



Modellering av Setegrytå Kraftverk i OpenHPL

Sommerprosjekt 2023

Vannkraft - Maskin

Ravn Adrian Ravndal

3. Juli 2023 - 20. August 2023

1 Forord

Denne rapporten er skrevet av Ravn Adrian Ravndal, sivilingeniørstudent på 2årig master i Energi og Miljø ved NTNU, Trondheim. Rapporten er sluttproduktet på et sommerprosjekt gitt av seksjon Vannkraft-Maskin i Multiconsult.

Jeg ønsker å takke min veileder, Bjarne Børresen, for god veiledning gjennom hele prosjektperioden. Jeg ønsker også å takke seksjon Vannkraft-Maskin i Multiconsult, for imøtekommenhet og hyggelige kaffemøter. Til slutt ønsker jeg å takke Multiconsult for et interessant sommerprosjekt og for en fleksibilitet som ga meg muligheten til å fullføre min utveksling før oppstart av sommerprosjektet.

2 Sammendrag

Rapporten er sluttproduktet av et sommerprosjekt i regi av seksjon Vannkraft-Maskin i Multiconsult. Hensikten med prosjektet var å modellere Setegrytå kraftverk med hjelp av vannkraftsbiblioteket OpenHPL, i programmeringsspråket Modelica. Dette var for å observere om man kunne oppnå samme resultater som tidligere utregninger har gitt. Hvis dette gir tilfredstillende resultater, så kan OpenHPL ha potensialet til å bli et verdifult verktøy for Multiconsult under prosjektering av vannkraftverk.

Rapporten inneholder en beskrivelse av tolv ulike modeller og eventuelle funn rundt disse. Man vil også kunne observere en progresjon i modellene, der modeller gjerne får flere ulike komponenter. De viktigste resultatene som det blir sett på er de rundt trykkstigning og volumstrøm ved inngangen av turbinen.

Jeg klarte ikke å gjenskape resultatene for Setegrytå med modellering og simulering gjort i OpenHPL. Mye av dette skyldes simuleringfeil som var vanskelige å feilsøke, problemer med de elastisk rørkomponentene og begrenset erfaring med OpenHPL. Videre arbeid med modellering, simulering og videre utvikling av OpenHPL vil være nødvendig for at det kan fungere som et nyttig verktøy i prosjektering av vannkraftverk.

3 Introduksjon

Vannkraft er en fornybar og fleksibel energikilde, som har og vil fortsette å ha en sentral rolle i det norske kraftsystemet. For at vannkraften skal fortsette å være en god og effektiv energikilde, så er det viktig å forbedre eksisterende og bygge nye moderne kraftverk. Her kan Multiconsult bidra med prosjektering. Under prosjekteringen så kan ulike verktøy være nyttige for å effektivisere arbeidet.

Open Hydropower library (OpenHPL) er et open-source vannkraftsbibliotek som er utviklet av doktorgradsstudenter ved Universitetet i Sørøst-Norge (USN). Biblioteket består av flere ulike vannkraftskomponenter som kan brukes til å modellere vannkraftverk. Modelica er et objektorientert programmeringsspråk som brukes til å modellere og simulere systemer fra ulike fysikkdomener, slik som mekanikk, termodynamikk og elektriske kretser. Ved å modellere i Modelica så har man muligheten til å kombinere ulike domener i samme modell, noe som åpner opp for at man kan utvikle komplekse modeller av større systemer, slik som et vannkraftverk. Hensikten med OpenHPL er å ha en plattform som vannkraftsektoren kan bruke til å modellere vannkraftverk av ulik kompleksitet. OpenHPL er ikke ferdigutviklet, men det er tilstrekkelig funksjonelt til å kunne anvendes for praktisk arbeid.

Hensikten med dette sommerprosjektet var å bygge opp en modell av Setegrytå kraftverk i OpenHPL. Deretter ønsket man å verifisere om man kan oppnå lignende verdier til utregningene gjennomført under prosjekteringen av kraftverket. Dette gjøres for å se om OpenHPL kan gi nøyaktige modeller som eventuelt kan brukes under prosjektering.

I og med at jeg aldri har tatt i bruk eller sett Modelica eller OpenHPL, så måtte jeg starte opp fra bunnen av. I løpet av denne rapporten så vil man observere progresjonen i form av mer komplekse modeller. Alle modellene er modellert etter informasjonen og data jeg har tilgjengelig om prosjekteringen av Setegrytå kraftverk som er gjennomført av Multiconsult.

3.1 Setegrytå Kraftverk

Setegrytå kraftverk er planlagt konstruert i Surnadal kommune, Møre og Romsdal. Dataene jeg har tilgjengelig er utregninger gjort av Multiconsult under prosjektering av kraftverket.

Kraftverket er beregnet til å ha en nominell vannføring på $1.2 \text{ m}^3/\text{s}$. $\text{LRV} = 422.0 \text{ m.o.h}$ og $\text{HRV} = 424.35 \text{ m.o.h}$ ($\text{DFV} = 424.81$ ved Q500). Senterlinje turbin er lagt til 34.3 m.o.h hvilket

gir et statisk trykk ved innløp turbin på 390 mwc (39 bar). Kraftverket bruker en peltonturbin som har en nominell effekt på 3900 kW, nominell vannføring $1.13 \text{ m}^3/s$ og nominell høyde 382m. Vannveien til kraftverket er totalt 2006.2m og består av en kombinasjon av seks rør. Alle rørene har en diameter på 0.7m, resten av rørdimensjonene kan bli sett i Tabell 1.

Tabell 1: Oversikt over rørdimensjoner

<i>Rør</i>	<i>Rørtype</i>	<i>Lengde [m]</i>	<i>z start [m.o.h]</i>	<i>z slutt [m.o.h]</i>	Δz [m.o.h]
1	GRP rør DN700	333.8	420	359	61
2	GRP rør DN700	332.6	359	303	56
3	GRP rør DN700	331.2	303	238	65
4	GRP rør DN700	336.2	238	210	28
5	Duktilt stålrør DN700	336.2	210	35	175
6	Duktilt stålrør DN700	336.2	35	34.3	0.7
Totalt		2006.2			385.7

Innhold

1	Forord	2
2	Sammendrag	3
3	Introduksjon	4
3.1	Setegrytå Kraftverk	4
4	OpenHPL modeller	7
4.1	Modelloversikt	7
4.2	Modell I	8
4.3	Modell II	10
4.4	Modell III og IV	11
4.5	Modell V og VI	14
4.6	Modell VII, VIII, IX og X	17
4.7	Modell XI	20
4.8	Modell XV	23
5	Innebygde modellkomponenter	26
5.1	Komponentproblemer	26
5.1.1	Pipe	26
5.1.2	PenstockKP	27
5.1.3	data	27
5.1.4	Turbine	28
5.1.5	Reservoir	28
5.1.6	Ramp	28
6	Konklusjon	29
6.1	Forslag til videre arbeid	29

4 OpenHPL modeller

I dette kapitlet vil alle OpenHPL modellene bli presentert. Det vil bli gitt en gjennomgang av hver modell og hva man prøver å oppnå med modellen. I tillegg vil eventuelle interessante resultater og funn bli diskutert. Modell-komponentene er navngitt på engelsk, da det er dette som er normalt for OpenHPL, så det kan hende at enkelte norske og engelske begreper blir brukt om hverandre.

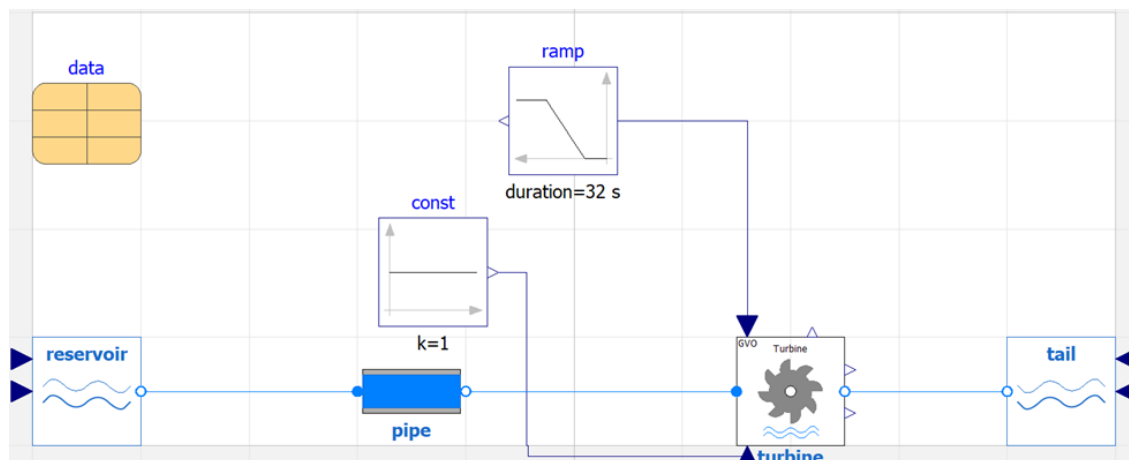
4.1 Modelloversikt

I rapporten så presenteres flere ulike OpenHPL modeller, alle modellene er nummerert med romertall. I Tabell 2, presenteres det en oversikt over alle modellene med navn, kort beskrivelse og Modelica filnavn. Det er verdt å nevne at dette er kun en brøkdel av det faktiske antallet modeller som ble produsert i løpet av prosjektperioden.

