



Høgskulen
på Vestlandet

BACHELOROPPGAVE

CompactHydro – Utvikling av konsept for mikro vannkraftverk

CompactHydro – Concept development of micro hydropower plant

**Fredrik Hestetun, Daniel Langstein og
Joar Nikolai Hellesfjord**

HO2-300 Bacheloroppgave

Fakultet for ingeniør- og naturvitenskap

Institutt for datateknologi, elektroteknologi og realfag

Veileder - Olav Sande

25.05.2020

Vi bekrefter at arbeidet er selvstendig utarbeidet, og at referanser/kildehenvisninger til alle kilder som er brukt i arbeidet er oppgitt, jf. Forskrift om studium og eksamen ved Høgskulen på Vestlandet, § 10.

Referanseside

Campus Førde, Svanehaugsvegen 1, 6812 FØRDE www.hvl.no

TITTEL HO2-300-1 20V Sluttrapport	RAPPORTNR. 1	DATO 25.05.20
PROSJEKTTITTEL CompactHydro: Utvikling av konsept for mikro vannkraftverk	TILGJENGELIG Åpen versjon	TALL SIDER 51
FORFATTERER Fredrik Hestetun Daniel Langstein Joar Hellesfjord	ANSVARLIG RETTLEDER/ STYRINGSGRUPPE Olav Sande – Ansvarlig rettleder	
OPPDRAGSGIVER Compact Hydro SB		
SAMMENDRAG Utbygging av mikrokraftverk opp til 100kW er kostbart, faktisk er det så kostbart at prosjektgruppen mener at slike kraftverk er oversett i dagens fornybare satsing. Dette motiverer studentene i denne oppgaven til å dykke inn i oppgaven, og gjøre en studie på om dagens mikrokraftverk kan realiseres på enklere måter. Gruppen håper videre på å finne en innovasjon innen denne bransjen, med å etablere et bedriftskonsept eller det som kan bli et godt utgangspunkt for framtidige arbeidsplasser. I denne bacheloren tar gruppen for seg noen ulike utredninger innen den tekniske utrustningen til et mikrokraftverk. Sammen med kompetansen til Høgskolen i Vestlandet og god dialog med kraftbransjen har en valgt å fokusere på to viktige områder i kraftverket, automasjon og elkraft. Gruppen er sammensett av studenter som går fagområde elkraft og automasjon, som gjennom studiet har valgt å stifte en studentbedrift (SB) med navnet CompactHydro SB. Målsettingen med denne oppgaven er å utvikle et godt konsept for full automatisert styring og overvåking av et mikrokraftverk og finne en innovasjon og kanskje en vei videre etter bacheloren til å kunne fortsette som et selvstendig selskap.		

SUMMARY

Development of micro powerplant up to 100kW is expensive, it is in fact so expensive and little practiced to build such facilities that the project group believes that such powerplants have been excluded in today's renewable efforts. The social benefit is not considered to be renewable. This motivates the students in this project group to investigate if this can be realized in simpler ways or try to find an innovation within this industry by establishing a business concept that can be a good starting point for future potential jobs.

In this bachelor thesis, the group deals with several different studies within the technical equipment of a micro power plant. Together with the proficiency of the University College in Western Norway and good dialogue with the power industry, the group has chosen to focus on two important fields of the powerplant, automation and electrical power.

The project-group is composed of students attending electrical power and automation, who through their studies have chosen to start a student company (SB). The objective of this thesis is to develop a good concept for fully automated control and surveillance of a powerplant and to find an innovation which may lead to a continuation of the student company as an independent company

EMNEORD

Mikrokraftverk, generator, kontrollanlegg, apparatanlegg, automasjon, elkraft, innvirkning

Avtale om bacheloroppgave ved HVL- Fakultet for ingeniør- og naturvitenskap, Institutt for elektro, Campus Førde

Dato: 06.05.20

Oppgåvetittel: CompactHydro – Utvikling av konsept for mikro vannkraftverk

Involverte i oppgåva:

Studentar:	Fredrik Hestetun, Daniel Langstein, Joar Hellesfjord
Samarbeidande verksemd:	CompactHydro
Prosjektansvarleg:	Olav Sande
Styringsgruppe:	Olav Sande, Joar Sande
Finansiering:	Ingen kostnader i prosjektet.

Reglar for gjennomføring og bruk av resultatet:

Mellom studentane, HVL og CompactHydro er det inngått følgjande avtale:

- 1) Høgskulen kan ikkje, overfor eventuell ekstern samarbeidspartnar, garantere sluttresultatet på eit studentprosjekt.
- 2) Ekstern samarbeidspartnar skal ha kopi av rapporten.
- 3) Oppgåveresultatet, med rapport, teikningar, modell, apparatur, program osv. er CompactHydro sin eigedom. HVL sin bruk av resultatet/rapporten er avgrensa til undervisnings-, rekrutterings og forskningsformål, og skal utøvast i forståing med CompactHydro.
- 4) Student(ane) og ekstern samarbeidspartnar godkjenner at rapporten kan kopierast til andre. Det skal lagast internettpresentasjon av prosjektet. HVL har høve til å redigere og nytte informasjon frå denne presentasjonen.
- 5) Deler av rapporten som eventuelt skal vere unnateke offentlegheita, blir lagt i lukka vedlegg, og skal ikkje kopierast utan at det er henta inn særskilt avtale frå CompactHydro.
- 6) Rettane til utnytting av resultatet kommersielt eller ved dagleg drift tilfell CompactHydro.

Reglane er aksepterte:

Olav Sande

Dagleg leiar CompactHydro

Daniel Langstein

Joar Hellesfjord



Fredrik Hestetun

Forord

Dette er sluttrapporten for hovedoppgaven, «HO2-300-1 20V Bacheloroppgave», våren 2020.

Rapporten er skrevet av tre studenter på *Høgskulen på Vestlandet* (HVL), som studerer for å bli ingeniører, innen to forskjellige studieretninger Elkraftteknikk- og Automasjonsteknikk. Det er laget en tverrfaglig oppgave og sluttrapport ut av disse to studieretningene.

«HO2-300-1 20V Bacheloroppgave» teller 20 av totalt 180 studiepoeng som utgjør hovedoppgaven for studiet. Målet med prosjektet er å belyse et reelt oppdrag i arbeidslivet, der vi bruker kunnskap vi har tilegnet oss gjennom studiet for å løse oppdraget. Vi skal planlegge, gjennomføre, og dokumentere prosjektet i henhold til prosjekthåndboka «HO2-300 Bacheloroppgave»

Under arbeidet med oppgaven «Utvikling av konsept for mikro vannkraftverk» har vi fått spesielt bruk for kunnskapen vi har tilegnet oss gjennom fagene «EN312-1 19H Innovasjon og studentbedrift» og «OR2-302-1 19H Ingeniørfaglig systemevne». Også tidligere undervisning i studieretningene automasjon og elkraft har vært avgjørende for å kunne utføre denne oppgaven. Vi har gjennom studiet fått god kompetanse på en rekke komponenter som hører hjemme i små kraftverk.

Gjennom oppgaven og studiet har vi hele tiden hatt en visjon fram mot en mulig bedriftsetablering, og har med dette utviklet en forretningsstrategi som er presentert i vedlegg A, «Forretningsplan CompactHydro». Siden mye av dette studiet er viktige brikker fram mot en mulig bedriftsetablering, så er deler av denne oppgaven unntatt offentligheten.

En stor takk rettes til «Goodtech AS» for å ha gitt oss tilgang på en nettanalysator, HVL for finansiering av manglende komponenter underveis og dispensasjon for tilgang til laboratoriet etter COVID-19-utbruddet. Dette har vært avgjørende for at gruppen fikk arbeide og kommet fram til et konkret resultat.

Til slutt vil vi takke ansatte ved HVL som består av førstelektor og veileder Olav Sande, høyskolelektorer Joar Sande og Bjarte Pollen for deltagelse med sin gode kunnskap, erfaring og ikke minst fremragende veiledning.

Innholdsliste

Referanseside	I
Avtale om bacheloroppgave	III
Forord	IV
Innholdsliste	V
Sammendrag	VIII
1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Mål.....	2
1.3 Alternativer og problemstilling.....	3
1.4 Utfordringer som følge av COVID-19-pandemien	4
2 Teori	5
2.1 Vannkraft i Norge	5
2.2 Framtidig kraftproduksjon.....	6
2.3 Konvensjonelt vannkraftverk	10
2.3.1 Magasin- og elvekraftverk	10
2.3.2 Hovedkomponenter	11
2.3.3 Generator og turbin.....	12
2.3.4 Styring og regulering	15
2.3.5 Jordingsanlegg.....	16
2.3.6 Nettilkobling og synkronisering.....	17
3 Mikrokraftverket	19
3.1 Elkraft	19
3.1.1 Valg av generatorløsning.....	19
3.1.2 Valg av turbin.....	21
3.1.3 Mikrokraftverkets innvirkning.....	22

