

Opprustning av Svorkmo kraftverk

Idunn Gangaune Finnanger

Master i energi og miljø
Oppgaven levert: Juni 2009
Hovedveileder: Gerard Doorman, ELKRAFT

Oppgavetekst

Svorkmo kraftverk har ingen reguleringsmagasin, og kjøring er avhengig av disponering av oppstrøms kraftverkene, lokaltilsiget samt krav om minste-vannsføring. Kraftverket har to aggregater, og investering i et nytt, mindre aggregat vurderes for å få en bedre utnyttelse av kraftverket. I prosjektoppgaven har studenten sett på falltapsproblematikk. I masteroppgaven skal det på denne bakgrunnen gjennomføres en økonomisk analyse av et tredje aggregat.

- Konsolider arbeidet fra prosjektoppgaven (rette feil, resultatframstilling, se på ekstrapolering av virkningsgradskurver)
- Vurder ulike måter for å modellere virkningsgradskurvene mest mulig korrekt i aktuelle simuleringsprogrammer (Vansimtap, Simtapeffekt, SHOP)
- På basis av det forrige punktet, finn den mest hensiktsmessige metoden for å beregne driftsinntektene fra Svorkmo kraftverk
- Etabler hensiktsmessige prisprognoser for analysen i samarbeid med oppdragsgiver
- Beregn fremtidige driftsinntekter med og uten nytt aggregat under to sett av forutsetninger:
 - o basert på observert totaltilsig til Svorkmo så langt tilgjengelig, det vil si det antas at KVO-systemet kjøres på samme måten som før
 - o basert på historisk tilsigstatistikk for hele KVO-systemet, det vil si at optimal kjøring bestemmes av Vansimtap strategi
- Hvis tiden tillater det, gjennomfør en økonomisk analyse og en optimalisering av størrelsen på det tredje aggregatet.

Oppgaven gitt: 19. januar 2009

Hovedveileder: Gerard Doorman, ELKRAFT

Forord

Denne rapporten er resultatet av masteroppgaven til undertegnede utført våren 2009. Oppgaven er utført ved Institutt for elkraftteknikk på NTNU og i samarbeid med TrønderEnergi AS, som er oppdragsgiver. Masteroppgaven bygger på prosjektoppgaven med samme tittel som jeg utførte høsten 2008. Veiledning er gitt av Prof. Gerard Doorman ved Institutt for elkraftteknikk, og sivilingeniør Lars Olav Hoset ved TrønderEnergi AS.

Vil gi en stor takk til Prof. Gerard Doorman for god veiledning og oppfølging underveis i arbeidet med oppgaven. Deretter vil jeg gi en stor takk til sivilingeniør Lars Olav Hoset ved TrønderEnergi for uvurderlig viktig veiledning og oppfølging underveis i arbeidet. Jeg er veldig takknemlig for hvor mye tid vedkommende har satt av til veiledning av denne oppgaven og engasjementet gitt i arbeidet. Mye av dataene og informasjonen benyttet i oppgaven, er gitt av vedkommende. I tillegg vil jeg takke Mette Herrem og Dan Soknes ved TrønderEnergi for veiledning og løsning av problemer knyttet til SHOP. Vil også takke Martin Wold Lund ved Sintef Energiforskning for meget viktig hjelp med modellering av bekkeinntak i SHOP og feilsøking i programmet.

Trondheim, 12. juni 2009

Idunn Gangaune Finnanger

Sammendrag

TrønderEnergi ønsker å undersøke om innsetting av et tredje aggregat i Svorkmo kraftverk vil gi økt produksjonsgevinst, bedret totalvirkningsgrad ved lave vannføringer og mer fleksibel drift av vassdraget. Svorkmo kraftverk har i perioder om sommeren for lav vannføring til å drifte de to eksisterende aggregatene på en optimal måte. Produksjon på lav virkningsgrad og periodevis behov for ekstra tapping av magasin vann om sommeren, gir tapte inntekter. Hypotesen er at et nytt mindre aggregat i Svorkmo kraftverk vil bedre denne situasjonen.

Den matematiske beskrivelsen av Svorkmo kraftverk kompliseres av store falltap og bekkeinntak som påvirker falltapene i stor grad. God modellering av virkningsgradsbeskrivelsen i dette kraftverket har vært helt essensielt, spesielt modellering av bekkeinntak. Vansimtap er brukt til simulering av forventet drift av vassdraget både med og uten et tredje aggregat i Svorkmo. Liten mulighet for detaljert beskrivelse av totalvirkningsgraden i Svorkmo kraftverk i Vansimtap, gav et behov for verifisering av resultater i SHOP hvor detaljgraden er vesentlig høyere.

Simuleringene i Vansimtap viste at en innsetting av et tredje aggregat i Svorkmo kraftverk gir en produksjonsgevinst på 4,322 GWh. En gjennomsnittlig markedspris på 39 Euro/MWh, gir en økning i produksjonsverdien på 0,164 M Euro. Det totale magasinivået, minker ved innstilling av aggregat 3 pga mulighet for økt tapping av magasin vann med mindre risiko for overløp. Produksjonsgevinsten kommer i hovedsak fra økt kapasitet i Svorkmo kraftverk, og dermed bedre utnyttelse av høyt tilsig. På sommervannføring vil et tredje aggregat bedre totalvirkningsgraden til kraftverket.

Verifisering av fem produksjonssituasjoner i SHOP viste at Vansimtap og SHOP får omtrent lik effekt av et tredje aggregat. Modellbeskrivelsen i Vansimtap kan antas god nok til bruk i videre analyser, men usikkerhet i beregningsresultater og verifisering av flere situasjoner må vurderes før resultatene tas i bruk. Lønnsomheten i prosjektet med å sette inn et tredje aggregat i Svorkmo kraftverk, er avhengig av fremtidige priser på kraft og kostnadene relatert til utbyggingen. En følsomhetsanalyse bør gjennomføres for å se hvor stor risiko det er knyttet til avvikende verdi for produksjonsgevinst. Dette kan avgjøre hvor stor betydning usikkerhetene i beregningene vil ha for avgjørelsen om prosjektet settes i verk eller ikke.

Innholdsfortegnelse

Forord	i
Sammendrag	ii
Innholdsfortegnelse	iii
Figurliste	v
Tabelliste	vi
1. Innledning	1
1.1 Problemstilling	1
1.2 Målsetting	1
1.3 Prosjektbeskrivelse	2
2. Bakgrunn for oppgaven og tidligere arbeid	3
2.1 Beskrivelse av Orklavassdraget	3
2.2 Svorkmo kraftverk	6
2.2.1 Dagens drift av Svorkmo kraftverk	7
2.2.2 Falltapsproblematikk i Svorkmo kraftverk	8
2.2.3 Bekkeinntak	10
2.2.4 Eksisterende aggregat	11
2.2.5 Nytt aggregat	13
3. Utbyggingsplaner	14
3.1 Beskrivelse av utbyggingsplanene	14
3.2 Tekniske data for turbin, generator og vannveier	15
4. Simuleringsverktøy for produksjonsplanlegging	18
4.1 Vansimtap	20
4.1.1 Modellering av systemet	20
4.1.2 Strategidelen	22
4.1.3 Simuleringsdelen	23
4.2 SHOP	25
4.2.1 Modellstruktur	25
5. Hvordan beregne fremtidige driftsinntekter fra et tredje aggregat i Svorkmo kraftverk	30
5.1 Problematikken i Svorkmo kraftverk	30
5.2 Modellering av virkningsgradsbeskrivelser i aktuelle simuleringsprogrammer	30
5.2.1 Virkningsgradsrepresentasjon i Vansimtap	31
5.2.2 Virkningsgradsrepresentasjon i SHOP	32
5.2.3 Andre aspekter ved Vansimtap og SHOP	33
5.2 Aktuell fremgangsmåte	34
6. Modellering av ny produksjon i Svorkmo kraftverk	37
6.1 Modeller	37
6.1.1 Referansemodell i Vansimtap	37
6.1.2 Referansemodell i SHOP	37
6.1.3 Utbyggingsmodell i Vansimtap	38
6.1.4 Utbyggingsmodell i SHOP	38
6.2 Metode	39
6.3 Beregning av inndata til Vansimtap	40
6.3.1 Virkningsgradskurver	40
6.3.2 Beregning av PQ-kurver	41
6.4 Håndtering av simuleringsresultater fra Vansimtap	48
6.5 Inndata til SHOP	49
7. Priser benyttet i simuleringer/optimaliseringer	54
7.1 Kort om det nordiske kraftmarkedet	54

7.2 Prisrekke benyttet i Vansimtap	54
7.3 Priser benyttet i SHOP	57
8. Resultater.....	59
8.1 Simuleringsresultater fra Vansimtap.....	59
8.1.1 Disponering av vannressurser over året	59
8.1.2 Produksjon og inntekter	61
8.2 Optimaliseringsresultater fra SHOP.....	64
8.2.1 Situasjon ”Vintervannføring”	64
8.2.2 Situasjon ”Vårvannføring”	65
8.2.3 Situasjon ”Sommervannføring”	66
8.2.4 Situasjon ”Høstvannføring”	66
8.2.5 Situasjon ”Tidlig vintervannføring”	67
8.3 Sammenligning av resultater fra Vansimtap og SHOP.....	68
8.3.1 Sammenligningsresultater for situasjon ”Vintervannføring”	68
8.3.2 Sammenligningsresultater for situasjon ”Vårvannføring”	70
8.3.3 Sammenligningsresultater for situasjon ”Sommervannføring”	71
8.3.4 Sammenligningsresultater for situasjon ”Høstvannføring”	72
8.3.5 Sammenligningsresultater for situasjon ”Tidlig vintervannføring”	73
9. Diskusjon av resultater	75
9.1 Diskusjon av simuleringsresultater	75
9.2 Diskusjon av usikkerhet i resultater	78
10. Konklusjon	80
11. Kilder.....	82
12. Vedlegg.....	83

Figurliste

Figur 1 Oversikt over vassdragsreguleringer og kraftverk i Orklavassdraget [1].....	3
Figur 2 Oversiktskart over Orklavassdraget og kraftverker med tilhørende vannveier [1]	4
Figur 3 Enkel oversikt over Svorkmo kraftverk.....	7
Figur 4 Turbinvirkningsgrad som funksjon av vannføring ved nominell effektiv fallhøyde (Hentet fra vedlegg B).....	11
Figur 5 Turbinvirkningsgrad som funksjon av vannføring ved nominell effektiv fallhøyde (Hentet fra vedlegg B).....	12
Figur 6 Virkningsgradskurver for turbin 3 [3]	16
Figur 7 Virkningsgradskurve for generator 3.....	17
Figur 8 Planleggingshierarki [4]	18
Figur 9 Eksempel på standard vannkraftmodul [5].....	21
Figur 10 Eksempel på enmagasinmodell [5].....	22
Figur 11 Beslutningsprosessen i Vansimtap [5].....	24
Figur 12 Eksempel på vassdragstopologi [8]	26
Figur 13 Eksempel på stasjonskonfigurasjon [7]	27
Figur 14 Beslutningsprosessen i Shop [7].....	28
Figur 15 Sammenheng mellom tapping og produksjon for figur 13 [4]	29
Figur 16 Metode for beregning av resultater.....	39
Figur 17 Flyt i Matlabsript	42
Figur 18 Produksjonskurve med alle kombinasjoner av 3 aggregat	43
Figur 19 PQ-kurver for foretrukne aggregatkombinasjoner	44
Figur 20 PQ-kurver for referansemodell.....	46
Figur 21 PQ-kurver for utbyggingsmodell.....	47
Figur 22 Prisprosentiler for prisrekke brukt i Vansimtap	56
Figur 23 Prisprofil for situasjoner optimalisert i SHOP.....	58
Figur 24 Differanse i magasinnivå mellom utbyggingsmodell og referansemodell	59
Figur 25 Differanse i produksjon mellom utbyggingsmodell og referansemodell	60
Figur 26 Differanse mellom utbyggings- og referansemodell for "Vintervannføring".....	69
Figur 27 Differanse mellom utbyggings- og referansemodell for "Vårvannføring".....	70
Figur 28 Differanse mellom utbyggings- og referansemodell for "Sommervannføring"	71
Figur 29 Differanse mellom utbyggings- og referansemodell for "Høstvannføring"	72
Figur 30 Differanse mellom utbyggings- og referansemodell for "Tidlig vintervannføring" ..	73

Tabelliste

Tabell 1 Karakteristiske data for kraftverkene i Orklavassdraget [1]	5
Tabell 2 Karakteristiske data for Svorkmo kraftverk [1]	7
Tabell 3 Målinger foretatt av NHL [2]	9
Tabell 4 Tekniske data for aggregat 3 [3]	15
Tabell 5 Situasjoner som kontrollregnes i SHOP	35
Tabell 6 PQ-kurver for referansemodell	45
Tabell 7 PQ-kurver for utbyggingsmodell	45
Tabell 8 Tilsig og pris for situasjonene "Vintervannføring", "Vårvannføring" og "Sommervannføring"	49
Tabell 9 Tilsig og pris for situasjonene "Høstvannføring" og "Tidlig vintervannføring"	49
Tabell 10 Startmagasinkoter for referansemodell	51
Tabell 11 Sluttmagasinkoter for referansemodell	52
Tabell 12 Startmagasinkoter for utbyggingsmodell	52
Tabell 13 Sluttmagasinkoter for utbyggingsmodell	52
Tabell 14 Hovedresultater fra Vansimtap for referansemodell og utbyggingsmodell	61
Tabell 15 Vanntap per modul	62
Tabell 16 Resultater fra Vansimtap hvor minstevannføringskrav er neglisjert	63
Tabell 17 SHOP-resultater for situasjon "Vintervannføring"	64
Tabell 18 SHOP-resultater for situasjon "Vårvannføring"	65
Tabell 19 SHOP-resultater for situasjon "Sommervannføring"	66
Tabell 20 SHOP-resultater for situasjon "Høstvannføring"	67
Tabell 21 SHOP-resultater for situasjon "Tidlig vintervannføring"	67
Tabell 22 Sammenligningsresultater for situasjon "Vintervannføring"	68
Tabell 23 Sammenligningsresultater for situasjon "Vårvannføring"	70
Tabell 24 Sammenligningsresultater for situasjon "Sommervannføring"	71
Tabell 25 Sammenligningsresultater for situasjon "Høstvannføring"	72
Tabell 26 Sammenligningsresultater for situasjon "Tidlig vintervannføring"	73

1. Innledning

Denne rapporten er resultatet av undertegnede's masteroppgave våren 2009 og omhandler opprustning av vannkraftverk. Oppgaven er skrevet ved Institutt for elkraftteknikk ved NTNU og i samarbeid med TrønderEnergi, som er oppdragsgiver. Oppgaven fremkommer fra TrønderEnergis ønske om å utrede muligheten for innsetting av et tredje aggregat i Svorkmo kraftverk, for å bedre utnyttelsen av kraftverket og gi større fleksibilitet i driften av hele vassdraget. Rapporten bygger på prosjektoppgaven fra høsten 2008, hvor det ble foretatt undersøkelser av driften av kraftverket og fysiske fenomener som kompliserer den matematiske beskrivelsen av kraftverket.

1.1 Problemstilling

I perioder om sommeren, når tilsiget til elva er lavt og oppstrøm magasiner fylles, vil vannføringen gjennom kraftverket bli for liten til at det minste aggregatet kan driftes på en optimal måte. Kjøring av aggregater på for lav effekt gir stor slitasje og lav virkningsgrad, noe som gir tapte penger og redusert levetid på maskinene. For å holde aggregatene i gang, slippes vann fra overliggende magasiner slik at vannføringen økes tilstrekkelig. Dette er ofte ikke ønskelig, siden prisen på kraft om sommeren ofte er lavere enn om vinteren. Derfor vurderes investering i et nytt mindre aggregat, som vil kunne heve totalvirkningsgraden, avlaste de eksisterende maskinene og gi større fleksibilitet i driften av vassdraget for øvrig.

En økonomisk analyse må gjennomføres for å kunne gi TrønderEnergi en anbefaling til videre arbeid. Denne analysen må så langt som mulig ta hensyn til falltapsproblematikken i kraftverket og inkludere nye virkningsgradskurver for kraftverket.

1.2 Målsetting

Målet med denne masteroppgaven er å gjennomføre en økonomisk analyse av hvorvidt det er noen gevinst med innsetting av et tredje aggregat i Svorkmo kraftverk. I beregning av mulige fremtidige driftsinntekter, ses det på hvordan det nye aggregatet påvirker inntektene fra hele vassdraget som helhet. Formålet med oppgaven er å gi TrønderEnergi et grunnlag for å ta en avgjørelse om de ønsker å gå videre med investeringsplanene eller ikke.

1.3 Prosjektbeskrivelse

Oppgavens tittel: Opprustning av Svorkmo kraftverk

I prosjektoppgaven høsten 2008 ble det sett på falltapsproblematikk i Svorkmo kraftverk. På bakgrunn av dette går oppgaven ut på å gjennomføre en økonomisk analyse av innsetting av et tredje aggregat. Følgende momenter skal ses på:

- Konsolider arbeidet fra prosjektoppgaven (rette feil, resultatframstilling, se på ekstrapolering av virkningsgradskurver)
- Vurder ulike måter for å modellere virkningsgradskurvene mest mulig korrekt i aktuelle simuleringsprogrammer (Vansimtap, Simtapeffekt, SHOP)
- På basis av det forrige punktet, finn den mest hensiktsmessige metoden for å beregne driftsinntektene fra Svorkmo kraftverk
- Etabler hensiktsmessige prisprognoser for analysen i samarbeid med oppdragsgiver
- Beregn fremtidige driftsinntekter med og uten nytt aggregat under to sett av forutsetninger;
 1. basert på observert totaltilsig til Svorkmo så langt tilgjengelig, det vil si det antas at KVO-systemet kjøres på samme måten som før
 2. basert på historisk tilsigsstatistikk for hele KVO-systemet, det vil si at optimal kjøring bestemmes av Vansimtap strategi
- Hvis tiden tillater det, gjennomfør en økonomisk analyse og en optimalisering av størrelsen på det tredje aggregatet.

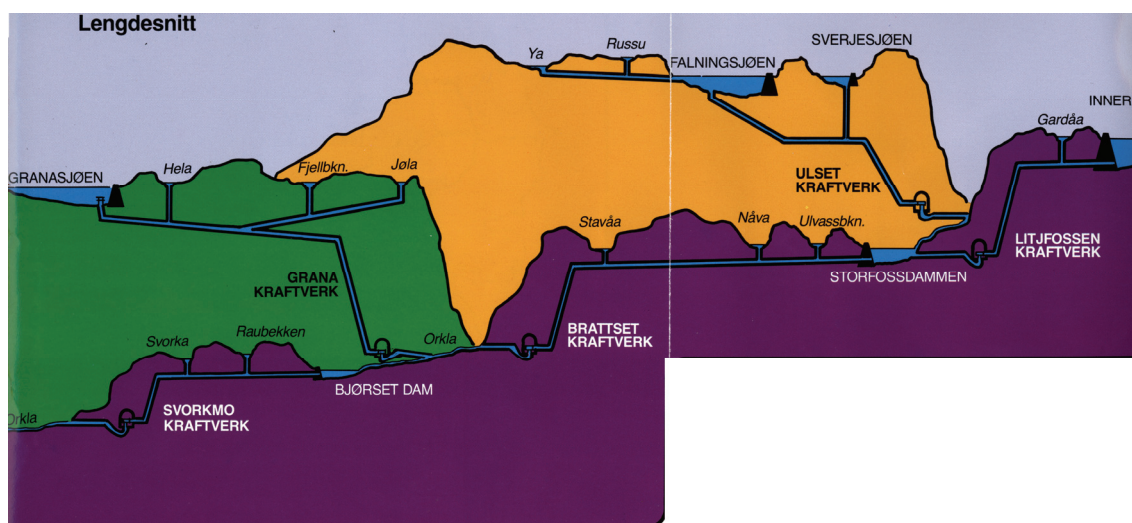
Underveis i arbeidet med oppgaven, ble det sett bort fra beregning av driftsinntekter basert på observert totaltilsig til Svorkmo kraftverk. Tiden ble ikke tilstrekkelig til å foreta beregninger av driftsinntekter basert på lokaltilsig til Svorkmo, i tillegg til at det ble ansett som mindre relevant. Det ble isteden fokusert på virkningsgradsbeskrivelsen til Svorkmo kraftverk, og hvordan den best mulig kunne implementeres i aktuelle simuleringsverktøy. En økonomisk analyse og optimalisering av størrelsen på det tredje aggregatet, ble ikke gjennomført på grunn av liten tid og manglende datagrunnlag.

2. Bakgrunn for oppgaven og tidligere arbeid

Bakgrunnen for prosjektet er TrønderEnergis ønske om å utrede muligheten for et tredje aggregat i Svorkmo kraftverk. Dette ønsket kommer av muligheten for større inntekter, grunnet bedre drift av kraftverket og mer fleksibel regulering av vassdraget. Dette kapittelet er et lite sammendrag av relevant informasjon fra prosjektoppgaven høsten 2008, slik at all informasjon og kilder er hentet derfra.

2.1 Beskrivelse av Orklavassdraget

Orkla er en av Trøndelags lengste og mest vannrike elver. Den har sitt utspring i store Orkelsjø og munner ut i Orkdalsfjorden ved Orkanger. Vassdragets lengde er 170 km og har et nedbørsfelt på i alt 3.092 km². Orklavassdraget omfatter fem kraftverk, Ulset, Litjfosse, Brattset, Grana og Svorkmo, som har til sammen en midlere årsproduksjon på 1.250 GWh. [1].



Figur 1 Oversikt over vassdragsreguleringer og kraftverk i Orklavassdraget [1]

Figur 1 viser en oversikt over magasinene og kraftstasjonene i Orklavassdraget. Nedenfor i figur 2 vises den geografiske spredningen på kraftverkene og magasinene. I vassdraget finnes det tre helårsmagasin, også kalt reguleringsmagasin. Disse er Falningsjøen, Innerdalsvatnet og Granasjøen. Storfossdammen er en inntaksdam som kan reguleres i en viss grad og fungerer derfor som et buffermagasin. Inntaksdammen ved Bjørset er så liten at den ikke kan regnes som et magasin, men er istedet en sperredam for å lede vannet inn i tilløpstunnelen. Produksjonen fra de ulike kraftverkene i Orklavassdraget må koordineres på

en slik måte at en unngår unødig overløp i nedstrøms kraftverker. Samtidig bør tilsiget være tilstrekkelig til å holde kraftverk i drift, dette gjelder spesielt Svorkmo kraftverk.



Figur 2 Oversiktskart over Orklavassdraget og kraftverker med tilhørende vannveier [1]

Kraftverk	Årlig tilsig Inkl. flomtap [Mm³/år]	Nom. Install. Effekt [MW]	Midl. energiekviv. [kWh/ m³]	Turbin- Vannføring [m³/s]	Midl. prod [GWh/år]
Ulset	178	35	0,82	12	140
Litjossen	229	75	0,71	30	160
Brattset	631	40+40	0,64	36	400
Grana	261	75	1,14	18	280
Svorkmo	1833	34+20,5	0,21	65	270
	1833	319,5			1250

Tabell 1 Karakteristiske data for kraftverkene i Orklavassdraget [1]

I dag eies kraftverkene i Orklavassdraget av KVO, som er et samarbeidsprosjekt av følgende selskaper (eierandel i parentes):

TrønderEnergi Kraft AS (35 %)

Trondheim Energi Kraft AS (48,6 %)

Eidsiva Andelsverk AS (12 %)

Nord-Østerdal Kraft Andelslag (4 %)

Gjennom avtale mellom eierne, er TrønderEnergi ansvarlige for den daglige driften av kraftverkene i vassdraget.

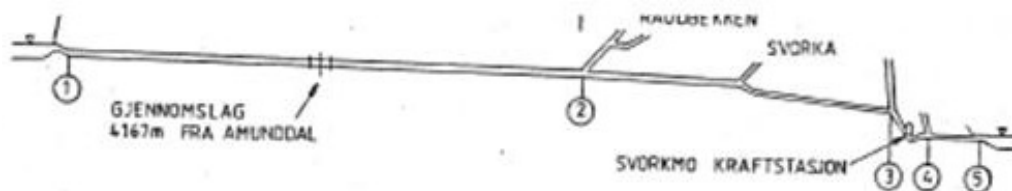
2.2 Svorkmo kraftverk

Svorkmo kraftverk er det nederste kraftverket i Orkla og utnytter allerede nyttgjort vann fra overliggende kraftverk samt naturlig tilsig. Kraftverket utnytter fallet på ca. 99 m i Orkla mellom Bjørset i Meldal og Hongslo i Orkdal nedenfor Svorkmo. Kraftverket har en inntaksdam ved Bjørset, men på grunn av liten magasineringskapasitet anses kraftverket for et elvekraftverk. Dermed er kjøringen av kraftverket avhengig av oppstrøms kraftverker, tilsig til elva Orkla og bekkeinntak, og krav om minstevannføring.

Dammen ved Bjørset er en lukedam som strekker seg over hele elvens bredde. Den består av fire luker med pilarer mellom, som inneholder drivmekanismen for lukene og fungerer som feste. Dammen har som hovedhensikt å lede vann inn i tilløpstunnelen, slippe forbi minstevannføring og tillate oppgang av fisk. Dammen har lav reguleringshøyde, da det er kun 0,5 m mellom LRV (laveste regulerte vannstand) og HRV (høyeste regulerte vannstand). Vannstanden reguleres ved hjelp av lukene som styres av elektriske motorer og hydraulik som åpner og lukker dem, eller setter dem i en valgt posisjon mellom helt lukket eller helt åpen. Gjennom fjernstyring kan driftsentralen regulere lukene etter behov og vannmengde i elva. På våren må ofte flere luker åpnes for å slippe gjennom flømvann, mens på vinteren er alle lukene ofte lukket og minstevannføringen slippes gjennom en dykket bunnluke og laksetrapp. Kravet til minstevannføring er:

- 20 m³/s i perioden 1.mai – 31.august.
- 10 m³/s i perioden 1. september til slutten av oktober (avhenger av gyteperioden for laksen).
- 4 m³/s resten av året.

Vannet ledes inn i tilløpstunnelen til kraftverket like ved dammen, hvor det er plassert en varegrind for å hindre større gjenstander å komme inn i tunnelen. Tilløpstunnelen er lang, avstanden fra inntak til trykksjakt er 15 450 m, og tunnelens tverrsnitt er omtrent 40 m². I tilløpstunnelen er det to bekkeinntak, Raubekken tas inn ved Amundmoen og elva Svorka tas inn ved hjelp av en dam ved Sæter og en overføringstunnel. Figur 3 viser en enkel oversikt over kraftverket og vannveiene. En detaljert oversikt finnes i vedlegg A.



Figur 3 Enkel oversikt over Svorkmo kraftverk

I kraftstasjonen er det installert to aggregater, ett på 34 MW og ett på 20,5 MW, med til sammen en midlere årsproduksjon på ca 270 GWh. [1]

Nedbørsfelt [Km ²]	Årlig tilsig inkl. flomtap Mill. [m ³ /år]	Brutto fallhøyde [m]	Nom. innstall. Effekt [MW]	Turbin- vannf. [m ³ /s]	Midl. energiekv. [kWh/ m ³]	Midl. prod. [GWh]
2642,1	1833	98,80	34 + 20,5	65	0,21	270

Tabell 2 Karakteristiske data for Svorkmo kraftverk [1]

2.2.1 Dagens drift av Svorkmo kraftverk

Vannføringen gjennom kraftverket varierer mye over året, men også over kortere tidsrom. Dette gjør kjøringen av kraftverket vanskelig, på grunn av at kraftverket ikke har noen form for magasinering av betydning. I tørre perioder med lite tilsig til elva og til bekkeinntakene, vil kjøringen av Svorkmo kraftverk være helt avhengig av oppstrøms kraftverker. Om sommeren ønsker en å fylle magasinene og dermed holde igjen noe av kjøringen av oppstrøms kraftverker, hvis kraftprisene tilsier dette. Om sommeren er minstevannføringskravet 20 m³/s, på grunn av oppgang av laks. Lite tilsig og lav produksjon fra oppstrøms kraftverker, resulterer i lav tilgjengelig produksjonsvannføring i Orkla ved Bjørset dam. Svorkmo kraftverk får i slike perioder for lav vannføring til å drifte aggregatene på en optimal måte. Det minste aggregatet må da i perioder kjøres langt under kavitasjonsgrensen, og utsettes for stor slitasje i tillegg til at virkningsgraden blir meget dårlig.

Lav virkningsgrad fører til tapt elektrisk energi og tapte penger, men alternativet er å slippe vannet forbi kraftverket og ikke tjene noen ting. For å bote på dette, slippes vann fra oppstrøms magasiner slik at vannføringen i Orkla øker tilstrekkelig til at Svorkmo kraftverk kan kjøres. I perioder med lave kraftpriser, vil slik regulering av vassdraget føre til tapte penger hvis en ser bort fra scenarioet hvor Svorkmo kraftverk stoppes.

Dagens situasjon med de to eksisterende aggregatene i Svorkmo kraftverk fører ikke bare til økonomiske tap i selve kraftverket, men påvirker også reguleringen av resten av vassdraget. Da kraftverket ble bygget, var kraftprisene meget lave. Økonomiske tap grunnet stans av kraftverket eller kjøring med lav virkningsgrad, ble ikke sett på som et problem. Med økt forbruk av elektrisk energi og når markedet bestemmer prisen, er det viktig å utnytte de ressursene en har på en optimal måte. Det innebærer å kunne tilfredsstille de forpliktelsene en har ovenfor kundene sine, i tillegg til å tjene mest mulig ved å produsere mest elektrisitet når prisene er høye og bare det en må når prisene er lave. For å kunne utnytte et vassdrag på best mulig måte i forhold til markedet, er det viktig med fleksibilitet i produksjonsplanleggingen. I dag begrenser Svorkmo kraftverk noe av fleksibiliteten, ved at kraftverket krever en viss vannføring i Orkla ved Bjørset dam for å kunne kjøre.

2.2.2 Falltapsproblematikk i Svorkmo kraftverk

Svorkmo kraftverk har en lang råsprenget tilløpstunnel fra Bjørset dam inn til kraftstasjonen. Dette fører til energitap hovedsakelig i form av friksjonstap på grunn av strømningsmotstand mot veggene. Friksjonstap og tap over luker fører til tap av trykk over turbin og videre til en reduksjon av transportert vannmengde. Slike tap kalles for falltap på grunn av at fallhøyden reduseres.

$$H_{netto} = H_{brutto} - h \quad (1)$$

Hvor H_{netto} = reell fallhøyde (m)

H_{brutto} = fysisk fallhøyde (m)

h = falltap (m)

Falltapene kan beregnes ut fra følgende formel:

$$h_f = k * Q^2 \quad (2)$$

Konstanten k beskriver en tunnel eller tunnelstrekningens strømningssegenskaper og kalles for falltapskoeffisient. Som en ser av ligning 2 er friksjonstapene sterkt avhengig av vannføringen, dermed vil økt vannføring føre til større energitap i tunnelen.

Basert på falltapsmålinger foretatt av NHL (Norges Hydrodynamiske Laboratorier) etter idriftsettelse, kan en anta at falltapene varierer med opptil 20 % av brutto fallhøyde. Dette er en relativt stor størrelse og vil derfor ha stor innvirkning på mengden produsert elektrisk effekt fra kraftverket. Det må poengteres at under disse målingene var begge bekkeinntakene stengte.

Last [MW]	Brutto fallhøyde [m]	Beregnet vannføring [m ³ /s]	Totalt falltap [m]	Netto fallhøyde [m]
28,7 (55%)	98,85	33,4	4,64	94,21
33,8 (70%)	98,85	43,3	7,8	91,05
45,1 (90%)	98,85	66,2	18,26	80,59

Tabell 3 Målinger foretatt av NHL [2]

Tabellen over viser at netto fallhøyde kan synke ned mot 80 m ved 90 % last. Denne store variasjonen i netto fallhøyde gjør at virkningsgraden til vannveiene varierer i stor grad, og er avhengig av vannføringen. Denne variasjonen i fallhøyde påvirker i neste omgang virkningsgradene til turbinene som også er avhengig av mengden slukt vann og netto fallhøyde. Hovedproblemet med dette, er at kraftverkets matematiske beskrivelse ikke kan tilnærmes en statisk virkningsgrad eller kurve uten å gjøre mange feil, og skape usikkerhet i videre beregninger.

2.2.3 Bekkeinntak

Tilløpstunnelen til Svorkmo kraftverk har som nevnt to bekkeinntak, Raubekken ved Ammundmoen og Svorka ved Sæter. Raubekken er en mindre bekk, mens Svorka er en mindre elv. Vannet som kommer inn i tilløpstunnelen via bekkeinntakene, har en kortere transportstrekning enn vannet som kommer fra Bjørset. Dette gjør at det totale energitapet dette vannet får er mindre enn energitapet vannet fra inntaksdammen ved Bjørset får. Raubekkinntaket ligger omtrent 9,5 km inn i tilløpstunnelen fra Bjørset, etter halvveis av den totale strekningen, mens Svorkainntaket ligger omtrent 12,6 km inn i tunnelen fra Bjørset. I tillegg til at bekkeinntakene ligger nærmere kraftstasjonene enn Bjørset, ligger de også høyere. Raubekkinntaket ligger høyest, mens Svorkainntaket ligger noe lavere. På grunn av denne beliggenheten, vil vannet fra Raubekken og Svorka ha høyere prioritet i tunnelen enn vannet fra Bjørset. Vannmengden fra bekkeinntakene vil derfor påvirke hvor mye vann som kan tas inn i tunnelen ved Bjørset. I og med at summen av alle vannføringer i hvilket som helst punkt i tunnelen må være lik null, vil en økt vannmengde fra Svorka og Raubekken nødvendigvis redusere vannmengden fra Bjørset. På grunn av disse forholdene vil økt vannføring i bekkeinntakene føre til reduserte falltap og større trykk over turbinene når vannføringen gjennom kraftverket er den samme. Netto fallhøyde påvirkes av både vannføringen fra Bjørset og vannføringen i bekkeinntakene.

I prosjektoppgaven utført høsten 2008 ble det, på bakgrunn av beskrivelsen over, utledet en ligning som tilnærmet regnet ut falltapet i vannveiene, ekskludert trykksjakter. Under gjengis ligningen direkte. Henviser til prosjektoppgaven for utledning og begrunnelse for forenklinger og antakelser. Det må kommenteres at følgende ligning er korrigert, da utledningen i prosjektoppgaven inneholdt en feil. Begrunnelse for utledning, hvilke antakelser og forenklinger som er gjort, er likevel gjeldende.