Tabell 2: Oversikt over modeller, med kort beskrivelse og Modelica filnavn.

<i>Modell</i>	<i>Beskrivelse</i>	<i>Modelica filnavn</i>
I	Simpelt system uten generator	Model_I_Simpel
II	Simpelt system med generator	Model_II_SimPelGen
III	System med stivt rør og brytersystem	Model_III_PelRamp_Uel
IV	System med elastiske rør og brytersystem	Model_IV_Pelgen_elastico
V	Seks rør: alle er elastiske	ModelV_Sixpence_El
VI	Seks rør: alle er stive	ModelVI_Sixpence_Uel
VII	To rør: stivt/elastisk	Model_VII_Double_Mix12
VIII	To rør: elastisk7stivt	Model_VII_Double_Mix21
IX	To rør: stivt/stivt	Model_VII_Double_Mix11
X	To rør: elastisk/elastisk	Model_VII_Double_Mix22
XI	Seks rør: fem stive ett elastisk	Model_XI_Hexa
XV	Kopi av eksempel modell SimpleGen	Model_XV_Hell

4.2 Modell I



Figur 1: Modell I, enkelt grunnleggende system uten generator.

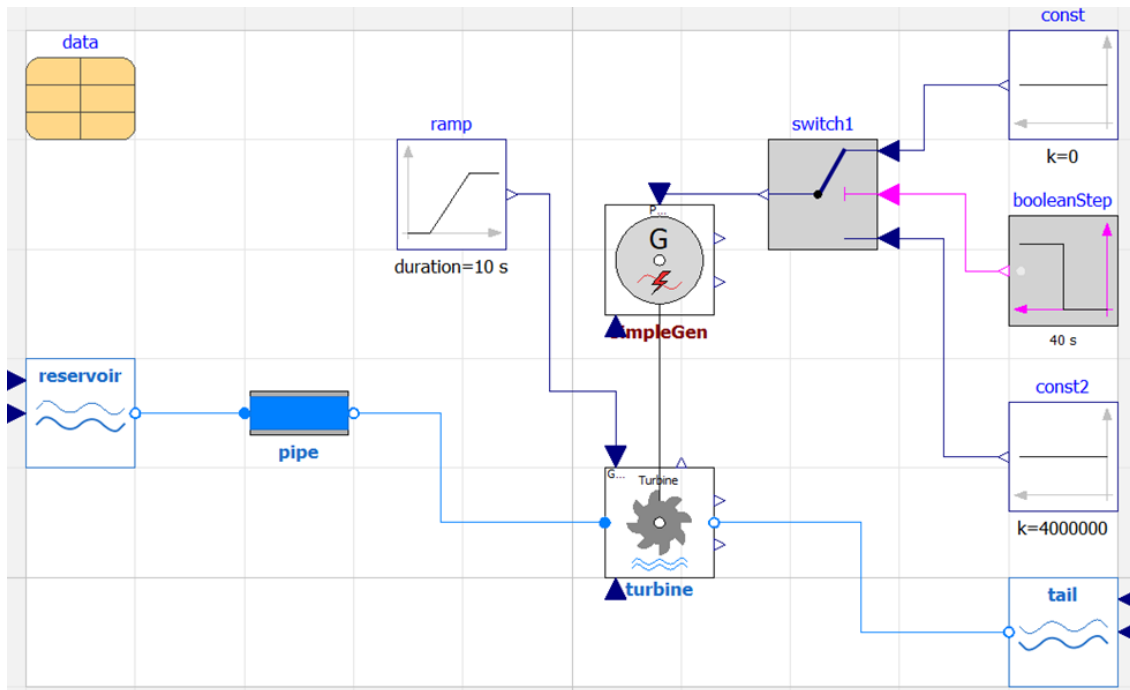
Den første modellen er en veldig enkel modell som inneholder et rør som leder vann fra et reservoar til en turbin, som så leder vann til bakvann. Røret her er modellert som en uelastisk vannvei, det vil si at man antar vannet som inkompressibelt. Uelastisk vannvei kommer til å bli referert til som stive rør, elastisk vannvei vil bli referert til som elastiske rør for det meste av rapporten.

OpenHPL har en innebygd peltonturbinmodell, men den kan anses som ufullstendig, derfor har den innebygde generelle turbinmodellen blitt brukt i stedet. Problemet med denne er at det er svært begrenset hva slags verdier man kan legge inn i den, det er for eksempel ikke mulig å legge inn turbindimensjoner. Man bør derfor ta i betraktning at dette kan eventuelt føre til potensielle avvik. Den generelle turbinmodellen ble gitt nominell effekt, høyde og vannføring, resten av verdiene til turbinen er satt til det som var forhåndsvalgt. Her må det nevnes en mulig feilkilde, jeg hadde satt nominell vannføring til $1.2 \text{ m}^3/\text{s}$, i stedet for $1.13 \text{ m}^3/\text{s}$. Dette gjorde jeg fordi jeg prøvde å oppnå $1.2 \text{ m}^3/\text{s}$ gjennom utgangen av røret, som var det jeg hadde sett i resultater for Setegrytå. Dette er gjort for alle turbinmodellene i denne rapporten.

For å simplificere modellen, ble det valgt å slå sammen alle rørene i et rør, her kalt pipe. Dette røret har en samlet lengde på 2006.2m. Høydedifferansen til røret har blitt satt til 385.7m. I tillegg til disse modellkomponentene, så er det tre til med navn data, ramp og const. Data inneholder alle grunnleggende parametere og konstanter som gjelder for systemet. Ramp er koblet til turbinventilen og styrer dermed vannstrømmen inn til turbinen. Denne komponenten

fungerer slik at ved en gitt starttid så vil den lukke eller åpne ventilen. Dette gjøres ved å regulere verdien til høyden av ramp, slik at en åpen ventil vil tilsvare en høyde rundt 0 og en lukket turbin vil tilsvare rundt -1 . Duration blir lukketiden til ventilen. Const er med for å tilfredsstille en uløst likning, og vil bli erstattet med andre mer funksjonelle komponenter i senere modeller.

4.3 Modell II

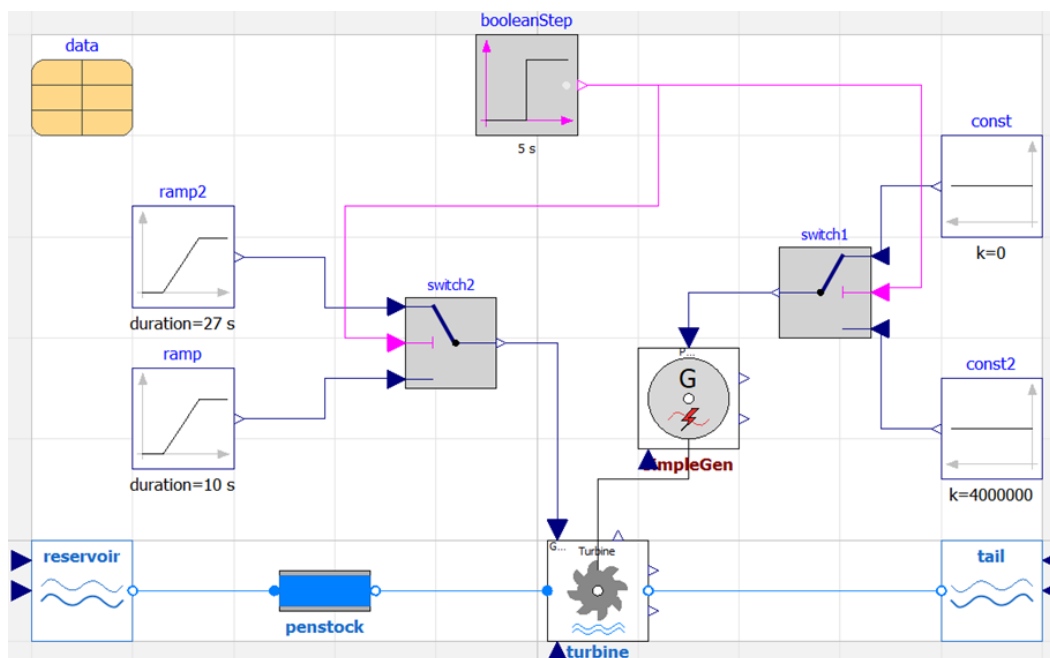


Figur 2: Modell II, simpelt grunnleggende system med generator og regulerbar last.