3.1.4	Risikoanalyse og valg av vern	24
3.2	Automasjon	25
3.2.1	Kontrollapparat og I/O (Unntatt offentlighet)	26
3.2.2	Sensorikk og eksternt utstyr	26
3.2.3	HMI og programvare	26
4	Simulering av mikrokraftverket.....	28
4.1	Simulering av kraftverk i praksis.....	28
4.2	Opprinnelig Nettanalysator	29
4.3	Ombygging av modellen.....	30
4.3.1	Tilpassing av modellens asynkronmaskiner.	31
4.3.2	Innfasing av generatorer mot synkront nett (Unntatt offentlighet)	34
4.3.3	Ombygging av nettanalysator til kraftverksimulator	34
4.3.4	Sekvenser i hendelsesforløpet til kraftverkssimulatoren	35
4.3.5	Montasje og idriftsettelse av modellen.....	36
5	Programvarens funksjonalitet (Unntatt offentligheten).....	37
6	Konklusjon.....	37
6.1	Drøfting.....	37
6.2	Drøfting av fagområdet Elkraft.....	38
6.3	Drøfting av fagområdet Automasjon	39
6.4	Resultat og måloppnåelse	40
6.5	Videre utviklingsmuligheter	41
7	Prosjektadministrasjon	42
7.1	Organisering	42
7.2	Prosjektperiode	43
7.3	Gjennomføring i forhold til plan.....	44
7.4	Økonomi	45

7.5	Generell prosjektevaluering	46
	Figurliste	47
	Tabelliste	48
	Referanseliste.....	49
	Vedleggliste	51

Sammendrag

Utbygging av mikrokraftverk opp til 100kW er kostbart, faktisk er det så kostbart at prosjektgruppen mener at slike kraftverk er oversett i dagens fornybare satsing. Dette motiverer studentene i dette prosjektet til å dykke inn i oppgaven, og gjør en studie rundt enkle konseptløsninger for dagens mikrokraftverk. Gruppen har sett på mulige løsninger, og håper å skape innovasjon i bransjen med å etablere et bedriftskonsept eller det som kan bli et godt utgangspunkt for framtidige arbeidsplasser.

Rapporten tar for seg noen ulike utredninger innen den tekniske utrustningen til et mikrokraftverk. Sammen med kompetansen til Høgskulen i Vestlandet og god dialog med kraftbransjen har gruppen valgt å sette søkelys på to viktige områder i kraftverket, automasjon og elkraft

Elkraft studiet tar i hovedsak for seg valg av generatorløsningen og hvilke følger det vil ha for et mikrokraftverk. En har kommet fram til at det er asynkronløsning som egnes best i kraftverk med produksjon under 100 kW. Ved bruk av asynkrongenerator stilles det mindre krav til drift og synkronisering, og en kan unngå et komplisert og kostbart anlegg.

Automasjonsstudiet tar for seg utvikling av programvare, og valg av komponenter til konseptet. Det har videre blitt vurdert hvilke fysiske komponenter som kan erstattes med programvare og hvordan man skal detektere og håndtere feil i anlegget.

Gruppen er sammensatt av studenter som går fagområde elkraft og automasjon, som gjennom studiet har valgt å stifte en studentbedrift (SB) med navnet CompactHydro SB. Målsettingen med denne oppgaven er å utvikle et godt konsept for helautomatisert styring og overvåking av et mikrokraftverk og redusere kostnader ved å minimalisere antall fysiske komponenter.

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Denne bacheloroppgaven er laget av tre studenter fra Høgskolen i Vestlandet, som har gjennom studiet hatt et ønske om å se på mulighetene til mer produksjon av fornybar energi fra vannkraft. Høsten 2019 gjennomførte gruppen, bestående av Joar Hellesfjord, Daniel Langstein og Fredrik Hestetun en evaluering og kostnadsanalyse av en mulig utbygging i et lokalt område i Lærdal, hjemmehørende til en av deltakerne i gruppen. Denne gruppen har også jobbet med denne casen gjennom faget «Innovasjon og studentbedrift», der det videre er dannet en studentbedrift med navnet CompactHydro.

Gjennom kostnadsanalysen har gruppen foretatt en grundig evaluering på tilsig av vann i nedbørsfeltet og mulig strøm produksjon fra bekken som drenerer dette området. Mye av motivasjonen til å se nærmere på dette er fordi gruppen oppfatter en etterspørsel i markedet på mikrokraftverk (0-100kW). Til tross for dette blir utbygging lite praktisert, fordi byggekostnadene ofte blir for høy. Gruppen ser at det finnes flere aktører som kan tilby deler av leveranser til utbygger, men derav få som kan levere komplett leveranse fra rådgivning til nøkkelferdig kraftverk. I løpet av høstsemesteret leverte gruppen en kostnadsanalyse i faget «Ingeniørfaglig systemevne», som gir et utrop for at kostnadene med bygging av nettopp slike kraftverk er mulig å kutte ned.

Fra våren 2020, startet gruppen opp med bachelor-prosjektet der fokuset omhandler å se nærmere på tekniske installasjoner i kraftverket, og løsninger som innovativt kan brukes videre til en mulig bedrift. Gjennom dette studiet er det viktig å sette riktige grenser basert på målsetting om tidsbruk, da teknologien er omfattende og området er stort. Gruppen består av deltakere som fra før høyskolegang har god kjennskap til kraftverk, generatorer, kontrollanlegg og programvare. Og det fine med gruppen er at deltakerne tar ulike studieretninger, med elkraft- og automasjon. Derfor har det lenge vært målsetting at denne gruppen tar en tverrfaglig bachelor innen elkraft og automasjon.

For å få testet mye av kraftverks-konfigurasjonen i praksis har gruppen fått lånt en modell som opprinnelig var bygget som en demonstrasjon på en nettanalysator. Denne har i løpet av dette prosjektet blitt ombygget til en kraftverksimulator, som simulerer et forsyningsnett og et kraftverksnett. Kraftverkssimulatoren har vært til stor hjelp for å få testet ut funksjonaliteten til kraftverket med tanke på blant annet programvare, feilhåndtering, fasekompensering og en har fått sett teorien fungere i praksis.

1.2 Mål

Hovedmål

Utarbeide komplett styring, dokumentasjon og underlag for et fullt automatisert mikrokraftverk hvor en minimaliserer komponenter ned til et minimum, uten betydelige ringvirkninger på kvalitet og funksjonalitet.

Resultatmål

Konkretisere mulighetene rundt etablering av bedriften CompactHydro, med hjelp av egen styring og prosjektering.

Delmål

Målene må systematiseres for å gi prosjektgruppen klare delmål på utførelsen av oppgaven.

Delmålene konkretiseres som følgende:

- Foreta en risikoanalyse av mikrokraftverket og dets styring
- Utifra risikoanalysen gjøre en bestemmelse av vern, funksjonalitet og sikkerhet
- Undersøke hvilken generatorløsning som egner seg best til oppgavens formål
- Utvikle programvare som skal brukes til konseptet for mikrokraftverket
- Bygge om modellen med riktige komponenter slik at den passer oppgavens formål
- Igangkjøring av modell for å teste vern og synkronisering

Opprinnelig målsetting

Som følger av COVID-19, har det blitt gjort noen få endringer i delmålene fra forprosjektperioden. Det var originalt tenkt å ha et litt mer omfattende mål rundt igangkjøring og testing av ulike alarmer/hendelser på modellen. Videre ble arbeidsmengden rundt målene noe redusert når gruppen ikke fikk tilgang på skolen. Derfor ble mange mål fra forprosjektet drøftet over og revidert for denne rapporten, alle mål for forprosjektet finnes i vedlegg B.

1.3 Alternativer og problemstilling

Prosjektoppgaven går ut på å konstruere en konfigurasjon for et mikrokraftverk, der det skal utvikles egen programvare for helautomatisk styring samt minimalisere bruken av komponenter for å kutte kostnader ned til et minimum. CompactHydro opplever at bransjen gjerne er delt når det gjelder bruk av generatorer for mikrokraftverk, der vi oppfatter at dynamisk påvirkning mot forsyningsnettet er noe ukjent for mange nettleverandører. Det må derfor undersøkes grundig rundt valg av generatorløsning i mikrokraftverket og hvilke følger dette får for nettet. Gruppen går inn for å komme frem til et godt konsept og en god løsning for et fullt automatisert mikrokraftverk. Videre har gruppen valgt å redegjøre for to alternative løsninger som vi har valgt å kalle alternativ 1 og 2.

Alternativ 1:

- I dette alternativet har vi en helautomatisert styring med egen programvare, tilrettelagt for asynkrongenerator. Her undersøker vi hvilke muligheter det finnes rundt magnetisering og synkronisering opp mot nettet.

Alternativ 2:

- I dette alternativet har vi en helautomatisert styring med egen programvare, tilrettelagt for synkrongenerator. Her undersøker vi om synkronmaskinen har tilhørighet i et mikrokraftverk, hvor synkron løsning opplagt er mer kostbar enn asynkron.

Prosjektgruppen har spesifisert følgende problemstilling utifra bakgrunnen til oppgaven:

Kan prosjektering og utbygging av mikrokraftverk gjøres mindre omfattende og kostbart med enkle løsninger?

1.4 utfordringer som følge av COVID-19-pandemien

Idet COVID-19-pandemien slo inn for fullt og stengte store deler av samfunnet, inkludert alle landets skoler, var gruppen i full gang med ombygging av modellen og skulle etter planen begynne oppstart og uttesting av modellen. Dette har ført til en del utfordringer, omprioriteringer og merarbeid i løpet av prosjektet, se vedlegg C for framdriftsplan. Selve flyten i prosessen med oppgaven har ikke stoppet merkbart opp, da det ble satt inn tidlige tiltak som hyppige møter og gode målsettinger om framdrift. For å sikre god kommunikasjon innad i gruppen ble kommunikasjonsplattformene Skype og Microsoft Teams tatt i bruk. Det var lenge stor usikkerhet om skolen ville åpne igjen før prosjektslutt, så en måtte da få i gang en emulering av kraftverket for å få testet ut det meste av funksjonaliteten til programvaren. Mot slutten av prosjektperioden åpnet skolen opp for å komme tilbake. Uke 19 ble satt av til ferdigstilling, testing og idriftsettelse. Testingen av kraftverket gikk stort sett smertefritt uten store utfordringer og gruppen fikk testet alt som var planlagt denne uken.