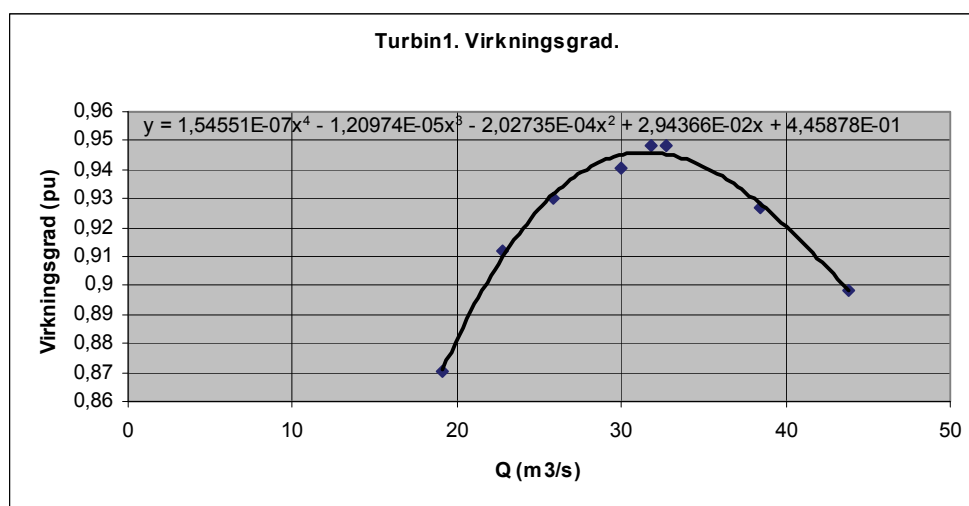
$$h_f = 0,00416663 * Q_{tot}^2 - 0,00727279 * Q_{tot} * Q_{Åmot} + 0,00432295 * Q_{Åmot}^2 \quad (3)$$

Ligning 3 viser at falltapene er avhengig av både total vannføring og vannføringen ved Åmot vannmerke. Åmot vannmerke ligger oppstrøms inntaksdammen ved Sæter og er et punkt hvor vannstanden i Svorka måles. Disse målingene brukes til å beregne vannføringen i Svorka og er den eneste fysiske målingen for vannføring inn til tilløpstunnelen. Vannføringen ved Bjørset måles ikke, kun vannføringen i elva Orkla, noen kilometer oppstrøms

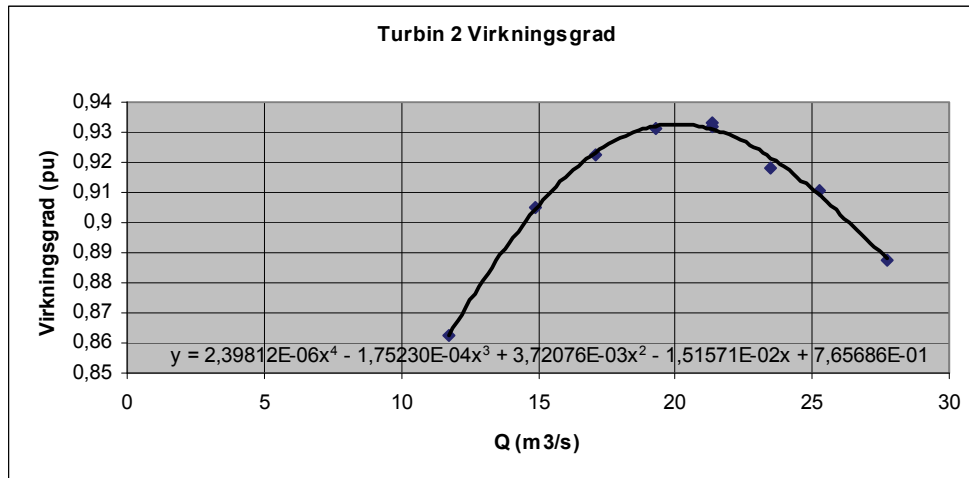
Bjørsetdammen. Vannføringen gjennom hovedinntaket bestemmes best ved å trekke vannføringen i bekkeinntakene fra produksjonsvannføringen. Produksjonsvannføringen, den totale vannføringen, beregnes ut fra produsert effekt fra aggregatene, som er den eneste sikre målingen. Problemet med å regne seg bakover fra produsert effekt til totalvannføring, er at virkningsgradene til turbinene er avhengig av vannføringen gjennom hver turbin og netto fallhøyde. Når netto fallhøyde i tillegg er avhengig av to vannføringer, blir regnestykket mer uoversiktlig. På grunn av den fysiske karakteristikken Svorkmo kraftverk har, er det et vanskelig kraftverk å foreta beregninger på. For å gjøre den matematiske beskrivelsen håndterbar gjøres det tilnærminger, noe som reduserer eksaktheten til beregningene.

2.2.4 Eksisterende aggregat

I Svorkmo kraftverk er det installert to turbiner på henholdsvis 34 MW (turbin 1) og 20,5 MW (turbin 2) av typen Francis. Turbinene er designet til en nominell effektiv fallhøyde på 94 m og har til sammen en maksimal slukeevne på ca 70 m³/s.



Figur 4 Turbinvirkningsgrad som funksjon av vannføring ved nominell effektiv fallhøyde (Hentet fra vedlegg B)



Figur 5 Turbinvirkningsgrad som funksjon av vannføring ved nominell effektiv fallhøyde (Hentet fra vedlegg B)

Figur 4 og 5 viser virkningsgradskurvene for henholdsvis turbin 1 og turbin 2 ved nominell effektiv fallhøyde. Til sammen utnytter aggregatene vannføringer i størrelsesorden 10 – 70 m³/s godt nok, men virkningsgraden synker raskt i endene av virkningsgradskurvene. Ved vannføringer under 10 m³/s, vil virkningsgraden til aggregat 2 være meget lav, og en taper effekt og dermed penger. I tillegg vil kjøring på lav last kunne føre til kavitasjoner på turbin og redusere levetiden til maskineriet.

Virkningsgradskurvene over er kun gyldig ved nominell effektiv fallhøyde og ved små variasjoner i netto fallhøyde rundt den verdien. På grunn av de store falltapene, vil netto fallhøyde variere med opptil 20 % og gi netto fallhøyder på ned mot 80 m. Ved denne fallhøyden har turbinene en annen karakteristikk. I vedlegg C vises kotekurver som beskriver turbinenes virkningsgrader med netto fallhøyde og vannføring som variabler. Turbinenes virkningsgradskurver er sterkest avhengig av vannføring, men i en viss grad også av netto fallhøyde. Ved netto fallhøyder under nominell effektiv fallhøyde, minker den gjennomsnittlige virkningsgraden til turbinene med minkende fallhøyde. Dermed får en en dobbeleffekt ved at redusert netto fallhøyde og redusert virkningsgrad for turbiner gir større effekttap.

2.2.5 Nytt aggregat

Et nytt mindre aggregat i Svorkmo kraftverk vil kunne utnytte lave vannføringer på en bedre måte enn det minste eksisterende aggregatet, aggregat 2. I følge sivilingeniør Lars Olav Hoset kjøres aggregat 2 ofte på lave laster for å utnytte vannet selv om virkningsgraden er lav. På grunn av markedssituasjonen er det mer lønnsomt å kjøre aggregatene på lave virkningsgrader og risikere sterk slitasje, enn å la vannet renne forbi. Størrelsen på det tredje aggregatet må ses ut fra kapasiteten til aggregat 2 og i hvilke situasjoner aggregat 3 mest sannsynlig vil kjøres.

3. Utbyggingsplaner

Opprustningen av Svorkmo kraftverk, ved å sette inn et tredje aggregat, har for TrønderEnergi lenge vært en ide, men ikke satt i verk. Denne masteroppgaven er gitt for å se om det er noen hensikt i å gå videre med en full utredning av prosjektet. Det er på dette tidspunktet satt i gang en intern arbeidsgruppe som utreder kostnader knyttet til en eventuell utbygging. Hittil er det ikke kommet frem noen tall over kostnader, og vil derfor ikke kunne presenteres her.

Tekniske data for aggregat og vannvei er estimert ut fra informasjon fra leverandører og erfaringstall. Noen grundig undersøkelse av tallene er ikke foretatt pga tidlig fase i prosjektet. Dette kapitlet presenterer de tekniske dataene som er benyttet i denne oppgaven ved beregning av driftsinntekter, og en kort skildring av utbyggingsplanene.

3.1 Beskrivelse av utbyggingsplanene

I enden av tilløpstunnelen til Svorkmo kraftstasjon, rett før tykksjaktene, er det innstøpt et rør med diameter 1500 mm. Dette røret er avblendet og ligger ved siden av tverrslagsporten, som gir tilgang til tunnelen og sandfanget. Røret ble bygget fordi det opprinnelig var et krav om mulighet for å lede vann forbi kraftstasjonen ved feil i stasjonen. Vannet ville da ha blitt ledet i servicetunneler/transporttunneler rundt stasjonen og videre inn i avløpstunnelen. Dette kravet ble senere tatt bort og røret har til i dag ikke blitt brukt. Røret gir derimot mulighet for å lage en ny trykksjakt til et tredje aggregat, uten å måtte sprengne ny tilgang til tilløpstunnelen. Dermed slipper en å stoppe kraftverket i hele byggeperioden, og en slipper store kostnader knyttet til tap av produksjon. I vedlegg D vises en skisse av kraftstasjonen og plasseringen av det nye aggregatet. I utgangspunktet så TrønderEnergi på hovedsakelig to utbyggingsplaner. Den ene planen gikk ut på å sprengne ut ekstra rom i den eksisterende maskinsalen og plassere det nye aggregatet i samme nivå som de to eksisterende aggregatene. Den andre planen gikk ut på å sprengne en ny maskinsal ved adkomsttunnelen, hvor aggregatet ligger noe høyere enn eksisterende maskiner. Den første planen gir det nye aggregatet bedre fallhøyde enn den andre, men kostnadene ved sprenging i eksisterende maskinsal er betydelig høyere. Ved sprenging i eksisterende maskinsal er det fare for skade på de andre aggregatene og en må stoppe kraftverket i lengre perioder. Det andre plasseringsalternativet ligger så langt unna eksisterende maskineri, at faren for skader er liten og en slipper å stoppe kraftverket i lange perioder. Pga ingen mulighet for magasinering av vann rett før kraftverket, vil kostnadene ved

å stoppe kraftverket bli meget store. På grunnlag av denne viten har TrønderEnergi gått bort fra det første alternativet og fokuserer nå på det siste alternativet. De tror den økte investeringskostnaden overskrider gevinsten ved mer gunstig fallhøyde.

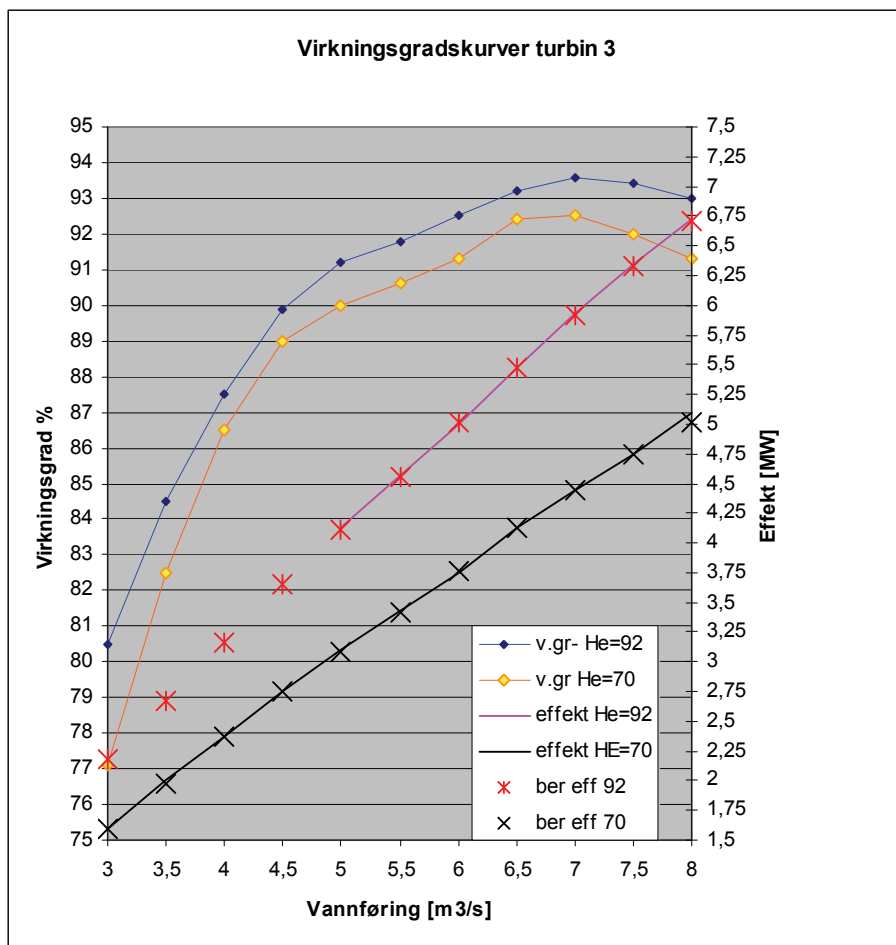
3.2 Tekniske data for turbin, generator og vannveier

De tekniske dataene som er benyttet i beregning av driftsinntekter, omfatter falltap for trykksjakt, brutto fallhøyde, tekniske data for aggregatet og virkningsgradskurver. Tabell 4 under viser tekniske data for aggregat, brutto fallhøyde og falltap i trykksjakt.

Tekniske data for aggregat 3	
Nominell effekt [MW]	6,72
Nominell vannføring [m ³ /s]	8
Maksimal vannføring [m ³ /s]	9
Brutto fallhøyde [m]	93,3
Nominell fallhøyde [m]	92
Falltapskoeffisient trykksjakt	0,00465

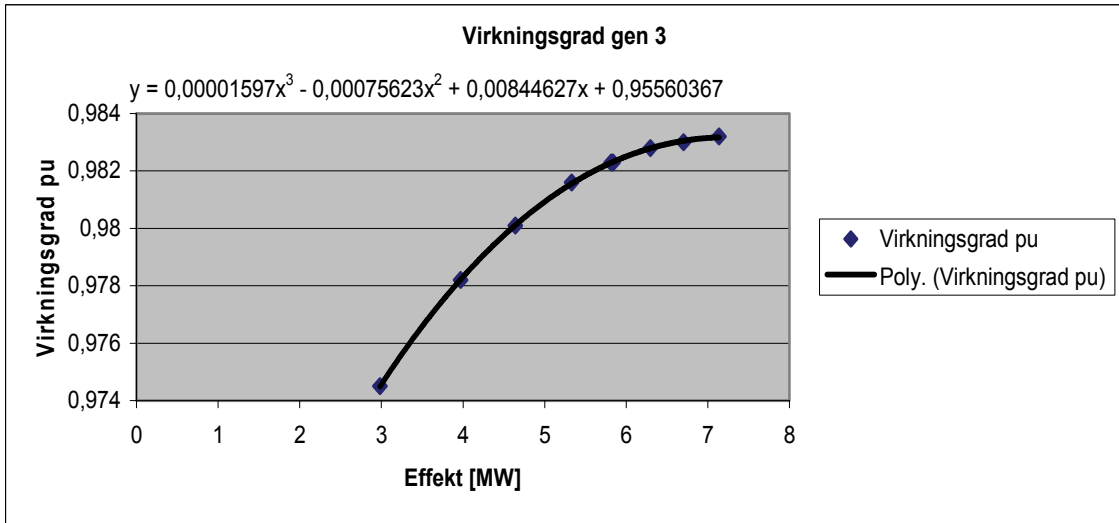
Tabell 4 Tekniske data for aggregat 3 [3]

Tap i ventiler og bend på 0,5 m må påberegnes ved maks vannføring i trykksjakt. I tillegg til de tekniske data for aggregatet presentert i tabellen over, behøver en virkningsgradskurver for turbin og generator. Virkningsgradskurver, ved to nominelle effektive fallhøyder, for turbin er gitt av Voith Siemens til TrønderEnergi. Størrelsen på aggregatet er ikke optimalisert, men en valgt størrelse basert på erfaringstall. Det hadde vært en fordel og sett på flere aggregat størrelser ved beregning av driftsinntekter, men pga få pålitelige og tilgjengelige data for aktuelle aggregat, og liten tilgjengelig tid, er det ikke blitt gjennomført. Figur 6 under viser både sammenhengen mellom vannføring og effekt, og vannføring og virkningsgrad for turbin 3.



Figur 6 Virkningsgradskurver for turbin 3 [3]

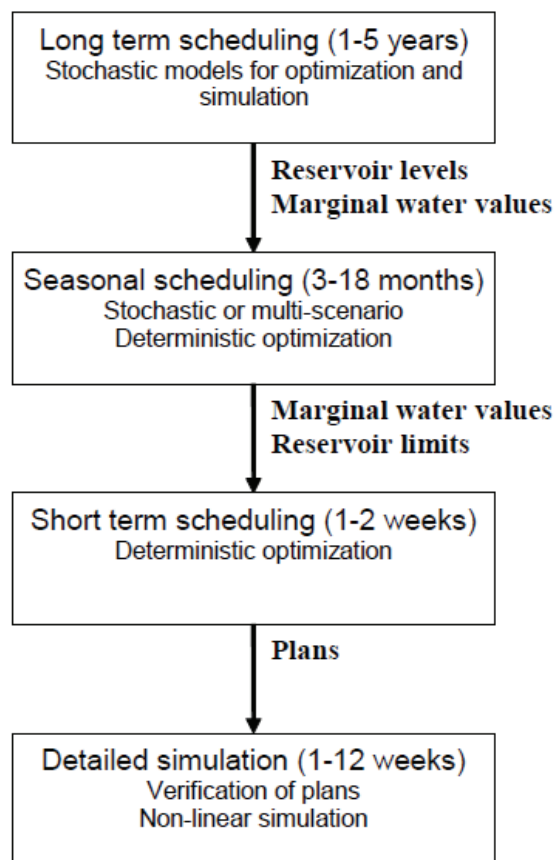
Virkningsgradskurver for generator er estimert ut fra virkningsgradskurven for generator 2. Bakgrunnen for dette er at en antar at formen på virkningsgradskurven til generator 2 er representativ for en generator på denne størrelsen. Virkningsgradskurven for generator 2 er skalert til å passe for generator 3. Figur 7 under viser virkningsgradskurven som er brukt for generator 3.



Figur 7 Virkningsgradskurve for generator 3

4. Simuleringsverktøy for produksjonsplanlegging

Hovedmålet med produksjonsplanlegging av vannkraft kan enkelt beskrives som ”utnyttning av tilgjengelige ressurser for å tilfredsstille behovet for elektrisitet på en slik måte at en oppnår optimalt resultat og alle relevante restriksjoner er tilfredsstilt”. Etter restruktureringen av kraftmarkedet på 1990-tallet, vil det optimale resultatet fra drift av vannkraftressurser være maksimering av inntekter. For å nå målet beskrevet over, benytter vannkraftprodusenter i dag simuleringsverktøy til hjelp i beslutningsprosesser. På grunn av kompleksiteten i vannkraftsplanlegging, finnes det i dag ingen integrert modell som simulerer hele driften. Derfor er planleggingen delt inn i nivåer etter tidshorisont: Langtidsplanlegging, sesongplanlegging og korttidsplanlegging. Figur 8 under viser planleggingshierarkiet som benyttes i produksjonsplanlegging av vannkraft.



Figur 8 Planleggingshierarki [4]

Langtidsplanlegging tar for seg den strategiske forvaltningen av reservoarene i interaksjon med resten av kraftsystemet, og modellerer usikkerhet i tilsig og pris. Ved langtidsplanlegging benyttes verktøy som bruker forenklete modeller av kraftsystemet og disse har vanligvis en tidsoppløsning på en uke. Samkjøringsmodellen og Vansimtap er langtidsmodeller, utviklet ved Sintef Energiforskning, som er mye brukt i det nordiske kraftsystemet. Begge modellene modellerer pris og tilsig som stokastiske variabler og gir mulighet for å simulere mange forskjellige scenarioer for fremtiden. Samkjøringsmodellen modellerer flere elektriske områder, mens Vansimtap modellerer kun ett elektrisk område og beskriver resten av systemet med en prisprognose [4].

I korttidsplanlegging av vannkraft benyttes deterministiske modeller. I deterministiske modeller antas start- og slutttilstand, samt eksterne parametre for kjent. Slike parametre kan være f. eks start- og sluttmagasin, tilsig, priser, kontraktsforpliktelser, osv. Optimalisering benyttes til å bestemme detaljert disponering av vannet innenfor tidsrommet det simuleres over. På grunn av den deterministiske og detaljerte programoppbyggingen, er simuleringstidsrommet vanligvis 1 til 2 uker. Tidsoppløsningen er som oftest en time. Siden deterministiske modeller ikke tar hensyn til usikkerhet i tilsig og pris, vil ikke slike modeller egne seg til lengre simuleringstidsrom. SHOP er et mye brukt program til korttidsplanlegging av vannkraftproduksjon [4].

Sesongplanlegging er som navnet tilsier, produksjonsplanlegging over sesonger. Tidshorisonten er vanligvis 3 – 18 måneder. I sesongplanlegging er det vanlig å bruke mer detaljerte modeller og forenkle usikkerheten i pris og tilsig pga kortere tidshorisont. Fremtiden innehar mindre usikkerhet og gir rom for mer detaljert simulering. Hovedmålet med sesongplanlegging er å skape en kobling mellom langtids – og korttidsplanlegging. Langtidsmodeller er stokastiske modeller, mens korttidsmodeller er deterministiske, og det er derfor vanskelig å kombinere disse modellene. Ved å foreta sesongplanlegging, hvor usikkerheten er forenklet, kan en finne grenseverdier eller restriksjoner som korttidsplanleggingsverktøyene kan styre etter. På denne måten oppnår en ønsket resultat med tanke på langsiktig disponering av magasiner ved korttidsoptimalisering av produksjonen [4].

Ved beregning av fremtidige driftsinntekter fra produksjon i Orklavassdraget ved utbygging av Svorkmo kraftverk, er både Vansimtap og SHOP benyttet. I de neste seksjonene vil både

Vansimtap og SHOP beskrives nærmere. Teorien som fremstilles her er meget overfladisk, og leser henvises til Vansimtap brukerveiledning og SHOP brukerveiledning for mer detaljert beskrivelse. Det antas at leseren har kjennskap til verktøyene og temaet produksjonsplanlegging av vannkraft for øvrig.

4.1 Vansimtap

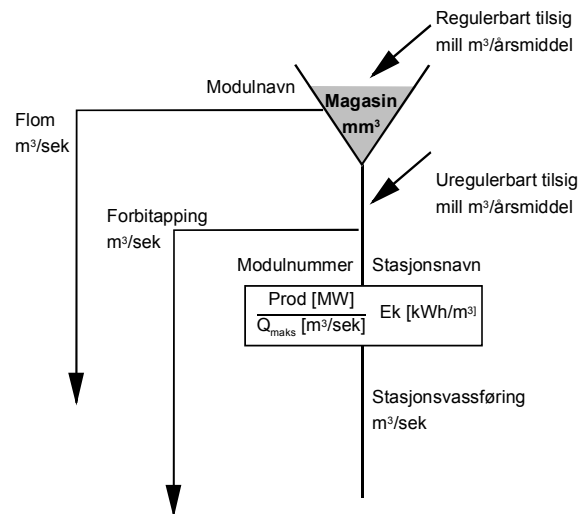
”Vansimtap er en modell som har som oppgave å fastlegge best mulig bruk av vannkraftressurser og kontraktstilgang i forhold til usikre framtidige tilsig og markedspriser” [5]. Modellen brukes til beslutningsstøtte for produksjonsplanlegging på lang og mellomlang sikt (1-520 uker). Vansimtap benyttes også til planlegging og investeringsanalyse ved utbygging. Som nevnt over er Vansimtap en ett-områdemodell. Det innebærer at alle kraftmoduler er innenfor samme elektriske område, mens resten av kraftsystemet modelleres ved en prisprognose. All kraft utveksles via en samleskinne, det vil si at det elektriske nettet ikke modelleres [5]. Dette er en tilstrekkelig tilnærming for lokale produsenter som ikke vil ha mulighet til å påvirke prisene med sin egen produksjon. Prisprognoser kan genereres vha Samkjøringsmodellen og er input til Vansimtap. Prisrekken benyttet i denne oppgaven er diskutert under kapittel 7.

For at Vansimtap skal operere med akseptable regnetider er optimaliseringsprosessen delt inn i to hovednivå, en strategidel og en simuleringsdel. Disse vil bli nærmere beskrevet i seksjon 4.1.2 og 4.1.3.

4.1.1 Modellering av systemet

Modelleringen av systemet gjøres ved hjelp av en detaljmodell, som beskriver hele kraftsystemet. På grunn av at det ikke finnes noe varmekraft i kraftsystemet som ses på i denne oppgaven, vil kun modellering av vannkraft presenteres her.

Et vannkraftsystem beskrives ved hjelp av standardmoduler som knyttes sammen med vannveier for stasjonsvannføring, forbitapping og flom. En standardmodul kan bestå av et magasin og en stasjon, tilsig, restriksjoner og pumpedata. En modul må ikke ha stasjonsdata, da en modul gjerne kan beskrive viktige bekkeinntak, magasiner eller vannveier med mye lokalt tilsig. Figur 9 under viser et eksempel på hvordan en standardmodul ser ut.

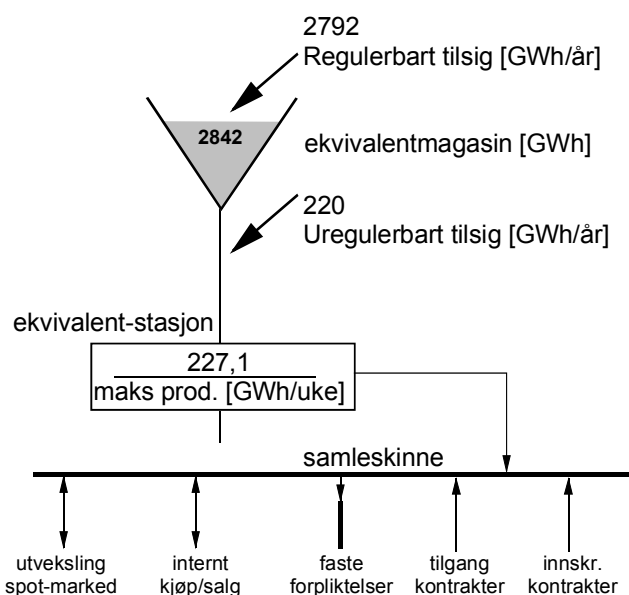


Figur 9 Eksempel på standard vannkraftmodul [5]

Magasiner beskrives ved sitt volum og magasinkurver, sammenhengen mellom magasinifylling og kotehøyde. Stasjoner beskrives ved sin slukeevne og energiekvivalent. I tillegg angis også en produksjonskurve, som beskriver sammenhengen mellom vannføring (Q) og produksjon (P) for en referansefallhøyde, såkalt PQ – kurve. Tilsig kan modelleres som regulerbart og uregulerbart, og beskrives ved sitt årsmiddel og knyttes til en serie med ukeverdier, som angir variasjoner fra uke til uke og år til år. Modulene knyttes sammen ved at det angis hvilken nedenforliggende modul stasjonsvannføring, forbitapping og flom går til. Forskjellige restriksjoner kan angis, f. eks min/maks magasinivolum eller min/maks vannføring. I den totale detaljmodellen er alle modulene koblet sammen til et helt system [5].

4.1.2 Strategidelen

I strategidelen blir hele systemet aggregert til en ekvivalentmodul, enmagasinmodellen. Magasinene summeres opp til et stort magasin og representeres med sin lagrede energimengde. Eventuelle magasinrestriksjoner i detaljmodellen overføres til ekvivalentmodellen, og benyttes til å spesifisere øvre og nedre magasinnivå for ekvivalentmagasinet. Maksimum produksjon for hver stasjon summeres opp til en ekvivalentstasjon. Eventuelle restriksjoner for minimum og maksimum stasjonsvannføringer overføres også til enmagasinmodellen. Figur 10 viser et eksempel på en enmagasinmodell.



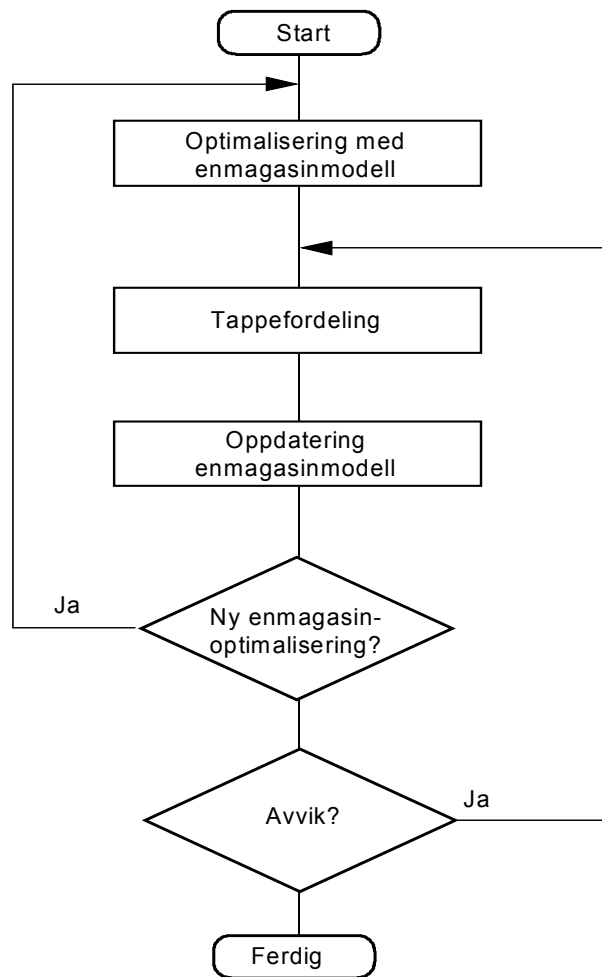
Figur 10 Eksempel på enmagasinmodell [5]

Hensikten med aggregeringen av systemet er å forenkle det tilstrekkelig slik at vannverdier for systemet kan beregnes. Beregning av vannverdier skjer vha Stokastisk Dynamisk Programmering, som krever en meget forenklet modellrepresentasjon av vannkraftsystemet. Vannverdi er et uttrykk for verdien på lagret vann som funksjon av magasinutfylling (enmagasinmodellen) og tid. En kan også se den som forventningsverdien av den marginale kilowattimen som ligger lagret i egne magasiner. I praksis betyr det at en velger å tappe vannet dersom verdien av å selge en ekstra kWh-ekvivalent nå, er større enn verdien av å vente til senere. Vannverdien til sumsystemet for hver uke, utgjør strategien for den videre beregningen i Vansimtap [5].

4.1.3 Simuleringsdelen

I simuleringsdelen kan beslutningsprosessen deles inn i to nivå: beregning av optimal produksjon på sumsystemnivå og detaljert tappefordeling av underliggende vannkraftsystem. Beregning av optimal produksjon for den aggregerte modellen baseres på vannverdiberegningene. Deretter simuleres det for 70 historiske tilsigsalternativer, som kommer fra det historiske tilsigsarkivet Hydark. Arkivet inneholder tilsigserier på både uke- og døgnnivå for perioden 1931-2000. Ut fra optimal produksjon for sumsystemet, fordeles produksjonen på modulene i detaljmodellen. Tappefordelingen styres etter regler og tappestrategien er basert på at året deles opp i to sesonger: fyllingssesong og tappesesong. I fyllingssesongen (typisk sommerhalvåret for Norden) er strategien å minimalisere risikoen for flomtap. I tappesesongen (vinterhalvåret) er strategien å tappe magasinene ned for å gjøre plass til vårflommen, men samtidig holde maksimal effekt tilgjengelig (ikke tømme magasiner for tidlig).

Beregning av total produksjon for sumsystemet baseres på magasininnholdet for ekvivalentmagasinet i starten av hver simuleringsuke. Modellen kjenner sum energi lagret i hele systemet, men tar ikke hensyn til hvordan magasinutfyllingen er fordelt på de enkelte magasinene/modulene. Dermed er det ikke alltid at tappefordelingsmodellen klarer å oppfylle produksjonen enmagasinmodellen foreslår. Enmagasinmodellen må derfor oppdateres slik at tappefordelingsmodellen og enmagasinmodellen finner et resultat som oppfyller alle kriteriene. I figur 11 under vises beslutningsprosessen i Vansimtap.



Figur 11 Beslutningsprosessen i Vansimtap [5]

I simuleringdelen kan en velge mellom parallell- eller seriesimulering. Ved produksjonsplanlegging brukes parallellsimulering. For hvert tilsigsalternativ velges magasinnivået i øyeblikket som startmagasin. Simuleringsperioden er ofte mellom 3-5 år. Ved utbyggingsplanlegging er det mest hensiktsmessig å benytte seriesimulering pga lang tidshorisont. I seriesimulering velges et startmagasin med en realistisk fylling for første tilsigsalternativ. Deretter settes sluttmagasinet fra forrige tilsigsalternativ som startmagasin for det neste tilsigsalternativet. Resultatet fra simuleringen vil bli den beste produksjonen for systemet per år. I denne oppgaven er det kun benyttet seriesimulering.

4.2 SHOP

SHOP er et program for korttidsplanlegging for vannkraftsystem. Programmet er basert på en optimaliseringsalgoritme med lineær programmering. Problemformuleringen gjør at komplekse hydrauliske sammenhenger kan modelleres. Kriteriefunksjonen i problemformuleringen er å maksimalisere inntekten i planperioden ved å utnytte kjøp og salgsmuligheter i markedet samtidig som en dekker lastforpliktelsene, utnytter tilgjengelige vannressurser og overholder alle relevante restriksjoner. Typisk planperiode er 7-10 dager med en tidsoppløsning på en time. Det finnes to hovedbruksområder for SHOP [6]:

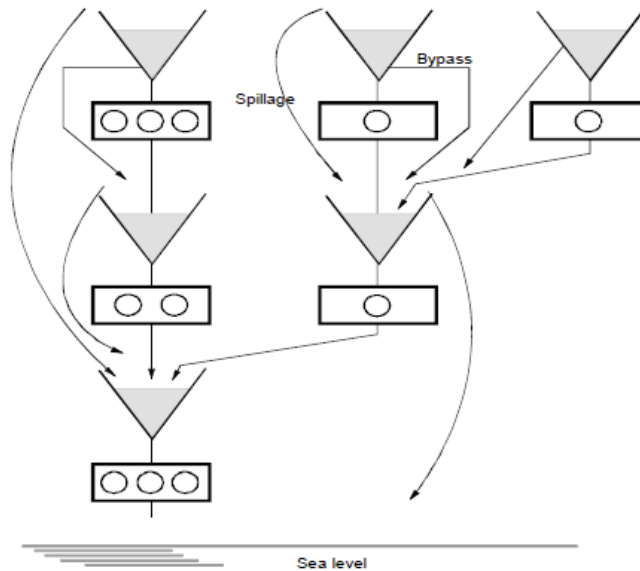
- Optimalisering av anmeldingsmengder i spot-markedet, med hensyn tatt til verdivurdering av vann fra langtidsplanleggingen og alle restriksjoner og frihetsgrader i det lokale vannkraftsystemet.
- Optimalisering av stasjonskjøring etter at spot-kontraktene er fastsatt. Hensikten er da å minimalisere ressursbruk samtidig som spot-kontraktene og andre restriksjoner er overholdt.

Siden denne oppgaven ikke omhandler produksjonsplanlegging, men utbyggingsplanlegging, vil ikke bruken av SHOP mot markedet presenteres nærmere. Det vil videre bli lagt vekt på hvordan programmet modellerer vannkraftsystemer og detaljgraden til beregningene.

4.2.1 Modellstruktur

Hovedoppgaven til et korttidsplanleggingsverktøy er å gi konkret forslag til hva som bør produseres i stasjonene per døgn/uke. Systembeskrivelsen må ha en detaljeringsgrad som gjør at resultatene kan brukes forholdsvis direkte. Ved optimaliseringen bør ”alle” tekniske restriksjoner ivaretas for å gi et så realistisk resultat som mulig. utfordringer knyttet til dette er å modellere tilstandsavhengigheter, ulineariteter og andre utfordringer som elektriske begrensninger og spredning i kompleksitet og egenskaper. I tillegg må programmet ta hensyn til restriksjoner gitt av sesong-/langtidsplanleggingen [7].

Oppgaven som skal løses, er å finne et sett med produksjonsnivå og tappinger som sikrer en total optimal løsning for hele systemet. I Norge kan topologien i ulike vassdrag være komplisert, noe som gjør beregningene mer krevende.



