som følge av erosjon i magasin og endrede temperaturforhold. Reduserte temperaturer vil også her gi redusert vekst for de fleste arter, mens økte temperaturer virker motsatt. Hvor store effekter det blir på nedstrøms elver og vassdrag vil avhengige av de stedegne forholdene og reguleringsanleggene.

Fjorder

For kraftverk som har utløp i fjord vil også virkningene til en viss grad bli som for magasin, spesielt hvis utløpet ligger i relativt små og til dels avstengte fjordarmer. Det blir selvsagt ingen hurtige endringer i vannstand i fjorden, men virkninger knyttet til strømningsmønster, vanntemperatur og isforhold (dersom fjorden delvis islegges) kan gjøre seg gjeldende. Dersom økt effektkjøring også fører til økt erosjon og sedimenttransport fra oppstrøms magasin og elver, vil dette gi økt sedimenttransport til fjorden. Alle endringer i fysiske forhold kan også virke inn på de biologiske forholdene. Gitt at økt installasjon og redusert driftstid ikke innebærer totalt sett mer vanntilførsel til samme punkt i fjorden er det imidlertid liten grunn til å tro at økt effektkjøring med utløp til fjord vil gi alvorlige miljøkonsekvenser.

Landområder

I driftsfasen vil det være svært liten ekstra påvirkning av berørte landområder utover den infrastrukturen som er etablert under anleggsfasen, i hovedsak flere eller sterkere overføringsnett med større master og videre kraftgater. Dette har en direkte innvirkning på flora og fauna, samt det estetiske inntrykket og landskapsmessige bildet som gis. Ettersyn, vedlikehold og annet arbeid på anleggene vil også føre til mer ferdsel i området.

4.2 Miljøvirkninger i utvalgte case

Tabell 4.1 viser en oversikt over mulige miljøvirkninger basert på vurderinger ut fra generell kunnskap, men uten stedsspesifikke grunnlagsdata. Vurderingen er gjort for effekt- og pumpekraftverkinstallasjonene som inngår i scenario 2. Disse er listet opp i Tabell 3.2 (A2, B3, B6a, B7a, C1, D1, E1, E2, E3, F1, G1 og G2).

For å kunne beskrive miljøvirkninger ved effektkjøring og pumping mer detaljert er det behov for ny kunnskap og mer detaljerte studier av de enkelte magasinene. I CEDREN er det forskningsaktiviteter som bidrar til økt kunnskap om miljøvirkninger og miljødesign. Miljøvirkninger i konkrete magasiner bør studeres nærmere med hensyn til fysiske og biologiske forhold som følge av effektkjøring og pumping.

Tabell 4.1: Miljøvirkninger.