2 Teori

Da denne rapporten i all hovedsak tar for seg prosjektering og dimensjonering av et konsept for mikrokraftverk, velges det likevel i dette kapitlet å utrede generell teori rundt små kraftverk også. Dette kommer av at alle kraftverk innenfor kategorien «små kraftverk» har mye lik konstruksjon, og mange av de samme utfordringene rundt søknadsprosesser, utbygging og drift av anlegget. Mer om kategorien små kraftverk utredes i kapittel 2.1.

2.1 Vannkraft i Norge

I Norden utgjør vannkraft over 50% av den totale kraftproduksjonen, hvor Norge står for 2/3 av denne produksjonen [1]. Grunnen til dette er landets høye fjell, topografi og klima som gjør at vi er verdensledende når det kommer til produksjon av vannkraft. I løpet av et normalår blir det i Norge produsert om lag 147 TWh elektrisk energi, hvor 93% av dette er vannkraft [2]. Mer nøyaktig vil dette si rundt 135 TWh fordelt på over 1600 vannkraftverk. Majoriteten av disse vannkraftverkene ligger under betegnelsen «små kraftverk», hvor de faktisk også står for den minste delen av bidraget til den årlige produksjonen (Tabell 2.1). Små kraftverk, også kalt småskala vannkraftverk, deles inn i tre underkategorier:

- Mikrokraftverk med installert effekt opptil 0,1 MW
- Minikraftverk med installert effekt fra 0,1 MW til 1 MW
- Småkraftverk med installert effekt fra 1-10 MW

Som Tabell 2.1 viser er det i dag bygget ut i overkant av 11 TWh småkraft i Norge, noe som anslagsvis utgjør 15% av den årlige produksjonen. Resterende 125 TWh er bidraget fra større anlegg, såkalt storskala vannkraftverk som er anlegg med produksjon over 10 MW [2].

Tabell 2.1: Oversikt over hva det utbygde vannkraftsystemet i Norge består av pr 01.01.2020 [2].

Kategori	Antall	Ytelse [MW]	Midlere årsproduksjon [TWh]
Under 1 MW (Mini og mikro)	574	186	0,8
1-10 MW (Småkraft)	737	2633	10,3
10-100 MW	257	9582	42,3
Over 100 MW	83	20270	82,4
Pumper (totalt)	30	---	-0,2
Totalt kraftverk	1651	32257	135,6

I Tabell 2.1 ser vi at bidraget fra mikro- og småkraftverk er fordelt utover 1300 anlegg til årlig produksjon, noe som videre gjør disse tallene interessante. Det forteller oss noe om potensialet som har ligget i mindre elver og større bekker i Norge frem til nå. I tidlig 2016 var det kun utbygget 62% av vannkraftpotensialet i Norge, som vil si at potensialet for utbygging fortsatt er stort [3].

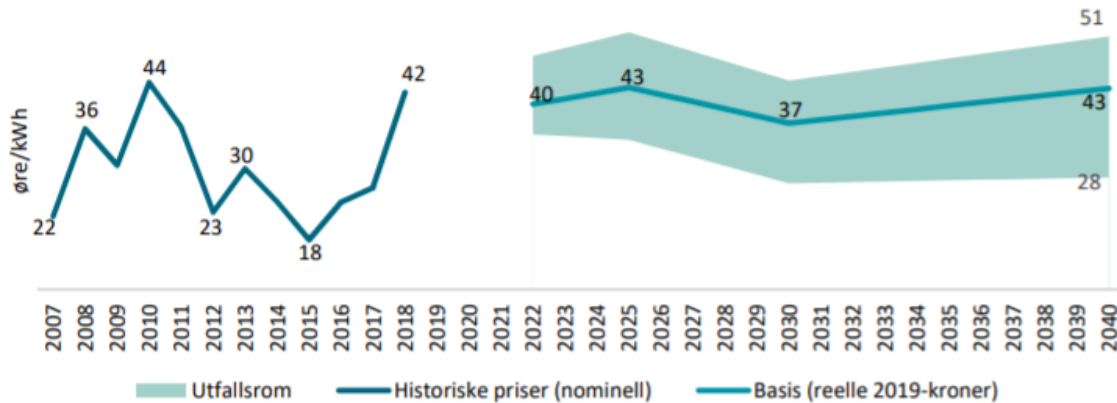
2.2 Framtidig kraftproduksjon

Vekst i framtidig kraftproduksjonen er essensielt for grunneiere som vurderer utbygging. En positiv trend kan få ringvirkninger, og føre til at flere grunneiere med fallrettigheter kan få lyst til å ta stilling til utbygging. Videre kan økt kraftproduksjon bidra til god verdiskaping både direkte og indirekte. Det kan hende at en investering i et kraftverk krever intern sysselsetting, og behovet for alt materiell som trengs bidrar til økt pågang etter leverandørtjenester som også gir økt ekstern sysselsetting og verdiskapning.

Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) anslår i en analyse om framtidig kraftproduksjon at utbygging av småkraft vil fortsette en god stund, men sakte avta frem mot 2040 [1]. Det vil si at de ved å se på dagens vekst og utbygging av vannkraftverk, har regnet seg fram til at estimert produksjon av småkraft fram mot 2040 ikke vil bli mer enn ytterligere 3-4 TWh. Grunnen til at dette tallet estimeres «lavt», bestemmes mer eller mindre av en rekke faktorer. Disse faktorene spiller en stor rolle i forhold til å kunne realisere mer vekst i utbyggingen av disse kraftverkene. Noen av de viktigste faktorene redegjøres for under;

Framtidens kraftpris

For å oppnå lønnsomhet i småkraftprosjekter er en helt avhengig av stabilitet i kraftprisen for å redegjøre for inntektene til kraftverket. Veldig ofte blir ikke prosjekter realiserbare fordi det ikke lønner seg å starte utbygging, som kan vær et resultat av for lav kraftpris, øre/kWh.



Figur 2.1: Norsk kraftprisbane mot 2040 som følger av NVEs analyse [4]

Som en kan se på Figur 2.1 anslår NVE i en nylig rapport om langvarig kraftmarkedsanalyse, at den gjennomsnittlige kraftprisen¹ vil øke noe framover mot 2040. Denne kurven er et resultat av en del forutsetninger som bestemmes av EUs klimapolitikk, og avhenger av hvor mye fornybar energi det er i Europa. Forutsetningene innebærer blant annet en høyere utvikling av brensel og CO₂-priser, som påvirker norsk kraftpris [4]. Samfunnet er også inne i en spesiell tid med COVID-19-restriksjonene. Alle tiltakene som settes i verk av staten påvirker kraftig dagens strømpriser [5]. Når dette vil avta eller hvor lenge dette vil foregå er ikke godt å anslå, men noen spor er det naturlig at pandemien etterlater seg i kraftprisene framover.

¹ Gjennomsnittlig kraftpris er et gjennomsnitt NVE har beregnet over 30 simulerte værår [4].

Konsesjoner

I NVEs rapport om kraftproduksjon går det frem at 44% fikk konsesjon, av småkraftsøknader behandlet mellom 2015 og 2019 [1]. Det kan være mange grunner til avslag på konsesjonene, men ofte er det mangel på hensyn til de lover og forskrifter som sikrer hensyn til miljøet og allmenne interesser [6]. Det er ikke heller alltid slik at de som får konsesjon fra NVE til prosjektene sine, ender opp med utbygging. En godkjent konsesjonssøknad kan for små kraftverk ofte være grønt lys til å ta steget videre inn i investeringsbeslutningsfasen², hvor de da i etterkant kanskje mister interesse fordi de finner ut at utbygging blir for kostbart eller prosjektet ikke er inntektsbringende i særlig grad likevel.

Alle konsesjonssøknader skal først inn til NVE for videre avklaring, men for konsesjonspliktige mini- (0,1-1.0MW) og mikrokraftverk (<0,1MW), er det kommunen som fatter vedtak. Det vil si at alle mindre prosjekt som ikke blir vurdert etter vannressursloven, vil behandles videre etter plan- og bygningsloven av kommunen [6]. Som følger av et mikrokraftverks fysiske og tekniske størrelse, vil som regel konsesjonsprosessen gå fort videre til behandling av kommunen [7].

Klimaendringer

Klimaendringer er et faktum, hvorvidt kraftproduksjon påvirkes av det kan diskuteres. Som et resultat av klimautslippene anslår samtlige klimarapporter blant annet stor variasjon i nedbørsmengde og mer ekstremvær i framtiden [8], [9, p. 4]. Økning i nedbørsmengde er egentlig bare positivt for vannkraftproduksjon og er ikke i seg selv et problem. Problemet ligger i de følger som kommer av nedbørsøkningen og skaper utfordringer rundt flom og overvann [8]. Dette kan føre til at enkelte små kraftverk som bygges ut, må ta ekstra hensyn til framtidig flom og finne løsninger rundt dette problemet som kan være kostbare.

² Investeringsbeslutningsfasen – En av fem faser et små kraftverk går gjennom under utviklingen og prosjekteringen. Oppramset i kronologisk rekkefølge [7]: Skisse-, søknad-, investeringsbeslutning-, bygge- og driftsfasen.