Figur 12 Eksempel på vassdragstopologi [8]

Figur 12 viser at SHOP modellerer forbitapping og overløp i tillegg til vannveier mellom magasiner og stasjoner. Den matematiske modellen må derfor ta hensyn til vannbalanser for hvert magasin for hvert tidsintervall. Utgående vannbalanse for et magasin i et tidsintervall må tilsvare inngående vannbalanse i det neste tidsintervallet. Modellen må kunne håndtere geografiske koblinger innad i vassdraget så vel som koblinger over tid. Dette løses prinsipielt ved å sette opp likninger for vannbalanse for hvert magasin og tidsintervall [8].

$$x_i^{t-1} - x_i^t + \sum q_i^t = 0 \quad (4)$$

t Tidsintervall

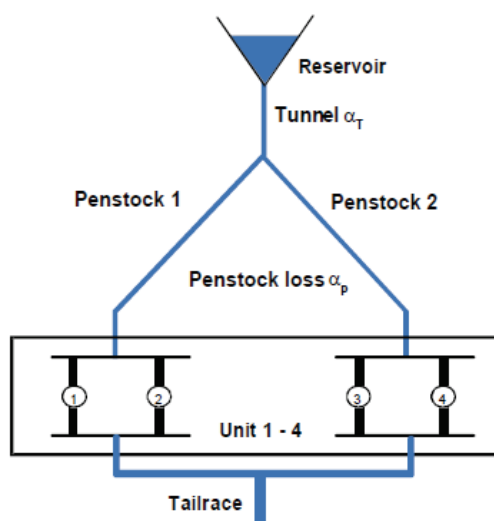
i Magasinnummer

x Magasinvolum [Mm^3]

q Tapping til/fra magasin. Positivt fortegn for tapping ut av magasin.

Ved å benytte en nettverksstruktur med noder hvor hver node er en balanseligning, kan en modellere vannets bevegelser gjennom vassdraget. Ved en slik struktur er det også mulig å legge inn tidsforsinkelser. Tidsforsinkelser vil være spesielt viktig for vassdrag med elvekraftverk og kraftverk med små buffermagasin.

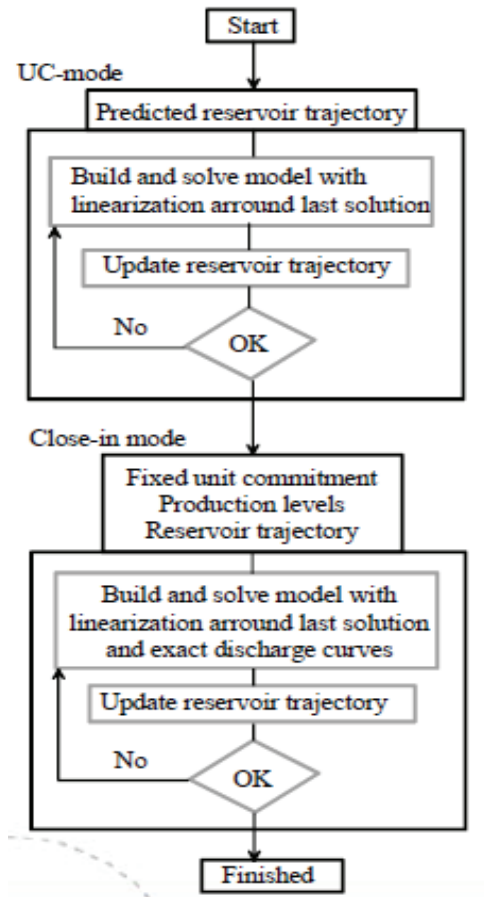
Noen av utfordringene med å modellere vannkraftsystemer, er at mange av beskrivelsene er ulineære eller diskrete. En kan se for seg følgende konfigurasjon av en stasjon:



Figur 13 Eksempel på stasjonskonfigurasjon [7]

I tunnelen fra inntaksmagasinet og trykksjakt(en) vil en ha falltap som beskrives ved en falltapskoeffisient. Hver trykksjakt kan ha en eller flere aggregater og aggregatene kan ha forskjellig størrelse og virkningsgradsbeskrivelse. Valg av aggregat er diskrete hendelser og endring av aggregatkombinasjon gir endret hydraulisk kobling i stasjonen.

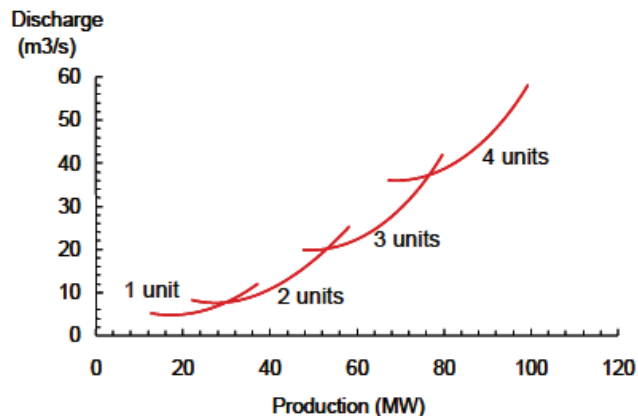
Virkningsgradsbeskrivelsene av aggregatene er ulineære og krever iterativ løsning av problemet. For å kunne ta hensyn til disse problemene benytter SHOP suksessiv Lineær Programmering og bruk av to modus. LP sørger for koblinger over tid, mens iterasjoner gjør det mulig å inkludere tilstandsavhengigheter som fallhøyde, falltap, flom og hydraulisk flyt. Ved å foreta optimaliseringen i to løkker, eller to modus, håndteres ulinearitetene i kraftstasjonene, som virkningsgrader og aggregatkombinasjoner.



Figur 14 Beslutningsprosessen i Shop [7]

Først blir det foretatt en optimalisering på hele modellen/stasjonen med en grov modell som tar for seg utvikling i magasin og finner optimal aggregatkombinasjon. Denne modusen kalles for "unit commitment mode". Deretter gjøres en ny optimalisering hvor valg av aggregat er fastsatt og detaljgraden er økt pga flere faste data og mindre avhengig av utvikling over tid. Denne modusen kalles for "close-in mode" [7].

I optimaliseringsprosessen benyttes en stasjonsrepresentasjon som viser sammenhengen mellom tapping og produksjon, PQ-kurve.



Figur 15 Sammenheng mellom tapping og produksjon for figur 13 [4]

Denne stasjonsrepresentasjonen benyttes også som nevnt i Vansimtap. Forskjellen ligger i at i Vansimtap må denne sammenhengen legges inn av bruker, mens SHOP beregner selv denne kurven ut fra virkningsgradskurver, falltap, fallhøyde, restriksjoner og planer. For gitt tapping sjekkes alle gyldige aggregatkombinasjoner, og i den iterative prosedyren oppdateres falltap i henhold til topologi (valg av aggregat, tunnel osv). Kombinasjonen med best virkningsgrad (høyest MW) velges. I denne oppgaven er virkningsgradsbeskrivelsen av kraftverket helt essensielt og dette vil bli nærmere diskutert videre i rapporten.

5. Hvordan beregne fremtidige driftsinntekter fra et tredje aggregat i Svorkmo kraftverk

5.1 Problematikken i Svorkmo kraftverk

Svorkmo kraftverk er som diskutert under kapittel 2 vanskelig å beskrive matematisk, på grunn av relativt store og varierende falltap i tilløpstunnelen. Bekkeinntak beliggende nærmere kraftstasjonen gjør at falltapene i sin helhet ikke kan beskrives ved en statisk falltapskoeffisient og total vannføring, men som en funksjon av vannføringen i bekkeinntak og total vannføring. I tillegg påvirkes turbinvirkningsgraden til aggregatene både av vannføring og netto fallhøyde. Til sammen gjør dette virkningsgradsbeskrivelsen av kraftverket vanskelig å implementere i simuleringsverktøy. Kompleksiteten til driftsimulering av vannkraft gjør at modellbeskrivelsen må forenkles slik at beregningene er gjennomførbare. Dette skaper et dilemma mellom nøyaktighet og hva som er mulig å gjennomføre.

En utbygging i Svorkmo kraftverk er et marginalt prosjekt på grunn av forholdsvis liten utbygging i antall MW sammenlignet med eksisterende kapasitet, samtidig som antall timer hvor det er aktuelt å kjøre det tredje aggregatet, er ukjent. Et tredje aggregat er tiltenkt å gi større fleksibilitet i vassdraget og heve totalvirkningsgraden til kraftverket. På grunn av falltapsproblematikken i Svorkmo kraftverk, vil nøyaktigheten av virkningsgradsbeskrivelsen av kraftverket være helt essensielt ved beregning av fremtidige driftsinntekter.

Resten av kapittelet vil ta for seg hvordan virkningsgradsbeskrivelsen av kraftverket på best mulig måte kan implementeres i aktuelle simuleringsverktøy, og hvilken metode som best vil ivareta nøyaktigheten.

5.2 Modellering av virkningsgradsbeskrivelser i aktuelle simuleringsprogrammer

Ved utbyggingsplanlegging er det vanlig å benytte Vansimtap til å simulere fremtidig produksjon og inntekter. Styrken til Vansimtap er den lange tidshorisonen og modelleringen av usikkerhet i tilsig og pris, men modellen gir små muligheter for nøyaktig

virkningsgradsbeskrivelser. På grunn av den komplekse virkningsgradsbeskrivelsen til Svorkmo kraftverk, er det aktuelt å benytte SHOP til å beregne driftsinntekter i tillegg til Vansimtap. SHOP har en mye høyere detaljeringsgrad enn Vansimtap, på grunn av sin deterministiske programoppbygging. Problemet med SHOP er derimot den korte tidshorizonten, sett i denne sammenhengen. Styrken til den ene modellen er svakheten til den andre og vice versa. Utfordringen er å utnytte styrkene til hver av modellene på en mest mulig hensiktsmessig måte.

5.2.1 Virkningsgradsrepresentasjon i Vansimtap

I Vansimtap representeres en kraftstasjon ved en energiekvivalent, maksimal vannføringskapasitet, brutto fallhøyde og en produksjonskurve (PQ-kurve). Produksjonskurven gir sammenhengen mellom vannføring og produksjon fra stasjonen. Virkningsgradsbeskrivelsen av kraftverket ligger aggregert i produksjonskurven og må omfatte alle virkningsgrader som har relevans for produksjonen; vannveier, turbin, generator og transformator. I en modul er det ikke mulig å legge inn eller representere bekkeinntak, slik at tilsiget til eventuelle bekkeinntak overføres til hovedmagasinet/inntaket.

I tilfellet for Svorkmo kraftverk vil en slik PQ-kurve ikke kunne beskrive virkningsgradsbeskrivelsen til kraftverket godt nok. Den totale vannføringen består av vannet fra Bjørset og vannet fra Svorka og Raubekken. Siden falltapene er sterkt avhengig av vannføringen i bekkeinntakene, vil virkningsgraden ved en spesifikk totalvannføring være avhengig av hvor mye vann som kommer fra bekkeinntakene. Stor vannføring i bekkeinntak reduserer falltapene i så stor grad at det vil kunne gi store utslag ved beregning av driftsinntekter. Uten å ta hensyn til bekkeinntak vil Vansimtap vise en lavere produksjon fra kraftverket enn tilfellet i virkeligheten. Dette kan resultere i at prosjektet skrinlegges, selv om det kunne ha vært god nok økonomi til å realiseres. Hvis en derimot antar at vannføringen i bekkeinntakene reduserer falltapene i stor grad, risikerer en å få for optimistiske resultater og prosjektet realiseres på bakgrunn av produksjon som ikke svarer til virkeligheten.

I Vansimtap er det mulig å legge inn inntil tre PQ-kurver for hver modul. Hver PQ-kurve knyttes til et tidsrom og en tilhørende energiekvivalent. Tilsiget til bekkeinntakene varierer fra time til time, men i grove trekk kan en dele opp tilsigsåret i årstider. På vinteren kommer nedbøren hovedsakelig som snø og vannføringen i bekkeinntakene vil være lav. Om våren

smelter snøen og vannføringen i bekkeinntakene er høy, i perioder vil tilsiget være større enn slukekapasiteten til bekkeinntakene. Om sommeren og høsten er tilsiget gitt av nedbøren, og vannføringen i bekkeinntakene vil ligge rundt en middelvei. Hvis en bruker dette og beregner tre PQ-kurver for hver sesongvariasjon av vannføring i bekkeinntak, vil en få en bedre beskrivelse av virkningsgraden enn ved bruk av kun en PQ-kurve, som ikke tar hensyn til bekkeinntak. På denne måten vil en kunne tilnærme innvirkningen bekkeinntakene har på virkningsgraden. Dette er en grov tilnærming til den virkelige beskrivelsen, men det nærmeste en kommer med de mulighetene som modellen gir for virkningsgradsbeskrivelse.

5.2.2 Virkningsgradsrepresentasjon i SHOP

SHOP har en matematisk oppbygning som inkluderer en mer detaljert beskrivelse av vannkraftsystemet og av hver kraftstasjon. For hver kraftstasjon kan en legge inn antall aggregater, størrelse på aggregatene, minimums- og maksimumseffektverdier på aggregatene, og minimums- og maksimumsvannføringsverdier for hvert av aggregatene. For hvert av aggregatene legges det inn fullstendige virkningsgradskurver, representert i tabell, for turbin og generator. For turbin er det mulig å legge inn flere virkningsgradstabeller referert til hver sin fallhøyde. Denne muligheten inkluderer turbinvirkningsgradens avhengighet av både vannføring og netto fallhøyde. Tapene i trykksjaktene inkluderes ved å legge inn falltapskoeffisient for hver sjakt. Vannveiene beskrives ved sin falltapskoeffisient, slik at falltapene beregnes for hvert tidsintervall på bakgrunn av vannføringen. Netto fallhøyde beregnes ut fra fyllingen av overliggende magasin, utløpskote og falltap i vannveier og trykksjakter.

SHOP gir også mulighet for modellering av bekkeinntak, men dette er en lite utbredt funksjonalitet. Funksjonen er for tiden ennå ikke kommersiell, men er under utprøving av Sintef Energiforskning. Bekkeinntak modelleres ved en egen fil i tillegg til modelltopologien, hvor falltapskoeffisient for vannveien og vannføringsserier legges inn spesifikt for bekkeinntaket. Vann fra bekkeinntak har prioritet i inntakstunnelen, og hvis vannføringen fra bekkeinntaket overskrider slukekapasiteten til tunnelen eller aggregatene, vil vannet fra bekkeinntakene flyte til hovedinntaket/magasinet. Dette er i overensstemmelse med tilfellet for Svorka- og Raubekkinntaket til inntakstunnelen til Svorkmo kraftverk. Foreløpig er det mulig å kun modellere ett bekkeinntak for hver stasjon. Siden Raubekken er et lite

bekkeinntak, vil feilen en gjør ved å se bort fra dette bekkeinntaket være liten. Svorka er ca 10 ganger større enn Raubekken, og er det bekkeinntaket med størst innvirkning på falltapene. Ut fra dette er det klart at Svorka er det bekkeinntaket som bør modelleres.

SHOP benytter virkningsgradsbeskrivelsene som bruker gir til programmet, til å aggregere en PQ-kurve som benyttes i optimaliseringsprosessen. Programmet beregner en ny PQ-kurve for hver optimalisering og tar hensyn til endrede tilstander i systemet. Den høye detaljeringsgraden gjør at falltapsproblematikken i Svorkmo kraftverk kan inkluderes i optimaliseringen av produksjon og inntekter. Dette vil kunne gi mer realistiske resultater og øke kvaliteten på inntektsberegningene for prosjektet. Problemet er at SHOP ikke kan optimalisere lengre tidsrom pga usikkerhet i tilsig og pris. Dermed må Vansimtap benyttes til langsiktig simulering hvor tilsig og pris modelleres stokastisk, mens SHOP kan simulere korte tidsrom med større detaljgrad. Utfordringen ligger da i å koble disse modellene sammen.

5.2.3 Andre aspekter ved Vansimtap og SHOP

Vansimtap har uke som tidsoppløsning og benytter inndata, som priser og tilsig, gitt i ukeverdier. Dette gjør at modellen ikke ser døgnvariasjoner. Hvis store deler av et uketilsig kommer på noen få dager og resulterer i flomtap, midles dette tilsiget over uken. Det gir en for optimistisk utnyttelse av vannet. Prisvariasjoner fra dag til dag vil kunne gi ulik disponering av vannet. Vansimtap har maksimalt 12 prisavsnitt, men alle avsnittene benyttes sjelden. Ved bruk av prisavsnitt, antar en at prisene varierer etter et likt mønster innad i uken over hele året. Mange prisavsnitt gir ofte en mer detaljert beskrivelse av prisvariasjonene enn det en har kunnskap om, og vil kunne gi urealistiske resultater. SimtapEffekt er en tilleggsfunksjon til Vansimtap, og er en deterministisk algoritme som optimaliserer vannverdier innenfor uken. SimtapEffekt optimaliserer på døgnbasis og vil kunne gi mer realistisk disponering av vannet innen uken avhengig av prisvariasjonene. Svorkmo kraftverk er et elvekraftverk og har ikke mulighet for lagring av vann. Vannet som kommer utnyttes eller slippes forbi, dermed vil ikke økte inntekter fra et tredje aggregat i stor grad komme fra effektkjøring for å utnytte prisvariasjoner. SimtapEffekt gir ikke mulighet for økt detaljeringsgrad når det kommer til virkningsgradsbeskrivelse av kraftverkene. På bakgrunn av dette ble ikke SimtapEffekt benyttet i denne oppgaven, da funksjonen ikke er direkte relevant for dette kraftverket.

Et annet aspekt som Vansimtap ikke modellerer, er effekten av tidsforsinkelser i vassdraget. Da Bjørsetdammen ikke kan lagre mye vann, vil kjøringen av Svorkmo kraftverk være avhengig av produksjonsvann fra oppstrøms kraftverker. I Vansimtap ”overføres” produksjonsvannet fra en modul til en annen umiddelbart, mens det i virkeligheten tar flere timer før vannet fra nærmeste overliggende kraftstasjon kommer til Bjørset. Dette gjør at Vansimtap simulerer produksjon fra en viss mengde vann på et tidspunkt hvor vannet i virkeligheten ikke har kommet til inntaksmagasinet. Dette har innvirkning på disponeringen av vannet i forhold til priser og kriteriet om å maksimalisere inntekter. I denne oppgaven ses det bort fra prisavsnitt i prisrekken, og mangel på modellering av tidsforsinkelse vil ikke påvirke resultatet i nevneverdig grad når tidsoppløsningen er på ukebasis. I Vansimtap vil feilen en gjør ved å utelukke tidsforsinkelser komme bort i usikkerheten i pris, tilsig og tilnærmingen av virkningsgradskurver. SHOP har tidsintervall på timebasis og virkningen av tidsforsinkelser vil være større. For hvert segment av vannveiene er det i SHOP mulig å legge inn tidsforsinkelser og dette benyttes i optimaliseringen av produksjonen.

5.2 Aktuell fremgangsmåte

I denne oppgaven er det valgt å bruke Vansimtap som strategisk ”beslutter” og bruke resultater fra Vansimtap som inndata til SHOP. SHOP optimaliserer 2 uker i gangen basert på data fra Vansimtap. På denne måten vil en få optimalisert resultatene fra Vansimtap for et gitt tidsrom i SHOP, og få med virkningen fra falltapsproblematikken i Svorkmo kraftverk, bekkeinntak, tidsforsinkelser og variasjoner i pris på timebasis. Resultatene fra SHOP sammenlignes med resultatene fra Vansimtap, til å undersøke om Vansimtap gjør for store feil til at en kan benytte resultatene videre. Spørsmålet vil være om den lave detaljeringsgraden i Vansimtap fører til for optimistiske eller for lave produksjonsresultater for aggregat 3 i Svorkmo kraftverk, eller om den ikke har noen innvirkning i det hele tatt.

Fem bolker på to uker i gangen, fordelt over året, er valgt ut til å kontrollere resultatene fra Vansimtap. Kontrollsituasjonene er plukket ut på bakgrunn av tilsig, pris og tidspunkt på året, slik at de kan representere de fleste karakteristiske produksjonssituasjonene for Svorkmo kraftverk. Dette gir mulighet til å se om virkningen av et tredje aggregat i ulike produksjonssituasjoner, gir ønsket resultat. De ulike produksjonssituasjonene er vist i tabell 5.

Situasjon	Uke	År	Karakteristikk
Vintervannføring	10-11	1986	Lavt tilsig og tapping fra magasiner
Vårflom	24-25	1965	Høyt tilsig pga snøsmelting og tomme magasiner
Sommervannføring	31-32	1994	Middels til lavt tilsig og fylling av magasiner
Høstvannføring	41-42	1971	Middels tilsig og nesten fylte magasiner
Tidlig vintervannføring	49-50	1978	Middels tilsig og fylte magasiner

Tabell 5 Situasjoner som kontrollregnes i SHOP

Ukene er plukket ut fra en oversikt over alle uker for 70 tilsigsår, og det er valgt å ha spredning i hvilke tilsigsår ukene plukkes fra. Derfor er ingen av situasjonene over fra samme år. Hvilke år som velges ut er helt tilfeldig, hovedkriteriet er tilsiget og tidspunkt på året.

I situasjon "Vintervannføring" vil tilsiget til Bjørset og Svorka være lave, og produksjonen fra Svorkmo kraftverk vil være avhengig av kjøring av oppstrøms kraftverk. I en slik situasjon vil falltapene kunne bli relativt høye pga liten vannføring i bekkeinntak. Om våren er tilsiget til Bjørset og Svorka høye og en vil få en situasjon hvor kraftverket produserer maks effekt. I en slik situasjon vil en kunne undersøke om et tredje aggregat vil gi økt produksjon pga økt kapasitet eller om gevinsten "spises opp" av falltap. Sommervannføringen er gitt av nedbøren og varierer fra lav til middels. Magasinene fylles i denne perioden, slik at tilsiget til Svorkmo kraftverk er hovedsakelig gitt av naturlig tilsig fra nedbørsfeltet. I slike situasjoner vil tilsiget periodevis bli så lite at aggregat 2 ikke kan opprettholde en god virkningsgrad, og det tappes magasin vann for å øke tilsiget tilstrekkelig. Et tredje aggregat vil heve virkningsgraden ved lave vannføringer og redusere behovet for tapping av magasin vann om sommeren. I SHOP vil en kunne undersøke om aggregat 3 kjøres i slike situasjoner og evt hvor mange timer det kjøres. Om høsten øker vanligvis tilsiget pga økt nedbør, og gir middels til høye vannføringer. I en slik situasjon kan en undersøke hvilke aggregatkombinasjoner som benyttes og denne

situasjonen vil representere en gjennomsnittlig kjøring av kraftverket. I tillegg er det valgt å se på situasjonen ”Tidlig vinter”. I denne tidsperioden er magasinene oftest fulle og tilsiget varierer med nedbør og temperaturer.

Magasinfylling brukes som kobling mellom SHOP og Vansimtap, slik at SHOP styres av strategien fra Vansimtap. For hver av situasjonene som skal optimaliseres i SHOP, må følgende data hentes ut fra Vansimtap og legges inn som inndata i SHOP:

- Tilsig til alle magasiner/kraftverk
- Pris
- Startmagasin
- Sluttmagasin

Hvis resultatene fra Vansimtap og SHOP skal kunne sammenlignes, må betingelsene for simulering/optimalisering være de samme. Tilsig, pris og startmagasin angir tilstanden til vannkraftsystemet for gitte situasjon. Ved å legge inn magasinlakk/sluttmagasin i SHOP, vil optimaliseringen søke den beste løsningen som bruker like mye vann som Vansimtap. Straffefunksjoner for avvik i magasinfylling sørger for at SHOP sikter seg inn mot sluttmagasinfyllingen, men samtidig gir rom for små avvik for at en løsning skal kunne realiseres.

Den mest ideelle måten å gjennomføre en verifisering av Vansimtapresultatene på, er å koble Vansimtap og SHOP sammen med et script som har automatisert optimaliseringene i SHOP. For hvert tidsskritt i Vansimtap (uke), optimaliserer SHOP på bakgrunn av magasinnivå, tilsig og pris. For hver uke gis startmagasin, sluttmagasin, tilsig og prisrekke til SHOP, hvor SHOP optimaliserer den beste disponeringen av vannet innenfor den uken. På denne måten kan en optimalisere alle tilsigsårene i Vansimtap i SHOP, og utnyttet modellbeskrivelsen i SHOP til å gi mer realistiske produksjons- og inntektsresultater.

6. Modellering av ny produksjon i Svorkmo kraftverk

Dette kapitlet beskriver metoden og hvilke inndata som er benyttet ved modellering av ny produksjon i Svorkmo kraftverk. For å beregne driftsinntekter fra ny produksjon i Orklavassdraget, må en ha en referansemodell. Referansemodellen representerer kraftsystemet slik det er i dag, mens en utbyggingsmodell representerer kraftsystemet med ny produksjon. Det utføres simulering i Vansimtap og optimalisering i SHOP for begge modeller. Ved å sammenligne resultater for hver av modellene, vil en kunne se om det er hensiktsmessig å gå videre med dette prosjektet.

6.1 Modeller

6.1.1 Referansemodell i Vansimtap

Referansemodellen brukt i Vansimtap ble gitt av TrønderEnergi. Modellen består av 15 moduler som beskriver elementene som inngår i vassdraget, kraftstasjoner, magasiner, vannoverføringer osv. I denne oppgaven er de opprinnelige dataene for kraftsystemet, unntatt Svorkmo kraftverk, beholdt. Referansemodellen inneholdt kun en enkelt produksjonskurve for Svorkmo kraftverk. Som diskutert under kapittel 5, vil en enkelt kurve ha for dårlig beskrivelse av virkningsgraden til kraftverket. Virkningsgradskurver tidligere benyttet i TrønderEnergi, inkluderer ikke virkningen bekkeinntak har på falltapene, slik at denne kurven erstattes med nye kurver. Etter en simulering i Vansimtap, hentes resultatene ut og gjennomsnittlig verdi av energiekvivalent for 70 tilsigsår velges til ny verdi på stasjonens energiekvivalent. Deretter simuleres vassdraget på nytt.

6.1.2 Referansemodell i SHOP

TrønderEnergi bruker Powel AS som leverandør av simuleringsverktøy til bruk i produksjonsplanlegging. Powel har utviklet et grensesnitt, hvor tidsserier av målinger, priser, tilsigsprognoser osv, legges i databaser og brukes i simuleringsprogrammene. På grunn av mangel på lisenser for bruk av SHOP ved NTNU, ble SHOP hos TrønderEnergi brukt. Ekstern tilkobling til serverne til TrønderEnergi sørget for tilgang til deres databaser og programmer.

Det ble bygget en egen modell av vassdraget til denne oppgaven. Modellen er en kopi av deres egen modell, brukt daglig til produksjonsplanlegging. I forbindelse med prosjektoppgaven utført høsten 2008, ble falltapskoeffisientene til vannveiene og trykksjaktene i Svorkmo kraftverk revidert. De nye verdiene er i dag ikke i bruk i SHOP-modellen, og disse ble endret ved opprettelse av den nye modellen. Topologien til Svorkmo kraftverk ble endret til å inkludere tre aggregater, med tilsvarende virkningsgradskurver for turbin og generator. Ved optimalisering av referansemodellen, ble aggregat 3 satt til revisjon. Bekkeinntaket Svorka ble modellert i en egen ekstrasfil som leses i tillegg til grensesnittet. Det var i starten usikkert om dette var mulig pga at det ikke hadde blitt prøvd før, men det fungerte. Siden bekkeinntaket beskrives av en fil, er det ikke mulig å hente ut spesifikke resultater for bekkeinntaket i grensesnittet.

6.1.3 Utbyggingsmodell i Vansimtap

Vansimtap tar ikke hensyn til antall aggregater i en stasjon, men kun maksimal slukeevne, energiekvivalent og produksjonskurver. Produksjonskurven angir hvor mye MW som produseres fra gitt vannføring. Modelleringen av et tredje aggregat gjøres ved å beregne nye PQ-kurver for tre aggregat i kraftverket, samtidig som maksimal slukeevne økes. På grunn av høye falltap er det urealistisk å legge sammen maksimal slukeevne for hvert av aggregatene. Falltapene vil redusere trykket slik at maksimalvannføringskapasitet reduseres. Siden Vansimtap ikke modellerer falltap, må bruker ta høyde for dette og tilpasse maksimal slukeevne til en realistisk verdi. Energiekvivalenten for kraftverket endres på samme måte som beskrevet for referansemodellen.

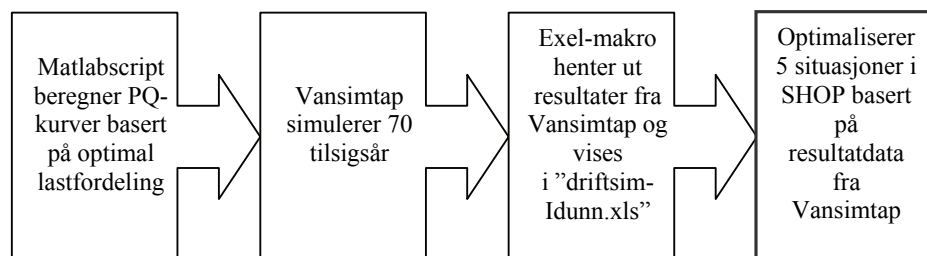
6.1.4 Utbyggingsmodell i SHOP

Utbyggingsmodellen brukt i SHOP er lik referansemodellen, men aggregat 3 settes ikke til revisjon. SHOP beregner selv kapasiteten, avhengig av hvilke aggregat som er tilgjengelige. På denne måten trenger en ikke å legge inn noen andre data for at modellen inkluderer det tredje aggregatet i Svorkmo. Det må poengteres at det ikke er mulighet til å ha forskjellig brutto fallhøyde på aggregatene. Dermed vil det tredje aggregatet i Svorkmo ha like stor brutto fallhøyde som aggregat 1 og 2. Dette kan påvirke resultatene, ved at aggregat 3 får bedre utnyttelse av vannet enn i virkeligheten, siden aggregat 3 forutsettes plassert høyere og vil av den grunn tape fallhøyde.

6.2 Metode

Som diskutert under kapittel 5, benyttes både Vansimtap og SHOP til å simulere/optimalisere resultater. Vansimtap brukes som strategisk beslutter, og resultater fra Vansimtap brukes som inndata til SHOP. Vansimtap trenger PQ-kurver, energiekvivalent og vannføringskapasitet som inndata til Svorkmo kraftverk, i og med at den opprinnelige beskrivelsen ikke var god nok. I prosjektoppgaven fra høsten 2008, ble det utviklet et beregningsscript i Matlab for å beregne optimal lastfordeling mellom eksisterende aggregater. Scriptet beregnet også produksjonskurver for de eksisterende aggregatene for å se på hvordan bekkeinntakene påvirket produksjonen. Dette scriptet ble i denne oppgaven videreutviklet til å kunne inkludere et tredje aggregat, slik at det kunne beregne PQ-kurver til bruk i Vansimtap. Hvordan scriptet fungerer og hvilke antakelser det bygger på, beskrives i seksjon 6.3.2.

Metoden brukt for å simulere/optimalisere produksjonen i Orklavassdraget både med og uten et tredje aggregat i Svorkmo, beskrives i grove trekk i figur 16 nedenfor. De ulike prosessene i metoden beskrevet under, forklares nærmere senere i dette hovedkapittelet.



Figur 16 Metode for beregning av resultater

6.3 Beregning av inndata til Vansimtap

Vansimtap trenger, foruten selve modellbeskrivelsen, inndata av tilsig, ny stasjonsbeskrivelse av Svorkmo kraftverk og prisrekke. Tilsiget leses fra det historiske tilsigsarkivet, Hydark, stasjonsbeskrivelsen må beregnes av bruker, og prisrekken leses direkte fra fil. Prisrekken er nærmere beskrevet under kapittel 7, og vil derfor ikke kommenteres videre i dette kapittelet. Falltapsproblematikken i Svorkmo kraftverk, gjør at beregning av PQ-kurver må ta hensynt til bekkeinntak, og at virkningsgradskurvene til turbinene er avhengig av netto fallhøyde.

6.3.1 Virkningsgradskurver

Virkningsgradsbeskrivelsen av kraftverket, er i denne oppgaven helt essensiell pga dens virkning på resultatene. I prosjektoppgaven fra høsten 2008 ble det laget en ny virkningsgradsbeskrivelse for turbinene, på bakgrunn av HQ-kurver for turbinene (se vedlegg C), til bruk i beregninger. Tidligere hadde ikke virkningsgradsbeskrivelsen for turbinene tatt hensynt til store variasjoner i netto fallhøyde. Virkningsgradsbeskrivelsen brukt i prosjektoppgaven 2008, benyttes også gjennom hele denne oppgaven. For å kunne bruke virkningsgradskurvene til beregning av PQ-kurver, måtte de ekstrapoleres i endene. Det opprinnelige datagrunnlaget for opprettelse av nye kurver, hadde for liten utstrekning i vannføring sammenlignet med utstrekningen i virkeligheten. Ekstrapoleringen ble antatt lineær, da en ikke har grunnlag for å anta en annen utvikling. Ekstrapoleringen førte til nye kurvetilpassninger, og disse ble da oppdatert i beregningene. Henviser til prosjektrapport for nærmere beskrivelse av temaet og vedlegg E for oversikt over virkningsgradskurver for aggregat 1, 2 og 3 benyttet i oppgaven.

Virkningsgradskurvene for generator 1 og 2, er lik som i prosjektoppgaven.

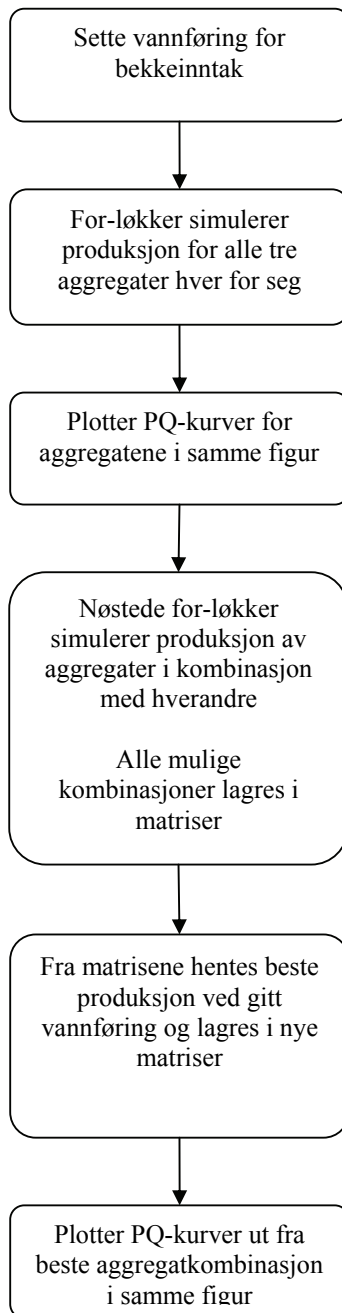
Virkningsgradsbeskrivelsen av aggregat 3 er beskrevet i kapittel 3. Antar også at en ny transformator til aggregat 3, har samme tapsprosent som den eksisterende transformatoren, altså en tapsprosent på 0,8 %. Dette er gjennomsnittstap ved jevn belastning av transformatoren, og antas derfor som statistisk i beregningene. Denne informasjonen er gitt av sivilingeniør Lars Olav Hoset.