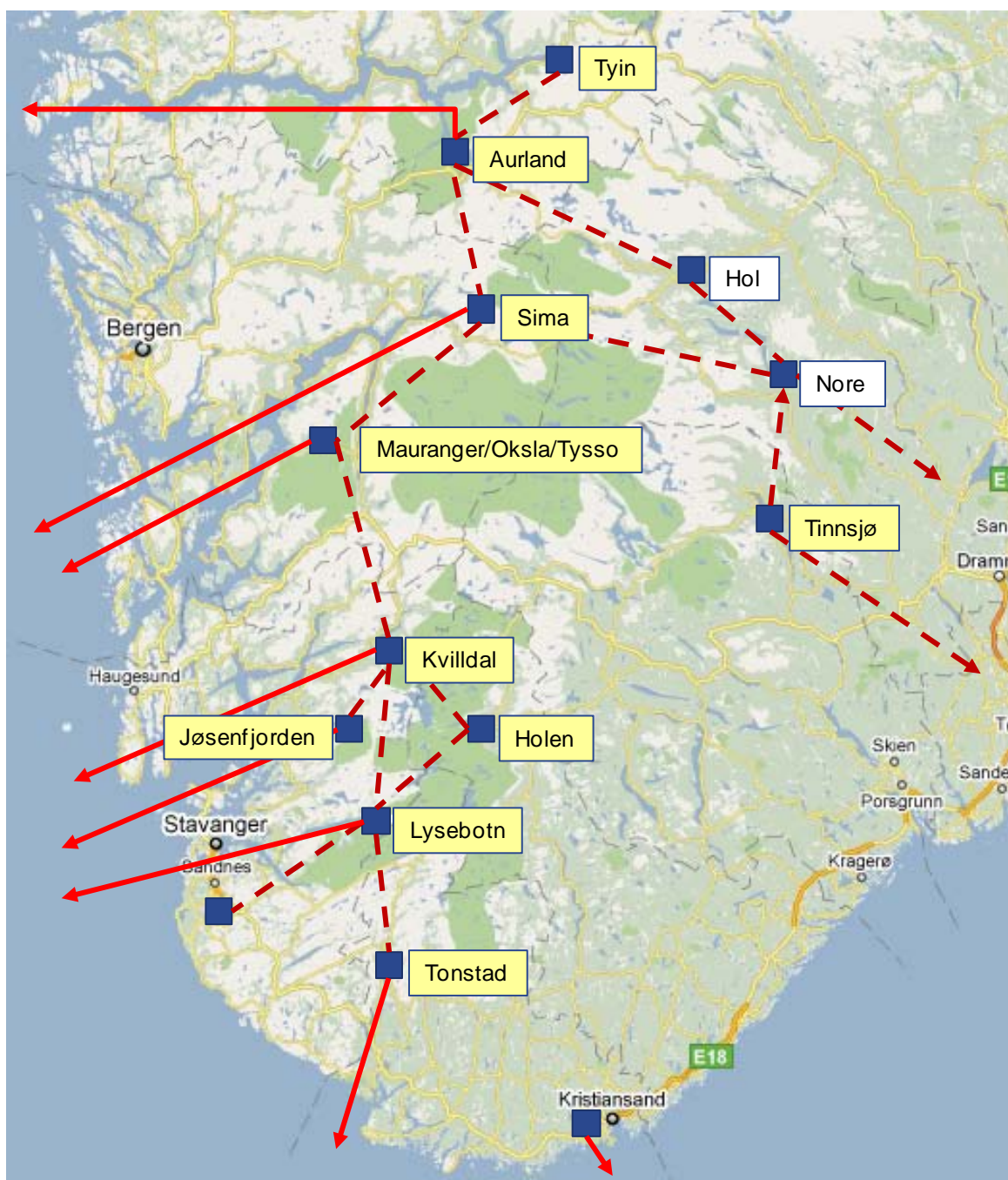
Mulige miljøvirkninger basert på vurderinger ut fra generell kunnskap, men uten stedsspesifikke grunnlagsdata	Pumpekraftverk Tonstad (Nesjen – Sirdalvatn)	Pumpekraftverk Hølen (Urarvatn – Bossvatn)	Pumpekraftverk Kvilldal (Blåsjø – Suldalsvatn)	Effektverk Jøsenfjorden (Blåsjø – Jøsenfjorden)	Pumpekraftverk Timnsjø (Møsvatn – Timnsjø)	Effektverk Lysebotn (Lyngsvatn – Lysefjorden)	Effektverk Mauranger (Juklavatn – Hardangerfjorden)	Effektverk Oksla (Ringedalsvatn – Hardangerfjorden)	Pumpekraftverk Tyssø (Langvatn – Ringedalsvatn)	Effektverk Sy-Sima (Sysenvatn – Hardangerfjorden)	Effektverk Aurland (Viddalsvatn – Aurlandsfjorden)	Effektverk Tyin (Tyin – Årdalsvatnet)
	A2	B3	B6a	B7a	C1	D1	E1	E2	E3	F1	G1	G2
Inngrep i nye uberørte landområder i anleggsfasen	Lite trolig	Lite trolig	Lite trolig	Ja	Lite trolig	Lite trolig	Ja	Lite trolig	Ja	Lite trolig	Noe	Noe
Varig inngrep i nye uberørte landområder	Lite trolig	Lite trolig	Lite trolig	Trolig	Lite trolig	Lite trolig	Trolig	Lite trolig	Trolig	Lite trolig	Lite trolig	Lite trolig
Vannstandsendringer i øvre magasin	Noe	Noe	Små	Små	Små	Små	Små	Små	Små	Små	Små	Små
Erosjon i øvre magasin	Mulig	Noe	Lite trolig	Nei	Lite trolig	Nei	Lite trolig	Lite trolig	Mulig	Nei	Lite trolig	Nei
Isforhold i øvre magasin	Påvirket	Påvirket	Lite påvirket	Lite påvirket	Påvirket	Lite påvirket	Lite påvirket	Lite påvirket	Påvirket	Lite påvirket	Lite påvirket	Lite påvirket
Biologiske virkninger i øvre magasin	Påvirket	Mulig	Påvirket	Lite trolig	Små	Lite trolig	Lite trolig	Lite trolig	Påvirket	Lite trolig	Lite trolig	Lite trolig
Virkninger på vassdrag nedstrøms øvre magasin	Mulig	Mulig	Lite trolig	Lite trolig	Lite trolig	Lite trolig	Lite trolig	Lite trolig	Lite trolig	Lite trolig	Lite trolig	Lite trolig
Vannstandsendringer i nedre magasin	Små	Påvirket	Små	Uaktuelt	Små	Uaktuelt	Uaktuelt	Uaktuelt	Små	Uaktuelt	Uaktuelt	Ukjent ²
Erosjon i nedre magasin	Lokalt	Trolig	Lokalt	Uaktuelt	Lite trolig	Uaktuelt	Uaktuelt	Uaktuelt	Mulig	Uaktuelt	Uaktuelt	Ukjent ²
Isforhold i nedre magasin	Lokalt	Påvirket	Mulig	Veldig lokalt ¹	Lokalt	Veldig lokalt ¹	Veldig lokalt ¹	Veldig lokalt ¹	Påvirket	Veldig lokalt ¹	Veldig lokalt ¹	Påvirket
Biologiske virkninger i nedre magasin	Påvirket	Mulig	Mulig	Uaktuelt	Mulig	Uaktuelt	Uaktuelt	Uaktuelt	Mulig	Uaktuelt	Uaktuelt	Ukjent ²
Virkninger på vassdrag nedstrøms nedre magasin	Mulig	Mulig	Mulig	Mulig ¹	Mulig	Mulig ¹	Mulig ¹	Lokalt ¹	Mulig	Mulig ¹	Mulig ¹	Mulig ²