Figur 2, viser at Modell II inkluderer en generator i systemet. Generatoren består kun av det som er forhåndsvalgt for den innebygde modellen. Generatoren er direktekoblet til turbinen, denne koblingen representerer at akslingen til turbinen er koblet til generatoren. Dette er nødvendig for å få omgjort den mekaniske energien fra turbinen over til elektrisk energi i generatoren. For å sjekke at dette er tilfellet så kan man observere hastigheten til akslingene. Dette gjøres ved å se på *speedSensor* for hver av komponentene etter en simulasjon.

Generatoren er også koblet opp mot en bryter. Denne bryteren bestemmer lasten til generatoren, som er satt til å enten være høyere enn turbinens maksimale effekt eller ingen last. Målet med dette brytersystemet var å observere om generatorens aksling ville øke i hastighet ved ingen last. Dette ga vellykkede resultater, men i et vannkraftverk så ønsker man ikke at hastigheten skal øke i det uendelige, derfor er det behov for å stenge av ventilen helt ved ingen last, dette blir gjort i Modell III og effekten av dette kan observeres i Figur 4. Bryterkomponenten brukt i denne modellen er avhengig av et boolsk signal, dette er grunnen til at BooleanStep er inkludert. Denne komponenten endrer fra høy last til ingen last ved et tilfeldig valgt tidspunkt.

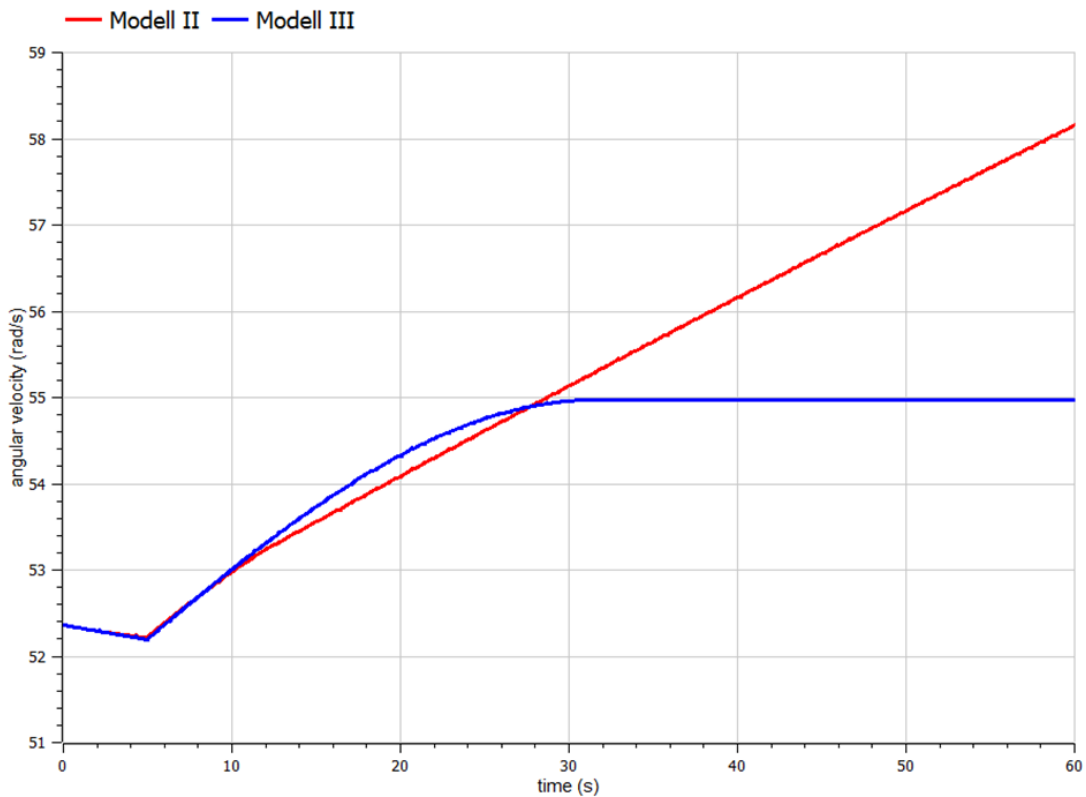
4.4 Modell III og IV



Figur 3: Modell IV, modellen har nå fått innlagt en mekanisme som stenger ventilen inn til turbinen ved null-last.

I Figur 3, kan man observere at Modell III og IV implementerer en måte å stenge av volumstrømmen inn til turbinen. Originalt var ideen å skrive en enkel if-setning for bytte verdiene i ramp når enten const var aktiv eller når $k = 0$. Da det etter mange forsøk opplevdes som tilnærmet umulig å få til dette ordentlig, ble det bestemt å modellere det i stedet. Dette ble gjort ved å sette inn switch2 og ramp2. I dette tilfellet så bytter BooleanStep både på last og signalet inn til turbinventilen. Ramp simulerer en helt åpen turbin og Ramp2 simulerer lukking av ventilen.

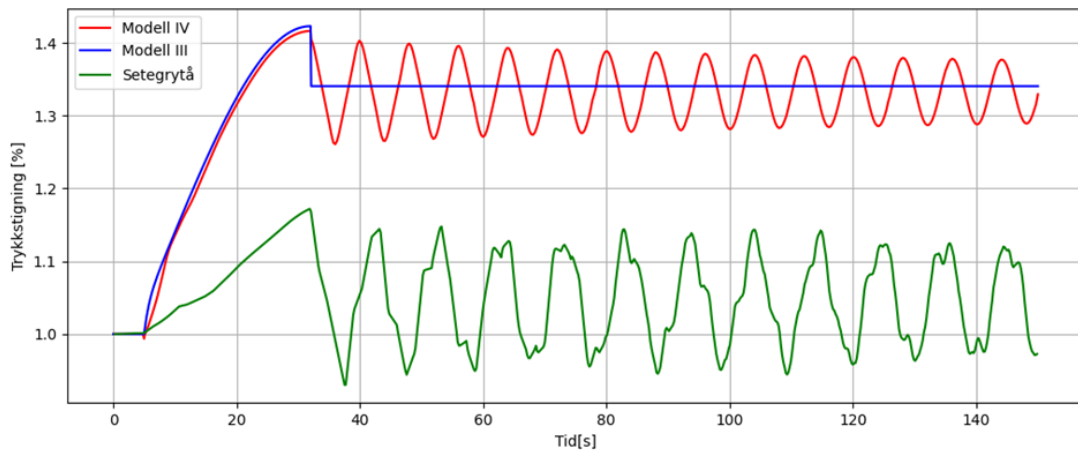
I Figur 4 kan man observere forskjellen mellom hastigheten på akslingen til Modell II og Modell III. Verdt å merke seg at selv om Modell III sin hastighet tilsynelatende er konstant etter lukking så synker den gradvis, dog i et veldig lavt tempo. En peltonturbin vil normalt sett ha en dyse som kan sakke ned turbinen langt raskere enn å kun la den gå til den slutter å rotere. Dette er uvisst om hvordan man kan få modellert inn, da jeg antar det ikke er lagt opp til noe slikt i nåværende versjon av OpenHPL.



Figur 4: Akslingens hastighet [rad/s] med forskjellig lastsystem.

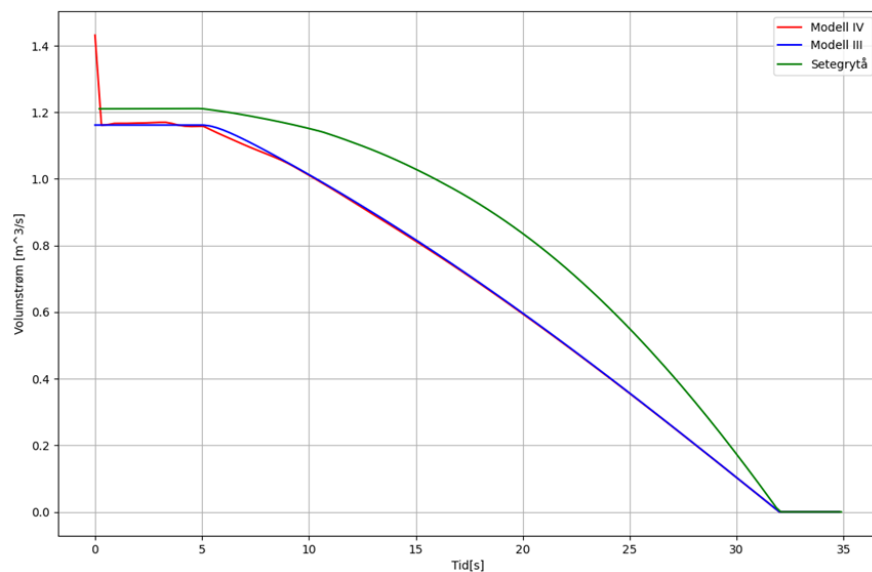
Med dette implementert kan man gå videre med å sette inn et elastisk rør. Modell IV har da kun i forskjell fra Modell III at den valgte rør-modellen, er modellert til å være elastisk. Dette er for å få eksempelet til å bli mer realistiske, siden modellene til nå ikke har tatt hensyn til at vann er kompressibelt. Den elastiske rør-modellen har en standard diskretisering på 10, noe som tilsier at rør-modellen er delt opp i 10 mindre biter som regnes som egne systemer. En finere inndeling vil føre til flere likninger. Dette fører blant annet til en lengere simuleringsprosess, da det er langt flere likninger i Modell IV i forhold til Modell III. Nærmere bestemt en økning fra 174 til 2305 likninger.