Nettkapasitet

En av de mest avgjørende faktorene til små kraftverk er nettkapasiteten, om de lokale nettselskapene har kapasitet til å overføre mer kraft og til hvilken kostnad. Det kan koste mer enn det lønner seg dersom en må i gang med omfattende linjebygging i grøft eller luft for å nå frem til hovednettet. Skal kraftverket kun kjøres i øy-drift³, vil ikke tilgangen til nettet ha noen betydning – såfremt en ikke finner ut i etterkant at kraftverket produserer mer enn forbrukeren klarer å utnytte, og en ender opp med energioverskudd som går til spille. Derfor er geografisk plassering i henhold til hovednettet en viktig faktor for utbygging av små kraftverk.

Elsertifikat

Elsertifikatordningen er inne i sitt siste år for godkjenning til små kraftverk, hvor søknader for ordningen avsluttes ved utgangen av året 2020 [10]. Dette punktet har derfor ikke så stor betydning for kommende kraftverk etter 2020, men for kraftverkene som allerede er i gang med søknadsprosessen.

Denne støtteordningen ble opprettet i all hovedsak for å gjøre kraftproduksjon av fornybare energikilder mer lønnsomt å investere i, og støtter kilder som vind, vann, sol og bioenergi [10]. Dette har sin bakgrunn i at utbygging av kraftproduksjon ofte ikke er lønnsomt med dagens kraftpriser. Alle kraftverk, uavhengig av installert effekt, kan søke om elsertifikatordning i 15 år. Den eneste ulempen for de aller minste anleggene er at NVE tar et godkjenningsgebyr på 15000,- NOK (vedlegg D). Dette gjør at det for mange av småkraftverkene, og spesielt mikrokraftverk, er lite lønnsomt å ha retten til elsertifikater i 15 år framover.

Hvor mye de ovennevnte faktorene vektlegges, vil variere fra prosjekt til prosjekt. Et prosjekt kan ha det meste spikret og klart, men mangler kapital og investorer for å realisere utbygging. Samtidig kan alt ligge til rette for et annet prosjekt, men det streves med å få godkjent konsesjon på grunn av små overtredelser. Mye av det prosjektene har til felles er hvordan de blir påvirket av kraftpris, og hvorvidt utfordringen er rundt plassering til kraftverket i forhold til hovednettet.

³ Øydrift (Island drift) – Kraftverk som ikke er koblet til det offentlige strømnnett.

2.3 Konvensjonelt vannkraftverk

Alle vannkraftverk er prinsipielt bygget opp på samme måte og har mer eller mindre samme form for hovedkomponenter. Hvilke komponenter som blir nyttet avhenger av dimensjon på anlegget og hvilken løsning på turbin og generator kraftverket har.

Så langt det lar seg gjøre uten at det går utover sikkerhet og drift, kan det være gunstig å kutte ned på komponenter og utstyr i små kraftverk. Dette har sin grunn i det økonomiske rundt kraftstasjonen. Det ville ikke lønne seg for et mikrokraftverk å være like utrustet som et større kraftverk. Det er heller ikke nødvendig, da et storskala kraftverk eksempelvis krever langt mer presis turbinstyring og har høyere krav til spenning- og frekvensstabilitet enn et mindre kraftverk. På bakgrunn av dette vil det for denne oppgaven bli interessant å se hvor mange komponenter det er forsvarlig å redusere, samt hvor mange og hvilke fysiske komponenter en kan tillate å erstatte med programvare i PLS.

2.3.1 Magasin- og elvekraftverk

Den største forskjellen i vannkraftproduksjon er om kraftverket er regulerbart eller ikke. Her skilles det mellom magasin- og elvekraftverk, der førstnevnte ofte går under storskala kraftverk og har muligheten for lagring av vann og dermed enkelt reguleres [11, p. 54]. Slik kan de største kraftverkene regulere vannføringen ut av magasinene, populært kalt demninger, og produsere elektrisitet etter behov ved å regulere vannføringen. Det finnes også kraftverk som har inntaket i selve magasinet, kalt inntaksmagasin, hvor vannveien typisk går fra demningen gjennom lange tunneler i fjellet ned til selve kraftstasjonen. Fordelene med magasin er at de kan produsere energien når behovet er størst eller prisene er akseptable. Det gir også fordeler i underliggende vassdrag ved at de til tider kan være flomdempende, eller gi mer konstant vannføring i tider da det ellers er nedbørsfattig [7].

I elvekraftverk hvor kraftproduksjonen mer eller mindre styres av vannføringen i elva, har en sjelden mulighet for større reguleringsmagasin. Disse kraftverkene ligger stort sett i vassdrag, hvor en da typisk har et mindre inntaksmagasin lengre oppe i elva for å hente mest mulig trykkehøyde og utnytte tilgjengelig energi på best mulig måte [11].

Små kraftverk blir generelt utbygd i mindre elver og bekker, hvor mulighetene for regulering er reduserte. Som følger av det og av økonomiske grunner er ikke regulering særlig praktisert for mini- og mikrokraftverk. Et elve- eller bekkekraftverk vil bare kunne generere energi på den vannføringen som er tilgjengelig i vassdraget.

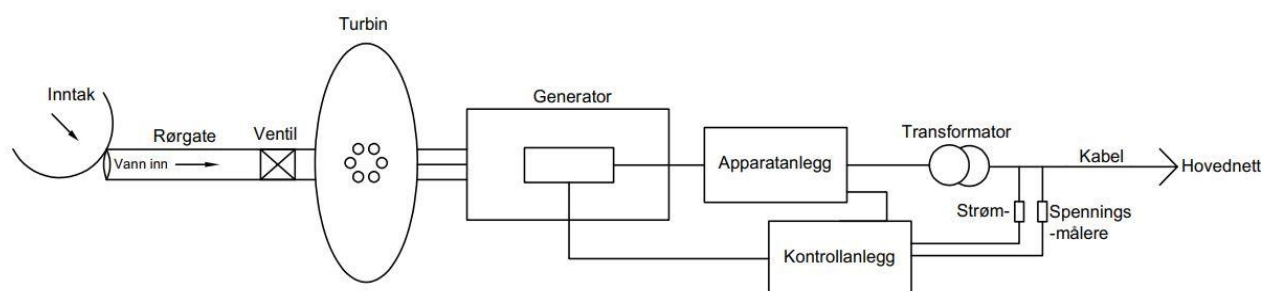
2.3.2 Hovedkomponenter

Et vannkraftverk består hovedsakelig av generator, turbin og transformator. Disse tre hovedkomponentene utgjør selve kraftstasjonen, som eksempelvis sammen med inntak, rørgate og kontrollanlegg danner hele kraftverket. Det finnes ingen eksakt fasit på hva et vannkraftverk skal inneholde av komponenter og utstyr, men noen retningslinjer for standard oppsett har NVE kommet med for å gjøre det enklere for grunneiere som vurderer utbygging. Som tidligere nevnt i kapitlet trenger ikke et mikrokraftverk samme utrustning som et større kraftverk, dette medfører betraktelig mindre utstyr som kan innbefattes i et mikro-anlegg.

For samtlige mikrovannkraftverk anbefales følgende hovedkomponenter [12]:

- Inntak
- Inntaksventil
- Rørgate
- Turbin
- Generator
- Apparat- og kontrollanlegg
- Transformator (bortfaller dersom anlegget kobles direkte til lavspennetnettet, 240/400V)
- Diverse strøm- og spenningsmålere
- Hovedlinje (overføringskabel fra kraftstasjon til hovednettet)

Disse standard komponentene illustreres enkelt på prinsippskissen i Figur 2.2:



Figur 2.2: Prinsippskisse av et ordinært mikrokraftverk med transformator

2.3.3 Generator og turbin

Generatoren i kraftverket er som kjent en roterende maskin, som har som oppgave å omdanne mekanisk energi om til elektrisk energi. Dette gjør den med en turbin som roteres ved hjelp av trykket i vannet ifra rørgatene. Videre overfører turbinen den mekaniske energien over på en aksling som får rotor i generatoren til å rotere, og dermed skape et magnetfelt som induserer en spenning i statoren [13].

Det skilles mellom synkron- og asynkrongeneratorer, hvor den største forskjellen er at synkrongeneratoren er selvmagnetiserende og kan derfor være ideell i øy-drift. Asynkrongeneratoren krever reaktiv effekt for magnetisering og er derfor avhengig av hovednettet for å få nødvendig magnetiseringsstrøm [7]. Det vil videre kun utredes generell teori rundt generatorene.

Synkrongenerator

Det skilles mellom synkronmaskiner med tradisjonelle magnetiseringssystem og de med permanentmagnetisering.

Synkronmaskinen består av to hovedbestanddeler, stator og rotor, og har navnet sitt fra at rotoren roterer helt likt og med samme hastighet som det roterende magnetfeltet i statoren. Dette er på grunn av at rotoren i synkronmaskinen er utstyrt med magnetiseringsviklinger, hvor den kan bli magnetisert på to ulike måter. En måte er at generatoren er utrustet med en egen liten DC-generator som er koblet til på samme aksling som hoved-generatoren, eller ved bruk av statisk magnetiseringssystem. Da vil DC-strømmen magnetisere rotoren via børster eller sleperinger [13].

En synkrongenerator krever mye regulering for optimal drift, som medfører at det stilles en del krav til magnetiseringsutrustningen. Eksempelvis trenger den automatikk for synkronisering, og spennings- og turtallsregulering som utgjør et komplekst system, dette resulterer i ekstra utstyr og kostbare komponenter. Til gjengjeld kan en med spenningsreguleringen få en styrbar effektfaktor i anlegget. Dette gjøres ved å regulere den reaktive effekten i nettet, der en enten trekker eller produserer reaktiv effekt [7].