¹Virkninger i fjorden (sjøen)

²Utløp av effektverk er i uregulert innsjø (Årdalsvatnet)

5 Nettilknytning

Hver av de foreslåtte effektinstallasjonene i Tabell 3.1 (400 – 1 400 MW) vil kreve en "egen" 420 kV forbindelse (se Tabell 5.1) til aktuelle tilknytningspunkter i sentralnettet hvis effekten skal overføres til utlandet via sentralnettet.



Figur 5.1: Aktuelle utenlandsforbindelser.

Når det gjelder kraftverkene i Tonstad, Lysebotn, Jøsenfjorden, Kvilldal, Mauranger/Oksla, Sima og Aurland/Tyin kan disse i prinsippet knyttes direkte til utlandet via HVDC-kabler pga av beliggenheten nær fjord/sjø. Dette er illustrert med heltrukne røde piler i Figur 5.1.

Løsningen med direkteforbindelser fra disse effektinstallasjonene vil isolert sett ikke legge beslag på overføringskapasitet i sentralnettet. Når utenlandsforbindelser er ute av drift må det imidlertid være ledig kapasitet i sentralnettet hvis effektutvekslingen skal kunne opprettholdes. Det krever også at de aktuelle kraftverkene er tilknyttet sentralnettet. De stiplede forbindelsene i Figur 5.1 mellom de nevnte kraftverkene kan være slike sentralnettforbindelser. Dette vil kreve nybygging av 420 kV forbindelser og oppgradering til 420 kV flere steder på de aktuelle strekningene. Foreliggende planer for nye forbindelser og spenningsoppgradering i sentralnettet er beskrevet i [10].

Effektinstallasjonen i Holen (ved Bossvatn) vil kreve en 420 kV forbindelse vestover, f.eks. til Lysebotn eller til Kvilldal, og derfra til utlandet via HVDC-kabler. Holen kan også tilknyttes effektinstallasjonen i Jøsenfjorden (ikke vist i Figur 5.1). Lokale miljøforhold må legges til grunn ved valg av ledningstrase.