I Figur 5, kan man observere trykkstigningen for Modell III, Modell IV og kalkulasjoner for Setegrytå kraftverk. Det kommer tydelig fram at det er noe som skaper store avvik mellom kurvene. Trykkstigningen for modellene er nesten 24% høyere enn for Setegrytå. I tillegg kan man observere at Modell IV og Setegrytå har trykkrefleksjoner etter at lukkingen er gjennomført. Dette er ikke tilfelle for Modell III, som skyldes at den ikke har elastiske rør i sin vannvei. Legg også merke til at trykkrefleksjonene har en litt annerledes frekvens.



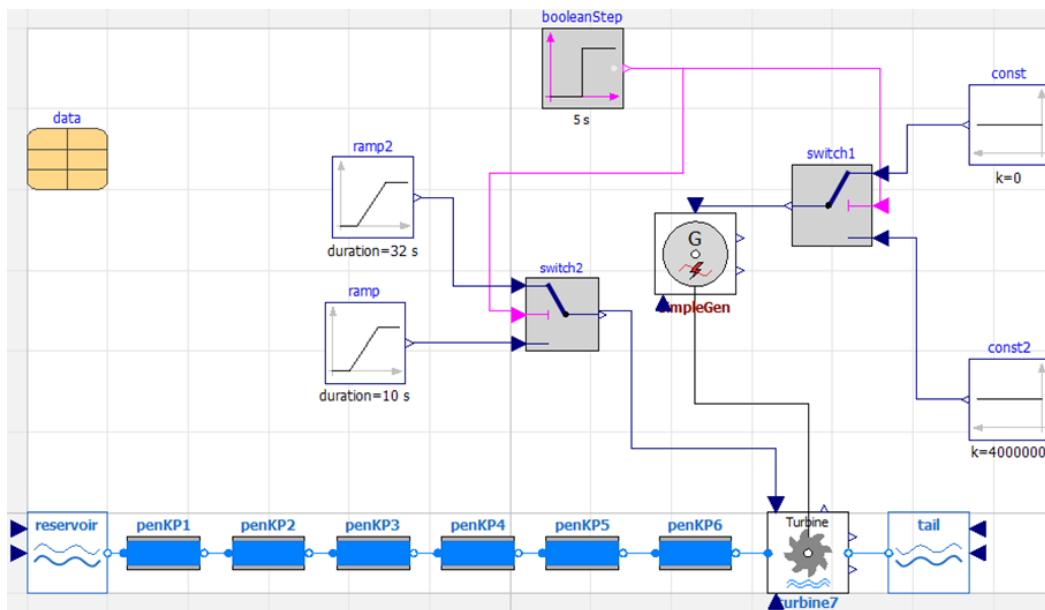
Figur 5: Trykkstigning med lukketid på 32s.

I Figur 6, kan man observere at volumstrømmen til Modell III og IV er tilnærmet identiske og at Setegrytå har et annerledes resultat. Dette oppleves som spesielt spesielt for Modell III som har stivt rør i vannveien, hvorfor går ikke volumstrømmen fra $1.2 \text{ m}^3/\text{s}$? Noe annet som man kan se med modellen er at Setegrytå har en polynomisk kurve kontra modellene. Dette skyldes at ramp sender inn et lineært signal, per nå så har jeg ikke klart å finne et polynomialt signal i Modelica. I tillegg kan man observere at Setegrytå skal ha en lukketid på 32s, men den går konstant i 5s før den deretter synker. Ergo så antas lukketiden til Setegrytå å faktisk være 27s, Dette medfører at modellene må ha duration på 27s og en offset på 5 sekunder for å få sammenliknbare resultater.



Figur 6: Volumstrøm med lukketid 32s.

4.5 Modell V og VI



Figur 7: Modell V, seks elastiske rør lagt i serie for å simulere vannveien til kraftverket.

I Modell I så ble det gjort en simplifisering ved å gjøre seks rør om til ett. Denne simplifiseringen ble videreført i Modell II, III og IV. For å få en mer fullstendig modell over Setegrytå så blir alle rørene i sin helhet inkludert i Modell V og VI som man kan observere i Figur 7. Velger her å kun vise modell V, som er den elastiske varianten. Dette systemet har rundt 13000 likninger, og tar dermed en god stund før det blir ferdigsimulert. Dette systemet bydde på flere utfordringer. Det ble oppdaget at systemet ikke kunne simuleres fra steady state, noe som gjør at man får svært spesielle forstyrrelser i starten av plottene som involverer Modell V. Det er for meg ukjent hvorfor det ikke er mulig å få simulert modellen fra steady state, men det antas med stor sikkerhet at det er de elastiske rørene som fører til feilen.

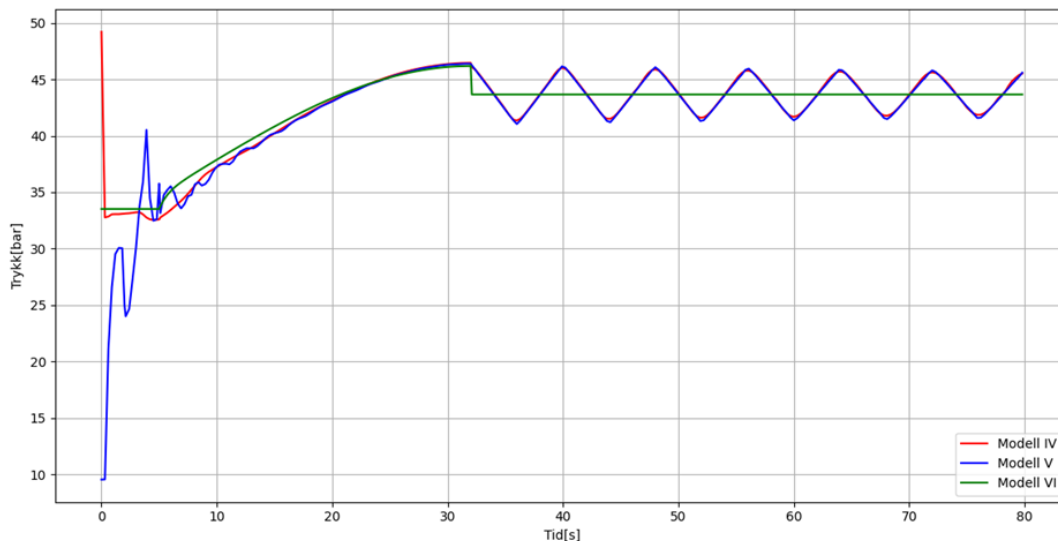
I senere tid har jeg realisert at det kompliserte last- og brytersystemet kan være unødvendig i modellene etter Modell III og IV, dette er på grunn av at dette systemet var kun implementert for å verifisere at hastigheten på akslingene oppfører seg slik som det burde. Det kunne dermed vært nok med én const ($k = 0$) koblet til generatoren og én ramp inn til ventilen av turbinen. Imidlertid så burde ikke dette gi noe annerledes resultat så det hadde kun vært nødvendig for visuell klarhet.

I Figur 8, kan man observere trykket ved inngangen av turbinen for Modell IV, V og VI. Modell

IV og VI har blitt simulert fra steady state. Modell V, som det ikke var mulig å simulere fra steady state, for store forstyrrelser. Selv om Modell IV er kjørt fra steady state så kan man også observere en trykkspiker i starten av kurven, noe som fremstår som merkelig. Da denne trykkspikeren ville forårsaket problemer for trykkstignings utregningene, ble det brukt en metode for å «ignorere» trykkspikeren. Jeg hadde to tilgjengelige metoder for å «ignorere» forstyrrelsene jeg får med elastiske rør:

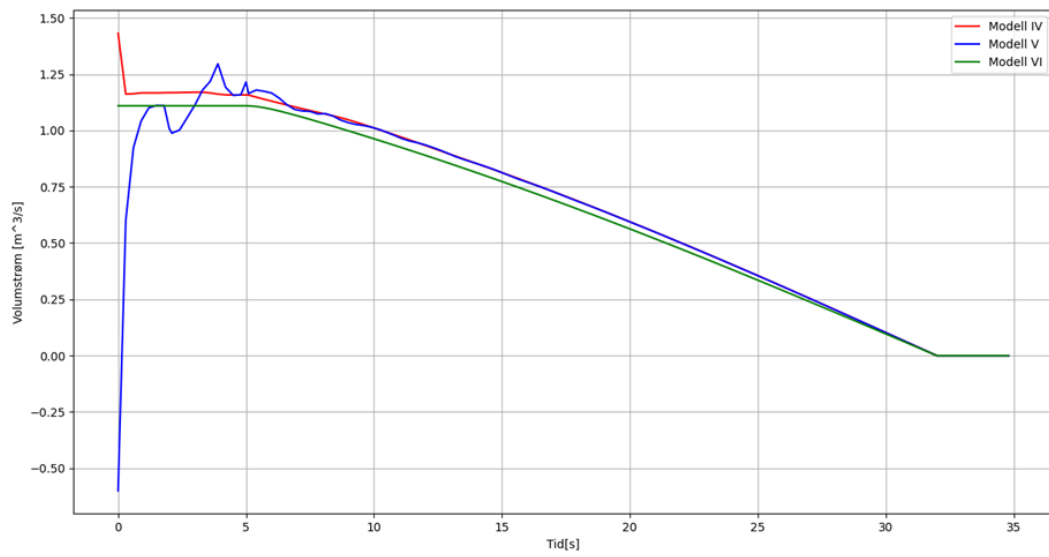
1. Hvis jeg har csv-filen til simuleringen tilgjengelig, så kan jeg ved hjelp av Python sette at verdien til en av kurvene konstant for de fem første sekundene av simuleringen. Dette ble gjort for Figur 5, der det var ønskelig å unngå trykkspikeren når man sjekker for trykkstigning.
2. Det andre alternativet er å utsette lukkingen av turbinen til kurven har stabilisert seg selv, for så å velge et utvalg som utelukker forstyrrelsene som er i starten. Dette kan gjøres direkte i Modelica.

Disse metodene er ikke optimale, da jeg helst skulle hatt kurvene uten forstyrrelser fra starten av. Men de kan være nødvendige gitt nåværende situasjon.



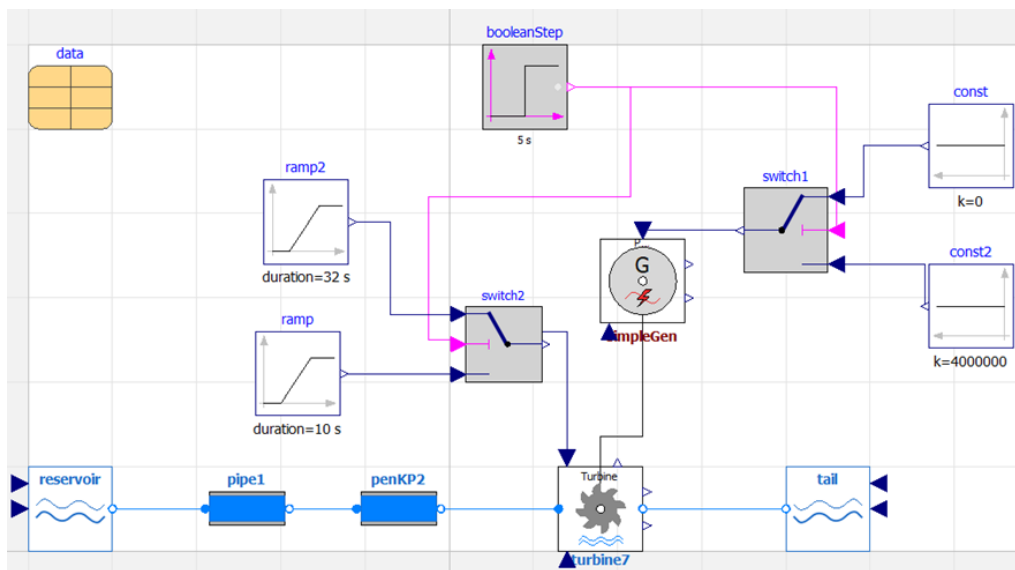
Figur 8: Trykk ved inngang turbin for Modell IV, V og VI.

Volumstrømmen viser også store forstyrrelser for Modell V, men alle tre kurvene blir tilnærmet like ved fullført lukking. Dette kan bli observert i Figur 9.



Figur 9: Volumstrømmen gjennom turbinen i Modell IV, V og VI.

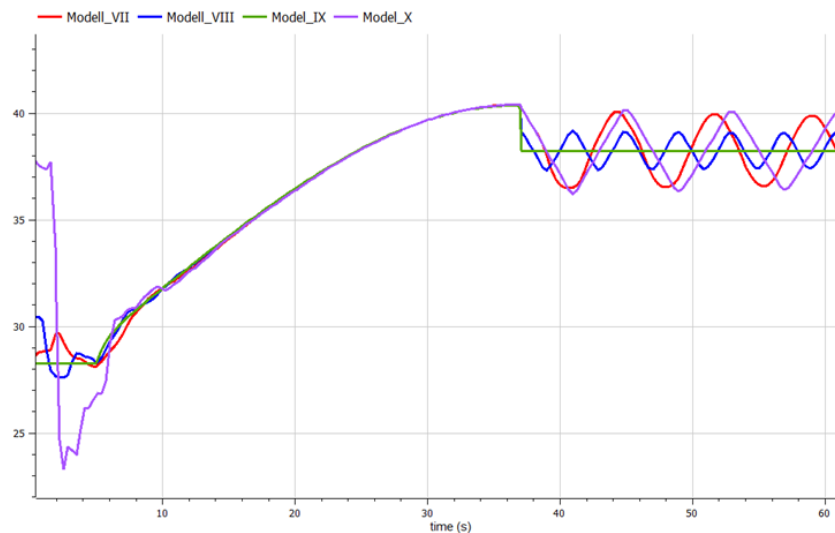
4.6 Modell VII, VIII, IX og X



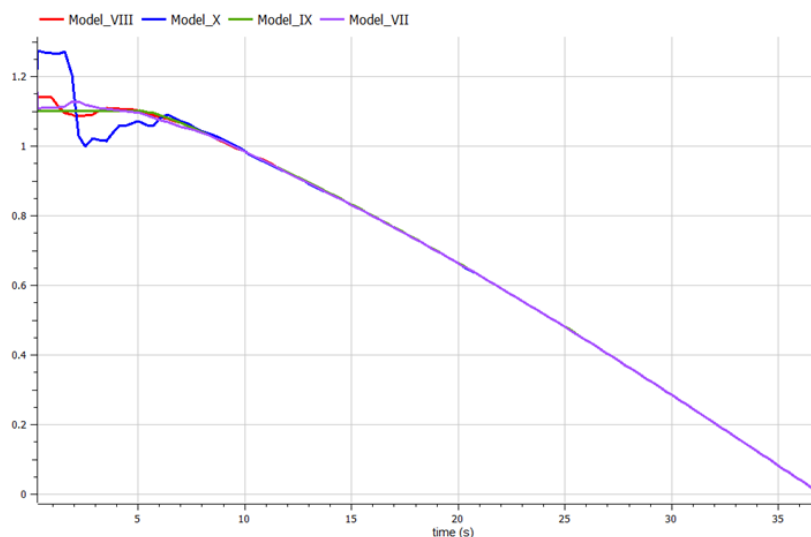
Figur 10: Modell VII, stivt og elastisk rør i serie.

Siden det ikke var mulig å simulere flere elastiske rør i serie ved steady state, ble det valgt å prøve ut å simulere elastiske og stive rør i serie. Dette ble gjort i Modell VII, denne modellen var ansett som vellykket, men har senere av ukjente grunner ført til simuleringsfeil. Simuleringsfeilen kommer når man kjører modellen fra steady state og kommer med initialiseringen. Heldigvis så hadde resultatene for denne modellen allerede blitt dokumentert.

Modell VII har vannveien lagt opp til at det første røret er stivt og at det andre røret er elastisk. Videre ble det naturlig å teste med andre to-rørs kombinasjoner i vannveien. Modellene ble som følgende: Modell VII (stivt, elastisk), Modell VIII (elastisk, stivt), Modell IX (stivt, stivt) og Modell X (elastisk, elastisk).



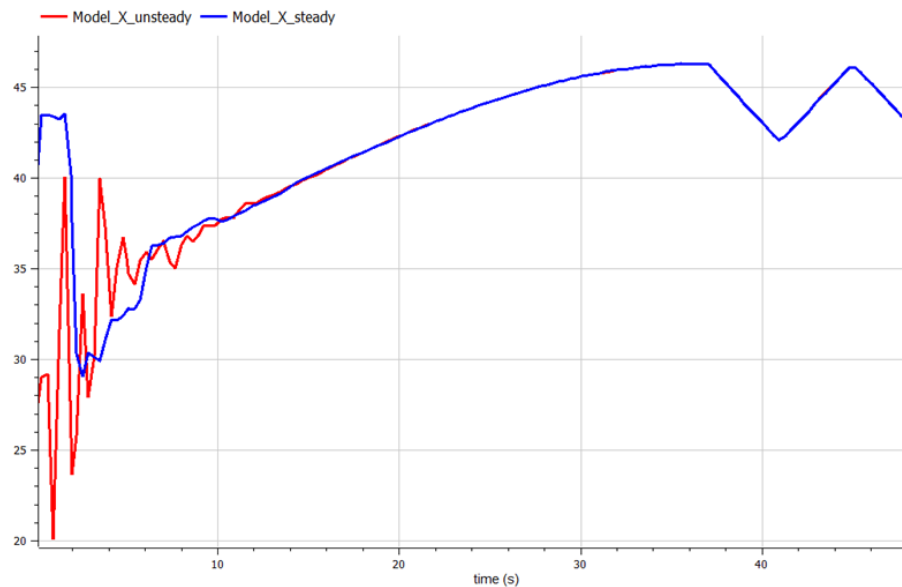
Figur 11: Trykket ved inngangen av turbinen for Modell VII, VIII, IX og X.