6.3.2 Beregning av PQ-kurver

Matlabscriptet utviklet i prosjektoppgaven er utvidet og modifisert noe, slik at det kunne brukes til beregning av PQ-kurver. Hovedendringene er:

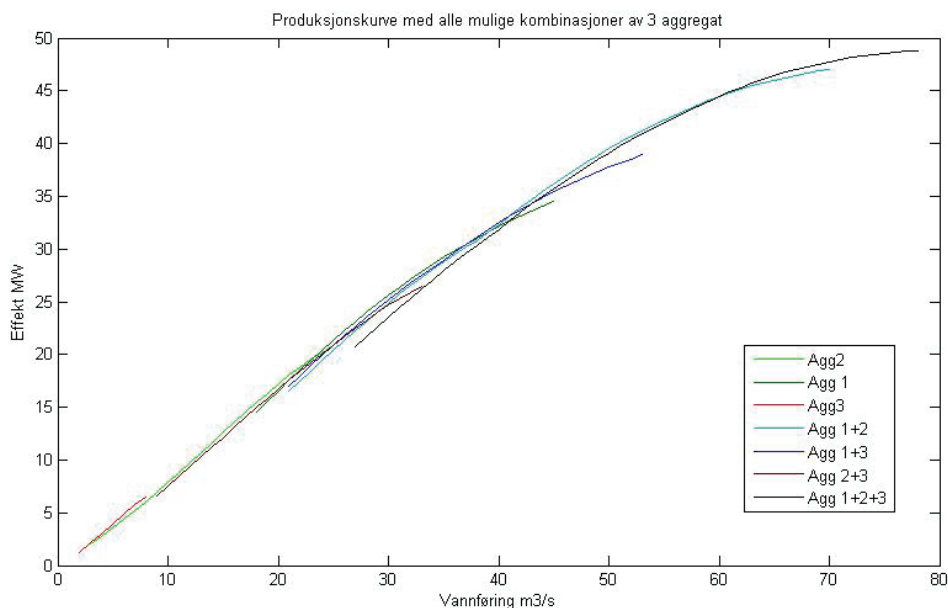
- Oppdaterte virkningsgradskurver for turbinene (jfr kap 6.3.1).
- Rutine for beregning av produksjonskurve for aggregat 3.
- Rutine for beregning av optimal produksjonskurve for alle kombinasjoner med aggregat 3.

Scriptet kan ses i sin helhet i vedlegg F. Figur 17 under, viser hovedflyten i scriptet.



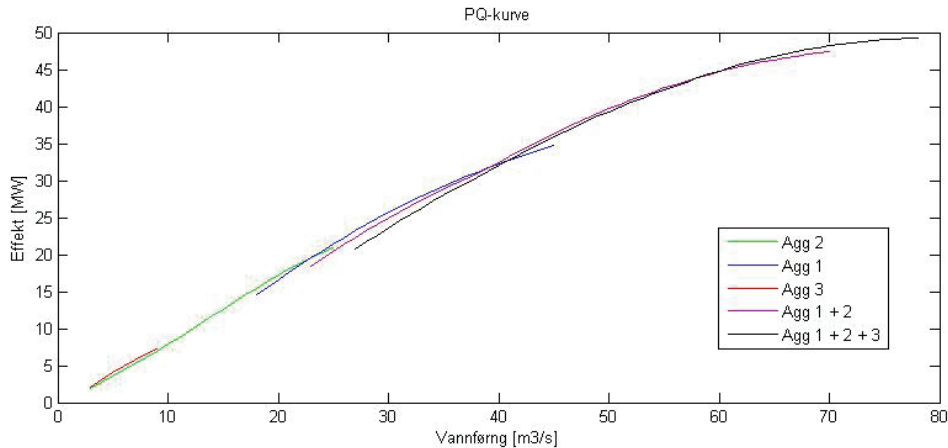
Figur 17 Flyt i Matlabscrip

Det beregnes produksjonskurver for alle aggregatene hver for seg, og for alle mulige kombinasjoner av de tre aggregatene. Alle kurvene plottes så i samme figur, slik at total PQ-kurve for kraftverket er summen av alle kurvene beregnet av skriptet. Beregningene av produksjonskurver utføres på basis av optimal lastfordeling mellom aggregatene. Det antas at kraftverket til en hver tid kjøres på en aggregatkombinasjon som gir best mulig virkningsgrad. Figur 18 viser et eksempel på produksjonskurver beregnet av skriptet.



Figur 18 Produksjonskurve med alle kombinasjoner av 3 aggregat

Kurvene ligger tett og er vanskelig å skille fra hverandre. For å lettere kunne hente ut verdier fra kurvene, ble noen av kurvene tatt bort. Bakgrunnen for det er at enkelte kurver ligger under andre kurver og vil ikke representere beste aggregatkombinasjon. Dette gjelder kombinasjon av aggregat 1 og 3, samt 1 og 2. Figur 19 under viser et eksempel på produksjonskurve der nevnte aggregatkombinasjoner er utelukket.



Figur 19 PQ-kurver for foretrukne aggregatkombinasjoner

Aggregat 3 har lavere brutto fallhøyde enn aggregat 1 og 2, og vil dermed ikke få like god utnyttelse av vannet. Slik at ut fra disse kurvene, vil aggregat 3 ha størst mulighet for inntjening ved lave vannføringer og ved kjøring av alle aggregatene sammen. Som en ser av figur 19, vil ikke produksjonen øke betraktelig ved kjøring av aggregat 3 i tillegg til aggregat 1 og 2, sammenlignet med kjøring av kun aggregat 1 og 2. Økte falltap, pga økt slukeevne, ”spiser” opp noe av den økte produksjonskapasiteten. Den lille økningen i produksjon er likevel bedre enn å la vann renne forbi kraftstasjonen.

Ved hjelp av Matlabscriptet, ble det laget tre PQ-kurver for både referansemodellen og utbyggingsmodellen. I samarbeid med sivilingeniør Lars Olav Hoset, ble det valgt tidsintervaller for hver av PQ-kurvene, samt verdi for vannføringen i bekkeinntakene for hver kurve. Tidsrommet og verdien for vannføringen i bekkeinntak ble bestemt fra gjennomsnittsmålinger for vannføringen i bekkeinntakene, hentet fra oversiktsmålinger i TrønderEnergis databaser.

Et viktig aspekt ved utforming av PQ-kurver til Svorkmo kraftverk, er å finne punktet hvor aggregatene kan begynne å produsere effekt. Ved tomgangsvannføring vil aggregatene kunne gå rundt, men ikke produsere noe effekt (tap forbruker det som evt genereres). Siden kraftverket er et elvekraftverk, vil det kjøres selv ved lave vannføringer og lav virkningsgrad. Alternativet er å slippe forbi vann, og når gevinsten ved å produsere er større enn slitaskostnaden, kjøres aggregatene ned mot tomgangsvannføring. Tomgangsvannføringen brukes som punktet hvor minste aggregat kan starte, og er satt til 3 m³/s for aggregat 2 og 1

m³/s for aggregat 3 [9]. I Vansimtap legges PQ-kurvene inn som tabeller. PQ-kurvene vises i tabellform i tabell 6 og 7, og som kurver i figur 20 og 21.

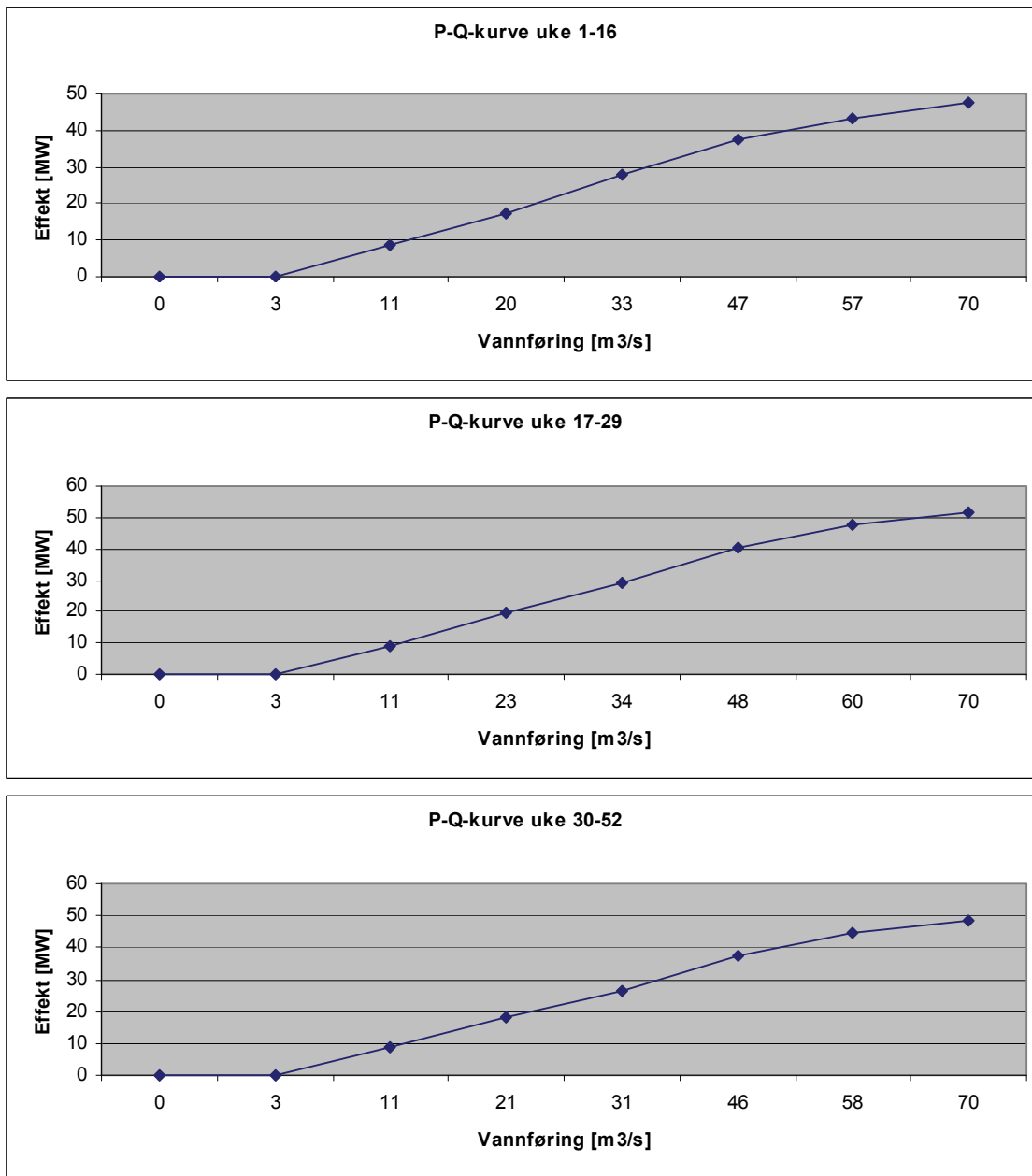
Qsvorka = 2,4 m ³ /s		Qsvorka = 20 m ³ /s		Qsvorka = 6 m ³ /s	
Uke 1-16		Uke 17-29		Uke 30-52	
Effekt [MW]	Vannføring [m ³ /s]	Effekt [MW]	Vannføring [m ³ /s]	Effekt [MW]	Vannføring [m ³ /s]
0	0	0	0	0	0
0,01	3	0,01	3	0,01	3
8,824	11	9	11	8,838	11
17,21	20	19,77	23	18,11	21
27,94	33	29,42	34	26,64	31
37,73	47	40,24	48	37,45	46
43,46	57	47,74	60	44,58	58
47,42	70	51,55	70	48,38	70

Tabell 6 PQ-kurver for referansemodell

Qsvorka = 2,4 m ³ /s		Qsvorka = 20 m ³ /s		Qsvorka = 6 m ³ /s	
Uke 1-16		Uke 17-29		Uke 30-52	
Effekt [MW]	Vannføring [m ³ /s]	Effekt [MW]	Vannføring [m ³ /s]	Effekt [MW]	Vannføring [m ³ /s]
0	0	0	0	0	0
0,01	1	0,01	1	0,01	1
2,144	3	2,32	3	2,15	3
6,587	8	6,78	8	6,592	8
15,45	18	19,77	23	15,5	18
27,21	32	30,15	35	25,84	30
39,69	50	41,71	50	38,86	48
46,82	65	51,32	67	48,35	67
49,29	78	54,56	78	50,5	78

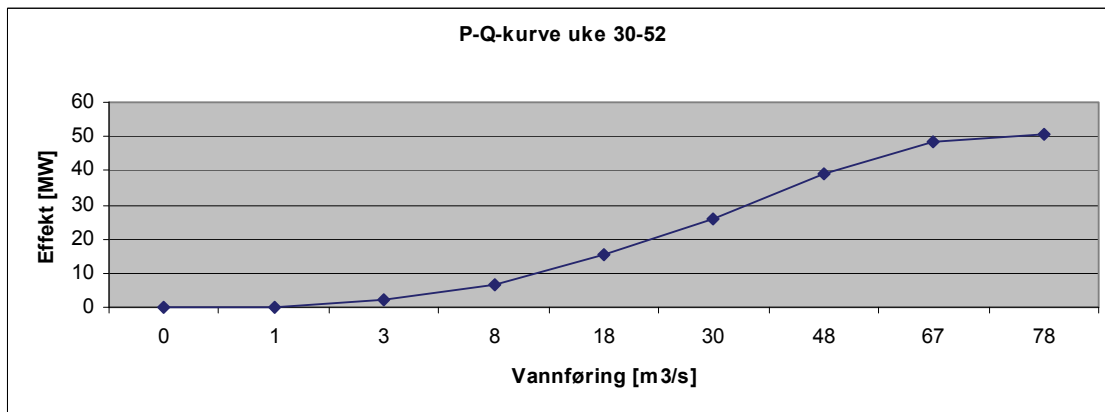
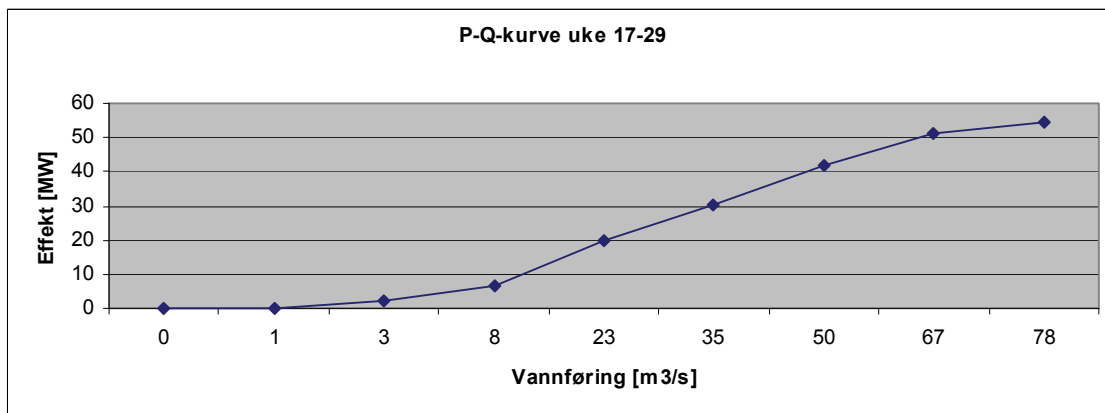
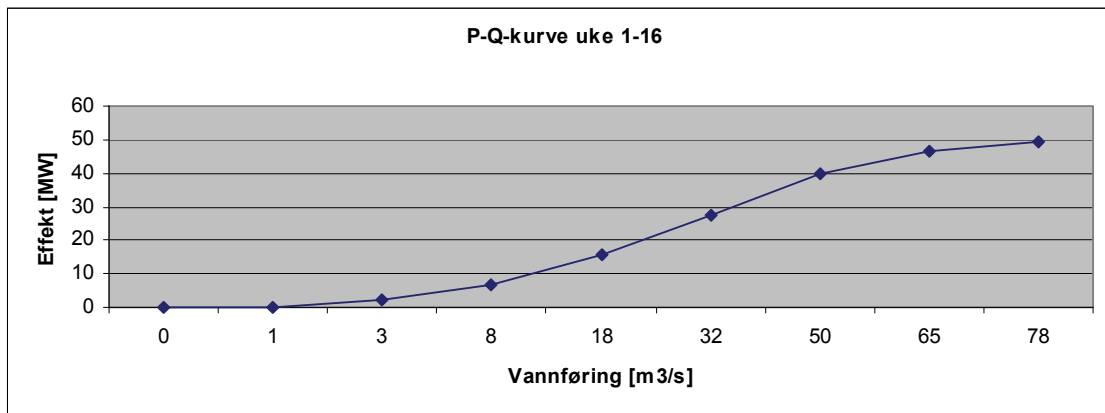
Tabell 7 PQ-kurver for utbyggingsmodell

Det må kommenteres at maksimal slukeevne er satt til 78 m³/s, og ikke 79 m³/s, som er teoretisk maksimal slukeevne. Grunnen til dette er som nevnt under kapittel 6.1.3, at de høye falltapene vil redusere slukekapasiteten pga redusert trykk. Siden Vansimtap ikke modellerer falltap, vil programmet tro at det er fullt mulig å produsere maks effekt ved 79 m³/s. Ved å redusere maksimal slukeevne med 1 m³/s, tar en høyde for fenomenet, og reduserer muligheten for urealistiske resultater.



Figur 20 PQ-kurver for referansemodell

Kurvene starter i origo for å tvinge Vansimtap til å kjøre Svorkmo kraftverk selv ved lave vannføringer og lav energiekvivalent, fordi det er virkeligheten for Svorkmo kraftverk. Ellers hadde Vansimtap i større grad stoppet aggregatene og tappet vann forbi kraftverket i påvente av høyere vannføringer.



Figur 21 PQ-kurver for utbyggingsmodell

En ser av kurvene over at produksjonen flater ut ved vannføringer over 65 m³/s. Falltapene er kvadratisk økende med vannføringen, og virkningen av 8-13 m³/s ekstra vannføring, fører til lavere totalvirkningsgrad. Forskjellen mellom maksimal produksjon i PQ-kurver for uke 1-16 og 17-29, viser hvor stor innvirkning bekkeinntakene har på falltapene og følgelig produksjonen.

6.4 Håndtering av simuleringsresultater fra Vansimtap

Resultatene fra Vansimtap hentes ut av et script kalt ”kurvtegn-idunn”, se vedlegg G. Fila er gitt av TrønderEnergi gjennom siv.ing. Lars Olav Hoset. Fila ble modifisert til å hente ut resultatfiler for alle modulene i KVO-modellen. Resultatfilene legges i en mappe kalt Simres, hvor de senere hentes fra. En Exel-makro kalt ”driftsim-Idunn-1.xls” henter resultatene fra simuleringen fra Simres-mappen, behandler dem og presenterer dem i regneark. Exel-makroen er laget av TrønderEnergi, men er modifisert til denne oppgaven. Hjelp med tilpassing av Exel-makroen er gitt av siv.ing Lars Olav Hoset. Etter hver simulering lagres Exel-arket for gitt modell, og filene vil være tilgjengelige i en zip-mappe som følger oppgaven. Filene er ikke åpne for allmennheten, men filene kan leses av sensorer med tillatelse gitt av TrønderEnergi. Filene vil også gi tilgang til makroer som utfører beregningene, hvis dette er av interesse.

De viktigste resultatene fra ”driftsim-Idunn-1.xls” er:

- Produksjon for hele vassdraget inkludert prosentiler.
- Produksjonsprosentiler for hver stasjon.
- Magasinfyllingsprosentiler for hvert magasin.
- Magasinfylling gitt i m.o.h. for hvert magasin.
- Tilsig til magasiner/kraftstasjoner.
- Prisrekke benyttet i Vansimtap.
- Vanntap for hele vassdraget/kraftsystemet.
- Oversikt over energiekvivalent brukt i beregningene ukesvis for Svorkmo kraftverk.
- Produksjonsverdi for hele vassdraget gitt i M Euro.
- Produksjon og vanntap for hver modul.

Resultatene fra Vansimtap benyttes direkte som resultater og som inndata til SHOP, til kontrollregning av Vansimtap for fem ulike driftssituasjoner.

6.5 Inndata til SHOP

For at SHOP skal kunne detaljregne tappestrategien fra Vansimtap, trenger SHOP inndata fra Vansimtap. De inndata som SHOP trenger er som nevnt tidligere: tilsig til alle magasin for gitte periode, priser for gitte periode, startmagasin og sluttmagasin. Siden SHOP har tidsoppløsning på time, må verdiene hentet fra Vansimtap tilpasses tidsoppløsningen til SHOP.

Tilsiget i Vansimtap er gitt på ukebasis, mens SHOP benytter tilsig gitt per time. Hvordan et evt tilsig varierer fra time til time, har en ingen mulighet til å forutse, og store variasjoner i tilsig på kort tidsrom skjer ikke ofte. Derfor er det valgt å la tilsiget være flatt (likt fra time til time) innad i uken. Prisrekken benyttet i SHOP er beskrevet i kapittel 7, og tar utgangspunkt i prisrekken benyttet i Vansimtap. Tabell 8 og 9 viser inndataene for tilsig og pris som er brukt i SHOP for de ulike produksjonssituasjonene. Situasjonene er som nevnt under kapittel 5, valgt ut fra tidspunkt på året, tilsig og pris. Det er forsøkt å finne uker som karakteriserer ulike produksjonssituasjoner fordelt over året, slik at forskjellige tilstander kan kontrolleres i SHOP. Det må kommenteres at prisene er middelpriis over uken, men dette kommenteres mer utdypende i kapittel 7.

	Vintervannføring		Vårvannføring		Sommervannføring		
	ÅR:	1986	ÅR:	1965	ÅR:	1994	
UKE:	10	11	24	25	31	32	
TILSIG Svorka	0,801	1,036	50,575	77,510	2,202	2,179	[m3/s]
TILSIG Bjørset	1,641	2,121	103,549	158,696	9,335	3,694	[m3/s]
TILSIG Grana	0,632	0,791	39,189	61,633	4,085	2,117	[m3/s]
TILSIG Ulset	0,240	0,235	12,314	24,559	3,089	3,059	[m3/s]
TILSIG Litjossen	0,304	0,271	15,808	31,541	3,963	3,922	[m3/s]
TILSIG Brattset	0,335	0,298	17,449	34,817	4,384	4,336	[m3/s]
PRIS:	38,308	38,072	39,311	39,538	39,421	39,477	[[EUR/MWh]

Tabell 8 Tilsig og pris for situasjonene "Vintervannføring", "Vårvannføring" og "Sommervannføring"

	Høstvannføring		Tidlig vinter- vannføring		
	ÅR:	1971	ÅR:	1978	
UKE:	41	42	49	50	
TILSIG Svorka	15,239	23,688	10,909	5,515	[m3/s]
TILSIG Bjørset	31,199	48,498	28,951	18,926	[m3/s]
TILSIG Grana	13,485	17,567	8,292	4,308	[m3/s]
TILSIG Ulset	9,725	2,956	2,067	1,496	[m3/s]
TILSIG Litjossen	12,501	3,782	2,660	1,916	[m3/s]
TILSIG Brattset	13,799	4,170	2,920	2,116	[m3/s]
PRIS:	47,517	46,821	43,014	42,747	[[EUR/MWh]

Tabell 9 Tilsig og pris for situasjonene "Høstvannføring" og "Tidlig vintervannføring"

Tilsiget ble lagt inn i tidsserier i databasen til TrønderEnergi, slik at tilsiget ble koblet med et gitt tidspunkt (dato). Denne måten sparer tid, ved at SHOP finner dette tilsiget når riktig dato er satt i vinduet "Simuleringsperiode". Dermed slipper en å legge inn tilsiget hver gang SHOP skal optimalisere. Tilsiget til Svorka er lagt inn i fila som beskriver bekkeinntaket. Fila vises i vedlegg H.

Koblingen mellom Vansimtap og SHOP er magasinifylling. Dette gjør at begge programmene har omtrent like store tappemengder av vann tilgjengelig for simulering/optimalisering. Det kan være forskjeller i hvordan de to programmene beregner magasinifylling ut fra kotehøyder, slik at en må ta det i betraktning ved vurdering av resultatene. Resultatet ligger i forskjellen mellom hvordan Vansimtap og SHOP utnytter ressursene, og hvilket program som betraktes som mest nøyaktig. Vansimtap tar beslutningen om optimal tapping for gitt tilsig, pris, og utsiktene for framtidige priser og tilsig. SHOP detaljoptimaliserer tappefordelingen for hver time, med fullstendige virkningsgradsbeskrivelser og priser på timebasis.

Modellen av Orklavassdraget i SHOP tar ikke hensyn til minstevannføringskrav i modulene. Det er gjort for å minimere antall restriksjoner, slik at SHOP lettere kan finne en optimal løsning når det legges inn andre harde restriksjoner. Ved mange restriksjoner vil ikke SHOP få frihet til å optimalisere ved at systemet blir overbestemt, og SHOP vil ikke finne en optimal løsning. Dette vil gi en usikkerhet ved sammenligning av resultater fra Vansimtap og SHOP, fordi SHOP ser mer tilgjengelig produksjonsvann enn Vansimtap. Dermed er både referansemodellen og utbyggingsmodellen simulert på nytt i Vansimtap hvor alle minstevannføringer er tatt bort. Tilsig og priser er de samme, og vil være likt for simulering både med og uten minstevannføringer. Produksjonsresultater vil derimot endres, og det er resultatene fra disse simuleringene som må brukes ved sammenligning av resultater fra Vansimtap og SHOP. Med endret produksjon vil magasinifyllingen også endres. Magasinkotene fra simulering uten minstevannføringskrav må derfor brukes som inndata til SHOP. Dette er ikke en god løsning, siden minstevannføringskravet påvirker hvor mye vann som kan utnyttes, og dermed hvor en ligger i PQ-kurvene i en simulering/optimalisering av produksjon. Dette minker også muligheten til å kunne se om et tredje aggregat vil hjelpe på virkningsgradsbeskrivelsen til Svorkmo ved lave sommervannføringer. Mer tilgjengelig tid ville gitt mulighet til å gå over SHOP-modellen, og evt tilpasset straffefunksjoner, slik at SHOP kunne få større frihet til å finne en løsning selv ved bruk av minstevannføringskrav. Beklageligvis gir SHOP-grensesnittet, liten frihet til å endre på parametre for en som ikke har

tilgang til den fullstendige modellbeskrivelsen. Dette er et viktig moment til forbedring i denne masteroppgaven.

De opprinnelige resultatene fra Vansimtap benyttes til å beregne årlige driftsinntekter og produksjon for vassdraget. Simuleringene uten minstevannføringskrav benyttes til å sammenligne resultater mellom Vansimtap og SHOP, for å verifisere modellbeskrivelsen til Vansimtap.

Det må kommenteres at det ikke var mulig å legge inn flere virkningsgradskurver for turbin i SHOP i disse simuleringene. SHOP hadde vanskeligheter med å linearisere kurvene og interpolere mellom dem. Flere aggregater med forskjellige størrelser og kurver, gjør matematikken komplisert og beskrivelsen for vanskelig. Resultatene fra optimaliseringene med bruk av flere kurver for hver turbin ble ikke realistiske og brukbare. Det ble derfor valgt å bruke virkningsgradskurver ved nominell effektiv fallhøyde for turbin 1 og 2 og 3, henholdsvis 94 m for turbin 1 og 2, og 92 m for turbin 3. Dette vil føre med seg en usikkerhet, men virkningen av falltap i vannveiene og bekkeinntak er viktigere, og vil ha større utslag på produksjonen enn virkningsgraden til turbinene. Usikkerheten i hvordan vannressursene disponeres ved en annen modellbeskrivelse og eksakte magasinrestriksjoner, vil være større enn feilen en gjør ved å kun inkludere en virkningsgradskurve for hver turbin. Derfor aksepteres usikkerheten.

Startmagasin [moh]					
Scenario	1	2	3	4	5
Falningsjøen	846,74	859,15	867,67	870,69	871,64
Sverjesjøen	869,1	868,8	870,75	871,68	872,08
Storfossdammen	503	519	503	519	518,45
Innerdalen	787,36	800,23	807,95	811,41	811,48
Grana	610	640,25	649,46	649,83	648,78
Bjørset	129,5	129,5	129,5	129,5	129,5

Tabell 10 Startmagasinkoter for referansemodell

Sluttmagasin [moh]					
Scenario	1	2	3	4	5
Falningsjøen	842,12	864,33	867,41	871,75	869,65
Sverjesjøen	868,99	870,22	870,1	872,12	871,7
Storfosdammen	503	519	503	518,45	518,45
Innerdalen	784,9	805,92	807,39	812,79	809,5
Grana	610,62	649,8	649,85	650	646,19
Bjørset	129,5	129,5	129,5	129,48	129,5

Tabell 11 Sluttmagasinkoter for referansemodell

Startmagasin [moh]					
Scenario	1	2	3	4	5
Falningsjøen	847,69	859,01	866,2	870,43	870,49
Sverjesjøen	869,16	868,83	870,7	871,5	871,96
Storfosdammen	503	503	503	519	518,45
Innerdalen	787,81	800,12	808,06	810,82	811,23
Grana	610	640,25	648,55	649,83	648,58
Bjørset	129,5	129,5	129,5	129,5	129,5

Tabell 12 Startmagasinkoter for utbyggingsmodell

Sluttmagasin [moh]					
Scenario	1	2	3	4	5
Falningsjøen	842,83	863,99	866,37	872,31	870,31
Sverjesjøen	869,06	870,24	870,05	871,94	871,62
Storfosdammen	503	519	503	503	518,45
Innerdalen	785,75	805,81	807,23	812,25	809,03
Grana	610,62	649,8	648,95	650	645,9
Bjørset	129,5	129,5	129,5	129,5	129,5

Tabell 13 Sluttmagasinkoter for utbyggingsmodell

Tabell 10, 11, 12 og 13, viser start- og sluttmagasinkoter for referansemodellen og utbyggingsmodellen for alle situasjonene i meter over havet. Sluttmagasinkotene er for slutten av optimaliseringsperioden, altså i slutten av den andre uken i hver av situasjonene beskrevet tidligere. Sluttmagasinkotene legges inn i styrekurver for magasinene i SHOP.

Prioriteringsflagg settes til ”eksakt”, og SHOP vil da styres av sluttmagasinkotene og overstyre vannverdi beskrivelsen i magasinene. Vannverdiene vil ikke påvirke hvor mye vann som tappes, kun magasin styrekurvene. Det er kun lagt inn verdi for styrekurver på siste tidsskritt, slik at SHOP har frihet til å optimalisere tappingen av vann innenfor perioden, så lenge sluttmagasinkotene nås eksakt. Disse restriksjonene er harde og kostnaden for avvik er stor. Dermed vil det kunne forekomme forbitapping av vann i korte perioder for å holde

restriksjonene. Dette vil redusere produksjonen, da ikke alt tilgjengelig vann utnyttes. Vansimtap styrer etter kriteriet om å unngå overløp, og ved sammenligning av resultater fra Vansimtap og SHOP, vil SHOP kunne få lavere produksjon enn Vansimtap pga vanntap.

7. Priser benyttet i simuleringer/optimaliseringer

7.1 Kort om det nordiske kraftmarkedet

Dagens kraftforsyning reguleres av energiloven som kom i 1990. I 1991 ble det norske kraftmarkedet deregulert, som første land i Norden. Før dereguleringen var hovedobjektivet å dekke konsumentenes behov for elektrisitet til lavest mulig pris. Kraftsystemet var preget av mange små lokale produsenter som hadde monopol i sitt område. Etter dereguleringen er markedet fritt og styrt av konkurranse. Forbrukere kan velge kraftleverandør fritt, men distribusjonsnettverket er fortsatt styrt av monopolisme pga praktiske og kostnadsrelaterte grunner. Produsentene har ikke lenger leveringsplikt og prinsippet for produksjonsplanlegging har gått fra kostnadsminimering til profittmaksimering. Prisene i markedet bestemmer inntjeningsgrunnlaget til kraftprodusentene, og ønsket er derfor å produsere mest kraft når prisene er høye og mindre når prisene er lave. Kraftleverandørene må hele tiden ta standpunkt til om de skal produsere en enhet nå eller vente på eventuell fremtidig prisstigning for samme enhet.

I løpet av 1990-årene ble kraftmarkedet i våre nordiske naboland også deregulert og det ble dannet et nordisk kraftmarked. Et felles marked gir mulighet for enkel eksport og import over landegrensene, som øker fleksibiliteten til kraftsystemet. Det nordiske markedet er organisert av Nord Pool. Markedet er delt i to, et fysisk marked hvor krafthandelen skjer kalt Elspot, og et finansielt marked. I det finansielle markedet kan kjøpere og selgere forhandle fremtidige kontrakter om fremtidig kjøp og salg av kraft. I Elspot legger aktørene inn bud om kjøp og salg av kraft for hver time av kommende døgn. Før kl 12 hver dag må det leveres inn en anmelding om kjøp og salg av kraft for neste dag. Ut fra alle anmeldelser fra alle aktører bestemmes prisen som gir balanse i forbruk og etterspørsel [10].

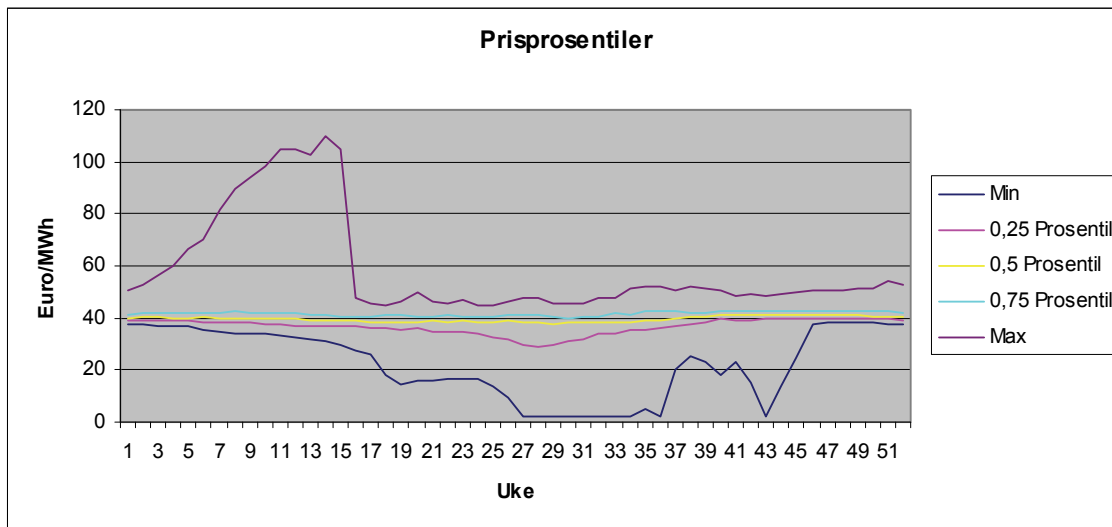
7.2 Prisrekke benyttet i Vansimtap

Prisrekken benyttet i Vansimtap er beregnet i Samkjøringsmodellen. Samkjøringsmodellen er som nevnt under kap 4, en flerområdemodell som simulerer tilsig og pris for hele det nordiske markedet, og noen områder utenfor. Prisrekken er beregnet våren 2009 for året 2010.

Gjennomsnittsverdien ligger på ca 39 Euro/MWh og gjenspeiler noe av prisnivået etter den globale finanskrisen.

Prisrekken er laget for seriesimulering og har en ukespris for hver uke i hvert tilsigsår fra året 1931 til 2000. I oppgaven er det valgt å ha kun ett prisavsnitt, da den økte inntjeningen fra et tredje aggregat er mer avhengig av utnyttelsen av tilsig enn av prisvariasjoner gjennom uken. Hadde Bjørsetdammet vært et magasin, ville prisavsnitt vært viktig. Da hadde disponeringen av vannressursene i magasinet vært avhengig av prisene innenfor uken. Siden dette ikke er tilfellet, vil disponeringen av vannet være avhengig av kapasiteten i kraftverket og ikke prisen. Siden valget står mellom å produsere vannet eller å la det renne forbi, vil vannverdien være lik null, og prisen har ingen påvirkning på om vannet skal produseres eller ikke. Virkningen av prisavsnitt ville ha kommet fra endret kjøring av magasin kraftverkene oppstrøms Svorkmo, som igjen påvirker vannføringen i Orkla ved Bjørset. Denne virkningen ble ikke vektlagt og prisavsnitt ble sett bort ifra.