Effektinstallasjonen ved Tinnsjø kan representere den største utfordringen med hensyn til nettkapasitet siden avstanden til aktuelle utenlandsforbindelser her er størst. Størrelsen på installasjonen vil også være bestemmende for hvilke alternativer som er aktuelle. Det vil være flere tilknytningspunkter i sentralnettet som er aktuelle for en ny eller oppgradert 420 kV forbindelse fra Tinnsjøområdet. Det kan være nordover mot Nore eller øst- og sør-østover mot f.eks. Flesaker og Rød/Hasle. SydVest-linken er aktuell utvekslingsvei videre til kontinentet.

I perioder hvor effekten fra Tinnsjø kan avlaste (overta) effektoverføringen fra Vestlandet mot Østlandsområdet vil behovet for nettkapasitet være mindre enn om denne effekten kommer i tillegg til nevnte transport fra vest mot øst. Om dette kan vektlegges i vurderingen av nettkapasitetsbehov er likevel usikkert.

Tabell 5.1: Overføringskapasitet i kraftledninger med vekselstrøm (kilde NVE).

Spenningsnivå	Overføringskapasitet (MVA)
22 kV	ca 1 – 10
45 kV	ca 10 – 60
66 kV	ca 20 – 100
132 kV	ca 50 – 400
300 kV	ca 200 – 1000
420 kV	ca 500 – 2000

Hvis de foreslåtte effektinstallasjonene i Tabell 3.1 (scenario 1) ses i lys av kabelforbindelser til utlandet, hver med kapasitet på 700 MW, gir dette behov for følgende 15 kabler:

- 2 kabler fra Tonstad (1 400 MW)
- 5 kabler fra Jøsenfjorden/Kvilldal/Holen (1 400 + 1 400 + 700 MW)
- 2 kabler fra Lysebotn (1 400 MW)
- 3 kabler fra Mauranger/Oksla/Tysso (400 + 700 + 700 MW)
- 1 kabel fra Sy-Sima (700 MW)
- 2 kabler fra Aurland/Tyin (700 + 700 MW)

Det skisserte behovet for kabelforbindelser er kun et svært enkelt resonnement for å si noe om størrelsesorden med tanke på kabelbehov. Figur 5.2 viser en prinsippskisse for kabelforbindelser til Storbritannia, Nederland, Tyskland og Danmark fra de foreslåtte effektinstallasjonene på Sør-Vestlandet. Hva som er aktuelle terminalpunkter i disse landene og hvilke kabler som går til de ulike land framgår ikke av skissen. Med unntak av avstanden fra Kristiansand til Danmark (Skagerak-kablene) er avstandene i luftlinje fra tilknytningspunktene på norsk side til landene på andre siden av Nordsjøen sammenlignbare.



Figur 5.2: Prinsippskisse for kabelforbindelser til Storbritannia, Nederland, Tyskland og Danmark (Google Maps).

Et eventuelt framtidig "North Sea supergrid" basert på multiterminal HVDC-forbindelser langs kysten av Norge og i Nordsjøen åpner for interessante muligheter med hensyn til tilknytning av onshore og offshore vindparker i kombinasjon med sjøkabelforbindelser mellom terminalpunktene på norsk side for kablene til Storbritannia, Nederland, Tyskland og Danmark. Forbindelsene mellom disse terminalpunktene reduserer behovet nettutbygging på land med hensyn til reserve ved utfall av utenlandskabler fra balansekraftverkene. Se [11,12] for informasjon om offshore vindkraftutbygging og nettilknytning i Nordsjøen.

6 Kostnader

Tabell 6.1 viser resultatet av en forenklet estimering av kostnader for de ulike casene i Tabell 3.1. Tallene er basert på [1,13] og kostnadsnivå 2008, men skjønsmessig tilpasset detaljeringsnivået for denne studien siden vi her kun har svært grove angivelser av det som bestemmer kostnadene.

Tallene er svært usikre pr kostnadselement, men totaltallene kan brukes som en kostnadsindikasjon.