Permanentmagnetiserte synkronmaskiner sitt teknologiske hopp har ført til at de har begynt å bli svært aktuelle i kraftverk. Den har en svært god virkningsgrad, som i tillegg til lave drifts- og vedlikeholdskostnader gjør den veldig populær, unntaket er den høye innkjøpsprisen [13].

Som følger av maskinens høye pris, vil ikke denne løsningen passe inn i oppgavens formål om å blant annet begrense kostnader. Dermed utelates studiet rundt permanentgeneratoren.

Asynkrongenerator

Asynkronmaskinen arbeider etter induksjonsprinsippet, og blir bare benyttet for vekselstrøm. Den består av de samme hoveddelene som synkronmaskinen, med en ytre stillestående del og en indre roterende del, som henholdsvis kalles stator og rotor. Navnet asynkron kommer av at rotoren ved belastning får et lavere turtall enn det roterende magnetfeltet i stator. Denne forskjellen i turtallet til rotor blir kalt sakking [14]. Når maskinen er koblet til nett og eksempelvis med hjelp av en turbin blir tvunget til å rotere raskere enn det synkrone turtallet, vil effektflyten gå andre veien inn på nettet og maskinen vil drifte som en generator [13].

Asynkronmaskinen blir mest brukt som motor, og har en startstrøm 5-10 ganger høyere enn nominell strøm [13]. En viktig grunn til dette er at asynkronmaskinen ikke magnetiserer seg selv, noe som gjør at den må trekke nødvendig reaktiv effekt når den skal driftes som generator. Dette kan gi tap i ledningsnettet og føre til spenningsproblemer i svake overføringsnett⁴, derfor tar en normalt høyde for fasekompenseringen og den høye startstrømmen ved hjelp av et kondensatorbatteri i kraftverkene [7]. Kondensatorløsningen kan være svært kostbar [13], og gjelder fortrinnsvis bare for kraftverk med generatorer som ikke klarer å holde seg innenfor kravene som nettselskapene setter om reaktiv effekt. Et eksempel på dette er at nettselskapene har mulighet til å gå inn og vurdere om det er behov for fasekompensering, ved ytelser på asynkrongeneratorer over 25 kVA [15, p. 48].

Det stilles generelt lite krav til regulering og synkroniseringsautomatikk for mindre asynkrongeneratorer, og en kan derfor bygge relativt enkle kontroll- og reguleringssystem i de minste kraftverkene. Det velges derfor ofte asynkron løsning for kraftverk med produksjon mindre enn 1000 kW installert [7], og for kraftverk under 100 kW installert skal en faktisk ha sterke argument for å ikke velge asynkrongenerator [15, p. 48].

⁴ Overføringsnett – Elektrisk ledningssystem som overfører elektrisk energi fra kraftstasjon til forbruker [15]

Turbin

Turbinen sammen med generatoren utgjør kraftverkets aggregat, og er den viktigste komponenten i kraftverket som omdanner vannets energi til mekanisk energi. Det skilles mellom partial- og fullturbiner, hvor partialturbinen hovedsakelig blir brukt i høytrykksanlegg og fullturbinene i anlegg med noe mildere trykk [16].

Av partialturbiner er det peltonturbinen som er mest brukt [16]. Den er en høytrykks fristråleturbin med luftrom som vil si at den ikke er dykket under vann, og blir brukt hvor det er liten vannføring i forhold til fallhøyde. Den kan bli utstyrt med alt fra 2-6 dyser, hvor flere dyser gjør at en kan utnytte tilgjengelig vannmengde bedre med å kjøre turbinen på delast [7, p. 82]. Normalt blir vannet ledet gjennom rørene og ut dysene, hvor trykkenergien i vannet omsettes til hastighetsenergi og skytes ut mot skovlene. Slik oppstår en impuls hvor skovlene delvis blir fylt opp og skaper rotasjon i løpehjulet til peltonturbinen [16].

Fullturbinene kjennetegnes gjennom at hele vannveien er fylt med vann, som vil si at hele turbinen er dykket i vann. Av fullturbiner finnes det mange forskjellige typer, men de vanligste er francis- og kaplanturbiner. Francisturbinen er den mest brukte turbinen i norske kraftverk og passer best for lave og midlere fallhøyder [7]. Den er en såkalt reaksjonsturbin som utvikler rotasjon ved hjelp av massen til vannet, hvor trykkendringer finner sted når vannet går gjennom turbinen og blir sugd ned i sugerøret [16].

Kaplanturbinen er også en reaksjonsturbin og blir brukt hvor det er stor vannføring i forhold til fallhøyde. Som følger av stor vannføring egner den seg ikke i de minste kraftverkene som denne rapporten tar for seg. I mikrokraftverk er peltonturbinen veldig populær. Mye av grunnen til dette er at den utnytter fallhøyden og trykket istedenfor vannføringsmengden, peltonturbinen er også mindre i fysisk størrelse. Dette er to viktige faktorer for potensielle mikrokraftverk, hvor en kan best mulig utnytte fallet i elven og i tillegg gjøre minst mulig inngrep i naturen med liten kraftstasjon.

2.3.4 Styring og regulering

Kontrollanlegget og apparatanlegget tar seg for det meste av styringen og sensorene i et mikrokraftverk. Ved optimal drift ønsker en for eksempel at det er automatikk i start/stopp, effektreguleringen og varsling av alarmer i kraftverket, hvor eier eksempelvis blir varslet på mobiltelefonen. For å kunne ha ubemannet anlegg må derfor et godt og pålitelig styringssystem være på plass.

Kontrollanlegg

Kontrollanlegget er selve hjernen til kraftverket, og består ofte av en PLS⁵ som tar seg av all automatikk og logiske funksjoner. I et kraftanlegg er kontrollanlegget ofte basert på relestyring alene eller i kombinasjon med PLS styring. Kontrollanlegget i større konvensjonelle kraftverk består ofte av flere slike PLS-er som er sammenkoblet i et nettverk. Gjerne med en eller flere operatørgrensesnitt som ofte består av HMI⁶ betjeningspaneler, hvor det typisk vises overvåking av generator og turbin, og oversikt over vern og følere [7].

Ofte er også behovet for oppkobling til eksterne driftssentraler som utfører overvåking og daglig drift av anlegget. Anleggets konfigurasjon velges ofte etter en sikkerhets- og autonomitets-vurdering. For et mindre mikrokraftverk er behovet for dette ofte langt mindre, og overvåkingen utføres ofte av eieren selv. Et system for mobil overvåking og varsling vil nok derfor være ideelt i denne sammenhengen, dersom det oppstår feil i anlegget ønsker man at kraftverket fortsatt skal kunne driftes riktig slik at det ikke forekommer mer skade enn nødvendig [7, p. 103]. Avhengig av om det er mekanisk eller elektrisk feil i anlegget, finnes det ulike prosedyrer et kontrollanlegg kan utføre for å avgrense skadene mest mulig. Prosedyrene blir også kalt for driftsmoduser, og bestemmer hvilken tilstand kraftverket er i til enhver tid.

⁵ PLS – Programmerbar logisk styring

⁶ HMI – Human Machine Interface, et grensesnitt mellom mennesker og maskin.

Apparatanlegg

Apparatanlegget har som oppgave å føre den produserte strømmen fra kraftverket, ut på nettet. Anlegget består typisk av en trafo, en samdriftsbryter og diverse strøm- og spenningstransformatorer. Det stilles en del krav til apparatanlegget, slik at det alltid verner kraftverket og hovednettet riktig. Dette gjøres ved å først kalkulere hvor stor den maksimale kortslutningsytelsen er, slik at alle komponentene i apparatanlegget blir dimensjonert ut fra det. Deretter dimensjoneres samdriftsbryteren, som ofte er en effektbryter, for å tåle den maksimalt høyeste strømbelastningen kraftverket kan bli utsatt for, som ofte skyldes en generator- eller nettfeil [7].

Det er en del tekniske forhold som ligger til grunn for valg av hvilke apparatløsninger et kraftverk skal ha. For mikrokraftverk uten transformator er det stort sett effektbryteren med målere som utgjør apparatanlegget. Forholdene kan uansett være like for alle kraftverk og må derfor undersøkes for hvert enkelt anlegg. De kan eksempelvis være følgende [7]:

- Hvilke spenninger som er tilgjengelige og nettkapasiteten til hovednettet
- Ved asynkron løsning, stiller noen nettselskaper krav til reaktiv kompensering
- Forhold mellom eget forbruk og innmating på hovednettet

2.3.5 Jordingsanlegg

Det er viktig for alle vannkraftverk å ha et godt jordingsanlegg for å sikre installert utstyr og overholde god personsikkerhet på anlegget. Det vil alltid forekomme apparat og komponenter i anlegg som er synlig og ved en eventuell jordingsfeil kan gi berøringsfare til mennesker som er i nærheten. Et forskriftsmessig jordingssystem avverger skadelige overspenninger i nettet og er med på å verge mot farlige hendelser for både mennesker, dyr og utstyr.

Det stilles en del krav til jodingsforbindelsen i jordingsanlegget, som er avhengig av jordpotensialet til jordsmonnet i kraftverkets aktuelle område. Dette vil variere fra plass til plass, men IEC⁷ anbefaler at kvaliteten på overgangsmotstanden til jord ikke bør overstige 1 ohm [7].

⁷ IEC (International Electrotechnical Commission) – Internasjonal organisasjon med ansvar for standardisering innen elektrofag.