Det er mer interessant å se på prisvariasjonene over året. Slike sesongvariasjoner vil kunne påvirke disponeringen av magasin vann oppstrøms Svorkmo kraftverk. Hvis prisene er meget gode om vinteren vil strategien være å fylle magasinene mest mulig om sommeren og høsten. Hvis prisene om sommeren og høsten er meget gode og utsiktene for vinterpriser ser lavere ut, vil strategien være å tappe mer magasin vann for å utnytte prisene i stedet for å holde igjen nesten alt vann til fylling av magasiner. Det er denne sesongvariasjonen som sammen med en utbygging i Svorkmo vil kunne gi økte inntekter for investeringen. I dag slippes magasin vann i perioder om sommeren for å opprettholde drift i Svorkmo kraftverk. Tanken er at et tredje mindre aggregat eliminerer dette behovet og magasin vannet kan lagres til bruk ved bedre priser. Vanligvis er prisene lavere om sommeren pga lavere forbruk, spesielt i Norge hvor mye av elektrisiteten benyttes til oppvarming av boliger. Om vinteren øker forbruket og prisene øker. Det er derfor ønskelig å kunne lagre mer magasin vann til bruk om vinteren i stedet for å tappe det om sommeren. I figur 22 vises prosentiler for prisnivået over året i prisrekken benyttet i Vansimtap.



Figur 22 Prisprosentiler for prisrekke brukt i Vansimtap

Av figuren over ser en at prisene har en profil som tilsier at prisene er høyest om vinteren og lavest om sommeren. De mest ekstreme prisene i hver ende gir høyest pris om vinteren og lavest pris om sommeren. Resten av prosentilene ligger rundt middelveidien på 39 Euro/MWh. Gjennomsnittsprisen gjenspeiler prisnivået Samkjøringsmodellen ser i 2010 på det tidspunktet simuleringen ble gjennomført. For beregning av driftsinntekter vil ikke prisnivået spille en stor rolle på dette stadiet. Det mest interessante er hvor mange ekstra GWh som et tredje aggregat i Svorkmo kraftverk kan produsere. Dernest er disponeringen av magasin vann over sesonger og utnyttelsen av evt høyere vinterpriser. Et høyere prisnivå vil gi større inntekter per GWh, men vil trolig ikke påvirke tappestrategien og utnyttelsen av vannressursene. Dermed vil prisprofilen over året være viktigere enn selve prisnivået. Nivået kan justeres og inntektene deretter, fordi den ekstra produksjonen ikke er veldig avhengig av prisen, men av tilsig. Ved en økonomisk analyse hvor en ser fremover i tid, vil endring i prisnivået være essensielt. I denne oppgaven er hovedhensikten å se på hvordan et tredje aggregat påvirker produksjonen gitt i GWh for hele vassdraget og hvordan det påvirker virkningsgraden til Svorkmo kraftverk. Ved en evt økonomisk analyse om hvorvidt denne utbyggingen skal skje, må en estimere prisscenarioer for fremtiden i tråd med analysen. For å holde fokus på virkningsgradsbeskrivelse og dens virkning på resultatene, er det sett bort fra prisscenarioer for fremtiden.

7.3 Priser benyttet i SHOP

Prisene i SHOP er tatt fra prisrekka brukt i Vansimtap. Prisene i Vansimtap er gitt per uke, mens SHOP trenger priser gitt per time. SHOP utnytter prisvariasjonen fra time til time til å optimalisere en best mulig disponering av vannet. Siden en ikke har noen forutsetning for å kunne fastslå hvordan prisene vil variere fra time til time, må det bare foretas et valg for hvordan prisprofilen skal se ut. Det er valgt å bruke tidligere benyttede prisrekker fra databasen til TrønderEnergi, sammen med ukeprisen fra Vansimtap, som grunnlag for prisrekken til SHOP. Prisrekker fra 2008 for de ukene i året som det er valgt å optimalisere for, er hentet ut og skalert til en profil uavhengig av prisnivå. Denne profilen brukes så på ukeprisen fra Vansimtap til å lage en ny prisrekke, hvor ukeprisen fra Vansimtap er gjennomsnittsverdien. Måten dette er gjort på er som følger.

$$f = \frac{p_{gammel}(t, d, u)}{p_{gammel, gjennomsn}(u)} \quad (5)$$

$$p_{ny}(t, d, u) = f * p_{ny, gjennomsn}(u) \quad (6)$$

$u = uke$

$d = dag$

$t = time$

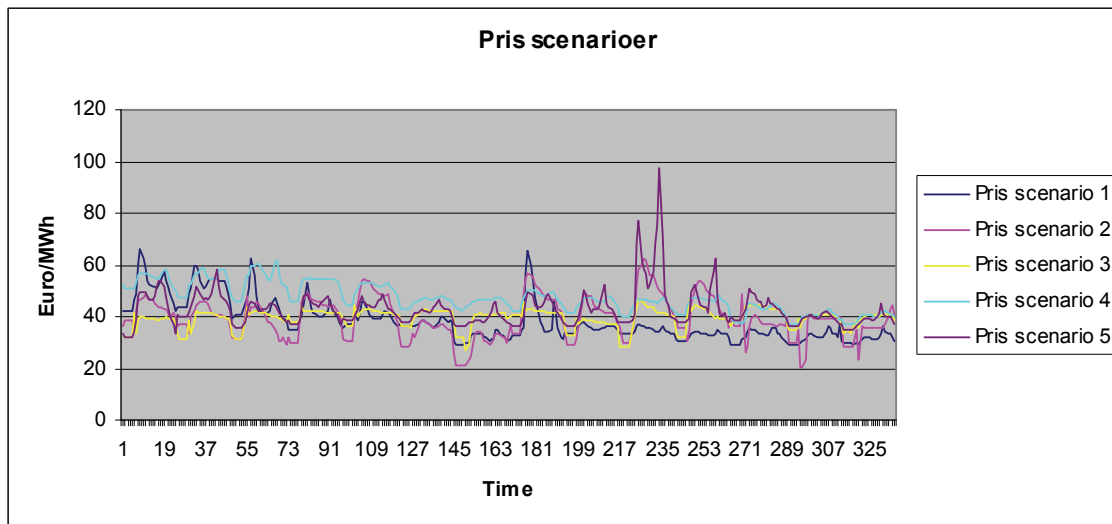
$p_{gammel}(t, d, u) =$ priser hentet fra database

$p_{gammel, gjennomsn}(u) =$ gjennomsnittsverdi over uken av prisrekken fra databasen

$p_{ny, gjennomsn}(u) =$ gjennomsnittspris over uken hentet fra Vansimtap

$p_{ny}(t, d, u) =$ ny pris basert på gjennomsnittspris fra Vansimtap

Faktoren f er koblingen mellom gammel og ny prisrekke. Dette gjøres for å få en realistisk profil på prisene over en tidshorisont, men beholde koblingen til Vansimtap. Det er valgt å bruke året 2008 fordi det er lett å finne datoer som stemmer overens med ukenummer fra Vansimtap. Figur 23 viser prisprofilene til de ulike situasjonene som kontrollregnes i SHOP. Prisrekkene brukt i SHOP finnes vedlagt i zip-fil, for lettere å se hva som er gjort.



Figur 23 Prisprofil for situasjoner optimalisert i SHOP

Av figuren over ser en at prisene generelt er høyere om dagen enn om natten. Det er også tendenser til at prisene synker utover uken mot helgen, for så å ta seg opp på mandag den andre uken. Prisene flukterer rundt middelverdien på 39 Euro/MWh, foruten noen høye topper for scenario 1 og 5. Scenario 1 og 5 er om vinteren og vil variere med temperaturen. Ved noen kalde dager vil forbruket øke drastisk, og dermed vil prisene følge etterspørselen. Det scenarioet med mest jevnt prisnivå er scenario 3. Om sommeren vil en ikke ha samme væravhengige prisvariasjoner, og forbruket er mer stabilt. Scenario 2 preges av vårfloppen, og prisene kan i korte perioder synke ganske mye pga mye tilgjengelig kraft, lav etterspørsel og flaskehals i overføringsnett. Selv om været påvirker produksjonskapasiteten i Norge, vil prisene også speile det nordiske markedet og eksport/importmulighetene vi har med landene rundt oss. Et felles marked gir fleksibilitet i kraftforsyningen og er med på å holde prisene mer stabile over året, men derimot større variasjoner over døgnet.

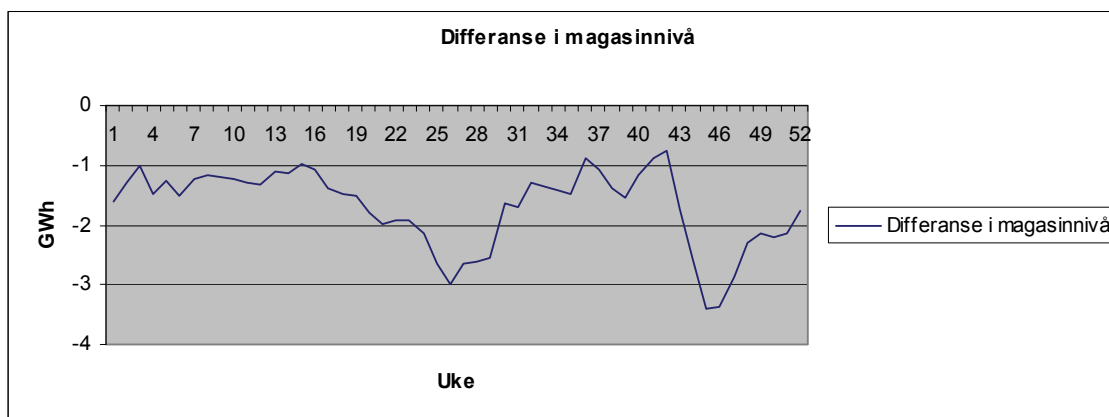
8. Resultater

I dette kapittelet vil resultatene fra simuleringene i Vansimtap og optimaliseringsresultatene fra SHOP presenteres. Fra simuleringens resultatene fra Vansimtap, vil det både ses på hvordan vannressursene disponeres over året og hvordan dette påvirker magasinutfyllingen, samt hvordan produksjonsnivået og inntektene påvirkes av et tredje aggregat i Svorkmo kraftverk. Fra SHOP presenteres resultatene for produksjon og inntekt for alle produksjonssituasjoner, men det vil også kommenteres omkring bruk av det tredje aggregatet. Deretter sammenlignes resultatene fra Vansimtap og SHOP for å se om det er forskjeller i produksjonsnivå og inntekter mellom programmene. Til verifisering av resultatene fra Vansimtap, ses det på om effekten av et tredje aggregat er den samme i Vansimtap og SHOP.

8.1 Simuleringsresultater fra Vansimtap

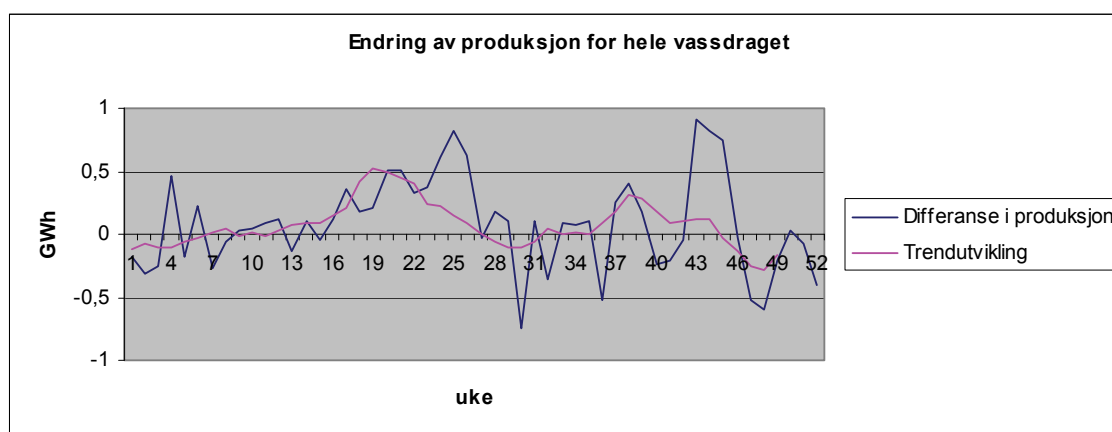
8.1.1 Disponering av vannressurser over året

Forskjellen mellom utbyggingsmodellen og referansemodellen er relativt liten, kun økt kapasitet i Svorkmo kraftverk. På grunn av at Svorkmo kraftverk er det nederste kraftverket i vassdraget, vil en økt kapasitet i dette kraftverket påvirke hvordan vannressursene disponeres i oppstrøms kraftverk. Vansimtap vil søke beste disponering av vann avhengig av fremtidig tilsig og priser. Siden overløp gir tapte penger, vil Vansimtap prøve å unngå dette.



Figur 24 Differanse i magasinnivå mellom utbyggingsmodell og referansemodell

Fra figur 24 ser en at magasinnivået, summert for alle magasinene, i utbyggingsmodellen er lavere enn i referansemodellen. Dette kan forklares med at Vansimtap ser økt kapasitet i Svorkmo og risikoen knyttet til overløp minker. Det kan tappes mer fra oppstrøms magasiner uten at det vil bli større vanntap ved Bjørsetdammen, pga økt slukeevne i Svorkmo kraftverk. Dette vises spesielt for ukene 18-30, vårfloppen. Økt kapasitet gjør at det ikke er behov for å lagre like mye vann, da en får mer ut av magasinene uten å risikere overløp. Om sommeren er differansen mindre og dette kan komme av at et mindre aggregat gir bedre virkningsgrad for Svorkmo kraftverk ved lave vannføringer, og behovet for økt tapping fra magasiner minker. På høsten øker differansen pga økt produksjonskapasitet. I figur 25 nedenfor ser en at i periodene hvor differansen i magasinnivå er størst, er det også størst økning i produksjonen. Det må likevel kommenteres at forskjellene er meget små sammenlignet med den totale magasinkapasiteten.



Figur 25 Differanse i produksjon mellom utbyggingsmodell og referansemodell

Det vil være små forskjeller i hvordan Vansimtap beregner produksjon og tapping fra magasiner fra hver gang Vansimtap simulerer. For hver simulering av Vansimtap gjøres en ny vannverdiberegning, og en ny modellbeskrivelse kan påvirke resultatet fra vannverdiberegningen og videre tappefordelingen. Dette må tas i betraktning ved at forskjeller i resultater kan være grunnet beregningsavvik i Vansimtap. Derfor er det laget en ekstra kurve i figur 25 som beskriver trendutviklingen, gjennomsnitt over 9 uker, over tidsrommet. Denne kurven speiler i en viss grad kurven i figur 24. Den største økningen i produksjon er i perioder med mye tilsig og økt produksjonskapasitet som gjør at magasinnivået kan holdes lavere.

Ut fra disse resultatene kan en ikke slå fast at Vansimtap velger å fylle magasinene om sommeren slik at produksjonen kan øke på vinterstid. Likevel er differansen i magasinnivåene større om våren og høsten, mens det ellers om året ligger rundt 1 GWh mindre magasinutfylling. Dermed vil den relative økningen i magasinivå om vinteren for utbyggingsmodellen være større enn for referansemodellen. Virkningen av et tredje aggregat i Svorkmo kraftverk på tapping av magasin vann om sommeren, er vanskelig å dokumentere når tidsskrittene er så store. Det vil være forholdsvis få timer gjennom en sommer hvor dette er et aktuelt problem, slik at slike virkninger vil kunne forsvinne i usikkerheten omkring virkningsgrader og ingen form for modellering av tidsforsinkelser.

8.1.2 Produksjon og inntekter

Den største økningen i produksjon kommer av at kapasiteten er økt, siden Svorkmo kraftverk kan sluke mer vann ved stort tilsig. I de periodene hvor økningen i produksjonen er størst, er det også høyt lokalt tilsig til Svorka. Dette gjør at falltapene reduseres og en får flere MW fra kjøring av alle tre aggregatene. Forskjellene er likevel ikke store, og fører til at et slikt utbyggingsprosjekt er meget marginalt. Tabell 14 nedenfor presenterer hovedresultatene fra Vansimtap for referansemodellen og utbyggingsmodellen.

Årlig produksjon per modul [GWh]	Referansemodell	Utbyggingsmodell	Differanse
Litfossen	163,725	163,679	-0,046
Grana	287,532	287,428	-0,104
Ulset	137,576	137,539	-0,037
Brattset	407,777	407,780	0,003
Svorkmo	266,107	270,613	4,506
Total produksjon for hele vassdraget [GWh]	1262,717	1267,039	4,322
Årlig vanntap for hele vassdraget [GWh]	165,121	157,007	-8,114
Forventet årlig inntekt for hele vassdraget [M Euro]	48,873	49,037	0,164

Tabell 14 Hovedresultater fra Vansimtap for referansemodell og utbyggingsmodell

Den totale økningen i produksjon er på 4,322 GWh, noe som er en grei økning med tanke på størrelsen til aggregatet. I tillegg vil ikke aggregat 3 kjøres hele tiden, men kun i tilfeller der vannføringen er veldig lav eller meget stor. Økningen i produksjon ligger i hovedsak hos Svorkmo kraftverk. Produksjonsdifferansen hos de andre kraftverkene kan skyldes både reell endring i produksjonsmønsteret og beregningsvariasjoner i Vansimtap. Redusert produksjon i

magasinkraftverkene kan komme av lavere magasinstand og dermed tapt fallhøyde, sammenlignet med referansemodellen hvor magasinstanden er høyere. Økt kapasitet i Svorkmo kraftverk gjør at Vansimtap utfører vannverdiberegninger med andre forutsetninger og optimaliseringen av tappefordelingen vil kunne fordele ressursene annerledes. Dermed er det vanskelig å ta et standpunkt for hvordan den økte produksjonen i Svorkmo kraftverk påvirker produksjonen i oppstrøms kraftverk. For å utelukke denne usikkerheten kunne en ha foretatt kun tappefordelingen med to systemmodeller, mens vannverdiberegningen ble holdt lik for begge modellene. Dette ble oppdaget for sent, og ble ikke gjennomført. I Svorkmo kraftverk øker produksjonen pga bedret drift og økt kapasitet, og det er denne produksjonsøkningen som må forsvare en evt utbygging.

Vanntapet er minket med ca 8,114 GWh, noe som er forventet pga økt kapasitet i Svorkmo kraftverk. Siden Bjørsetdammen ikke kan lagre vann av betydelig mengde, vil flomtapene være størst for Svorkmo kraftverk (se tabell 15 under). Økt slukeevne i dette kraftverket vil derfor påvirke flomtapene i størst grad. Grunnen til at redusert vanntap i GWh er større enn økt produksjon i GWh, er at ved maksimal vannføring vil energiekvivalenten til Svorkmo kraftverk være lavere enn gjennomsnittlig energiekvivalent. Falltapene ved maksimal vannføring, selv med modellering av bekkeinntak, vil redusere den totale virkningsgraden i så stor grad, at energiekvivalenten er vesentlig lavere enn gjennomsnittlig. Selv om Svorkmo kan sluke mer vann, vil ikke den økte vannføringskapasiteten i GWh resultere i like store mengder produsert effekt målt i GWh. Inntekten fra en økt produksjonsgevinst er, med en middelpriis på 39 Euro/MWh, ca 164 000 Euro per år. Denne inntekten er selvsagt avhengig av prisnivået og vil kunne øke med økende priser, og minke med minkende priser. Om de økte inntektene kan forsvare en utbygging avhegner av kostnadene knyttet til prosjektet, og om nåverdien blir positiv ved en økonomisk analyse.

Årlig vanntap per modul [GWh]	Referansemodell	Utbyggingsmodell	Differanse
Litjossen	3,281	3,281	0,000
Grana	8,014	8,063	0,050
Ulset	5,904	5,872	-0,032
Brattset	21,123	20,938	-0,185
Svorkmo	126,741	118,799	-7,942

Tabell 15 Vanntap per modul

Tabell 15 viser årlig vanntap per modul målt i GWh. Som nevnt over reduseres vanntapet i Svorkmo kraftverk i størst grad pga økt kapasitet. Vanntapet i Brattset og Ulset er også lavere og kan komme av lavere magasinstand for utbyggingsmodellen. Grana får derimot et noe

høyere vanntap og Litjfossen har uendret vanntap. Forskjellene i vanntap for både Ulset og Grana kan komme av endret tappestrategi og beregningsavvik, fordi forskjellene er så små.

Årlig produksjon per modul [GWh]	Referansemodell	Utbyggingsmodell	Differanse
Litjfossen	166,935	166,865	-0,070
Grana	290,309	290,136	-0,173
Ulset	140,431	140,384	-0,047
Brattset	418,362	418,385	0,023
Svorkmo	312,273	317,040	4,766
Total produksjon for hele vassdraget [GWh]	1328,310	1332,810	4,500
Årlig vanntap for hele vassdraget [GWh]	100,230	89,335	-10,895
Forventet årlig inntekt for hele vassdraget [M Euro]	51,492	51,644	0,152

Tabell 16 Resultater fra Vansimtap hvor minstevannføringskrav er neglisjert

Tabell 16 viser resultater fra simulering i Vansimtap hvor minstevannføringskravene i alle moduler er neglisjert. Denne simuleringen gir ingen realistiske produksjonstall, men er presentert her slik at den kan brukes som støtte i forståelsen av resultatene fra SHOP. Vansimtap får konsistente resultater sammenlignet med simuleringene hvor minstevannføringskravene er ivaretatt. Endringen er at resultatene i tabell 19 over, har større verdier pga mer tilgjengelig vann. Det som må kommenteres er at den økonomiske gevinsten mellom utbyggingsmodellen og referansemodellen er lavere i disse simuleringene enn i de opprinnelige simuleringresultatene. Vannføringen gjennom Svorkmo kraftverk vil være en god del større uten minstevannføringskrav, og dette påvirker hvor en ligger i PQ-kurvene i simuleringene. Det at forskjellen i driftsinntekter mellom referansemodellen og utbyggingsmodellen i disse simuleringene er mindre, kan forklares med at forskjellen mellom PQ-kurvene til de to modellene i det området hvor produksjonen stort sett vil ligge, er liten. På vannføringer over ca 10 m³/s, er den eneste endringen i PQ-kurvene mellom modellene økt kapasitet ved maksimal vannføring. Gevinsten av bedret virkningsgrad ved lave vannføringer vil ikke vises pga for store vannføringer når minstevannføringskravet ses bort fra. Dette viser at det kan være en ekstra gevinst av bedret virkningsgrad på lave vannføringer i utbyggingsmodellen i den opprinnelige simuleringen i Vansimtap hvor minstevannføringskravet er ivaretatt.

8.2 Optimaliseringsresultater fra SHOP

Alle resultatarkene og loggføring fra optimaliseringene fra SHOP legges ved i zip-fil. Det refereres underveis til disse resultatene i kommentarene til resultattabellene. Kun sammendrag av resultatene vises i rapporten. Minner om at resultatene presentert her er fra optimaliseringer hvor minstevannføringen er neglisjert, og vil ikke være representative for vassdraget i de ulike situasjonene.

8.2.1 Situasjon "Vintervannføring"

Situasjon "Vintervannføring" karakteriseres av lavt lokalt tilsig og tomme magasiner. Tidspunktet er uke 10 og 11, altså i mars rett før snøsmeltingen starter. Ved optimalisering av denne situasjonen i SHOP er det lagt inn en minimum og maksimum produksjonsrestriksjon for Brattset kraftverk på henholdsvis 30 MW og 65 MW. Opprinnelig skulle restriksjonen ha vært 50 MW og 65 MW, men med harde magasinrestriksjoner fant ikke SHOP noen løsning med 50 MW som minimumsrestriksjon. Det ble ansett som viktigere at SHOP fikk anledning til å finne en løsning enn å overholde produksjonsrestriksjonen eksakt. Derfor ble denne suksessivt endret på til SHOP gav løsning. Produksjonsrestriksjonen kommer av at det ligger is på vannet i Storfosdammen, og store variasjoner i vannstanden vil føre til at isen sprekker og kan gi skade på dammen.

Situasjon "Vintervannføring"	Referansemod.	Utbyggingsmod.
Produksjon for hver modul	[GWh]	[GWh]
Ulset	8,274	9,037
Litjossen	6,013	5,086
Brattsett	13,420	13,148
Grana	0,722	0,677
Svorkmo	5,413	5,341
Totalt for hele vassdraget	33,842	33,289
Totale inntekter for perioden [M Euro]	1,433	1,406

Tabell 17 SHOP-resultater for situasjon "Vintervannføring"

Tabell 17 viser resultatene for situasjon "Vintervannføring" for referansemodellen og utbyggingsmodellen. Den totale produksjonen har minket noe for utbyggingsmodellen og det samme har inntektene. Det ser ut til at SHOP har fordelt vannressursene forskjellig for de to modellene, og at forskjellen i produksjon skyldes forskjellige beslutninger for

optimaliseringen pga endret modellbeskrivelse for de to modellene. Siden forskjellen er så liten, ser det ut til at det tredje aggregatet ikke gir noen særlig gevinst i slike situasjoner. I fra resultatseriene med timesoppløsning (legges ved i zip-fil) kom det frem at SHOP benytter det tredje aggregatet i større grad enn hva som er diskutert tidligere. Dette kommer av at det ikke er mulig å angi forskjellige fallhøyder for flere aggregater i samme stasjon. Dermed har aggregat 3 samme fallhøyde som aggregat 1 og 2 i SHOP-modellen. Dette gjør at aggregat 3 får bedre totalvirkningsgrad enn det som er diskutert tidligere, og vil da være aktuelt å kombinere sammen med aggregat 1 eller 2. Dette vil være en feilkilde ved sammenligning av resultatene fra Vansimtap. Dette gjelder for alle situasjonene som simuleres i SHOP.

8.2.2 Situasjon "Vårvannføring"

Situasjon "Vårvannføring" karakteriseres av høyt tilsig og flom. Tidspunktet er i begynnelsen av juni, uke 24-25, og den største snøsmeltingen er på hell. Ved optimalisering av denne situasjonen er det lagt inn en minimumsrestriksjon på magasinstanden i Grana. Vannstanden må være over 648 m.o.h. før Grana kraftverk kan starte. Dette kommer av at Granasjøen er mye brukt til fritidsaktiviteter og er en viktig del av landskapet hvor mange har hytter. Denne restriksjonen gjør at Granasjøen kan fylles raskt og tilfredsstillende krav fra lokalbefolkningen.

Situasjon "Vårvannføring"	Referansemod.	Utbyggingsmod.
Produksjon for hver modul	[GWh]	[GWh]
Ulset	1,592	2,251
Litjossen	0,000	0,000
Brattsett	20,748	20,091
Grana	5,167	5,167
Svorkmo	16,836	17,810
Totalt for hele vassdraget	44,342	45,318
Totale inntekter for perioden [M Euro]	1,783	1,816

Tabell 18 SHOP-resultater for situasjon "Vårvannføring"

Tabell 18 viser SHOP-resultater for situasjon "Vårvannføring" for begge modellene. Produksjonen for Svorkmo og Ulset har økt, mens den har minnet noe for Brattset i utbyggingsmodellen sammenlignet med referansemodellen. Økt kapasitet har ført til økt produksjon i Svorkmo, og Ulset kan bruke mer magasin vann pga mindre fare for økt overløp. Produksjonsvariasjonen i Brattset kan skyldes variasjoner i optimaliseringen. Økt produksjon

i Ulset vil ikke nødvendigvis gi økt produksjon i Brattset pga høyt lokalt tilsig, fordi det vil være overløp i Storfosdammen uansett.

8.2.3 Situasjon "Sommervannføring"

Situasjon "Sommervannføring" karakteriseres av lavt tilsig og fylling av magasiner. Tidspunktet er i månedsskiftet juli/august. Det er ikke lagt inn noen andre restriksjoner enn magasinrestriksjonene i optimalisering av denne situasjonen.

Situasjon "Sommervannføring"	Referansemod.	Utbyggingsmod.
Produksjon for hver modul	[GWh]	[GWh]
Ulset	4,756	3,373
Litjossen	5,941	7,105
Brattsett	12,261	12,191
Grana	1,109	1,461
Svorkmo	6,500	6,489
Totalt for hele vassdraget	30,567	30,619
Totale inntekter for perioden [M Euro]	1,275	1,279

Tabell 19 SHOP-resultater for situasjon "Sommervannføring"

Tabell 19 viser resultatene fra SHOP for situasjon "Sommervannføring". Den totale produksjonen har økt marginalt. Den totale produksjonen er nesten den samme, men tappefordelingen mellom oppstrøms kraftverk er endret. Dette tyder på at Vansimtap velger en annen tappefordeling når Svorkmo kraftverk får en annen modulbeskrivelse. Produksjonen i Svorkmo kraftverk har minket noe for utbyggingsmodellen. Det kan skyldes både beregningsusikkerhet og reell endring i strategi. Resultatseriene fra SHOP viser at aggregat 3 brukes i større grad enn aggregat 2 i denne situasjonen. Aggregat 3 avlaster aggregat 2 og krever ikke like mye vann for å kjøre med god virkningsgrad. Denne situasjonen gir ikke grunnlag for økt produksjon pga økt kapasitet, men pga bedret totalvirkningsgrad.

8.2.4 Situasjon "Høstvannføring"

Situasjon "Høstvannføring" karakteriseres av middels vannføring og nesten fulle magasiner, slik at kravet om fylling av magasiner ikke er like viktig. Tidspunktet er uke 41-42, altså midt i oktober når været ofte er mer vått enn om sommeren. I denne situasjonen er det ikke benyttet noen andre restriksjoner enn magasinrestriksjonene ved optimalisering.

Situasjon "Høstvannføring"	Referansemod.	Utbyggingsmod.
Produksjon for hver modul	[GWh]	[GWh]
Ulset	2,175	0,000
Litjossen	1,093	0,880
Brattsett	9,920	8,892
Grana	20,600	20,582
Svorkmo	15,817	15,989
Totalt for hele vassdraget	49,606	46,343
Totalte inntekter for perioden [M Euro]	2,448	2,270

Tabell 20 SHOP-resultater for situasjon "Høstvannføring"

Tabell 20 viser resultatene fra SHOP for situasjon "Høstvannføring". Den totale produksjonen for utbyggingsmodellen har minnet sammenlignet med referansemodellen. Dette skyldes endret tappestrategi gitt fra Vansimtap. Selv om produksjonen i oppstrømskraftverk er minnet, er produksjonen i Svorkmo nesten den samme. Fra resultatseriene fra SHOP ser en at totalproduksjonen i Svorkmo er omtrent den samme, men at produksjonen fordeles forskjellig på aggregatene avhengig om aggregat 3 er tilgjengelig eller ikke. Svorkmo produserer nesten for fullt i begge modellene, men totalproduksjonen øker noe pga bedre lastfordeling mellom aggregatene i utbyggingsmodellen.

8.2.5 Situasjon "Tidlig vintervannføring"

Situasjon "Tidlig vintervannføring" karakteriseres av fulle magasiner og middels tilsig. Tidspunktet er uke 49-50, altså i desember hvor nedbøren både kan komme som snø og regn. I optimalisering av denne situasjonen er det benyttet de samme produksjonsrestriksjoner på Brattset kraftverk som for situasjon "Vintervannføring" pga isproblematikk.

Situasjon "Tidlig vintervannføring"	Referansemod.	Utbyggingsmod.
Produksjon for hver modul	[GWh]	[GWh]
Ulset	9,149	2,878
Litjossen	10,774	11,576
Brattsett	18,738	14,802
Grana	27,695	28,221
Svorkmo	15,720	15,399
Totalt for hele vassdraget	82,075	72,876
Totalte inntekter for perioden [M Euro]	3,612	3,230

Tabell 21 SHOP-resultater for situasjon "Tidlig vintervannføring"

Tabell 21 viser resultater fra SHOP for situasjon "Tidlig vintervannføring".

Totalproduksjonen har minket pga endret tappestrategi fra Vansimtap. Denne trenden ses igjen i figur 25 for dette tidspunktet av året. Derfor vil det være vanskelig å se om et tredje aggregat gir noen økning i produksjon for denne situasjonen ut fra disse resultatene sett isolert. Resultatseriene fra SHOP viser at også for denne situasjonen benyttes det tredje aggregatet, og at lastfordelingen mellom aggregatene er tilpasset tilgjengeligheten til aggregat 3.

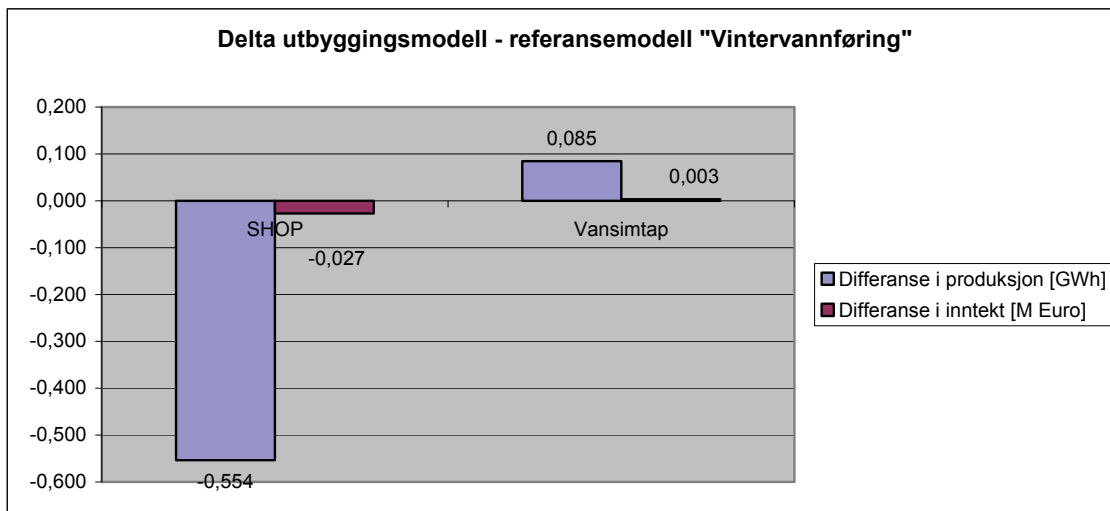
8.3 Sammenligning av resultater fra Vansimtap og SHOP

Resultatene som her vises, er basert på en modellbeskrivelse som ikke tar hensyn til mistevannføringskrav. Verdiene vil derfor ikke være reelle, men differansen mellom resultatene fra SHOP og Vansimtap vil likevel kunne verifisere modellbeskrivelsen til Vansimtap. Ved innlegging av minstevannføringskrav, kunne ikke SHOP finne løsning ved optimalisering av noen av situasjonene. Det ble derfor valgt i ta bort mistevannføringskrav både i SHOP og Vansimtap, da dette ble en mer tidseffektiv løsning enn å velge ut nye situasjoner å simulere i SHOP.