Kostnadene referert 2008 er skalert opp til kostnadsnivå 2011 basert på konsumprisindeksene (årlige gjennomsnitt) for henholdsvis 2008 (123,1) og 2011 (130,4 som er gjennomsnitt for januar - oktober).

Finansieringskostnader er 6,5 % p.a. rentebelastning, lineært stigende gjennom hele byggetiden, som er i henhold til [1,13]. Følgende byggetider og tilhørende kostnadspåslag er benyttet i Tabell 6.1:

Stasjoner med 1 400 MW:	5 år	Økt kostnad pga rente:	$1+2,5 \cdot 0,065 = 1,1625$
Stasjon med 1 000 MW:	4,5 år	Økt kostnad pga rente:	$1+2,25 \cdot 0,065 = 1,1463$
Stasjoner med 700 MW:	4 år	Økt kostnad pga rente:	$1+2,0 \cdot 0,065 = 1,1300$
Stasjon med 400 MW:	3,5 år	Økt kostnad pga rente:	$1+1,75 \cdot 0,065 = 1,1138$

Sum for alle 12 case (11 200 MW) er ca 28 000 mill. kr. Det gir i gjennomsnitt ca 2,5 Mkr/MW. Gjennomsnittet for pumpekraftverkene er ca 2,9 Mkr/MW, og for effektverkene ca 2,2 Mkr/MW.

Kostnadene er til og med 420 kV ut av stasjonene. I tillegg kommer eventuelle tilknytningskostnader til sentralnettet, nødvendige forsterkninger/utvidelser i sentralnettet, samt tilknytningskostnader (HVDC-omformere m.m.) og HVDC-kabler for utenlandsforbindelsene.