2.3.6 Nettilkobling og synkronisering

«Bygging av kraftanlegg må ikke igangsettes før avtale om nettilknytning eller konsesjon for dette foreligger» [7, p. 129]. Sitat nve.no - Veileder i planlegging, bygging og drift av små kraftverk

Det kan være fornuftig å starte tidlig med å anskaffe vesentlig informasjon rundt innfasing og reaktiv effekt i nettet fra nettselskapet. Videre avklare hvilke begrensninger det kommende kraftverket vil få opp mot hovednettet [7, p. 91]. Nettselskapene har plikt til å utlevere all nødvendig informasjon, eksempelvis rundt nettets kortslutningsdata og kapasitet som vil være relevant for utbyggers anlegg. Avtale om nettilkobling mellom kraftverk og aktuelt nettselskap kan være utslagsgivende for å realisere prosjektet og bør derfor være på plass tidlig i prosjektet.

Det ligger en rekke krav til grunn for nettilkobling av små kraftverk, hvor kravene er avhengig av hvilken generatorløsning anlegget har. For at utbyggere ikke skal bruke for mye ressurser på å lete etter hvilke krav som er gjeldende for deres kommende anlegg, har SINTEF⁸ utviklet en rapport. Den inneholder en rekke retningslinjer og krav som stilles til nettilknytning for kraftverk med mindre effektproduksjon enn 10MW [15].

⁸ SINTEF (Stiftelsen for industriell og teknisk forskning) – En av Europas største uavhengige forskningsinstitutt.

Synkronisering

Normalt setter nettselskapene tre kriterier som må oppfylles før en får klarsignal til synkronisering av generatoren. Det er at differansen i generatorens spenning, fasevinkel og frekvensverdier overholdes innenfor de aktuelle rammer gitt fra nettselskapet [15]. Videre har SINTEF laget en oversiktstabell med anbefalinger til hva utbygger kan forvente av krav fra mange nettselskap, disse vises i Tabell 2.2.

Tabell 2.2 Maksimum grenseverdier for synkroniseringsparametre [15, p. 48].

Ytelse på aggregat [kVA]	Frekvensdifferanse Δf [Hz]	Spenningsdifferanse ΔV [%]	Fasevinkeldifferanse $\Delta \theta$ [deg.]
0 - 500	0,3	10	20
500 - 1500	0,2	5	15
1500 - 10000	0,1	5	10

Synkron- og asynkrongeneratorer installert med magnetiseringssystem, er pålagt å utstyres med automatisk innfasingskontroll før innkobling tar sted. Dette gjelder fortrinnsvis bare for synkrongeneratorer, fordi det kan tillates å koble inn asynkrongenerator uten innfasing dersom det ikke fører til mer enn 3% spenningsforstyrrelser i nettet [15]. Kravene vil naturligvis være forskjellig fra de ulike nettselskapene, fordi innvirkningen på overføringsnettet vil variere fra generator til generator.

Fasekompensering

De fleste kraftverk utstyrt med asynkrongenerator uten kondensatorbatteri eller en form for magnetiseringssystem, må ta hensyn til fasekompensering. Dette gjelder den reaktive effekten som forbrukes når maskinen magnetiseres. Når det ikke er installert kondensatorbatteri for å fasekompansere generatoren, vil maskinen trekke reaktiv effekt fra nettet som kan resultere i svekkelse av effektfaktor og uønskede spenningsfall på steder med svakt nett. Derfor kan det for asynkron løsning være fordelaktig å installere kondensatorbatteri, men som resultat av at det er en kostbar løsning vil det ofte ikke lønne seg for de minste kraftverkene [12].

Som et resultat av at mange nettselskap lar mikrokraftverk med asynkrongeneratorer bli koblet inn uten innfasing, kan mikroanlegg velge å se bort fra fasekompensering. Skulle det etter hvert dukke opp spenningsproblemer i overføringsnettet på grunn av forbruket av reaktiv effekt, forutsetter nettselskapene at det blir installert en automatisk fasekompensator [15, p. 17].

Synkrongeneratoren er selvmagnetiserende fordi den blir installert med magnetiseringsutstyr, så ved bruk av synkron løsning i kraftverket vil ikke fasekompenseringen bli en utfordring. Dette gjør som tidligere nevnt i kapittel 2, at en kan regulere den reaktive effekten i nettet ved å produsere eller trekke reaktiv effekt fra nettet, også kalt styrbar effektfaktor [7].

3 Mikrokraftverket

Dette kapittelet tar for seg mikrokraftverket og dets systemkomponenter. Det er videre trukket et skille mellom elkraft- og automasjonsstudie til mikrokraftverket, hvor delkapittel 3.1 med underkapitler går under elkraftstudie og delkapittel 3.2 med underkapitler tar for seg automasjonsstudiet.

3.1 Elkraft

Det skal først og fremst utarbeides et konsept med underlag for komplett styring av et helautomatisert mikrokraftverk. Som følger av det vil store deler av oppgaven dreie seg om programvaren som skal utvikles, men for å vite hvordan styringen skal programmeres må en også vite hvilke komponenter som skal inngå i konseptet.

Et mikrokraftverk består av en rekke hovedkomponenter, som tidligere er beskrevet i kapittel 2.3.2. For denne oppgaven skal bruken av komponenter og utstyr i mikrokraftverket kuttes ned til et minimum, uten at det går utover funksjonaliteten til selve anlegget. På bakgrunn av dette vil fortsatt prosjektets mikrokraftverk inneholde det meste av komponenter, bare integrert i programvare.

I NVE sin veileder er det lagt frem en god del retningslinjer for hvordan man normalt kan gå frem ved valg og dimensjonering av komponenter og utstyr for et kraftverk [7]. Veilederen er på mange måter satt som en standard framgangsmåte for nye prosjekter, og til tross for det vil ikke prosjektering av oppgavens mikrokraftverk følge de retningslinjer som er gitt. Det vil videre i kapittelet bare utredes om valg og utfordringer som gruppen anser relevant for konseptløsningen for mikrokraftverket.

3.1.1 Valg av generatorløsning

Ved valg av generator til kraftstasjonen er det mange hensyn som må tas mellom de ulike typene som finnes. Her skilles det mellom asynkron og synkronløsning. I kraftverk blir begge typer brukt, men som generator benyttes hovedsakelig synkronmaskinen i anlegg der generatorytelsen er over 1000kW. Dette skyldes i stor grad at prisforskjellen på utstyr på kontrollsiden blir mindre og mindre betydelig desto høyere generatoreffekt i anlegget [7]. Det velges derfor stort sett asynkronløsning for de minste kraftverkene, noe som også gjelder for prosjektets mikrokraftverk. Når det er sagt så velges det likevel i denne oppgaven å prosjektere for et universelt program med styring, som like godt kan ta i bruk synkronmaskin som asynkronmaskin.

Synkrongenerator

I motsetning til asynkrongeneratoren, kan synkrongeneratoren være fristilt fra overføringsnettet og forsyne et isolert nett på grunn av selvmagnetiseringen. Den har også et turtall som fast følger frekvensen til nettet. Dette medfører en styrbar effektfaktor, og en kan ha god kontroll på regulering av reaktiv effekt i nettet ved spenningsregulering [7]. Fordi den er selvmagnetiserende er det ikke behov for ekstra utstyr som kondensatorer for fasekompensering, dog kreves det utstyr for innfasing.

Skal en synkrongenerator fases inn på nettet må en oppfylle en rekke betingelser, disse er tidligere beskrevet i underkapittel 2.3.6. For å kunne innfase må en ta i bruk nødvendige komponenter som kan regulere turtall og spenning, samt utstyr som lager automatikk i synkroniseringen [7, p. 89]. Slikt utstyr kan fort bli kostbart for mikrokraftverket.

Asynkrongenerator

Som generator egner asynkronmaskinen seg svært godt i uregulerte kraftanlegg, fordi den kan gå med varierende turtall. Det fører til at kravene for pådragsregulering ikke er like strenge [13]. I mikrokraftverk kan det ofte oppstå varierende vanntilslag, typisk forårsaket av frost i elven eller tørke i høyere deler av nedslagsfeltet. Dette fører til redusert vanntilførsel i elven, som gir redusert vanninntak til kraftstasjonen. I et mikrokraftverk vil derfor asynkrongenerator med sitt varierende turtall kunne gi gode fordeler ved varierende tilsig. Den er også rimeligere i innkjøp, har en enkel konstruksjon og robusthet som gjør at den ellers krever veldig lite vedlikehold [13].



Figur 3.1: 37 kW Asynkrongenerator med turbin, Nedre Kvemma minikraftverk (foto: CompactHydro)

Det vil for oppgavens mikrokraftverk hovedsakelig bli prosjektert for en asynkrongenerator, men programvaren utvikles med hensyn på framtidige muligheter for bruk av synkronløsning.

3.1.2 Valg av turbin

Turbinen i kraftverket er den komponenten som får generatoren til å genere strøm, og er dermed en av de viktigste komponentene i anlegget. Generatoren blir ofte dimensjonert og valgt ut med hensyn på turbinens maksimale turtall [7]. Det er også turbinens maksimale ytelse som bestemmer hvor stor ytelse generatoren kan ha i anlegget. For å utnytte vannføring og fallhøyde best mulig, er det derfor grunnleggende å vite hvilken turbin som egner seg best for kraftverket. Det er typisk 2 faktorer som avgjør turbinvalget for et kraftverk [16]:

- Fallhøyde, [m]
- Vannføring, [m^3/s]

Generatorens turtall vil også ha en betydning i valg av turbin, fordi generatorene normalt leveres med standard turtall [7, p. 92]. Det kan hende fallhøyden og vannføringen gir et resultat mellom to ulike generatorer, og en ender opp med å ha valget mellom to ulike turtallsklasser.