Figur 12: Volumstrømmen $[m^3/s]$ for Modell VII, VIII, IX og X.

Model X, modellen som inneholder to elastiske rør i serie ble suksessfullt kjørt i steady state. Ennå ukjent hvorfor Model X fungerer kontra andre modelleringer. Dog selv om den da har blitt kjørt fra steady state, så kan man ennå se store forskjeller fra de andre modellene. Som i Figur 12, der det er kun på starten av stimuleringstiden at modellene er ulike, med ikke overaskende Model X med størst avvik. Og for Figur 11, kan man se at man får store avvik i starten av simuleringen for Modell X, og mindre forskjeller for de tre andre modellene. Etter at ventilen inn til turbinen er lukket ved 32s så får vi trykkrefleksjonene som varierer stort fra modell til modell, både i frekvens og størrelse. Modell IX har ikke trykkrefleksjoner da den

kun består av stive rør.



Figur 13: Trykk ved ingangen av turbinen for Modell X kjørt med og uten steady state.

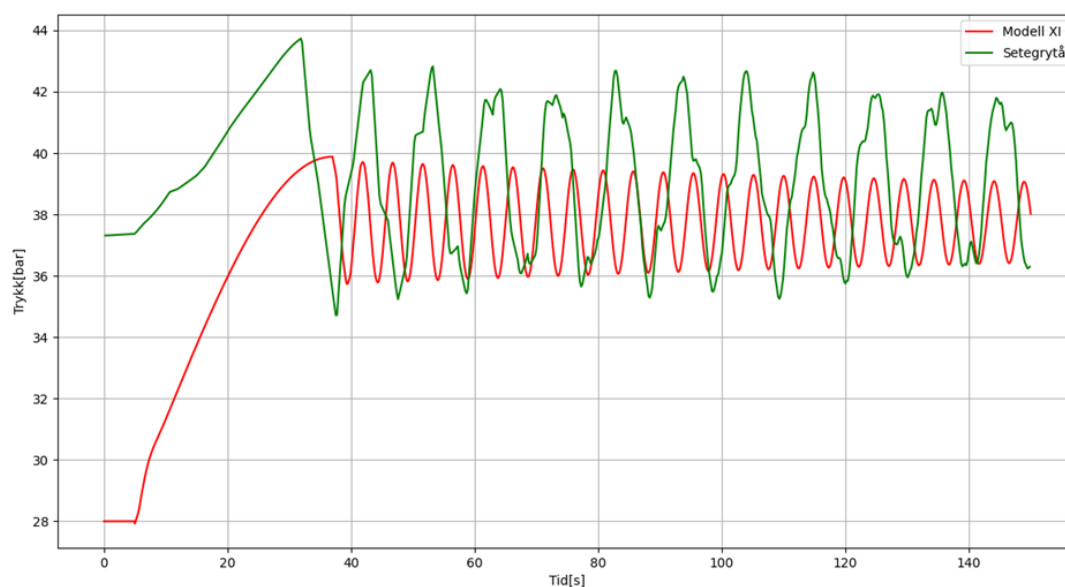
I Figur 13 kan man observere forskjellen mellom å simulere fra steady state eller ikke for Modell X. Det er ganske store kontraster mellom kurvene, som tydeliggjør hvorfor vi ønsker å simulere fra steady state. Dog selv når Modell X er simulert fra steady state, så er det klart fra Figur 13 at dette ikke er steady state heller, men det er en forbedring. Her ville det for eksempel vært mulig å ta i bruk de to tidligere nevnte metodene for å overse feilene.

4.7 Modell XI



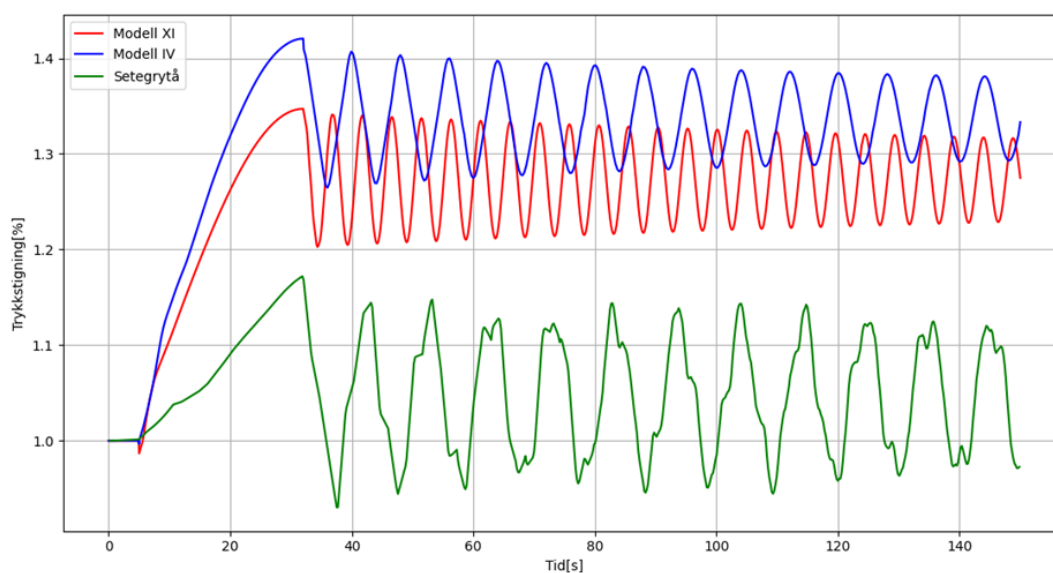
Figur 14: Vannveien til Modell XI som består av fem stive og ett elastisk rør.

Figur 14, viser kun vannveien for Modell XI, da alle modellene etter Modell III har vært uendret i generator og bryter-leddene. I Modell XI har jeg brukt fem stive rør og et elastisk rør. Tester med flere elastiske rør i serien førte til simuleringsfeil. Det ble gjennomført en test på å ha to elastiske rør i enden, men det førte også til en simuleringsfeil. Vi ønsker å ha det elastiske røret sist da dette er nærmest mulig turbinen, og vi kan da bedre observere effekten det har på turbinen.



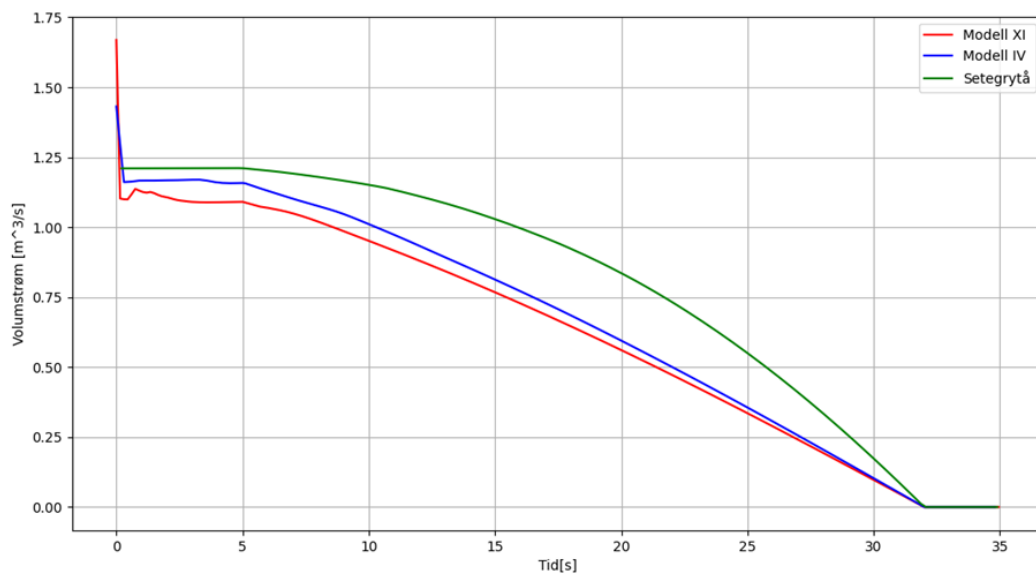
Figur 15: Trykket ved inngang turbin for Modell XI sammenliknet med utregningene til Setegrytå.

I Figur 15, kan man se trykket ved inngangen av turbinen for Modell XI og Setegrytå. Som man ser så starter trykket for Modell XI, langt lavere på en verdi av 28 bar i forhold til Setegrytå med rundt 37 bar. Etter trykkøkningen så ligger trykkrefleksjonene på rundt 36-43 bar.