Tabell 6.1

Scenario 1

	Enhet	A2 Pumpekraftverk Tonstad (Nesjen - Sirdalsvatn)	B3 Pumpekraftverk Holen (Urarvatn - Bossvatn)	B6a Pumpekraftverk Kvilldal (Blåsjø - Suldalsvatn), 1 400 MW i Effektverk Jøsenfjorden	B7a Effektverk Jøsenfjorden (Blåsjø - Jøsenfjorden), 1 400 MW i Pumpekraftverk Kvilldal	C1 Pumpekraftverk Tinnsjø (Møsvatn - Tinnsjø)	D1 Effektverk Lysebotn (Lyngsvatn - Lysefjorden)	E1 Effektverk Mauranger (Juklavatn - Hardangerfjorden)	E2 Effektverk Oksla (Ringedalsvatn - Hardangerfjorden)	E3 Pumpekraftverk Tysso (Langevatn - Ringedalsvatn)	F1 Effektverk Sy-Sima (Sysenvatn - Hardangerfjorden)	G1 Effektverk Aurland/Vangen (Viddalsvatn - Aurlandsfjorden)	G2 Effektverk Tyin (Tyin - Årdalsvatnet)	Sum
Effektinstallasjon	MW	1400	700	1400	1400	1000	1400	400	700	700	700	700	700	11200
Antall aggregat	ant	4	2	4	4	3	4	2	2	2	2	2	2	33
Tilløps-/avløpstunnel lengde	km	22,4	12,4	19,1	14,1	29,3	5,6	5,3	4,0	3,2	21,7	9,1	2,9	149,1
Trykksjakt lengde	km	0,9	0,9	1,2	1,3	1,0	0,9	1,3	0,5	1,1	1,2	1,2	1,5	13,2
Tunnel tverrsnitt	m ²	128	66	88	82	82	125	23	100	56	45	46	39	
Trykksjakt tverrsnitt	m ²	85	44	59	55	55	83	16	67	37	30	31	26	
Tunnel volum	mill. m ³	2,853	0,815	1,688	1,157	2,411	0,693	0,122	0,404	0,180	0,986	0,418	0,113	11,841
Trykksjakt volum	mill. m ³	0,076	0,040	0,072	0,072	0,055	0,075	0,021	0,035	0,041	0,037	0,037	0,039	0,601
Stasjonshall volum	mill. m ³	0,117	0,068	0,109	0,107	0,088	0,117	0,039	0,074	0,066	0,063	0,063	0,061	0,971
Byggetid	år	5,0	4,0	5,0	5,0	4,5	5,0	3,5	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	
Kostnader:														
Tilløps-/avløpstunnel	Mkr	995,5	333,6	631,5	443,2	922,5	244,8	73,5	147,0	78,5	447,6	188,1	54,2	4560,0
Trykksjakt	Mkr	142,4	64,4	117,2	115,6	88,6	138,2	39,9	58,7	67,9	65,5	66,5	73,5	1038,5
Stasjonshall	Mkr	218,2	126,2	202,7	199,9	163,4	217,2	73,2	137,2	122,1	117,1	117,3	113,4	1808,2
Tverrslag på tilløpstunnel	Mkr	29,9	10,0	18,9	13,3	27,7	7,3	2,2	4,4	2,4	13,4	5,6	1,6	136,8
Adkomst-/kabeltunnel + portal	Mkr	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	360,0
Inntak	Mkr	12,8	9,2	10,6	9,9	9,9	12,5	7,4	11,0	8,9	10,0	10,1	9,3	121,5
Veier, plasser og landskap	Mkr	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	60,0
Rigg og drift av byggeplass	Mkr	501,8	202,5	355,6	285,9	436,5	229,3	81,0	137,7	110,2	241,0	147,9	100,4	2829,8
Sum bygg og anlegg	Mkr	1935,6	780,9	1371,5	1102,8	1683,6	884,3	312,2	531,1	425,0	929,6	570,7	387,4	10914,8
Prosjektering bygg og anlegg	Mkr	7,3	5,3	7,3	7,3	6,3	7,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	72,0
Sum maskin inkl. prosjektering	Mkr	560,0	280,0	700,0	350,0	400,0	350,0	120,0	175,0	280,0	175,0	175,0	175,0	3740,0
Sum elektro inkl. prosjektering	Mkr	630,0	315,0	630,0	630,0	480,0	630,0	220,0	315,0	315,0	315,0	315,0	315,0	5110,0
Byggeledelse	Mkr	26,4	20,4	26,4	26,4	23,4	26,4	18,0	20,4	20,4	20,4	20,4	20,4	269,4
Sum bygg/anlegg/maskin/elektro	Mkr	3159,3	1401,5	2735,2	2116,5	2593,3	1898,0	675,5	1046,8	1045,6	1445,2	1086,3	903,1	20106,2
Byggherrekostnader	Mkr	5,0	4,0	5,0	5,0	4,5	5,0	3,5	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	52,0
Div./uforutsette kostnader (15 %)	Mkr	473,9	210,2	410,3	317,5	389,0	284,7	101,3	157,0	156,8	216,8	162,9	135,5	3015,9
Sum kostnad før finans. (2008)	Mkr	3638,2	1615,8	3150,4	2438,9	2986,8	2187,7	780,3	1207,8	1206,4	1666,0	1253,3	1042,5	23174,1
Sum kostnad før finans. (2011)	Mkr	3853,9	1711,6	3337,3	2583,6	3163,9	2317,4	826,6	1279,4	1278,0	1764,8	1327,6	1104,3	24548,4
Sum kostn. inkl. 6,5% p.a. finans.	Mkr	4480,2	1934,1	3879,6	3003,4	3626,6	2694,0	920,6	1445,7	1444,1	1994,3	1500,2	1247,9	28170,6
Sum kostnad/MW inkl finans. (2011)	Mkr/MW	3,200	2,763	2,771	2,145	3,627	1,924	2,302	2,065	2,063	2,849	2,143	1,783	2,515

7 Konklusjoner

Det er uklart hvor stort behovet for balansekraft til Europa og i Norden vil bli i framtida, men det er helt sikkert et behov for å utjevne forholdet mellom produksjon og forbruk på ulike tidsskalaer fra minutter til uker. Økt andel fornybar kraftproduksjon fra vind og sol vil trolig skape nye behov og nye markedsmuligheter for norsk vannkraft.