Skal en begynne å regne på turbineffekt må fallhøyde og vannføring til det aktuelle området ligge til rette. For denne oppgaven er det ikke lagt fram data for å dimensjonere en turbin, ettersom konseptet for mikrokraftverk når det gjelder elkraftstudiet hovedsakelig tar for seg generatorløsning og dens utfordringer. Valg av denne komponenten for dette prosjektet vil derfor ikke finne sted i denne rapporten.

3.1.3 Mikrokraftverkets innvirkning

Alle kraftverk har en grad av innvirkning i nettet, hvor stor denne innvirkningen er sorteres i tre kategorier [15, p. 35]:

- Kraftverk som vil få ubetydelig innvirkning på nettet
- Kraftverk som vil få begrenset innvirkning på nettet
- Kraftverk som vil få betydelig innvirkning på nettet

Mikrokraftverk kommer generelt sett under kategorien «begrenset innvirkning på nettet». Med begrenset innvirkning menes det å kunne tilknytte et kraftverk til eksisterende nett uten moderate endringer i nettet. Dersom kraftverket overskrider kravet til spenningsforstyrrelse og forårsaker termisk overlast på komponenter i nettet, kan nettselskapet iverksette kostbare tiltak for kraftverkstilknytningen til nettet [15].

For utbyggere som har kraftverk med «betydelige innvirkninger» på nettet, vil det stilles en del krav til fremleggelse av generatordata. Utbygger skal da fremlegge tilstrekkelig data, slik at nettselskapene kan ta høyde for alle nødvendige beregninger og forhold rundt det dynamiske i nettet. Det stilles mindre krav til mikrokraftverk med liten innvirkning på nettets dynamiske oppførsel. Likevel skal følgende generatordata for mikrokraftverk oppgis til nettselskapet [15, p. 44]:

- Maksimum aktiv effektproduksjon, P [W]
- Merkeytelse, S_n [VA]
- Merkespenning, U_n [V]
- Effektfaktor, $\cos\varphi$
- Treghetsmoment, J [Kgm²]
- Maksimum innkoblingsstrøm, I [A]

Generatordata i dette prosjektets mikrokraftverk baserer seg på data fra generatoren som blir brukt i modellen. Det vil resultere i en del lave verdier på eksempelvis generatorytelsen og effektproduksjonen, i forhold til et reelt kraftverk. I dette tilfelle lar det seg gjøre fordi innvirkningen fra mikrokraftverket på nettet stort sett vil være ubetydelig eller begrenset, uavhengig om det er installert 1kW eller 100kW [15]. Det stilles derfor samme krav til framleggelse av data for modellen som det vil gjør for prosjektets mikrokraftverk.

Kortslutningsytelse og samdriftsbryter

Alle kraftverk er avhengig av å ha et driftssikkert apparatanlegg som kan koble fra anlegget dersom det oppstår feil i generator eller på hovednettet. Apparatet i mikrokraftverk består ofte bare av en samdriftsbryter [7]. Samdriftsbryteren, som oftest bare er en effektbryter, er vanligvis koblet til relévern som detekterer strøm- og spenningsavvik og hurtig kan bryte strømmen i anlegget. Normalt dimensjoneres bryteren til å kunne bryte den største effekten som kan oppstå i anlegget, samt moderate kortslutningsstrømmer [17].

Nettselskapene foretar ofte vurderinger rundt hvilken innvirkning et nytt anlegg kan ha på nettet, og kan dermed kreve nødvendig dokumentasjon på kortslutningsberegninger. Dette gjelder i størst grad for de kraftverkene med betydelig innvirkning på nettet. For mikrokraftverk med «begrenset innvirkning», vil det holde med beregninger for feil på tilknyttet overføringsnett [15]. Ergo vil ikke kortslutningsstrømmene som oppstår i et mikrokraftverk vanligvis ha særlig innvirkning på et stivt overføringsnett⁹. Dette avhenger åpenbart av hvorvidt mikrokraftverket ikke skal utvides og dimensjoneres for større produksjonsenheter i framtiden. Det viktigste er å dimensjonere et skikkelig apparatanlegg som verner for egne feilstrømmer og innkommende feil som kan oppstå i overføringsnettet til nettselskapene.

Fasekompensering

For mikrokraftverk med asynkrongeneratorer som ikke klarer å overholde krav om reaktiv effekt, stilles det krav fra nettselskapene at det blir installert fasekompensator. Grunnet de høye kostnadene rundt kondensatorene, prøver normalt mikrokraftverk å unngå fasekompenseringen. Det resulterer i at man faser inn generator mot nettet ved å slå inn samdriftsbryteren når turbinen oppnår nominelt turtall på generatoren. Det vil føre til en spenningsdipp på overføringsnettet, men er nettet stivt nok vil ikke spenningen være merkbar. Så langt en ikke overskrider 3% spenningsforstyrrelser i nettet kan denne metoden fint benyttes for mikrokraftverk [15].

Som følger av at modellen er utstyrt med asynkrongeneratorer, velges det likevel å ta hensyn til fasekompensering i dette prosjektet. Framgangsmåte og utregning av kondensatorene for modellen er vist i vedlegg E. Videre vil programvaren utvikles slik at styringen til mikrokraftverket lett tilpasses bruk eller ikke bruk av fasekompensator.

⁹ Stivt nett – Når et nett har stor kortslutningsytelse og dermed lite motstand i nettet. Lite motstand fører til mindre spenningsfall og tap [23].

3.1.4 Risikoanalyse og valg av vern

Det er gjennomført en risikoanalyse av mikrokraftverket, hvor det har blitt tatt for seg alle tenkelige scenarioer. Målet med denne analysen er hovedsakelig å avdekke alle hendelser som kan forårsake personskader og stoppe produksjonen til kraftverket. Disse hendelsene har en sannsynlighet for å inntreffe, og en konsekvens av at det skjer. Resultatet av sannsynlighet multiplisert med konsekvens utgjør risikoen for den bestemte hendelsen. Dette gir en oversikt over hvilke hendelser som krever tiltak og må gjøres noe med, se vedlegg F for utfyllende risikoanalyse.

Resultatet fra risikoanalysen er brukt til å forme en vernmatrise. Den kartlegger alle typer vern som skåner anlegget for uønskede hendelser som forekommer, eller har forekommet. Matrisen skiller mellom de ulike hovedkomponentene i anlegget, og hvilke vern komponenten behøver. Den tar videre for seg hvordan vernet skal operere og når i prosessen det skal være aktivt. Typiske vern er turtall- og frekvensmåling (Tabell 3.1), og med spenning-, fase- og strømmåling utgjør faktisk disse store deler av konseptets løsning rundt vern. Når det kommer til eksterne fysiske komponenter, ble ikke disse prioritert som følger av tidsbegrensningen i oppgaven. Mer utfyllende informasjon om dette i underkapittel 3.2.2.

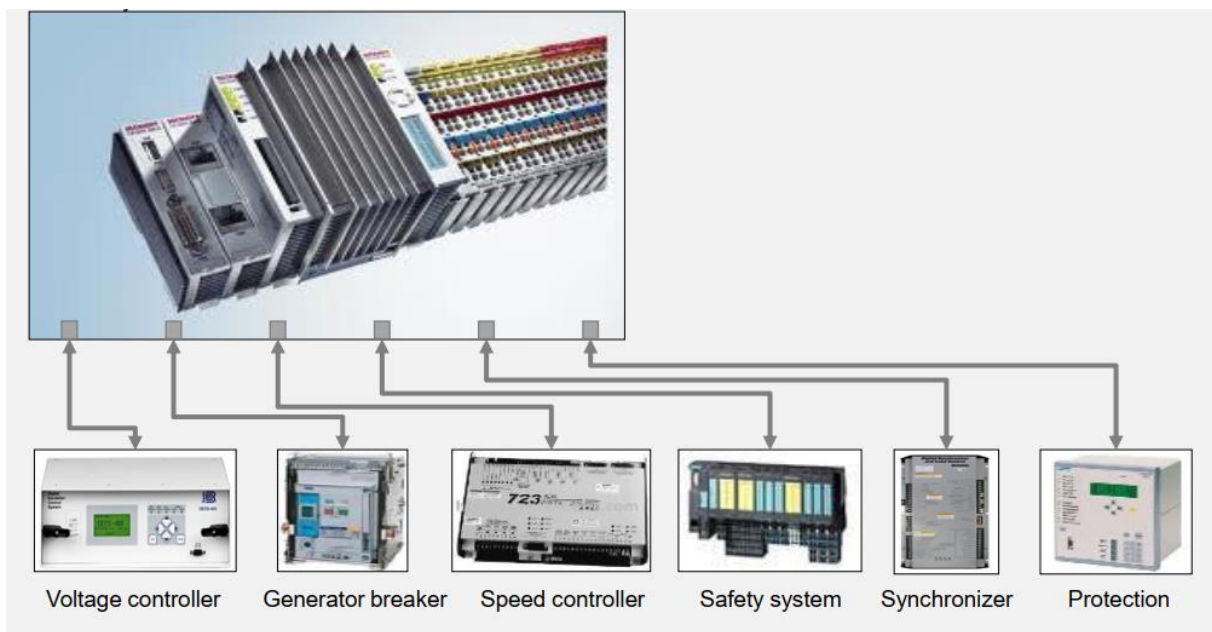
Tabell 3.1: Utsnitt fra vernmatrise

Vern	Funksjon	Generator	
		Område	Tid før aktiv sekund
Turtallmåling	Frakobling alle brytere og stopper anlegg ved over/under turtall	Utenfor +/- 10% av nominelt turtall	10
Frekvens	Frakobling alle brytere og stopper anlegg ved over/under frekvens	Utenfor 48,5 - 51,5 Hz	10
Frekvens	Frakobling alle brytere og stopper anlegg ved over/under frekvens	Utenfor 45 - 55 Hz	0

Utrustning og mengden vern i denne konseptløsningen er imidlertid noe overdimensjonert. Det har sine følger av at vernmatrisen ikke bare dekker behovet for hendelsene som kan oppstå i oppgavens mikrokraftverk, men også for hendelser i kraftverk generelt. Slik kan programvaren nyttiggjøres for mange ulike kraftverk, hvor den ikke bare er programmert for et konkret kraftverk. Se vedlegg G for komplett vernmatrise.