Figur 16: Trykkstigning for Modell XI sammenliknet med utregningene til Setegrytå og Modell IV.

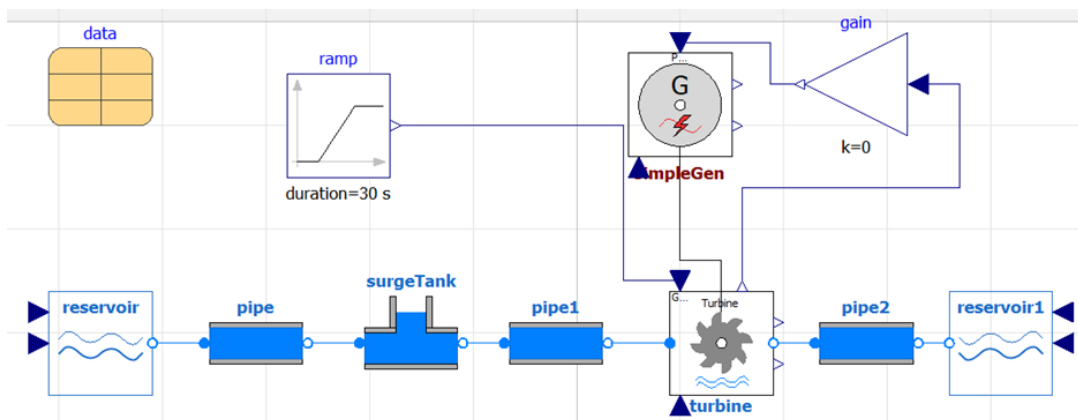
Figur 16 viser trykkøkningen til Modell IV, XI og Setegrytå. Modell IV var modellen med ett elastisk rør kjørt fra steady state. Man har klart å senke trykkøkningen med Modell XI, men den er ennå langt unna utregningene til Setegrytå. I tillegg så er frekvensen til trykksvingningene til Modell XI langt høyere enn både Modell IV og Setegrytå. Det indikerer at selv om man klart å få lavere trykkøkning så har det muligens gått på bekostning av frekvensen, noe som er ikke er ideelt. Det hadde vært interessant å se på hvordan en modell med flere elastiske rør i serie kjørt fra steady state, kunne ha blitt simulert. Ville man da ha sett en lavere frekvens og en lavere trykkøkning? Dette er jo noe som per nå ikke har vært mulig å gjøre på grunn av problemer med den elastiske rørmodellen.



Figur 17: Volumstrøm ved inngang turbin for Modell XI sammenliknet med utregningene til Setegrytå.

Volumstrømmene observert i Figur 17, oppfører seg likt som det man har sett tidligere i rapporten. For begge modellene så har man merkelige forstyrrelser i starten av ukjente grunner for så en volumstrøm som er lavere enn angitte $1.2 \text{ m}^3/\text{s}$. Dette antas skyldes den elastiske rørmodellen, da det ikke er slike forstyrrelser for modeller med kun stive rør, som sett for Modell VI i Figur 9. Dog så har Modell XI lavere volumstrøm verdier i forhold til de andre, bortsett fra ved slutten der de forenes.

4.8 Modell XV



Figur 18: Modell 15, nytt system med trykkammer, utløpsrør og annerledes lastsystem.

Et gjennomgående problem med simuleringene relatert til trykk er at de er svært forskjellige fra det man har sett fra utregnede data for Setegrytå kraftverk. Simuleringene viser at man får en voldsom trykkøkning ved stenging av ventilen. Utregningene gjort under prosjekteringen gir en trykkurve som har en senterlinje med en liten trykkøkning før trykket oscillerer rundt senterlinjen. Det er altså store kontraster mellom trykket i modell og prosjektering. Volumstrømmen derimot virker til å være på riktig nivå.

For å prøve å oppnå riktigere trykkurver så ble det valgt å starte fra en annen vinkel ved å kopiere eksempelet med navn «SimpleGen» som er tilgjengelig i OpenHPL. Dette eksempelet har trykkurver som ligner visuelt på hva jeg ønsker å oppnå. Dette ble til Modell XV som man kan se i Figur 18, modellen har et annerledes last-oppsett og i tillegg ett trykkammer og utløpsrør. Rørene i modellen er stive. Ett problem med modellen er at man tilsynelatende ikke kan stenge ventilen mer enn 70%. For å ha dette lastsystemet er det viktig å huke av enable Pout i turbinen. Trykkurve er nå slik som ønsket, men denne modellen har komponenter vi ikke har bruk for og mangler data fra Setegrytå, derfor ble det stegvis gjennomført endringer:

1. Fjerner trykkammeret og utløpsrøret. Det er ikke prosjektert et trykkammer i vannveien og ved bruk av peltonturbin så er det ikke nødvendig med et utløpsrør.
 - Fjerning av trykkammer medførte at oscilleringene etter regulering av ventilen blir borte og fjerning av utløpsrør førte neglisjerbare endringer.
2. Setter inn verdier for turbinen brukt i Setegrytå kraftverk, det vil si maksimal nominell

effekt, nominell høyde og vannføring for peltonturbinen. I tillegg så blir Valvecapacity skrudd av.

- Medfører store feil, blant annet at \dot{V} går fra $20 \text{ m}^3/\text{s}$ til $1.01 \text{ m}^3/\text{s}$ og at trykkfallet til turbinen går fra 15000 bar til 48 bar.

3. For å prøve rette på dette så blir volumstrømmen i data rettet fra fastsatt verdi på $19.01 \text{ m}^3/\text{s}$ til $1.2 \text{ m}^3/\text{s}$, $\dot{V}.\text{start.pipe}$ blir endret fra fixed til inherited.

- Medfører at volumstrømmen nå går fra $1.08 \text{ m}^3/\text{s}$ til $0.07 \text{ m}^3/\text{s}$. Trykket over turbinen går fra 48.48 bar til 48.59 bar for så å gå ned til 48.48 bar.

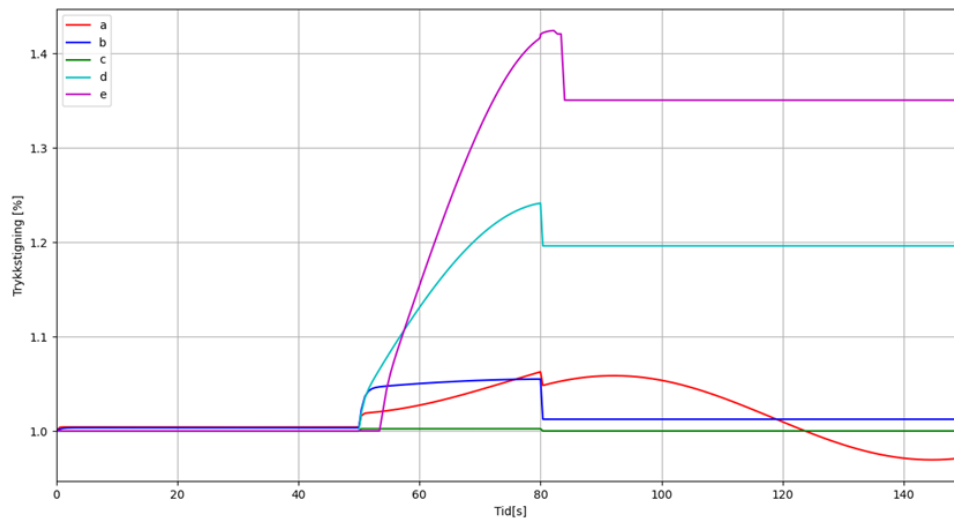
4. Rørene blir justert til å samsvare med verdiene til den prosjekterte vannveien.

- Ender opp med samme problem som tidligere for trykkkurver. Volumstrømmen går fra $0.95 \text{ m}^3/\text{s}$ til $0.07 \text{ m}^3/\text{s}$ noe som er dårligere enn tidligere modeller.

5. Tester å bytte ut lastsystemet med det bruk tidligere.

- Kan nå lukke ventilen helt, fører til en høyere trykkøkning, men fører også til at volumstrømmen går fra $1.15 \text{ m}^3/\text{s}$ til $0 \text{ m}^3/\text{s}$.

I Figur 19, kan man observere hva endringene over medfører i trykkfallet over turbinen. Det kommer tydelig frem at etter alle endringene er implementert så er det noe som fører til et voldsomt byks. Verdt å merke seg forskjellen mellom kurve (d) og (e), har en lavere trykkøkning enn vi har observert tidligere, men at dette er et følge at ventilen inn til turbinen kun er stengt med 70% og ikke 100%. Kurve (e) har også blitt forskyvet litt til høyre, dette er på grunn av en mindre feil i en csv-fil, kurven viser fortsatt representative verdier.



Figur 19: Trykkstigning etter endring av Modell XV. Kurve(a) er Modell XV uten endringer. Kurve(b) er etter at trykkammer og utløpsrør er fjernet. Kurve (c) er etter at turbin-verdier er lagt inn og at data er justert. Kurve (d) er etter at rørene er gitt samme verdi som prosjektert vannvei. Kurve (e) er etter at lastsystemet ble byttet ut og lagt inn med 100% lukking. Alle kurvene har brukt 30s i lukketid.