Våre studier viser at det trolig vil være teknisk mulig å øke installert effekt i norske vannkraftverk med 20 000 MW uten å ta i bruk nye reguleringsmagasin eller å gå ut over dagens bestemmelser om høyeste og laveste regulerte vannstand (HRV og LRV). Hovedscenariot som det er sett på består av 12 nye kraftverk i Sør-Norge med en samlet effektkapasitet på 11 200 MW (se Tabell 3.1). Kraftverkene tenkes etablert med ny tunnel til oppstrøms magasin og til nedstrøms utløp i magasin eller fjord/sjø. 5 av kraftverkene (5 200 MW) er pumpekraftverk, mens resterende 7 er effektverk (6 000 MW) som med ett unntak har utløp til fjord/sjø.

Ingen av de valgte kraftverkene med økt effektinstallasjon gir vannstandsendringer hurtigere enn 14 cm pr time i berørte magasin oppstrøms og nedstrøms. For de fleste oppstrøms magasin vil det ta 2-4 uker med konstant effektkjøring før magasinet tømmes fra HRV til LRV, mens det i mange tilfeller vil være større begrensninger knyttet til nedstrøms magasin. For de to største magasinene (Blåsjø og Møsvatn) vil det ta henholdsvis 10 og 7 uker når effektproduksjonen fra de to magasinene økes med 2 800 MW og 1 000 MW. Det er antatt uendret drift av eksisterende vannkraftverk.

Kapasiteten i de 12 kraftverkene i hovedscenariot kan økes til 18 200 MW uten at vannstandsendringen i øvre og nedre magasiner overstiger 14 cm/time (se Tabell 3.3). Hvor lenge kraftverkene kan levere denne effekten vil bl.a. avhenge av dagens bestemmelser om høyeste og laveste regulerte vannstand (HRV og LRV), samt hvilke strategier med hensyn til pumping som velges for pumpekraftverkene. Ved å ta med flere case i Sør-Norge i tillegg til noen i Nord-Norge vil kapasiteten fra eksisterende vannkraftmagasiner kunne økes med ytterligere 1 800 MW til totalt 20 000 MW for Norge.

De største miljøutfordringene i berørte magasin med økt effektinstallasjon knytter seg til faren for økt erosjon, endret sirkulasjon, endret vanntemperatur, redusert isdekke og økt fare for usikker is. Alle disse fysiske endringene kan gi effekt på økosystemene. I magasin som er relativt store vil disse endringene trolig bare bli lokale. Økosystemet i mange av de utvalgte magasinene er i dag sterkt påvirket av regulering. Her vil økt effektinstallasjon ikke nødvendigvis påvirke økosystemet ytterligere som i magasin der reguleringen i dag har moderat eller liten påvirkning. God miljødesign kan begrense skadevirkningene, og i noen tilfeller også bedre forholdene.

Miljøkonsekvenser og miljødesign må imidlertid undersøkes i detalj, med spesiell fokus på lavtliggende nedstrøms magasin siden artsmangfoldet, produksjonsevnen og sårbarheten ofte er størst der. I magasin som mottar pumpet vann fra lavereliggende magasin eller nabovassdrag kan miljøeffektene bli større, fordi overført vann kan innebære større endringer i vannkjemi og vanntemperatur, og en rekke organismer kan overføres fra det nedre til det øvre magasinet. Kunnskapen om mulige effekter av slik overføring er mangelfull. Miljøutfordringene knyttet til balansekraft vil variere fra prosjekt til prosjekt og være avhengig av hva slags driftsmønster og restriksjoner som blir innført. Vår evne til å utvikle og bruke kunnskap om miljøeffekter vil være avgjørende for hva slags lokale effekter balansekraftprosjekter kan gi.

Hver av de undersøkte effektinstallasjonene vil kreve tilknytning med egen 420 kV forbindelse til aktuelle tilknytningspunkter i sentralnettet dersom effektutvekslingen med utlandet skal skje via sentralnettet. Nye kraftverk i Tonstad, Lysebotn, Jøsenfjorden, Kvilldal, Mauranger/Oksla, Sima og Aurland/Tyin kan knyttes

direkte til utlandet via HVDC-kabler pga av beliggenheten nær fjord/sjø. Det er ikke gått nærmere inn på disse forholdene i denne studien.