8.3.1 Sammenligningsresultater for situasjon "Vintervannføring"

Situasjon "Vintervannføring"	Referansemodell		Utbyggingsmodell	
	SHOP	Vansimtap	SHOP	Vansimtap
Program	SHOP	Vansimtap	SHOP	Vansimtap
Totalt for hele vassdraget [GWh]	33,842	35,029	33,289	35,113
Totale inntekter for perioden [M Euro]	1,433	1,412	1,406	1,416

Tabell 22 Sammenligningsresultater for situasjon "Vintervannføring"



Figur 26 Differanse mellom utbyggings- og referansemodell for "Vintervannføring"

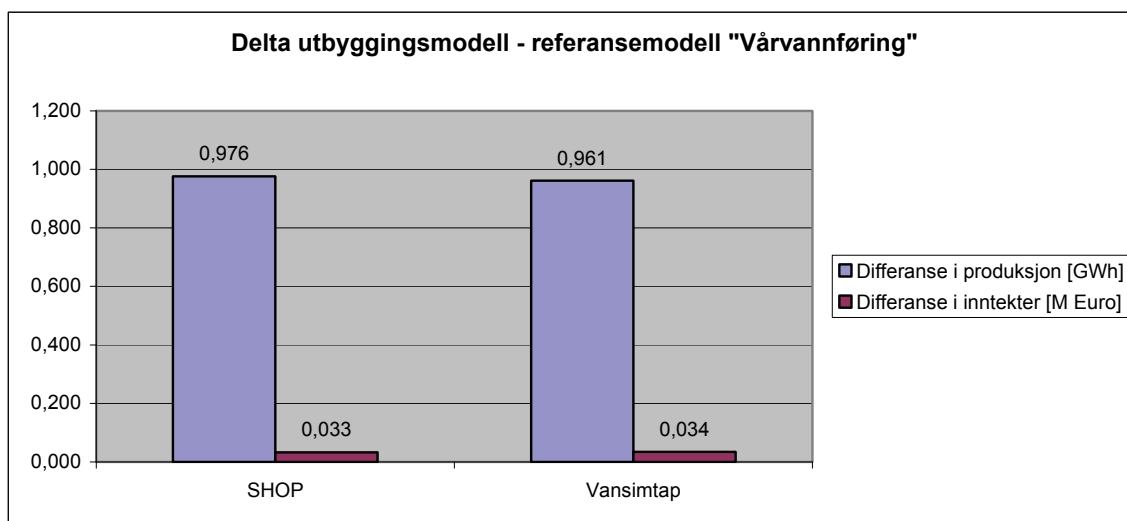
Tabell 22 og figur 26 viser produksjonen og inntektene for hele vassdraget beregnet i SHOP og Vansimtap, og differansen mellom modellene, for situasjon "Vintervannføring". SHOP har beregnet en lavere produksjon enn Vansimtap for referansemodellen, men får en høyere inntekt. SHOP optimaliserer tappefordelingen på bakgrunn av varierende pris, og dette gir utslag på inntektene. Det ser ut til at det er tappet noe vann forbi oppstrøms Svorkmo kraftverk, for å utnytte økt vannføring lenger ned i vassdraget ved gode priser. Forskjellen i detaljgrad mellom SHOP og Vansimtap gjør at vannet utnyttes på ulike måter, noe som gir utslag på resultatene. SHOP vil se gevinsten ved økt vannføring ved gode timepriser og optimalisere bruken av vannet ut fra dette. Vansimtap har en flat prisprofil og vil derfor optimalisere etter prinsippet om å unngå vanntap. Derfor kan Vansimtap vise større produksjon enn SHOP, men lavere inntekt fordi den ikke kan utnytte prisvariasjoner.

For utbyggingsmodellen har både produksjonen og inntektene beregnet i SHOP minket sammenlignet med resultatene for referansemodellen. Denne trenden er det motsatte av Vansimtap sin strategi. Dette kan skyldes at vanntapet i SHOP for denne modellen er større sammenlignet med referansemodellen, men det kan også skyldes beregningsvariasjoner.

8.3.2 Sammenligningsresultater for situasjon "Vårvannføring"

Situasjon "Vårvannføring"	Referansemodell		Utbyggingsmodell	
	SHOP	Vansimtap	SHOP	Vansimtap
Program				
Totalt for hele vassdraget [GWh]	44,342	48,731	45,318	49,693
Totale inntekter for perioden [M Euro]	1,783	1,728	1,816	1,762

Tabell 23 Sammenligningsresultater for situasjon "Vårvannføring"



Figur 27 Differanse mellom utbyggings- og referansemodell for "Vårvannføring"

Tabell 23 og figur 27 viser produksjon og inntekter for hele vassdraget, og differansen mellom modellene beregnet i SHOP og Vansimtap for gitte situasjon. Både Vansimtap og SHOP beregner en høyere produksjon for utbyggingsmodellen i denne situasjonen. Økt kapasitet gir økning i produksjonen ved flomvannføring. SHOP beregner en lavere produksjon enn Vansimtap i begge modellene, men utnytter prisvariasjoner og får en høyere inntekt. Differansen mellom resultatene i SHOP og Vansimtap er omtrent likt i begge modellene, slik at i denne situasjonen gjør detaljgraden i modellbeskrivelsen seg gjeldende. Vansimtap utnytter vannet optimistisk og modellerer ikke tidsforsinkelser, og vil derfor få en høyere produksjon enn SHOP. SHOP ser virkningen av tidsforsinkelsen for produksjonsvann oppstrøms Svorkmo, og vil dermed få større vanntap enn Vansimtap og også mindre produksjon. Utnyttingen av prisvariasjoner gjør SHOP i stand til å få større inntekter for produsert vann selv om vanntapet er større. I tillegg modellerer SHOP mer nøyaktig

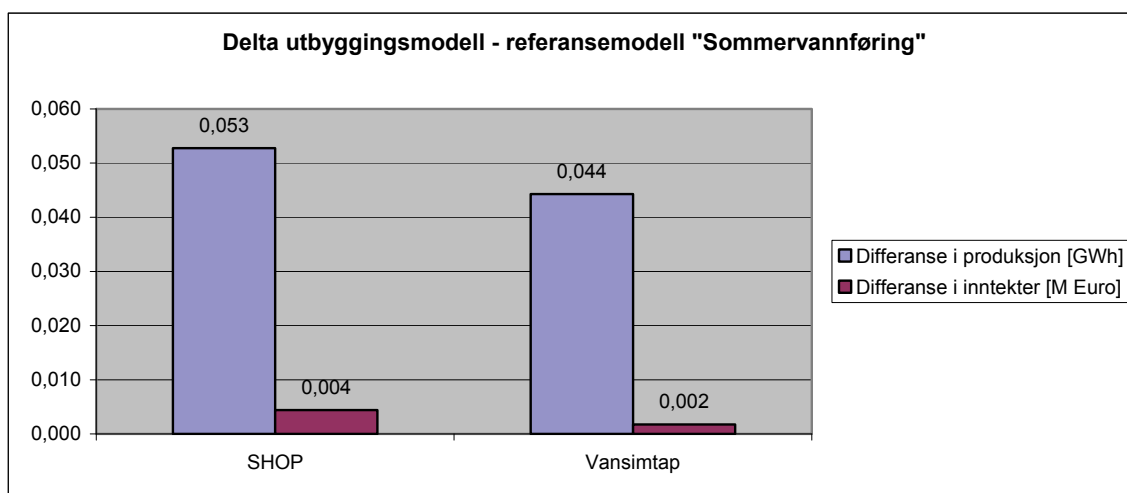
virkningsgradsbeskrivelse enn Vansimtap, og vil kunne se virkninger av falltap og redusert virkningsgrad pga maks vannføring gjennom turbiner i alle kraftstasjoner i vassdraget. Dette vil også gi bidrag til redusert produksjon i SHOP.

Differansen mellom utbyggingsmodellen og referansemodellen i både Vansimtap og SHOP er omtrent like, slik at modellbeskrivelsen i Vansimtap i denne situasjonen er en god tilnærming til virkningsgradsbeskrivelsen i SHOP. Økningen i produksjon mellom utbyggings- og referansemodellen beregnet i SHOP er noe høyere enn beregnet i Vansimtap. Grunnen til dette er at det modellerte tilsiget til Svorka i denne perioden er høyere i SHOP enn i Vansimtap, og fører til lavere falltap og høyere produksjon med tre aggregater i SHOP.

8.3.3 Sammenligningsresultater for situasjon "Sommervannføring"

Situasjon "Sommervannføring"	Referansemodell		Utbyggingsmodell	
	SHOP	Vansimtap	SHOP	Vansimtap
Program				
Totalt for hele vassdraget [GWh]	30,567	18,327	30,619	18,371
Totale inntekter for perioden [M Euro]	1,275	0,723	1,279	0,725

Tabell 24 Sammenligningsresultater for situasjon "Sommervannføring"



Figur 28 Differanse mellom utbyggings- og referansemodell for "Sommervannføring"

Tabell 24 og figur 28 viser produksjon og inntekter for hele vassdraget, og differanse mellom modellene for situasjon "Sommervannføring". Det er denne situasjonen som har størst avvik

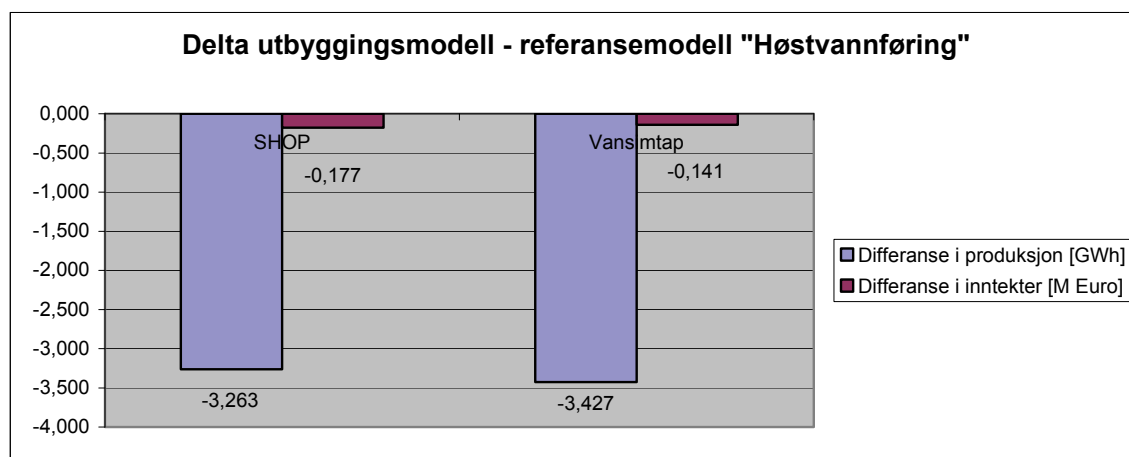
mellom resultater fra Vansimtap og SHOP. SHOP utnytter vannet mye bedre enn Vansimtap og får en mye høyere produksjon og også inntekt. Det store avviket mellom SHOP og Vansimtap virker ikke realistisk og hva som forårsaker det er usikkert. Det er forventet et avvik mellom SHOP og Vansimtap pga forskjellige modellbeskrivelser og disponering av vannet, men ikke et så stort avvik. Resultatene er etterprøvd flere ganger, og resultatene blir de samme hver gang.

Differansen mellom utbyggingsmodellen og referansemodellen er i denne situasjonen noe høyere i SHOP enn Vansimtap. Dette kommer av at aggregat 3 benyttes mye ved sommervannføring, og i SHOP har aggregat 3 høyere brutto fallhøyde enn modellert i PQ-kurvene i Vansimtap. Dermed vil SHOP få større produksjon enn Vansimtap ved samme vannføring. Den positive differansen mellom modellene i driftsinntekter er større i SHOP, og kan komme av bedre utnyttelse av prisvariasjonene i tillegg til gevinsten av bedre totalvirkningsgrad.

8.3.4 Sammenligningsresultater for situasjon "Høstvannføring"

Situasjon "Høstvannføring"	Referansemodell		Utbyggingsmodell	
	SHOP	Vansimtap	SHOP	Vansimtap
Program				
Totalt for hele vassdraget [GWh]	49,606	51,533	46,343	48,107
Totale inntekter for perioden [M Euro]	2,448	2,119	2,270	1,978

Tabell 25 Sammenligningsresultater for situasjon "Høstvannføring"



Figur 29 Differanse mellom utbyggings- og referansemodell for "Høstvannføring"

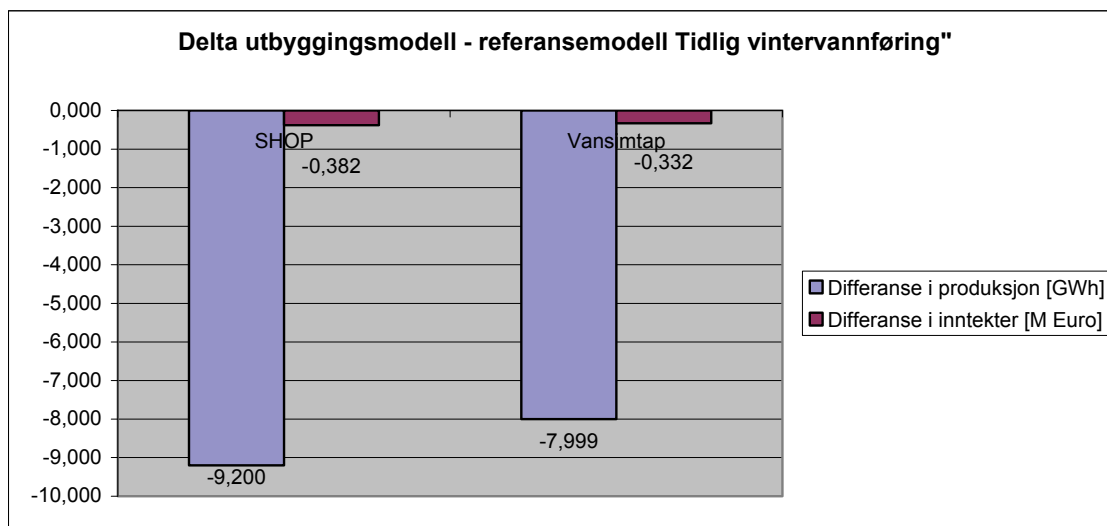
Tabell 25 og figur 29 viser produksjon og inntekter for hele vassdraget, og differansen mellom modellene for situasjon "Høstvannføring". Også for denne situasjonen beregner SHOP en lavere produksjon enn Vansimtap, men får en høyere inntekt jfr. diskutert under kap 8.3.2.

Differansen mellom modellene beregnet i begge programmene, er også i denne situasjonen omtrent like. Modellbeskrivelsen i Vansimtap tilnærmer seg virkningsgradsbeskrivelsen i SHOP godt. Forskjellen mellom utbyggingsmodellen og referansemodellen behandles noe forskjellig pga forskjellige måter å beregne tapfordeling i SHOP og Vansimtap på. Dette vil kunne gi utslag på differansen mellom modellene. Situasjon "Høstvannføring" er den situasjonen som best beskriver gjennomsnittlig drift av Svorkmo kraftverk. Siden virkningsgradsbeskrivelsen i Vansimtap ved normaldrift er godt tilnærmet, gir dette indikasjon på at kvaliteten på Vansimtapresultatene er god nok.

8.3.5 Sammenligningsresultater for situasjon "Tidlig vintervannføring"

Situasjon "Tidlig vintervannføring"	Referansemodell		Utbyggingsmodell	
	SHOP	Vansimtap	SHOP	Vansimtap
Program				
Totalt for hele vassdraget [GWh]	82,075	79,002	72,876	71,003
Totale inntekter for perioden [M Euro]	3,612	3,276	3,230	2,944

Tabell 26 Sammenligningsresultater for situasjon "Tidlig vintervannføring"



Figur 30 Differanse mellom utbyggings- og referansemodell for "Tidlig vintervannføring"

Tabell 26 og figur 30 viser produksjon og inntekter for hele vassdraget, og differansen mellom modellene for situasjon ”Tidlig vintervannføring”. I denne situasjonen får SHOP en høyere produksjon enn Vansimtap, og også større inntekter. SHOP får en bedre utnyttelse av vannet og tilsiget. Differansen mellom produksjonsresultatene fra SHOP og Vansimtap er størst for referansemodellen, mens antall produserte GWh er mer likt for utbyggingsmodellen. Differansen mellom modellene beregnet i SHOP og Vansimtap er også for denne situasjonen meget lik. Beregnet produksjon og inntekter minker mer i SHOP enn i Vansimtap. Årsaken er trolig forskjellig utnyttelse av ressursene på grunn av forskjeller i modellbeskrivelse. Det er usikkert om magasinkurvene, som beskriver sammenhengen mellom volum og kotehøyder, er like i de to modellene. Dette vil gi utslag i at samme differanse mellom startmagasinkotehøyder og sluttmagasinkotehøyder gir ulikt volum av vannressurser tilgjengelig til produksjon. I denne situasjonen er magasinene så å si fulle, og små forskjeller i magasinkurvene vil kunne gi store forskjeller i tilgjengelig vannvolum for tapping i gitte tidsrom.

9. Diskusjon av resultater

9.1 Diskusjon av simuleringsresultater

Simuleringene i Vansimtap viste at en innsetting av et tredje aggregat i Svorkmo kraftverk gir en produksjonsøkning på 4,322 GWh, som utgjør en økning på ca 0,34 % av den totale årlige produksjonen i Orklavassdraget. Et aggregat med en nominell effekt på 6,72 MW utgjør 2,1 % av den totale eksisterende nominelle installerte effekten, og er en liten økning i installert effekt. Da aggregat 3 i Svorkmo kraftverk kun gir økt nytte ved lave og høy vannføringer, er økningen på 4,322 GWh relativt mye. Det kan diskuteres om en maksimal vannføring på 78 m³/s er oppnåelig, selv om den teoretiske maksimale vannføringen er på 79 m³/s. Beregningen av PQ-kurvene tar hensyn til falltapsproblematikken, men ikke trykkreduksjonens påvirkning av vannføringen. Dermed tror Vansimtap at Svorkmo kraftverk kan sluke mer vann enn det som er mulig i virkeligheten. Dette gir en for optimistisk simulert produksjon.

PQ-kurvene brukt i Vansimtap inkluderer virkningen av falltap og bekkeinntak, og gjør at Svorkmo kan produsere mer ved høyt lokalt tilsig pga redusert tap. Det er korrelasjon mellom økt produksjon og økt lokalt tilsig. Dette viser at bekkeinntakene gjør det mulig å få mer produksjon ut av kraftverket i situasjoner hvor falltapene uten inkludering av bekkeinntak er store og vil kunne ”spise opp” gevinsten ved økt kapasitet. Bedret virkningsgradsbeskrivelse i modelleringen av Svorkmo kraftverk påvirker derfor beregningen av fremtidige driftsinntekter.

Økningen i produksjonen ved innsetting av aggregat 3 i Svorkmo kraftverk, kommer i hovedsak fra Svorkmo kraftverk. Produksjonsmengden i oppstrøms kraftverk påvirkes ikke. Det totale magasinnivået synker ved installering av aggregat 3 i Svorkmo kraftverk, sammenlignet med eksisterende beskrivelse av vassdraget. Magasinnivået synker spesielt i perioder med mye tilsig, hvor produksjonsøkningen også er størst. Økt slukeevne i Svorkmo kraftverk minker faren for overløp og gir mulighet til å tappe mer vann fra magasinene selv ved stort tilsig. Fordi magasinnivået har minket og Svorkmo har økt slukeevne, har vanntapet minket med ca 8 GWh. Vansimtap utnytter den økte slukeevnen i Svorkmo kraftverk, og inntektene er i hovedsak kommet av økt kapasitet ved høy vannføring. Virkningen av aggregat 3 ved lave sommervannføringer er vanskelig å dokumentere, fordi denne gevinsten er liten sammenlignet med gevinsten av økt kapasitet. Samtidig er det liten forskjell i

modellbeskrivelsen mellom utbyggings- og referansemodellen ved lave vannføringer, dette kommenteres nærmere i kap 9.2. I tillegg er det relativt få timer gjennom sommeren hvor ekstra tapping av magasin vann virkelig er et problem. Simulering uten minste vannføringskrav viste en mindre positiv differanse i driftsinntekter mellom referansemodellen og utbyggingsmodellen, enn simulering med minste vannføringskrav. Økt vannføring gjennom Svorkmo kraftverk fører til mindre bruk av aggregat 3 på lave vannføringer og mindre forskjell mellom modellene. Dette kan tyde på at et tredje aggregat bedrer driften ved lave vannføringer. For å dokumentere denne gevinsten, må det detaljsimuleres over lengre tid på spesifikke situasjoner hvor lave vannføringer erfaringsmessig er et problem.

Produksjonsverdien til utbyggingsmodellen er avhengig av prisnivået og vil øke ved økende priser. Ved en gjennomsnittlig markedspris på 39 Euro/MWh, vil økningen i produksjonsverdien bli på 0,164 M Euro. Om dette er et lønnsomt prosjekt avhenger av nåverdiberegningen når alle planer og kostnader er kjent. En parameter som kan påvirke resultatet av nåverdiberegningen, er kostnader knyttet til slitasje av eksisterende maskineri, og vil kunne øke produksjonsverdien til aggregat 3.

I situasjonene ”Vintervannføring”, ”Vårvannføring” og ”Høstvannføring” fikk SHOP mindre produksjon, men større inntekter enn Vansimtap. SHOP optimaliserer produksjonen ut ifra kriteriet om maksimal profitt, og vil kunne få høyere vanntap og mindre produksjon, men høyere inntekter enn Vansimtap. Varierende priser gjør at SHOP velger å utnytte vannet i best mulig grad når prisene er gode og disponeringen av vannet vil da endres. I tillegg vil SHOP utnytte timer med gode priser ved at den aksepterer produksjon med dårlig virkningsgrad for å få produsert flest mulig MWh til god pris. Dette gjør SHOP til en mer realistisk modell, og vil kunne gi en bedre indikasjon på hvordan driften vil være. I tillegg vil en mer realistisk virkningsgradsbeskrivelse øke kvaliteten på resultatene.

I tre av fem situasjoner gir simulering/optimalisering i SHOP og Vansimtap lavere produksjon og inntekt i utbyggingsmodellen enn referansemodellen. Fra figur 25 i kap 8.1.1 ser en at produksjonen i noen uker er gjennomsnittlig lavere i utbyggingsmodellen enn i referansemodellen, over 70 tilsigsår. I tillegg vil det være enkelte uker som gir en høyere produksjon i utbyggingsmodellen enn i referansemodellen, og andre som gir en lavere produksjon. Derfor vil den minkende produksjonen i utbyggingsmodellen for de situasjonene

nevnt over, kunne forklares med tilfeldigheter. Det som teller er gjennomsnittlig produksjon over hele året for alle 70 tilsigsår som simuleres.

Optimaliseringene i SHOP gir grunnlag for verifisering av resultatene fra Vansimtap. Det interessante ved optimaliseringen i SHOP, er om differansen mellom utbyggingsmodellen og referansemodellen i SHOP er større, mindre eller lik differansen mellom modellene i Vansimtap. Differansen mellom utbyggingsmodellen og referansemodellen beregnet i både Vansimtap og SHOP for hver av situasjonene, er omtrent like. Modelleringen av aggregat 3 i Svorkmo kraftverk i Vansimtap ser ut til å være god nok, i og med at Vansimtap og SHOP får omtrent like differanser mellom modellene. Ved bruk av tilpassede PQ-kurver for sesonger i Vansimtap, vil en kunne tilnærme virkningsgradsbeskrivelsen av Svorkmo kraftverk på en god nok måte. Avvikene i produksjon og inntekter mellom SHOP og Vansimtap kommer i hovedsak fra at SHOP utnytter prisvariasjoner på timebasis, og modelleringen av tidskonstanter for vannet i vassdraget. I fire av situasjonene fikk SHOP noe lavere inntektsøkning enn Vansimtap, mens for "Sommervannføring" ble inntektsøkningen i SHOP noe større enn i Vansimtap. Forskjellene er ikke store, og det er simulert for få situasjoner i SHOP til å kunne dokumentere om den faktiske inntektsgevinsten er noe lavere eller høyere enn simulert i Vansimtap. Som diskutert over er disse situasjonene tilfeldig plukket ut, og vil ikke kunne verifisere hele den forventede driften av et tredje aggregat. Det mest ideelle hadde vært og koblet Vansimtap og SHOP automatisk og optimalisert alle tidsskrittene til Vansimtap i SHOP. Dette krever SHOP i filformat og et script som automatiserer det hele. På denne måten kunne en ha fått resultater for mange forskjellige scenarioer over hele året, med bedre kvalitet enn kun simulering i Vansimtap.

Det må kommenteres at manglende modellering av minstevannføring, kan påvirke resultatene i den grad at virkningen av bedret virkningsgrad ved lave vannføringer ikke kommer frem. Økt tilgjengelig vannføring gjennom Svorkmo kraftverk reduserer behovet for kjøring av aggregat 3 ved lavt tilsig, da $20 \text{ m}^3/\text{s}$ ikke må slippes forbi. Derfor vil ikke resultatene over være helt representative, men kun anses som en indikasjon på at modellbeskrivelsen i Vansimtap er god nok for en investeringsanalyse.

9.2 Diskusjon av usikkerhet i resultater

I beregningen av PQ-kurver til bruk i Vansimtap, benyttes ekstrapolerte virkningsgradskurver. Det er antatt lineær sammenheng mellom vannføring og virkningsgrad i endene, da en ikke har forutsetning til å kunne anta noe annet. Det vil alltid ligge usikkerhet i slike antakelser og vil kunne gi store utslag i beregningen av driftsinntekter fra aggregat 3 i Vansimtap. PQ-kurven for aggregat 3, beregnet i Matlab, ligger noe over nedre del av PQ-kurven til aggregat 2. Ytelsen i MW for en gitt vannføring vil ikke være mye større for aggregat 3 enn for aggregat 2. Dette gjør at forskjellen mellom referansemodellen og utbyggingsmodellen ved lave vannføringer er relativt liten. Dermed vil ikke den økte produksjonsgevinsten på lave vannføringer komme fram, og den totale økte produksjonsgevinsten vil bli beregnet til mindre enn virkelig. *Siden det er usikkerhet knyttet til virkningsgradskurvene til aggregat 2, de er trolig for optimistiske, kan en ikke se bort fra at en evt inntjening på aggregat 3 ved lave vannføringer kan være større.* Denne virkningen ble dessverre vanskelig å dokumentere fordi sammenligningsresultatene i Vansimtap og SHOP ikke tar hensyn til minstevannføring.

Ved hver simulering i Vansimtap foretas det en ny vannverdiberegning og optimalisering av tappefordeling. Vannverdiberegningen er ikke eksakt og små avvik i vannverdiberegningen, gir avvik i optimaliseringen av tappefordelingen. Slike beregningsvariasjoner gjør det vanskelig å skille mellom reell endring i resultater pga endret modellbeskrivelse og avvik i optimaliseringen, ved små endringer mellom modellene.

Modellbeskrivelsen i SHOP er ikke helt representativ. Pga manglende mulighet til å legge inn individuelle fallhøyder til hvert aggregat, ligger aggregat 3 lavere enn beskrevet i utbyggingsplanleggingen. Dette fører til at aggregat 3 får en bedre totalvirkningsgradsbeskrivelse enn det som er tilfelle i virkeligheten og benyttet i Vansimtap. I tillegg ble det ikke mulighet til å legge inn flere virkningsgradskurver for hver turbin referert til fallhøyde, fordi SHOP ikke klarte å interpolere mellom kurvene. For mange og forskjellige aggregater førte til at matematikken ble komplisert og resultatene stemte ikke med virkeligheten.

Et interessant spørsmål er om SHOP kan anses som den mest eksakte modellen eller om det ligger mye usikkerhet i beregningsavvik ("naturlig variasjon") og håndteringen av strenge magasinrestriksjoner. SHOP brukes i denne oppgaven på en annen måte enn hva den egentlig

er tiltenkt. Hvordan dette påvirker resultatene er usikkert. Denne usikkerheten gjør at resultatene beregnet i SHOP ikke kan brukes fullt ut uten å vurdere usikkerheten i dem. Tappestrategien i SHOP styres i disse optimaliseringene kun av styrekurver for magasinene, og overstyrer vannverdiens innvirkning på tappestrategien. Straffefunksjonene for avvik i sluttmagasinnivå er trolig meget harde, fordi sluttmagasinnivåene som ble lagt inn, ble overholdt helt eksakt. Slike harde straffefunksjoner kan føre til at unødvendig mye vann tappes forbi for å overholde magasinrestriksjonene. Det resulterer igjen til tapt produksjon og tapt inntekt.

De usikkerhetsmomentene som har størst betydning for resultatene, er usikkerheten i ekstrapoleringen av virkningsgradskurvene til turbin 2 og neglisjering av minstevannføring ved verifisering av Vansimtapresultatene i SHOP. Usikkerheten i ekstrapoleringen påvirker produksjonsgevinsten beregnet i Vansimtap direkte. Neglisjering av minstevannføring i verifisering av resultatene ekskluderer muligheten til å kontrollere effekten aggregat 3 vil ha på produksjonen ved lave vannføringer.

10. Konklusjon

Formålet med denne masteroppgaven er å gjennomføre en økonomisk analyse av hvorvidt det er noen gevinst ved innsetting av et tredje aggregat i Svorkmo kraftverk. Bakgrunnen for utbyggingsplanene er muligheten for økt utnyttelse av kraftverket og gi større fleksibilitet i driften av vassdraget.

Svorkmo kraftverks matematiske beskrivelse er kompleks pga store og varierende falltap i tilløpstunnel, og bekkeinntakenes innvirkning på falltapene. Nøyaktig modellering av virkningsgrader i dette kraftverket er meget viktig fordi det påvirker produksjonsgevinsten fra et tredje aggregat. PQ-kurver tilpasset sesonger og vannføring i bekkeinntak, gir en god tilnærming av virkningsgradsbeskrivelsen i Vansimtap. Modellering av bekkeinntak i SHOP fungerer fint, selv ved bruk av grensesnitt, og bør utvikles videre til å kunne brukes i den daglige produksjonsplanleggingen.

Simuleringene i Vansimtap viste at en innsetting av et tredje aggregat i Svorkmo kraftverk gir en økning på 4,322 GWh, som utgjør en økning på ca 0,34 % av den totale årlige produksjonen i Orklavassdraget. Ved en gjennomsnittlig markedspris på 39 Euro/MWh, ble økningen i produksjonsverdien på 0,164 M Euro. Det totale magasinivået, summen av alle magasinene, minker ved innsetting av aggregat 3 pga mulighet for økt tapping av magasin vann med mindre risiko for overløp. Fordi magasinivået har minket og Svorkmo har økt slukeevne, har vanntapet minket med ca 8 GWh. Produksjon ved dårlig virkningsgrad i Svorkmo kraftverk, spesielt ved maksimal vannføring, gjør at verdien av minket vanntap er større enn verdien av økt produksjon. Produksjonsgevinsten kommer i hovedsak fra økt kapasitet i Svorkmo kraftverk, og dermed bedre utnyttelse av høyt tilsig. På sommervannføring vil et tredje aggregat bedre totalvirkningsgraden til kraftverket. Pga usikkerhet i ekstrapolering av virkningsgradskurver for turbin 2, hvor virkningsgradskurvene trolig er for gode ved lave vannføringer, vil produksjonsgevinsten ved innsetting av aggregat 3 muligens være større.

Verifiseringen av resultatene fra Vansimtap i SHOP, viste at det var god korrelasjon i differansen mellom utbyggings- og referansemodellen i begge beregningsverktøyene. I de situasjonene som ble optimalisert, ble effekten av et tredje aggregat omtrent lik i både SHOP og Vansimtap. Ut fra dette kan en anta at resultatene fra Vansimtap er gode nok. Flere

situasjoner bør optimaliseres i SHOP for å kunne dokumentere dette, fordi fem situasjoner ikke kan representere den fremtidige driften av vassdraget med tre aggregater i Svorkmo.

Manglende modellering av minstevannføring i sammenligningsresultatene fra Vansimtap og SHOP, kan påvirke resultatene i den grad at virkningen av bedret virkningsgrad ved lave vannføringer ikke kommer frem. Usikkerhet i hvordan SHOP håndterer harde magasinrestriksjoner kontra minimering av overløp/forbitapping, gjør at resultatene fra SHOP ikke kan brukes uten å vurdere usikkerheten i dem. I optimaliseringene i SHOP fikk aggregat 3 en bedre virkningsgradsbeskrivelse enn virkelig pga høyere brutto fallhøyde enn tiltenkt. Dette gir en for optimistisk utnyttelse av aggregat 3, og vil kunne gi bedre effekt av aggregat 3 enn det som er mulig å oppnå.

Lønnsomheten i prosjektet med å sette inn et tredje aggregat i Svorkmo kraftverk, er avhengig av fremtidige priser på kraft og kostnadene relatert til utbyggingen. En nåverdianalyse må gjennomføres for å kunne slå fast om dette er et lønnsomt prosjekt eller ikke.

Resultatene fra Vansimtap kan antas som gode nok til bruk i en økonomisk analyse, men usikkerheten i beregningene må vurderes før de eventuelt brukes. En følsomhetsanalyse bør gjennomføres for å se hvor stor risiko det er knyttet til avvikende verdi for produksjonsgevinst. Dette kan avgjøre hvor stor betydning usikkerhetene i beregningene vil ha for avgjørelsen om prosjektet settes i verk eller ikke.