Med disse endringene implementert så burde Modell XV tilsvare Modell IX. Ergo etter at alle endringene ble gjort så endte jeg opp med et lignende resultat til det jeg allerede har sett tidligere.

5 Innebygde modellkomponenter

De innebygde komponentene er grunnen til at OpenHPL og Modelica kan brukes til modellering. I Tabell 3 kan man finne en oversikt over alle modellkomponentene som har blitt brukt gjennom sommerprosjektet. Oversikten inneholder modellnavn, hvilket bibliotek man kan finne modellen og en kort beskrivelse over hva som er hensikten med modellen.

Tabell 3: Brukte modellkomponenter.

<i>Komponentnavn</i>	<i>Bibliotek</i>	<i>Beskrivelse</i>
Pipe	OpenHPL, waterway	Stivt rør
PenstockKP	OpenHPL, waterway	Elastisk rør
Reservoir	OpenHPL, waterway	Magasin
Turbine	OpenHPL, electromech, turbines	Generell turbin
Francis	OpenHPL, electromech, turbines	Francis turbin
SimpleGen	OpenHPL, electromech, turbines	Simpel Generator
data	OpenHPL	Databank
Switch	Modelica, Blocks, Logical	Bryter som bytter ved booleansk signal
Constant	Modelica, Blocks, Sources	Konstant
Ramp	Modelica, Blocks, Sources	Danner ett lineært signal etter gitt tid
BooleanStep	Modelica, Blocks, Sources	Bytter fra ett nivå til ett annet ved gitt tid

5.1 Komponentproblemer

Under modellering og simulering så ble det oppdaget flere problemer med de ulike modellkomponentene i Tabell 3. Noen av disse problemene førte til simuleringsfeil og mange feilkoder.

5.1.1 Pipe

Det stive røret oppfører seg som regel slik som det skal.

- Det står tydelig i modellen at under initialiseringen så er den avhengig av input fra data, spesielt da volumstrømmen og om det kjøres fra steady state. Her har man mulighet til å regulere på `Vdot.start`, i noen tilfeller som med Francis, så må minst ett av rørene i serie ha `Vdot.start = true`. Hvis denne ikke er påskrudd så kan dette lede til simuleringsfeil.
- Hvorfor gir vannvei med kun stive rør avvik i volumstrømmen? Med ett stivt rør så får man `turbine.Vdot = 1.16 m3/s` og når modellen har seks stive rør i serie så går `Vdot` fra

`data.Vdot = 1.2 m3/s` til turbine.`Vdot = 1.11 m3/s`? Jeg kan forstå komplikasjoner med å bruke elastiske rør fører til avvik i volumstrømmen, men selv med ett stivt rør så fører det til avvik.

5.1.2 PenstockKP

Dette er antageligvis komponenten som fører til mest problemer i de simulerte modellene.

- Man kan ikke sette at høydedifferansen mellom start og slutt er lik null. Dette fører til Translation Error: Step size 0 in range is too small. Dette kan være problematisk i situasjoner man ønsker å ha et rør som ligger helt vannrett.
- I den anledning man ønsker å se på verdier rundt PenstockKP etter en simulering så vil man få over hundrevis av variabler og verdier i en lang liste. Dette er visuelt forstyrende, uorganisert og ineffektivt. Det fremstår som spesielt unødvendig for verdier som forblir konstante gjennom hele røret, slik som arealet. Det er ytterst få av verdiene som er av faktisk interesse og resten burde være bortgjemt.
- «Trykkspikerene» som dukker opp i mange simulasjoner antas også å inntreffe på grunn av de elastiske rørene.
- Når man tar flere rør i serie der minst ett er elastisk så fører dette til problemer. Dette er grunnen til at Modell XI, blir regnet som den beste modellen jeg kan få til for øyeblikket. Men dette fører til at vannveien består av kun 16.67% elastiske rør. I anledningen man prøver å modellere ett til elastisk rør inn i denne modellen så får man en simuleringsfeil.
 - o I Modell V, som har seks elastiske rør i serie så blir det en simuleringsfeil når jeg prøver å kjøre den fra steady state.
 - o Selv med steady state så er ikke simuleringer med flere elastiske rør faktisk steady. Dette ser man for Modell X, som har to elastiske rør i serie. Det fører til langt færre forstyrrelser ved å ha den fra steady state, men det er likevel ikke helt godt nok.
- Nesten alle gangene det har vært en simuleringsfeil så skyldes det noe med PenstockKP.
 - o Dette gjelder spesielt når jeg har prøvd å endre `data.Vdot` (for å klarifisere, med `data.Vdot` så mener jeg initialiserings volumstrømmen, ergo `Vdot0`).
 - o Eksempel i Modell XI, der viss jeg endrer `Vdot = 1.167 m3/s` til `Vdot = 1.2 m3/s`, så fører det til følgende repeterende feil, der den ikke klarer å gå forbi initialiseringen: Model error: Argument of `sqrt(KP.v[10,2]**2.0 + 4.0 * KP.A[10,2] / (data.rho * KP.Aatm[10,2] * data.betatotal))` was `-7.11758e+06` should be `>= 0`.

5.1.3 data

Komponenten som inneholder alt av bakgrunnsinfo.

-
- Selv om jeg ikke direkte kan si at det er problemer med denne komponenten, så var det jo situasjoner der endringer i denne komponenten førte til store problemer for andre komponenter. For eksempel for PenstockKP.
 - Jeg sjekket aldri grundig over hvilke data som var lagt inn i denne komponenten, så jeg er usikker på om dataene gjelder for en spesifikk eller generell plass. Det vil si jeg har kun endret på Vdot og steady state i komponenten og ikke noe annet.

5.1.4 Turbine

Generell turbinkomponent med lite rom for endringer.

- Den er rett og slett for generell.
- På tross av at jeg har masse parametere og dimensjoner tilgjengelig om peltonturbinen brukt i Setegrytå, så er det kun få av dem jeg faktisk får brukt, dette medfører at modellen blir mindre nøyaktig.
- Peltonturbinmodellen er mangelfull og er grunnen til at man må bruke denne som en erstatning.
- Francisturbinmodellen ble utprøvd i en av modellene som ikke er nevnt i rapporten, modellen virket svært sensitiv ovenfor hvordan innstillingene i rørene var lagt opp. Det var derimot mulig å legge inn litt flere dimensjoner enn den generelle turbinen.

5.1.5 Reservoir

Komponenten for reservoaret i vannkraftverket.

- Det var umulig å sette høyde på inntak til lik 0 som ønsket.
- Virket å ha lite å si hva dimensjonene på magasinet faktisk var.

5.1.6 Ramp

Lineært signal.

- Burde være mulig å gjøre om til et polynomisk signal.

6 Konklusjon

Jeg klarte ikke å gjenskape resultatene til utregningene for Setegrytå med modeller i OpenHPL. Mye av dette skyldes problemer med enkelte komponenter, da spesielt PenstockKP, den elastiske rørmodellen. Dette var noe som blant annet førte til at jeg ikke fikk simulert Modell V (seks rør, elastisk vannvei) fra steady state. Beste modell for systemet ble Modell XI, som besto av fem stive rør og ett elastisk. Trykkstigningen og frekvensen på trykkrefleksjonene til modellene er langt høyere enn det man har sett for Setegrytå. Volumstrømmen endte nesten alltid opp med lavere volumstrøm enn ønsket, dette gjaldt både for modeller med stive og elastiske vannveier. Det bør også tas i betraktning at jeg har lite erfaring med Modelica og OpenHPL, og man kan dermed ikke utelukke menneskelige feil i modellene.

6.1 Forslag til videre arbeid

Selv om jeg ikke fikk til å gjenskape resultatene så vil jeg likevel anbefale å fortsette med nye modelleringer, simuleringer og utvikling i OpenHPL. En forbedring av eksisterende komponenter kan være essensielt for å få et brukbart verktøy som kan brukes i prosjektering av vannkraftverk. Under er noen konkrete forslag til videre arbeid:

1. **Lage en mer robust elastisk rørkomponent.** Da mange av simuleringsproblemene skyldte den elastiske rørkomponenten, så anses det som svært viktig å få tatt en grundig undersøkelse over hva som eventuelt er galt med komponenten. Hvis man oppdager flere åpenbare mangler, burde man vurdere mellom å fikse eller lage en helt ny komponent. Dette er det muligheter for da OpenHPL ennå er under utvikling.
2. **Forbedre turbinkomponentene.** Det vil si forbedre den generelle turbinkomponentene til å kunne ta inn flere parametere og få utbedret eller bygge opp nye turbinkomponenter for Francis og Pelton.
3. **Teste med flere ulike lukketider.** Andre lukketider vil kunne gi andre resultater og kan potensielt bidra med å redusere trykkendringer.
4. **Test for modell med 3 elastiske rør i serie.** Er det også mulig å kjøre denne fra steady state?