Løsningen med direkteforbindelser til utlandet vil isolert sett ikke legge beslag på overføringskapasitet i sentralnettet, men driftsmessig er det fordelaktig for både kabelforbindelsene og sentralnettet at disse kraftverkene har en sterk sentralnettstilknytning. Når utenlandsforbindelser er ute av drift må det imidlertid være ledig kapasitet i sentralnettet hvis effektutvekslingen skal kunne opprettholdes. Det krever at de aktuelle kraftverkene er tilknyttet sentralnettet. Dette vil kreve nybygging av 420 kV forbindelser og oppgradering til 420 kV flere steder på de aktuelle strekningene.

Effektinstallasjonen ved Tinnsjø kan representere den største utfordringen med hensyn til nettkapasitet siden avstanden til aktuelle utenlandsforbindelser her er størst. Størrelsen på installasjonen vil også være bestemmende for hvilke alternativer som er mest aktuelle. SydVest-linken er aktuell utvekslingsvei til kontinentet.

Temaene som er beskrevet i denne innledende studien må følges opp med forskning og mer detaljerte studier før man kan gi et nøyaktig bilde av balansekraftpotensialet i eksisterende norske vannkraftmagasiner. Valg av effekt- og pumpekraftkapasitet, samt driftstrategi for balansekraftproduksjonen i kombinasjon med eksisterende kraftproduksjon krever detaljerte studier med bruk av modeller og simuleringsverktøy som er utviklet for utbyggingsplanlegging og produksjonsoptimalisering i vannkraftdominerte system. Behovet for innenlands nettkapasitet for balansekraftformål må fastlegges på grunnlag av omfattende analyse av sentralnettet i berørte områder.

For å kunne beskrive miljøvirkninger ved effektkjøring og pumping mer detaljert er det behov for ny kunnskap og mer detaljerte studier av de enkelte magasinene. I CEDREN er det forskningsaktiviteter som bidrar til økt kunnskap om miljøvirkninger og miljødesign. Miljøvirkninger i konkrete magasiner bør studeres nærmere med hensyn til fysiske og biologiske forhold som følge av effektkjøring og pumping.

8 Referanser

- [1] NVE, Økt installasjon i eksisterende vannkraftverk, Potensial og kostnader, Rapport nr 10 – 2011, Oslo, 2011
- [2] Energi Norge, Norge som leverandør av fornybar fleksibilitet, Oslo, 2011
- [3] German Advisory Council on the Environment (SRU), *Climate-friendly, reliable, affordable: 100% renewable electricity supply by 2050*, Statement, Nr. 15, ISSN 1612-2968, Berlin, 2010
- [4] German Advisory Council on the Environment (SRU), *Pathways towards a 100 % renewable electricity system*, Special Report, Berlin, 2011
- [5] NVE, *Atlas - vannkraftverk*, <http://arcus.nve.no/website/vannkraftverk/viewer.htm>
- [6] Catrinu, M.D., Solvang, E., *Scenarios for hydropower development in Norway to cover peaking and load balancing needs in Northern and Western Europe*, SINTEF Energy Research, TR A7145, Trondheim, 2011
- [7] Førde, E., Brodtkorb, E., *Sluttrapport for FoU-prosjektet "Effektregulering – Miljøvirkninger og konfliktreducerende tiltak*, Rapport nr 20, Statkraft Grøner, 2001
- [8] Harby, A., Alfredsen, K., Arnekleiv, J.V., Flodmark, L.E.W., Halleraker, J.H., Johansen, S., Saltveit, S.J., *Raske vannstandsendringer i elver. Virkninger på fisk, bunndyr og begroing*, SINTEF Energiforskning, TR A5932, Trondheim, 2004
- [9] Grøv, E., Bruland, A., Nilsen, B., Panthi, K., Lu, M., *Developing future 20 000 MW hydro electric power in Norway, Possible concepts and need of resources*, SINTEF Building and infrastructure, SBF2011A0021, Trondheim, 2011
- [10] Statnett, *Nettutviklingsplan for sentralnettet*, 2010
- [11] EU prosjekt, *OffshoreGrid*, www.offshoregrid.eu
- [12] EU prosjekt, *Windspeed*, www.windspeed.eu
- [13] NVE, *Kostnadsgrunnlag for vannkraftanlegg*, 82-410-0724-8 / 1502-3664, Oslo, 2010



Teknologi for et bedre samfunn
www.sintef.no