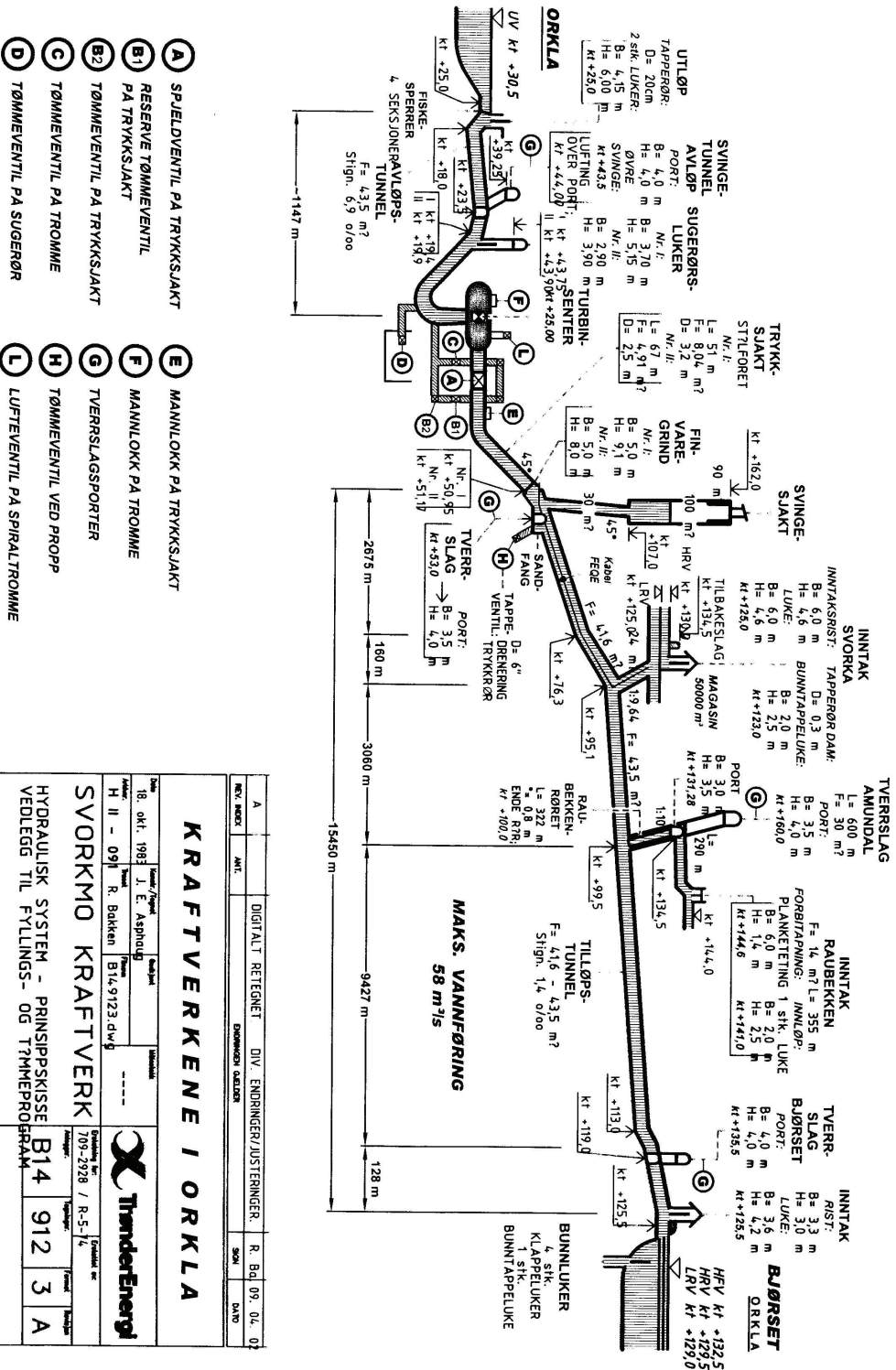
11. Kilder

- [1] Oversiktsblad over Orklavassdraget, 1986. Materiale er gitt av sivilingeniør Lars Olav Hoset ved TrønderEnergi Kraft AS
- [2] Rapport: Falltapsundersøkelser ved kraftverkene i Orkla, Norges Hydrodynamiske Laboratorier, 1984
- [3] Tall gitt av sivilingeniør Lars Olav Hoset ved TrønderEnergi Kraft AS på bakgrunn av informasjon og data fra Voith Siemens, samt egne kalkulasjoner
- [4] Hydro Power Scheduling, Prof. Gerard L. Doorman, Dep. Of Electric Power Engineering, NTNU, 2007
- [5] Vansimtap Brukerveiledning, Sintef
- [6] SHOP Brukerveiledning, Powel
- [7] Forelesningsmateriale utgitt av Mikael Belsnes under EVU-kurs i Produksjonsplanlegging av vannkraftbaserte system 2009, Korttidsplanlegging.
- [8] Korttidsplanlegging, Del 3, Produksjonsplanlegging i vannkraftbaserte system, EVU-kurs høsten 2007, Prof. Olav Bjarte Fosso, NTNU
- [9] E-post, 14.4.2009, avsender: sivilingeniør Lars Olav Hoset ved TrønderEnergi Kraft AS
- [10] Power System Economics – the Nordic Electricity Market, Prof. Ivar Wangensteen, Tapir Academic Press, Trondheim 2007

12. Vedlegg

A Detaljert skisse over vannveiene i Svorkmo kraftverk.....	1
B Tekniske data for Svorkmo kraftverk.....	2
C Kotekurver for turbin 1 og 2.....	6
D Skisse over utbyggingsplanene	8
E Turbinvirkningsgradskurver for turbin 1, 2 og 3	10
F Matlabscript for beregning av PQ-kurver	14
G Script ”kurvtegn-idunn”	30
H Bekkeinntak-fila brukt i SHOP	31

A Detaljert skisse over vannveiene i Svorkmo kraftverk



- A** SPJELDVENTIL PÅ TRYKKSJAKT
- B1** RESERVE TØMMEVENTIL PÅ TRYKKSJAKT
- B2** TØMMEVENTIL PÅ TRYKKSJAKT
- C** TØMMEVENTIL PÅ TROMME
- D** TØMMEVENTIL PÅ SUGERØR
- E** MANNLOKK PÅ TRYKKSJAKT
- F** MANNLOKK PÅ TROMME
- G** TVERRSLAGSPORTER
- H** TØMMEVENTIL VED PROPP
- L** LUFTVENTIL PÅ SPIRALTROMME

REV. NR.	REVISJON	AVT.	DIGITALT RETTEGNET	DIV. ENDRINGER/JUSTERINGER	DRUKNINGSDATUM	SOB	DATO
A						R. Bø	09. 04. 02

KRAFTVERKENE I ORKLA	
Utvalgt	Druttet
18. okt. 1983	18. okt. 1983
J. E. Aspöck	J. E. Aspöck
H II - 091	R. Bakken
B14.9123.dv.g	B14.9123.dv.g
SVOROKMO KRAFTVERK	
Hydraulisk system - prinsippsskisse	Hydraulisk system - prinsippsskisse
Vedlegg til fyllings- og tømmeprøve	Vedlegg til fyllings- og tømmeprøve
B14	912
3	A



B Tekniske data for Svorkmo kraftverk

Utdrag fra Exel-ark "Svorkmo" som inneholder tekniske data om Svorkmo kraftverk. Exel-filen er gitt med tillatelse av Lars Olav Hoset. For tilgang til hele filen, ta kontakt med Lars Olav Hoset.

Tekniske data:

KVO
Svorkmo
Versjon

08.05.2006

Bjørset dammen	
HRV	129,50moh
LRV	129,00moh

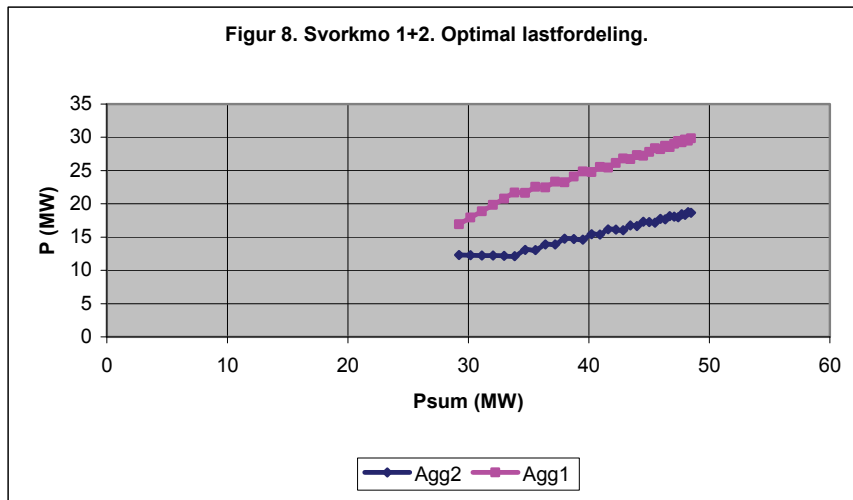
tunnel	Bjørsetd- Svorkaavgr.
Falltapskoef.	0,002452

Tunnel	Svorkaavgr- Svokmo
Falltapskoef.	0,000607

Svorkmo Kraftstasjon	
Fallhøyde	94m
Falltapskoef i trykksjakt T1	0,000097
Falltapskoef i trykksjakt T2	0,000481
Utløpskote	30,70moh
Trafo	T1 40MVA
Trafo	T2 25MVA
Tomgangstap	T1 0,0254GWh
Tomgangstap	T2 0,0177GWh
Trafo EK	T1 0,098pu
Trafo EK	T2 0,074pu
Belastingstap	T1 0,1408GWh
Belastingstap	T2 0,0806GWh

Tunnel	Svorkmo-Svorneds
Falltapskoef.	0,000320

Optimal lastfordeling:



Virkningsgrader:

Virningsgrad turbin 1

Data fra Kværner

T1 m3/s	%	pu	P1 MW	Kontroll P1 MW	Kontr formel %
38,42	92,69	0,9269	32,84	32,8722616	0,92825765
43,87	89,84	0,8984	36,34	36,3811748	0,89814101
32,78	94,81	0,9481	28,66	28,688143	0,94530435
30,02	94,05	0,9405	26,03	26,0620653	0,94509685
25,82	93,04	0,9304	22,16	22,1750844	0,93122533
22,79	91,18	0,9118	19,16	19,1815304	0,90993837
19,14	87,04	0,8704	15,36	15,3780106	0,87094231
31,78	94,84	0,9484	27,79	27,8217715	0,94597704

Virkningsgrad generator 1

fra Kværner

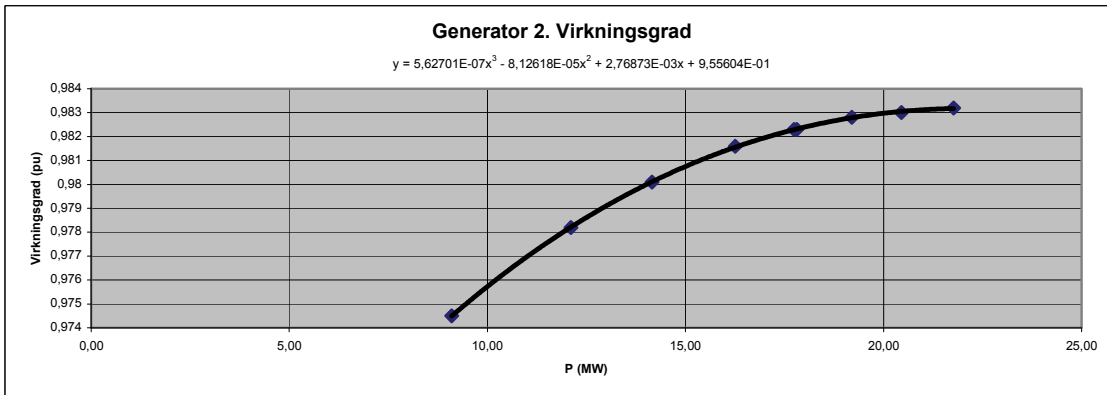
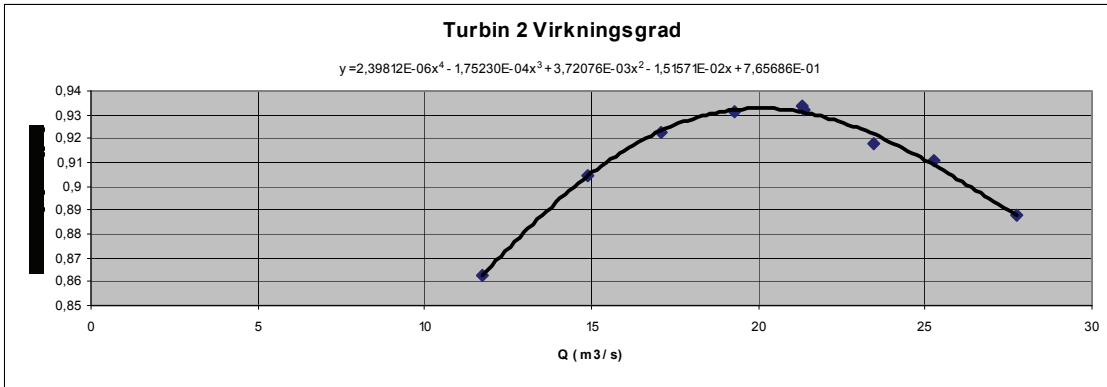
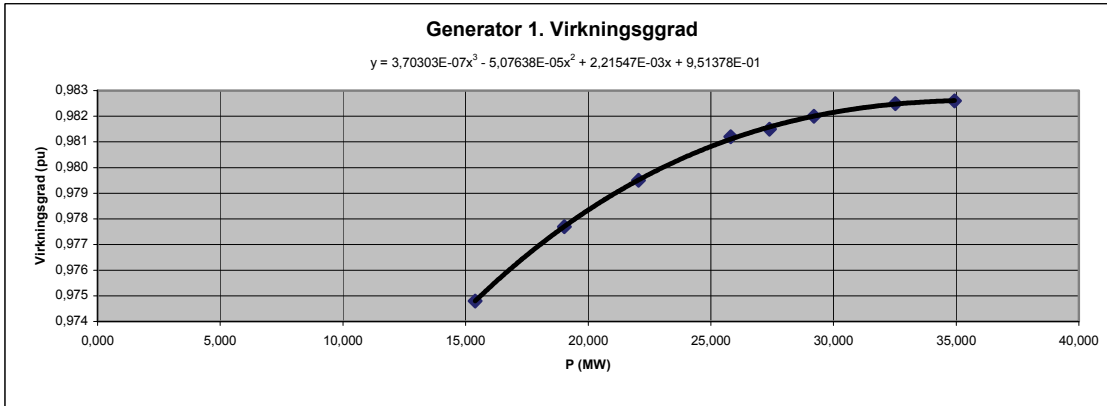
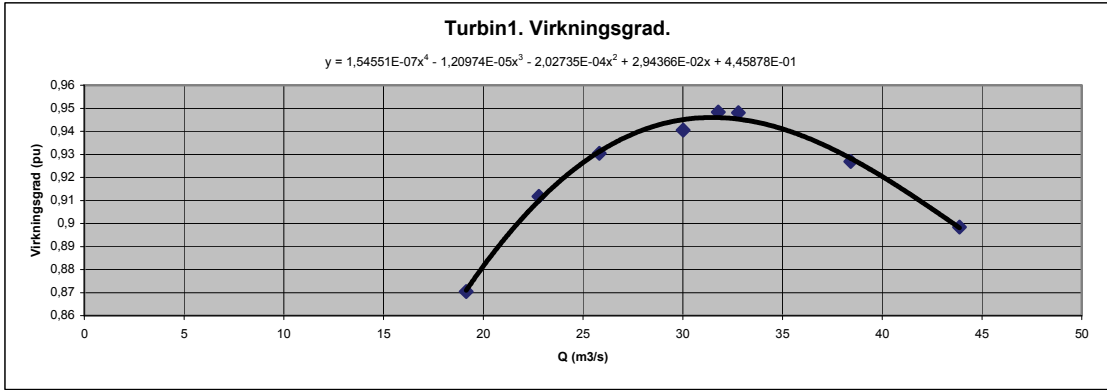
G1 (MW)ut	%	pu	(MW)inn
31,950	98,250	0,983	32,519
34,320	98,260	0,983	34,928
28,680	98,200	0,982	29,206
25,320	98,120	0,981	25,805
21,600	97,950	0,980	22,052
18,600	97,770	0,978	19,024
15,000	97,480	0,975	15,388
26,880	98,150	0,982	27,387

Virkningsgrad turbin2
 Verdier fra Norconsult

T2		Kontroll P2		Kontr. formel
m3/s	%	pu	MW	pu
17,1	92,25	0,9225	14,57	0,9233
21,35	93,2	0,932	18,37	0,9311
23,48	91,81	0,9181	19,9	0,9217
27,74	88,77	0,8877	22,73	0,8879
19,27	93,13	0,9313	16,57	0,9320
14,87	90,47	0,9047	12,42	0,9041
11,74	86,25	0,8625	9,35	0,8626
21,33	93,33	0,9333	18,38	0,9311
25,29	91,05	0,9105	21,26	0,9087

Virkningsgrad generator 2
 Fra Norconsult

G2		pu
MW	%	pu
14,16	98,01	0,9801
17,81	98,23	0,9823
19,20	98,28	0,9828
21,77	98,32	0,9832
16,26	98,16	0,9816
12,11	97,82	0,9782
9,10	97,45	0,9745
17,74	98,23	0,9823
20,45	98,30	0,983

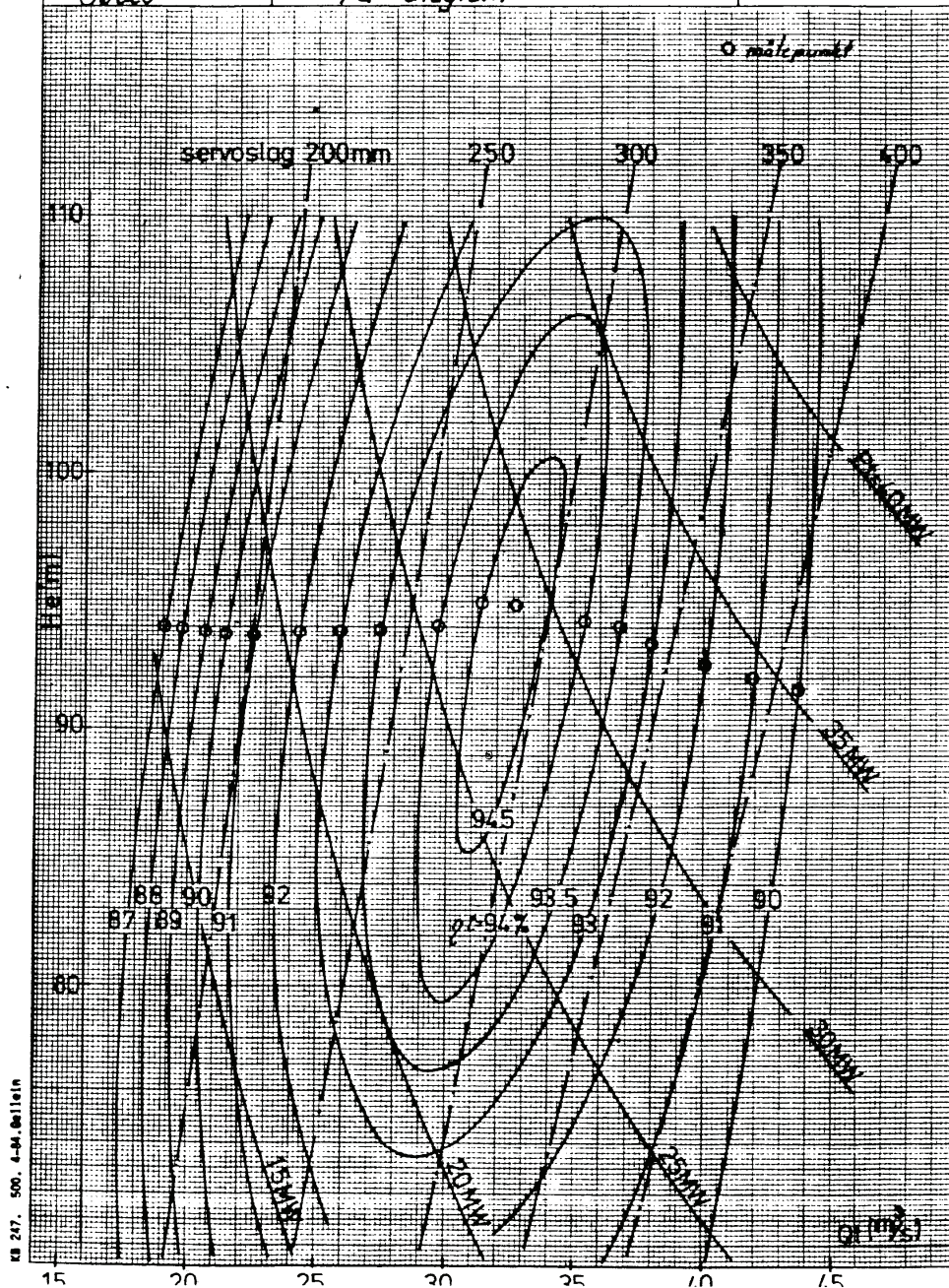


C Kotekurver for turbin 1 og 2

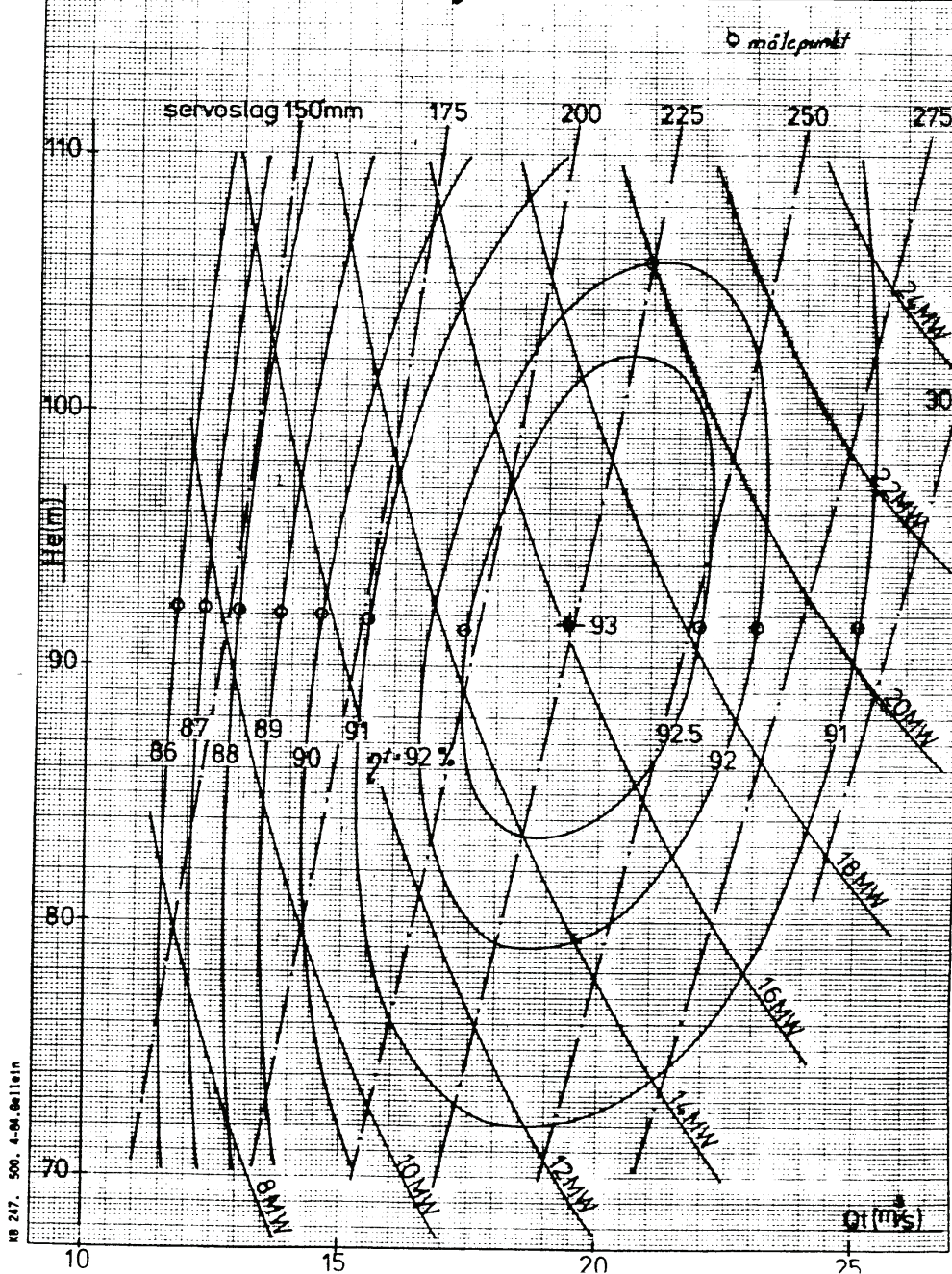
Kværner Brug A/S

Documentnavn / Document Name

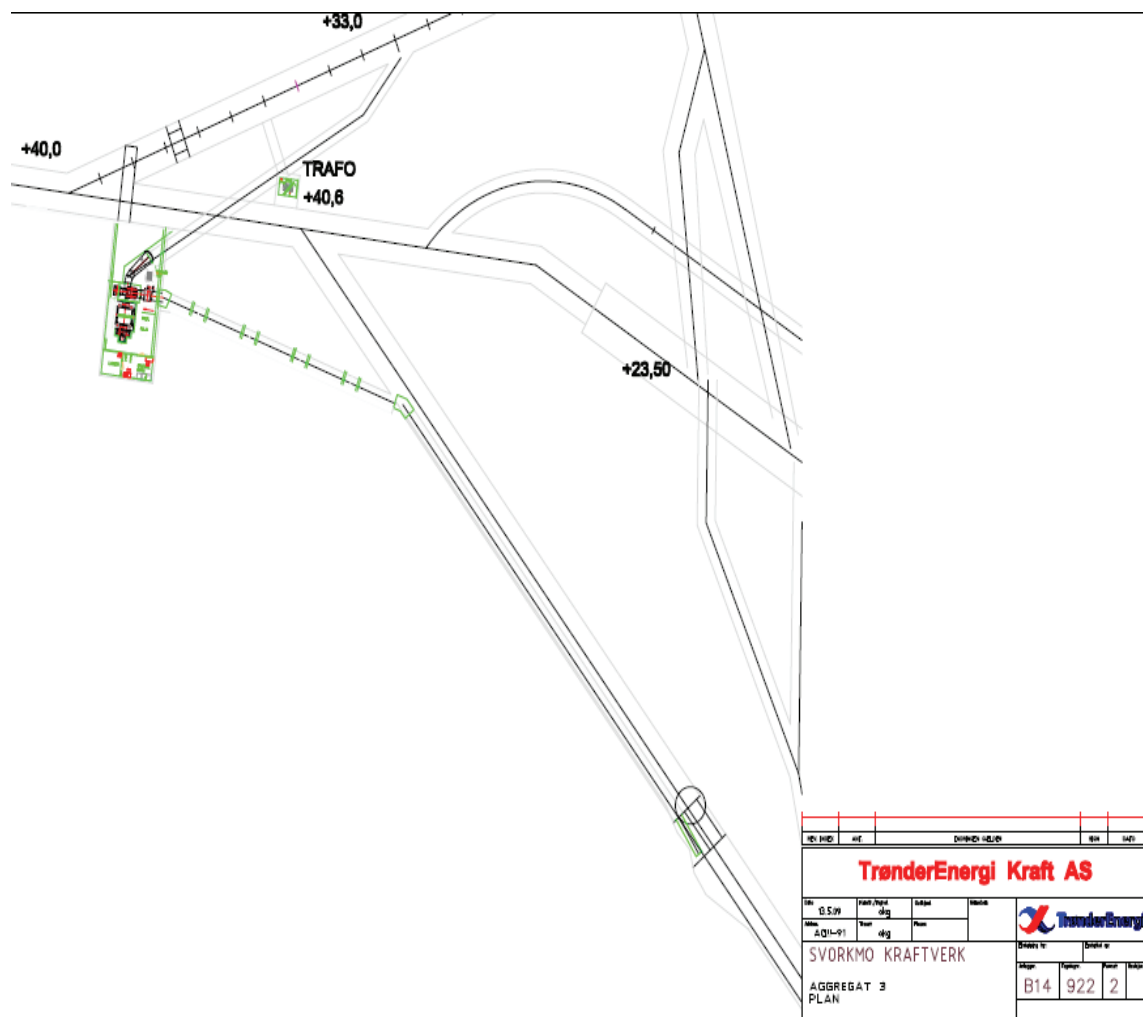
Ordre nr. / Order No.	Kunde / Customer <i>KVO, Svorkmo kr v. turbin</i>	Side / Page av / of
Dato / Date <i>84.10.23</i>	Sak / Subject <i>H/Q diagram</i>	Teign. nr. / Dwg. No.
Sign <i>Betto</i>		Rapport nr. / Report No.



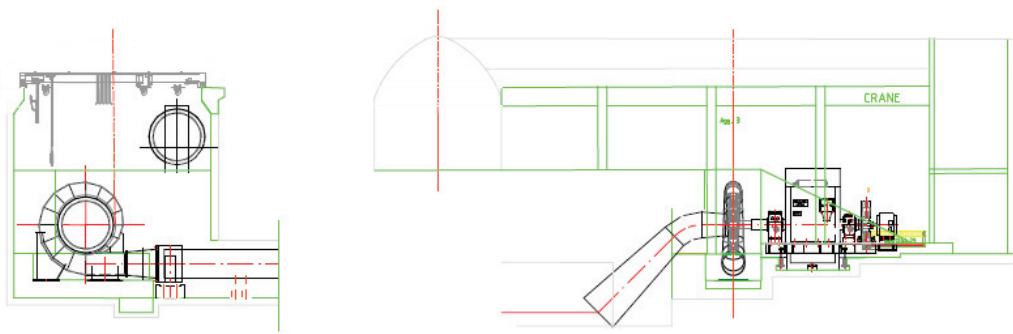
Ordre nr. / Order No.	Kunde / Customer <i>KYO Svorkmo kr.v. Turb 2</i>	Side / Page av / of
Dato / Date <i>84.10.23</i>	Sak / Subject <i>H/Q diagram</i>	Tegn nr. / Drwg. No.
Sign. <i>Betto</i>		Rapport nr. / Report No.



D Skisse over utbyggingsplanene



Plantegning for aggregat 3 i Svorkmo kraftverk



REV	BYGG	AVT	DRUKKED	UTGITT	REVISJON	DATE
TrønderEnergi Kraft AS						
Rev	05/09	Prosjekt	40g	Aggregat	3	SNITT
Rev	A01-95	Form	40g	Prosjekt		
SVORKMO KRAFTVERK						
AGGREGAT 3 SNITT						
Bladnr	B14	Bladene	921	Bladene	2	Bladene

Snitt over maskinsal til aggregat 3 i Svorkmo kraftverk

E Turbinvirkningsgradskurver for turbin 1, 2 og 3

Tabeller:

Turbin 1

He = 100			He = 94			He = 85			He = 80		
Q	etha		Q	etha		Q	etha		Q	etha	
17,2	83,25	0,8325	17	84,5	0,845	16	84,5	0,845	15,6	84,5	0,845
20,2	87	0,87	19	87	0,87	18	87	0,87	17,6	87	0,87
21	88	0,88	19,8	88	0,88	18,8	88	0,88	18,4	88	0,88
21,8	89	0,89	20,8	89	0,89	19,6	89	0,89	19,2	89	0,89
22,6	90	0,9	21,6	90	0,9	20,6	90	0,9	20,4	90	0,9
23,8	91	0,91	22,6	91	0,91	21,8	91	0,91	21,6	91	0,91
25,6	92	0,92	24,4	92	0,92	23,4	92	0,92	23,4	92	0,92
27,2	93	0,93	26	93	0,93	25	93	0,93	25,4	93	0,93
29	93,5	0,935	27,6	93,5	0,935	26,8	93,5	0,935	27,4	93,5	0,935
31,4	94	0,94	29,8	94	0,94	29	94	0,94	29,2	94	0,94
33,2	94,5	0,945	31,2	94,5	0,945	33,2	94	0,94	30,8	94	0,94
34,6	94,5	0,945	33,8	94,5	0,945	34,8	93,5	0,935	32,8	93,5	0,935
36,2	94	0,94	35,4	94	0,94	36,2	93	0,93	34,6	93	0,93
37,6	93,5	0,935	36,8	93,5	0,935	38,6	92	0,92	37,2	92	0,92
38,8	93	0,93	38,2	93	0,93	41	91	0,91	39,8	91	0,91
40,8	92	0,92	40,2	92	0,92	42,8	90	0,9	42,2	90	0,9
42,6	91	0,91	42,2	91	0,91	44,8	88,69	0,887	44,2	89,01	0,8901
44,2	90	0,9	43,8	90	0,9	45,8	87,8	0,878	45,2	88,29	0,8829
45,2	89,32	0,8932	45,8	88,98	0,8898						

Turbin 2

He = 100			He = 94			He = 85			He = 80		
Q	etha		Q	etha		Q	etha		Q	etha	
2,6	70	0,7	2,3	70	0,7	2,1	67	0,67	2	70	0,7
12,1	86	0,86	11,8	86	0,86	11,6	86	0,86	11,5	86	0,86
12,7	87	0,87	12,4	87	0,87	12,1	87	0,87	12,1	87	0,87
13,4	88	0,88	13	88	0,88	12,8	88	0,88	12,7	88	0,88
14,4	89	0,89	13,9	89	0,89	13,6	89	0,89	13,4	89	0,89
15,4	90	0,9	14,8	90	0,9	14,2	90	0,9	14,3	90	0,9
16,4	91	0,91	15,7	91	0,91	15,3	91	0,91	15,4	91	0,91
18,1	92	0,92	17	92	0,92	16,6	92	0,92	17,5	92	0,92
19,1	92,5	0,925	17,7	92,5	0,925	17,6	92,5	0,925	20,3	92	0,92
22	92,5	0,925	22,1	92,5	0,925	20,6	92,5	0,925	23,3	91	0,91
23,2	92	0,92	23,2	92	0,92	22,1	92	0,92	25,3	90,42	0,9042
25,4	91	0,91	25,2	91	0,91	24,3	91	0,91			

Turbin 3

He = 92

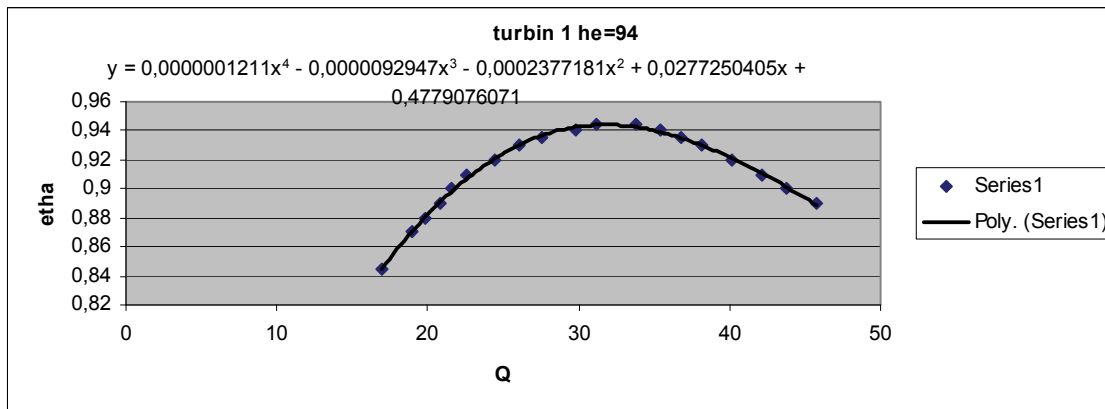
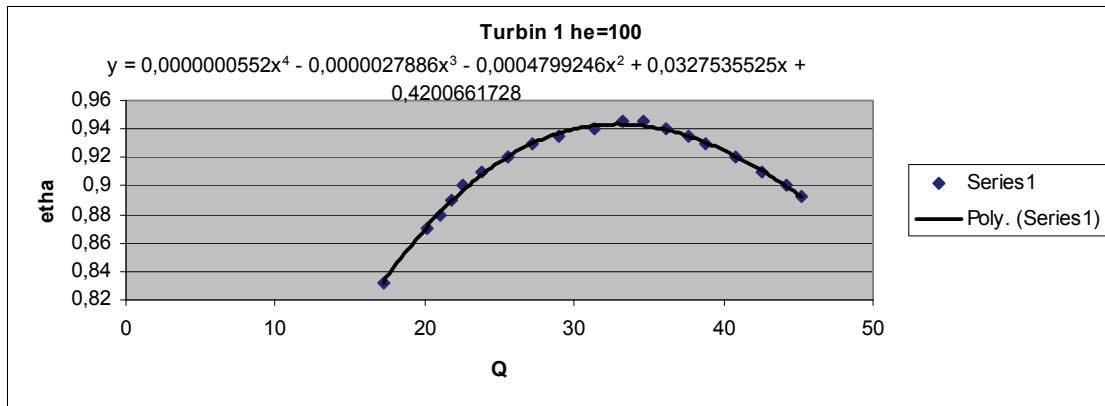
Q	etha	
1	64,6	0,646
3	80,5	0,805
3,5	84,5	0,845
4	87,5	0,875
4,5	89,9	0,899
5	91,2	0,912
5,5	91,8	0,918
6	92,5	0,925
6,5	93,2	0,932
7	93,6	0,936
7,5	93,4	0,934
8	93	0,93
9	90,5	0,905

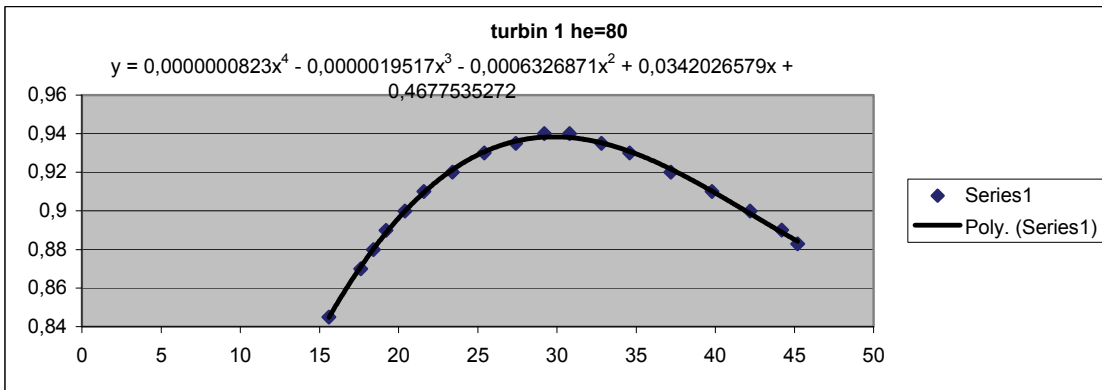
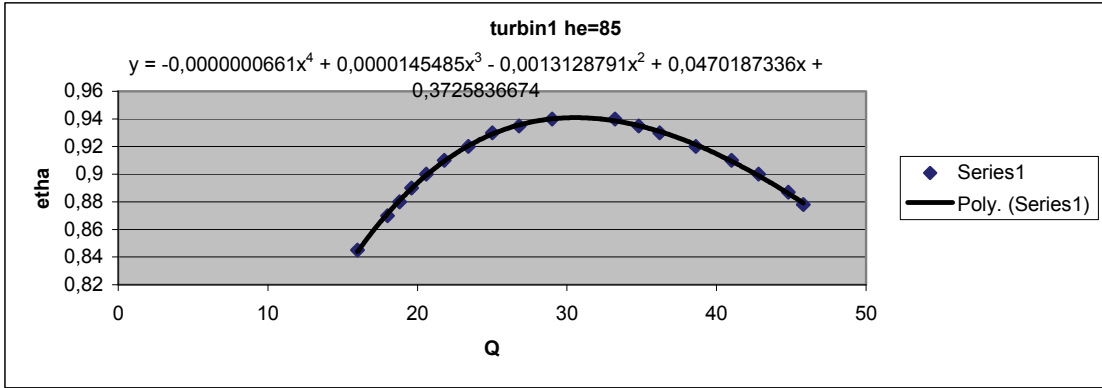
He = 70

Q	etha	
1	55,5	0,555
3	77,1	0,771
3,5	82,5	0,825
4	86,5	0,865
4,5	89	0,89
5	90	0,9
5,5	90,6	0,906
6	91,3	0,913
6,5	92,4	0,924
7	92,5	0,925
7,5	92	0,92
8	91,3	0,913
9	88,8	0,888

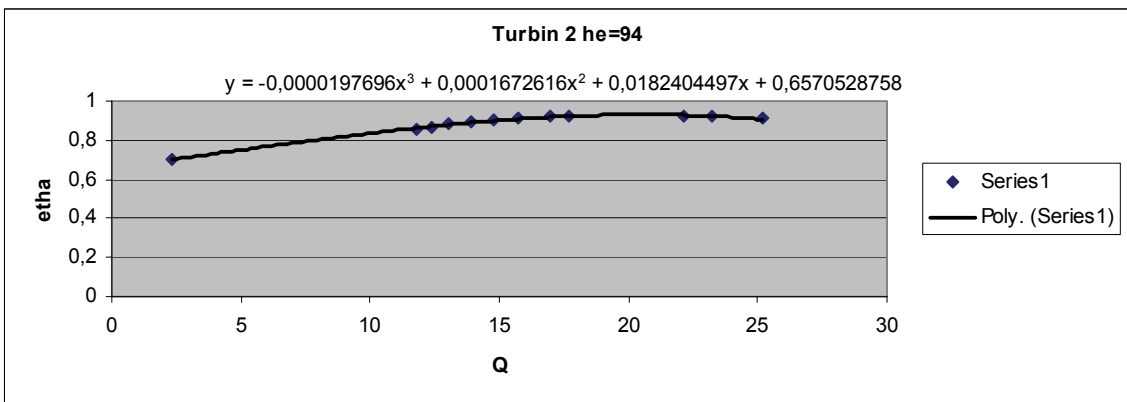
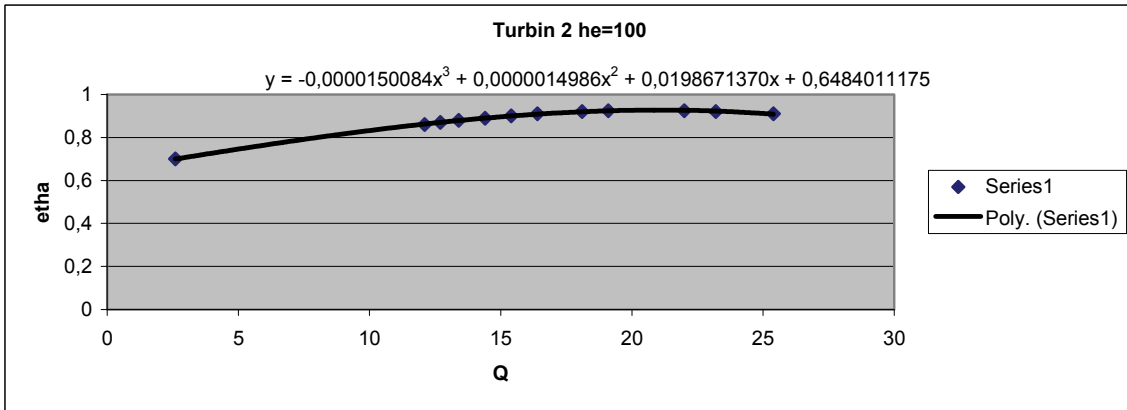
Kurver:

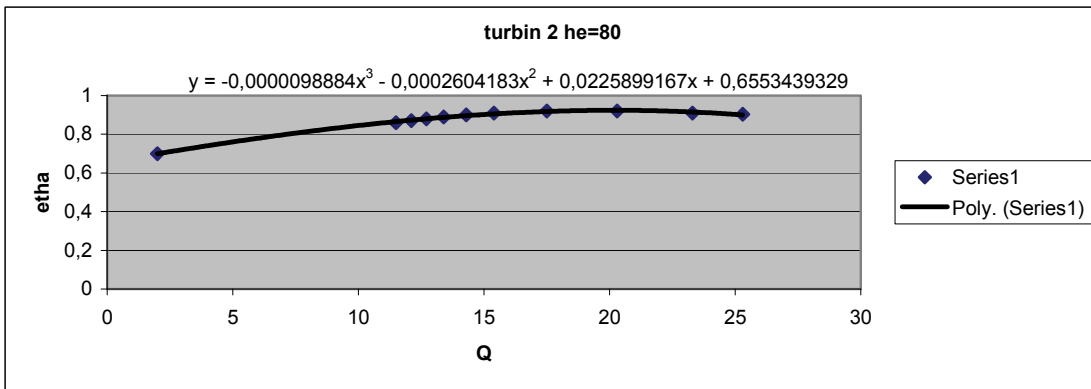
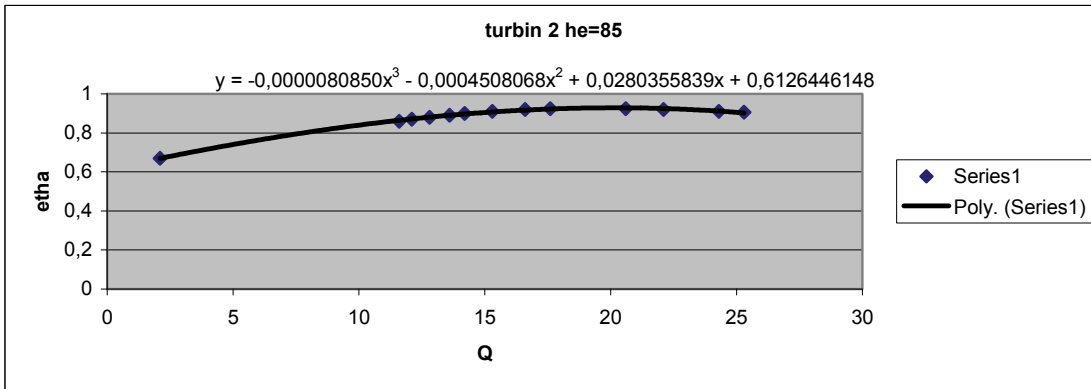
Turbin 1



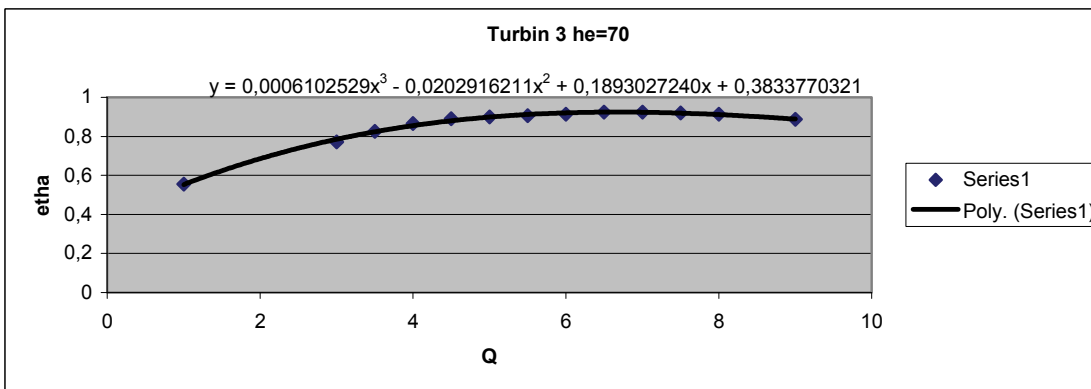
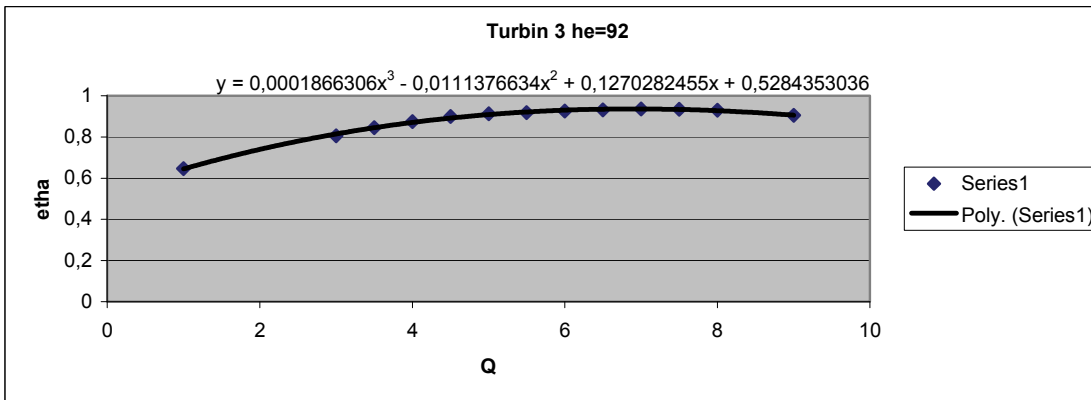


Turbin 2





Turbin 3



F Matlabscript for beregning av PQ-kurver

```
clear all

%Utregning av produksjon for hver av aggregatene avhengig av vannføring
% i bekkeinntakene, hvor målte
%falltapskoeffisienter og detaljert virkningsgradsbeskrivelse av
turbiner
%er tatt med.
%-----

%Naturkonstanter
rho=1000;    %Vannets tetthet
g=9.82;     %Tyngdekraftkonstant

%Andre konstanter
H=98.70;    %Brutto fallhøyde hentet fra Exel-ark "Svorkmo"
H3=93.3;    %Brutto fallhøyde for aggregat 3

%Falltapskoeffisienter
ft1=0.0001;    %Falltapskoef. trykkrør 1
ft2=0.0005;    %Falltapskoef. trykkrør 2
ft3_1=0.00465; %Falltapskoef. trykkrør 3

%Virkningsgradsfunksjoner
etha_traf=0.992;

%-----%
%           Beregning av P-Q-kurver for hvert aggregat kjørt alene           %
%                                                                                   %
%-----%

Qaamot=2.245;

%Aggregat 1 alene
%-----

    for q1=18:45                %kjører aggregat 1

        Qtotal=q1;              %Setter total vannføring lik
                                %turbinvannføring pga kjøring alene

        if Qtotal >= 1.2*Qaamot    %sjekker gyldighet for utregning av
                                    %falltap

            delta_h=(0.00416663*Qtotal^2)-
(0.00727279*Qtotal*Qaamot)+(0.00432295*Qaamot^2); %beregner falltapet
                                                    %i meter ved gitt
                                                    %vannføring

            delta_h1=delta_h+ft1*q1;    %Totalt falltap inkludert
                                        %trykksjakt 1
```

```

h_netto=H-delta_h1;           %Beregner netto fallhøyde over aggregat 1

p1_turb=(rho*g*virkningsgrad1(h_netto,q1)*h_netto*q1)/1e6; %Beregner
                                                                    effekt ut av
                                                                    turbin 1 i MW

etha_gen1=3.70303e-7*p1_turb^3-5.07638e-5*p1_turb^2+2.21547e-
3*p1_turb+9.51378e-1;

        p1_g=etha_gen1*p1_turb;   %Beregner effekt ut av
                                    generator 1

        p1_traf=p1_g*etha_traf;   %Beregner effekt ut av
                                    trafo

        P1_alene(q1)=p1_traf;    %Lagrer produksjonsdata

        Q1_alene(q1)=Qttotal;    %Lagrer tilhørende
                                    vannføringer

    end
end

%Aggregat 2 alene
%-----

    for q2=3:25                %Kjører aggregat 2

        Qttotal=q2;           %Setter total vannføring lik
                                turbinvannføring pga kjøring alene

        if Qttotal >= 1.2*Qaamot %sjekker gyldighet for utregninga v falltap

            delta_h=(0.00416663*Qttotal^2)-
(0.00727279*Qttotal*Qaamot)+(0.00432295*Qaamot^2); %beregner falltapet i
                                                                meter ved gitte
                                                                vannføringer

            delta_h2=delta_h+ft2*q2;   %Totalt falltap inkludert trykksjakt 2

            h_netto=H-delta_h2;       %Beregner netto fallhøyde over aggregat 2

p2_turb=(rho*g*virkningsgrad2(h_netto,q2)*h_netto*q2)/1e6; %Beregner
                                                                    effekt ut av
                                                                    turbin 2 i MW

etha_gen2=5.62701e-7*p2_turb^3-8.12618e-5*p2_turb^2+2.76873e-
3*p2_turb+9.55604e-1;

        p2_g=etha_gen2*p2_turb; %Beregner effekt ut av
                                    generator 2
        p2_traf=p2_g*etha_traf; %Beregner effekt ut av trafo

P2_alene(q2)=p2_traf; %Lagrer produksjonsdata

Q2_alene(q2)=Qttotal; %Lagrer tilhørende vannføring

```

```

end

end

%Aggregat 3 alene
%-----

for q3_1=1:9      %Kjører aggregat 3 for utbyggingsalternativ 1

    Qtotal=q3_1;  %Setter total vannføring lik turbinvannføring pga
                  kjøring alene

    if Qtotal >= 1.2*Qaamot %sjekker gyldighet for utregning av
                          falltap

        delta_h=(0.00416663*Qtotal^2)-
(0.00727279*Qtotal*Qaamot)+(0.00432295*Qaamot^2); %beregner falltapet i
                                                    meter ved gitte
                                                    vannføringer

        delta_h3_1=delta_h+ft3_1*q3_1+0.5;      %Totalt falltap
                                                    inkludert trykksjakt 3
                                                    og 0,5 m tap i bend
                                                    og ventiler

        h_netto=H3-delta_h3_1; %Beregner netto fallhøyde over aggregat 3

p3_1_turb=(rho*g*virkningsgrad3_1(h_netto,q3_1)*h_netto*q3_1)/1e6;
%Beregner effekt ut av turbin 3 i MW

etha_gen3_1=0.00001597*p3_1_turb^3-
0.00075623*p3_1_turb^2+0.00844627*p3_1_turb+0.95560367;

    p3_1_g=etha_gen3_1*p3_1_turb;%Beregner effekt ut av generator 3

    p3_1_traf=p3_1_g*etha_traf; %Beregner effekt ut av trafo

    P3_1_alene(q3_1)=p3_1_traf; %Lagrer produksjonsdata

    Q3_1_alene(q3_1)=Qtotal;    %Lagrer tilhørende vannføring

end

end

```

```
%Plotter produksjonskurvene mot vannføring, alle kurver i samme figur
%Tar bort verdier som er lik null
```

```
figure(1)
```

```
    if q2 >= 1.2*Qaamot
```

```
        element2=(25-nnz(Q2_alene)+1);
```

```
        P2_alene_plot=P2_alene(element2:25);
```

```
        Q2_alene_plot=Q2_alene(element2:25);
```

```
        plot(Q2_alene_plot,P2_alene_plot)
```

```
        hold on
```

```
    end
```

```
    if q1 >= 1.2*Qaamot
```

```
        element1=(45-nnz(Q1_alene)+1);
```

```
        P1_alene2=P1_alene(element1:45);
```

```
        Q1_alene2=Q1_alene(element1:45);
```

```
        plot(Q1_alene2,P1_alene2)
```

```
        hold on
```

```
    end
```

```
    if q3_1 >= 1.2*Qaamot
```

```
        element3=(9-nnz(Q3_1_alene)+1);
```

```
        P3_1_alene2=P3_1_alene(element3:9);
```

```
        Q3_1_alene2=Q3_1_alene(element3:9);
```

```
        plot(Q3_1_alene2,P3_1_alene2)
```

```
        hold on
```

```
    end
```

```
%Utregning av lastfordeling, hvor målte
```

```
%falltapskoeffisienter og detaljert virkningsgradsbeskrivelse av  
turbiner
```

```
%er tatt med. Deretter brukes lastfordelingen til å generere sum  
%produksjonskurve ved kjøring av flere aggregater sammen.
```

```
%-----
```

```
p_sum_opt=1;
```

```

%-----
%Beregning av optimal lastfordeling mellom aggregat 1 og 2, for deretter
%å plotte sum optimal produksjon mot vannføring
%-----

Kommentarer til utregning av effekt fra aggregatene er lik som over

for n=18:45                %kjører aggregat 1
for m=3:25                 %kjører aggregat 2

    Qtotal=n+m; %Total vannføring er summen av slukeevnen til
                aggregatene

    if Qtotal >= 1.2*Qaamot

        delta_h=(0.00416663*Qtotal^2)-
(0.00727279*Qtotal*Qaamot)+(0.00432295*Qaamot^2);

        delta_h1=delta_h+ft1*n;

        h_netto=H-delta_h1;

p1_turb=(rho*g*virkningsgrad1(h_netto,n)*h_netto*n)/1e6;

etha_gen1=3.70303e-7*p1_turb^3-5.07638e-5*p1_turb^2+2.21547e-
3*p1_turb+9.51378e-1;

        p1_g=etha_gen1*p1_turb;

        p1_traf=p1_g*etha_traf;

        P1(n,m)=p1_traf;

        delta_h2=delta_h+ft2*m;

        h_netto=H-delta_h2;

p2_turb=(rho*g*virkningsgrad2(h_netto,m)*h_netto*m)/1e6;

etha_gen2=5.62701e-7*p2_turb^3-8.12618e-5*p2_turb^2+2.76873e-
3*p2_turb+9.55604e-1;

        p2_g=etha_gen2*p2_turb;

        p2_traf=p2_g*etha_traf;

        P2(n,m)=p2_traf;

```

```

p_sum(n,m) = p2_traf+p1_traf;      %Lagrer sum produksjon
Qtotal_lagre(n,m)=Qtotal;        %Lagrer total vannføring

        end

    end

end

for i=21:70      %Skal finne beste produksjon for hver totale vannføring
    for k=18:45      %Går gjennom alle rader i matrisen
        for l=3:25      %Går gjennom alle kolonner i matrisen
            if Qtotal_lagre(k,l)==i      %Plukker ut alle verdiene i
                                           matrisen som er lik i

                p_tot=p_sum(k,l); %Plukker ut sum produksjon for
                                           gitte posisjon i matrise

                if p_tot>p_sum_opt      %Sjekker om sum produksjon er
                                           større enn tidligere verdi for
                                           samme vannføring

                    p_sum_opt=p_tot; %Hvis ny verdi er større, er
                                           denne verdien den optimale

                    p_sum_opt_lagre(i)=p_sum_opt;%Lagrer optimal verdi

                    P1_opt(i)=P1(k,l); %For optimal sum produksjon
                                           plukkes tilsvarende produksjon
                                           fra aggregat 1

                    P2_opt(i)=P2(k,l); %For optimal sum produksjon
                                           plukkes tilsvarende produksjon
                                           fra aggregat 2

                    Q_plot(i)=Qtotal_lagre(k,l); %Lagrer tilhørende
                                           vannføring for
                                           plotting

                end

            end

        end

    end

end

end

```



```

%Plotter sum optimale produksjon fra aggregat 1 og 2 mot vannføring i
samme figur som tidligere kurver

figure (1)

    Q_plot2=Q_plot(23:70);

    p_sum_opt_lagre2=p_sum_opt_lagre(23:70);

    plot(Q_plot2,p_sum_opt_lagre2) %Plot av beste totale
                                produksjon med begge
                                aggregatene mot vannføring

    hold on
%-----
%Beregning av optimal lastfordeling mellom aggregat 1 og 3, for deretter
%å plote sum optimal produksjon mot vannføring
%-----

Kommentarer for utregningene er som over bare med aggregat 1 og 3, det
må også kommenteres at maksimal vannføring til aggregat 3 er her satt
til 8 m3/s fordi det på dette tidspunktet ikke var opplyst om
aggregatets maksimale slukeevne. Siden disse kurvene ikke benyttet ved
laging av PQ-kurver til Vansimtap, ble de ikke endret i etterkant. Dette
gjelder for både aggregatkombinasjon 1 og 3, og 2 og 3.

flagg=0;
p_sum_opt=1;

if flagg == 1

    for n=18:45          %kjører aggregat 1
        for r=1:8        %kjører aggregat 3

            Qtotal=n+r;

            if Qtotal >= 1.2*Qaamot

                delta_h=(0.00416663*Qtotal^2)-
(0.00727279*Qtotal*Qaamot)+(0.00432295*Qaamot^2);

                delta_h1=delta_h+ft1*n;

                h_netto=H-delta_h1;

p1_turb=(rho*g*virkningsgrad1(h_netto,n)*h_netto*n)/1e6;

etha_gen1=3.70303e-7*p1_turb^3-5.07638e-5*p1_turb^2+2.21547e-
3*p1_turb+9.51378e-1;

                p1_g=etha_gen1*p1_turb;

                p1_traf=p1_g*etha_traf;

                P1_agg13(n,m)=p1_traf;

```

```

%-----

        delta_h3=delta_h+ft3_1*r+0.5;

        h_netto=H3-delta_h3;

p3_turb=(rho*g*virkningsgrad3_1(h_netto,r)*h_netto*r)/1e6;

etha_gen3_1=0.00001576*p3_1_turb^3-
0.00074953*p3_1_turb^2+0.00840873*p3_1_turb+0.95560367;

        p3_g=etha_gen3_1*p3_turb;

        p3_traf=p3_g*etha_traf;

        P3_agg13(n,r)=p3_traf;

        p_sum_agg13(n,r) = p1_traf+p3_traf;

        Qtotal_lagre_agg13(n,r)=Qtotal;

        end

    end

end

for i=19:53

    for k=18:45

        for s=1:8

            if Qtotal_lagre_agg13(k,s)==i

                p_tot=p_sum_agg13(k,s);

                if p_tot>p_sum_opt

                    p_sum_opt=p_tot;

                    p_sum_opt_lagre_agg13(i)=p_sum_opt;

                    P1_opt_agg13(i)=P1(k,s);

                    P2_opt_agg13(i)=P2(k,s);

                    Q_plot_agg13(i)=Qtotal_lagre_agg13(k,s);

                end

            end

        end

    end

end

end

end

```

```

%Plotter sum optimale produksjon fra aggregat 1 og 3 mot vannføring i
samme figur som tidligere kurver

figure (1)

    Q_plot_agg132=Q_plot_agg13(21:53);

    p_sum_opt_lagre_agg132=p_sum_opt_lagre_agg13(21:53);

    plot(Q_plot_agg132,p_sum_opt_lagre_agg132)
%Plot av beste totale produksjon med begge aggregatene mot vannføring

    hold on
end

%-----
%Beregning av optimal lastfordeling mellom aggregat 2 og 3, for deretter
%å plote sum optimal produksjon mot vannføring
%-----

flagg2=0;
p_sum_opt=1;

if flagg2 == 1

    for m=8:25
        for r=1:8

            Qtotal=m+r;

            if Qtotal >= 1.2*Qaamot

                delta_h=(0.00416663*Qtotal^2) -
(0.00727279*Qtotal*Qaamot)+(0.00432295*Qaamot^2);

                delta_h2=delta_h+ft2*m;

                h_netto=H-delta_h2;

p2_turb=(rho*g*virkningsgrad2(h_netto,m)*h_netto*m)/1e6;

etha_gen2=5.62701e-7*p2_turb^3-8.12618e-5*p2_turb^2+2.76873e-
3*p2_turb+9.55604e-1;

                p2_g=etha_gen2*p2_turb;

                p2_traf=p2_g*etha_traf;

                P2_agg23(m,r)=p2_traf;

```

```

%-----

        delta_h3=delta_h+ft3_1*r+0.5;

        h_netto=H3-delta_h3;

p3_turb=(rho*g*virkningsgrad3_1(h_netto,r)*h_netto*r)/1e6;

        etha_gen3_1=0.00001576*p3_1_turb^3-
0.00074953*p3_1_turb^2+0.00840873*p3_1_turb+0.95560367;

        p3_g=etha_gen3_1*p3_turb;

        p3_traf=p3_g*etha_traf;

        P3_agg23(n,r)=p3_traf;

        p_sum_agg23(m,r) = p2_traf+p3_traf;

        Qtotal_lagre_agg23(m,r)=Qtotal;
    end
end
end
for i=9:33
    for l=8:25
        for s=1:8
            if Qtotal_lagre_agg23(l,s)==i
                p_tot=p_sum_agg23(l,s);
                if p_tot>p_sum_opt
                    p_sum_opt=p_tot;
                    p_sum_opt_lagre_agg23(i)=p_sum_opt;
                    P1_opt_agg23(i)=P1(l,s);
                    P2_opt_agg23(i)=P2(l,s);
                    Q_plot_agg23(i)=Qtotal_lagre_agg23(l,s);
                end
            end
        end
    end
end
end
end

```

```

%Plotter sum optimale produksjon fra aggregat 2 og 3 mot vannføring i
samme figur som tidligere kurver

figure (1)

    Q_plot_agg232=Q_plot_agg23(9:33);

    p_sum_opt_lagre_agg232=p_sum_opt_lagre_agg23(9:33);

    plot(Q_plot_agg232,p_sum_opt_lagre_agg232)

    hold on

end

%-----
%Beregning av optimal lastfordeling mellom aggregat 1, 2 og 3, for
%deretter å plote sum optimal produksjon mot vannføring
%-----

Henviser til kommentarer over for forklaring av utregning. Vil
kommentere at maksimal vannføring til aggregat 3 er tatt ned 1 m3/s pga
redusert trykk i tunnel (kommenteres i rapport).

flagg3=1;
p_sum_opt=1;

if flagg3==1

for n=18:44

    for m=8:25

        for r=1:9

            Qtotal=n+m+r;
            if Qtotal >= 1.2*Qaamot

                delta_h=(0.00416663*Qtotal^2)-
(0.00727279*Qtotal*Qaamot)+(0.00432295*Qaamot^2);

                delta_h1=delta_h+ft1*n;

                h_netto=H-delta_h1;

p1_turb=(rho*g*virkningsgrad1(h_netto,n)*h_netto*n)/1e6;

etha_gen1=3.70303e-7*p1_turb^3-5.07638e-5*p1_turb^2+2.21547e-
3*p1_turb+9.51378e-1;

                p1_g=etha_gen1*p1_turb;

                p1_traf=p1_g*etha_traf;

                P1(n,m,r)=p1_traf;

```

```

%-----
        delta_h2=delta_h+ft2*m;

        h_netto=H-delta_h2;

p2_turb=(rho*g*virkningsgrad2(h_netto,m)*h_netto*m)/1e6;

etha_gen2=5.62701e-7*p2_turb^3-8.12618e-5*p2_turb^2+2.76873e-
3*p2_turb+9.55604e-1;

        p2_g=etha_gen2*p2_turb;

        p2_traf=p2_g*etha_traf;

        P2(n,m,r)=p2_traf;
%-----

        delta_h3=delta_h+ft3_1*r+0.5;

        h_netto=H3-delta_h3;

p3_1_turb=(rho*g*virkningsgrad3_1(h_netto,r)*h_netto*r)/1e6;

        etha_gen3_1=0.00001597*p3_1_turb^3-
0.00075623*p3_1_turb^2+0.00844627*p3_1_turb+0.95560367;

        p3_g=etha_gen3_1*p3_1_turb;

        p3_traf=p3_g*etha_traf;

        P3(n,m,r)=p3_traf;

p_sum_3agg(n,m,r) = p2_traf+p1_traf+p3_traf;

Qtotall_lagre_3agg(n,m,r)=Qtotall;

        end
    end
end

```

```

for i=27:78

    for k=18:44

        for l=8:25

            for s=1:9

                if Qtotal_lagre_3agg(k,l,s)==i

                    p_tot=p_sum_3agg(k,l,s);

                    if p_tot>p_sum_opt

                        p_sum_opt=p_tot;

                        p_sum_opt_lagre_3agg(i)=p_sum_opt;

                        P1_opt_3agg(i)=P1(k,l,s);

                        P2_opt_3agg(i)=P2(k,l,s);

                        P3_opt_3agg(i)=P3(k,l,s);

                        Q_plot_3agg(i)=Qtotal_lagre_3agg(k,l,s);

                    end

                end

            end

        end

    end

end

end

%Plotter sum optimale produksjon fra aggregat 1, 2 og 3 mot vannføring i
samme
%figur som tidligere kurver

figure (1)

Q_plot_3agg2=Q_plot_3agg(27:78);

p_sum_opt_lagre_3agg2=p_sum_opt_lagre_3agg(27:78);

plot(Q_plot_3agg2,p_sum_opt_lagre_3agg2)

hold on

end

```

Funksjoner som beregner virkningsgrad turbin:

```
function[etha_turb1]=virkningsgrad1(h_netto,Qturb1)

    etha100_1 = 0.0000000552*Qturb1^4 - 0.0000027886*Qturb1^3 -
0.0004799246*Qturb1^2 + 0.0327535525*Qturb1 + 0.4200661728;

    etha94_1 = 0.0000001211*Qturb1^4 - 0.0000092947*Qturb1^3 -
0.0002377181*Qturb1^2 + 0.0277250405*Qturb1 + 0.4779076071;

    etha85_1 = -0.0000000661*Qturb1^4 + 0.0000145485*Qturb1^3 -
0.0013128791*Qturb1^2 + 0.0470187336*Qturb1 + 0.3725836674;

    etha80_1 = 0.0000000823*Qturb1^4 - 0.0000019517*Qturb1^3 -
0.0006326871*Qturb1^2 + 0.0342026579*Qturb1 + 0.4677535272;

if 100 < h_netto > 94

    %interpolering mellom etha og h_netto 100 og 94

    etha_turb1=((h_netto-100)/(94-100))*etha94_1+((h_netto-94)/(100-
94))*etha100_1;

elseif 94 < h_netto > 85

    %interpolering mellom etha og h_netto 94 og 85

    etha_turb1=((h_netto-94)/(85-94))*etha85_1+((h_netto-85)/(94-
85))*etha94_1;

elseif 85 < h_netto > 80

    %interpolering mellom etha og h_netto 85 og 80

    etha_turb1=((h_netto-85)/(80-85))*etha80_1+((h_netto-80)/(85-
80))*etha85_1;

else

    etha_turb1=etha80_1;

end

end
```



```

function[etha_turb2]=virkningsgrad2(h_netto,Qturb2)

etha100_2 = -0.0000150084*Qturb2^3 + 0.0000014986*Qturb2^2 +
0.0198671370*Qturb2 + 0.6484011175;

etha94_2 = -0.0000197696*Qturb2^3 + 0.0001672616*Qturb2^2 +
0.0182404497*Qturb2 + 0.6570528758;

etha85_2 = -0.0000080850*Qturb2^3 - 0.0004508068*Qturb2^2 +
0.0280355839*Qturb2 + 0.6126446148;

etha80_2 = -0.0000098884*Qturb2^3 - 0.0002604183*Qturb2^2 +
0.0225899167*Qturb2 + 0.6553439329;

if 100 <= h_netto >= 94

    %interpolering mellom etha og h_netto 100 og 94

    etha_turb2=((h_netto-100)/(94-100))*etha94_2+((h_netto-94)/(100-
94))*etha100_2;

elseif 94 <= h_netto >= 85

    %interpolering mellom etha og h_netto 94 og 85

    etha_turb2=((h_netto-94)/(85-94))*etha85_2+((h_netto-85)/(94-
85))*etha94_2;

elseif 85 <= h_netto > 80

    %interpolering mellom etha og h_netto 85 og 80

    etha_turb2=((h_netto-85)/(80-85))*etha80_2+((h_netto-
80)/(85-80))*etha85_2;

else

    etha_turb2=etha80_2;

end

end

```

```

function[etha_turb3]=virkningsgrad3_1(h_netto,Qturb3)

    etha92_3 = 0.0001866306*Qturb3^3 - 0.0111376634*Qturb3^2 +
0.1270282455*Qturb3 + 0.5284353036;

    etha70_3 = 0.0006102529*Qturb3^3 - 0.0202916211*Qturb3^2 +
0.1893027240*Qturb3 + 0.3833770321;

if    h_netto >= 92

        etha_turb3=etha92_3;

elseif 92 <= h_netto <= 70

        %interpolering mellom etha og h_netto 92 og 70

        etha_turb3=((h_netto-92)/(70-92))*etha70_3+((h_netto-70)/(92-
70))*etha92_3;

else

        etha_turb3=etha70_3;

end

end

```

G Script "kurvetegn-idunn"

```
rem Rydd eventuelle internfiler
rem
@echo off

rem
rem Kopier ned nødvendige filer til katalogen

kurvetegn <SKRIPT-101 >kurvetegn-101.out
kurvetegn <SKRIPT-102 >kurvetegn-102.out
kurvetegn <SKRIPT-103 >kurvetegn-103.out
kurvetegn <SKRIPT-104 >kurvetegn-104.out
kurvetegn <SKRIPT-106 >kurvetegn-106.out
kurvetegn <SKRIPT-107 >kurvetegn-107.out
kurvetegn <SKRIPT-108 >kurvetegn-108.out
kurvetegn <SKRIPT-109 >kurvetegn-109.out
kurvetegn <SKRIPT-110 >kurvetegn-110.out
kurvetegn <SKRIPT-111 >kurvetegn-111.out
kurvetegn <SKRIPT-112 >kurvetegn-112.out
kurvetegn <SKRIPT-114 >kurvetegn-114.out
kurvetegn <SKRIPT-115 >kurvetegn-115.out

@echo on
```

H Bekkeinntak-fila brukt i SHOP

```
RESERVOIR creek_intake Bjørsetdammen
#num_creeks below this reservoir
1
# Num. of inflows (for later use! now only allowed with 1),main segment loss,
downstream plant name
1 0.00073125 Svorkmo(4)
#txy 1
# id number starttime time_unit period data_type Y_unit npkt
0 1 2008030300 hour 999999999 -1 M3/S 1
# time y
20080303 0.801
20080310 1.035
20080609 50.00
20080616 50.00
20080728 2.202
20080804 2.179
20081006 15.238
20081013 23.687
20081201 10.908
20081208 5.515
```