3.2 Automasjon

Dette kapitlet tar for seg valg av komponenter til automasjonsanlegget. Kontrollanlegget i et konvensjonelt kraftanlegg består av en rekke eksterne komponenter som blant annet spenningskontroller, hastighetskontroller, synkronisering og vern (Figur 3.2) [18]. Da en del av målet med prosjektet er å redusere antall komponenter og dermed kostnadene, har disse komponentene blitt erstattet med programvare. Dette stiller store krav til kontrollapparatet med tanke på hastighet og driftssikkerhet og er noe som må tas hensyn til ved valg av komponenter.



Figur 3.2: Komponenter i et konvensjonelt mikrokraftverk [18].

3.2.1 Kontrollapparat og I/O¹⁰ (Unntatt offentlighet)

Dette kapittelet er unntatt offentligheten fordi det inneholder sensitiv informasjon som tilhører CompactHydro SB.

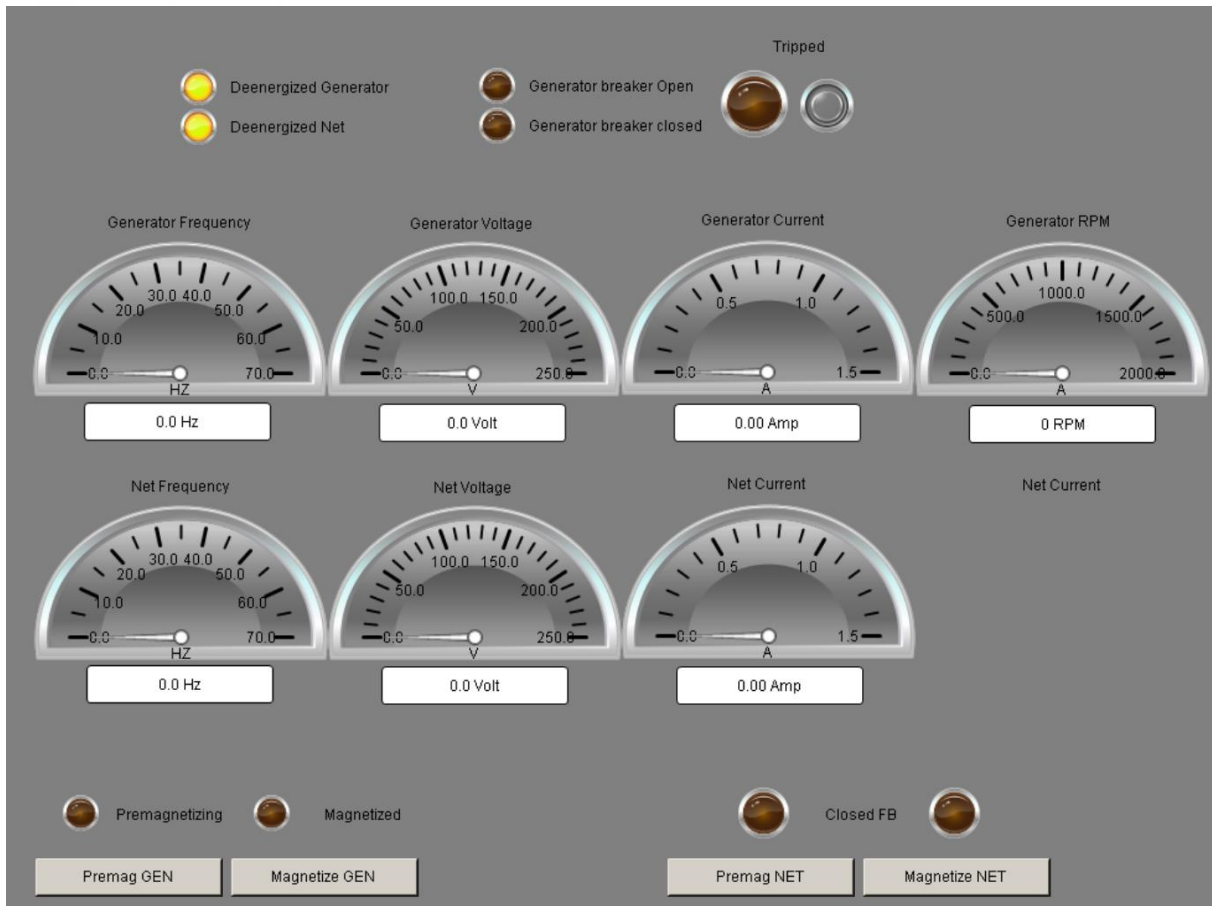
3.2.2 Sensorikk og eksternt utstyr

For et mikrokraftverk er det viktig med en nivåregulering av vannstand i inntak da man sjeldent vil ha et stort vannmagasin å hente vann fra og vanntilførsel vil i stor grad være varierende. Ved et mikrokraftverk vil det også være nødvendig med sensorikk som sikrer stans ved f.eks. tomt vannmagasin eller blokkert rørgate. En må også sørge for overvåking av vitale komponenter som generator og turbin, ved å overvåke temperatur, vibrasjon og timetelling. På grunn av COVID-19 har det vært reduserte muligheter til å jobbe med modellen, samt at dette førte til ekstraarbeid i forbindelse med emulering av programvaren. Dette førte til at funksjonaliteten til eksternt utstyr måtte utsettes til en senere anledning og det ble fokusert hovedsakelig på idriftsettelse, synkronisering og vernfunksjonalitet.

3.2.3 HMI og programvare

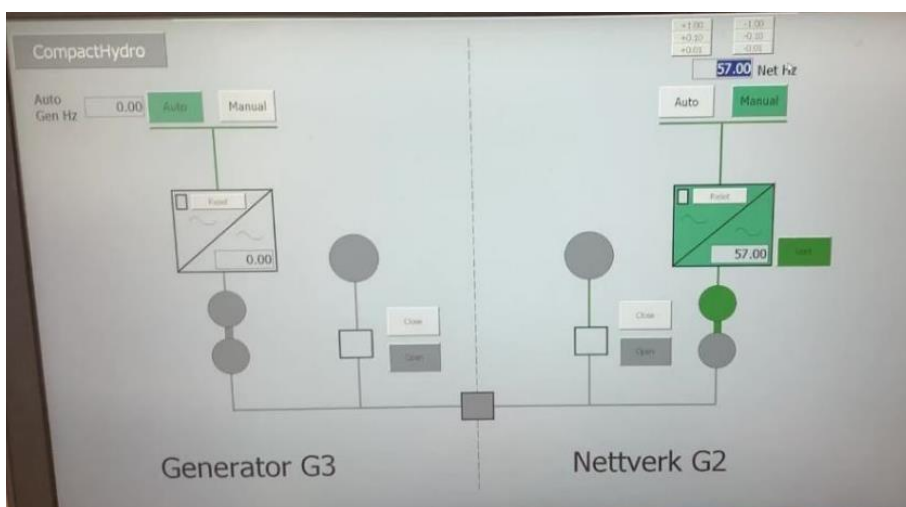
For programmering av Beckhoff benyttes TwinCat 3, her behøves ingen lisenser da man kan generere en gratis test-lisens for 7 dagers perioder [19]. En slik test-lisens vil være tilstrekkelig for dette prosjektet da anlegget ikke skal kjøre kontinuerlig over lengre tid. Det har blitt vurdert to ulike løsninger for HMI til Beckhoff. Valgene sto mellom å kjøre Node Red, som er en gratis web basert HMI-løsning [20], bruke integrert visualiserings-løsning i TwinCat 3 eller eventuelt en kombinasjon av disse. Valget falt på å benytte den integrerte visualiseringsløsningen i TwinCat. Dette er en enkel HMI-løsning som passer fint for å visualisere nødvendig informasjon i anlegget under testing og igangkjøring (Se Figur 3.3: Utsnitt av Beckhoff visualisering). Denne løsningen dekker derfor behovet i denne omgang, men vil ikke være tilstrekkelig for kommersiell bruk, det må da produseres en HMI som er mer brukervennlig og lett tilgjengelig som f.eks. en HMI i Node Red eller lignende. Planen for et ferdig anlegg er at HMI skal være enkelt tilgjengelig til enhver tid - helst gjennom nettleseren siden man da ikke trenger ekstra programvare/apper installert på hver enkel enhet.

¹⁰ I/O – Input/Output. Inn- og utgangskort på PLS



Figur 3.3: Utsnitt av Beckhoff visualisering (skjerm bilde: CompactHydro)

Eksisterende Siemens-program kjøres via en virtuell PC med installert Step7 programvare. Det var planlagt å få eksisterende Siemens HMI (Figur 3.4) inn på et panel skolen har tilgjengelig, men dette har også måttet sløyfes grunnet redusert tilgang på skolen etter COVID-19-restriksjonene. HMI vil derfor styres fra ekstern PC og integrering av panelet utsettes til et senere tidspunkt.



Figur 3.4: Siemens HMI (Skjerm bilde: CompactHydro)

4 Simulering av mikrokraftverket

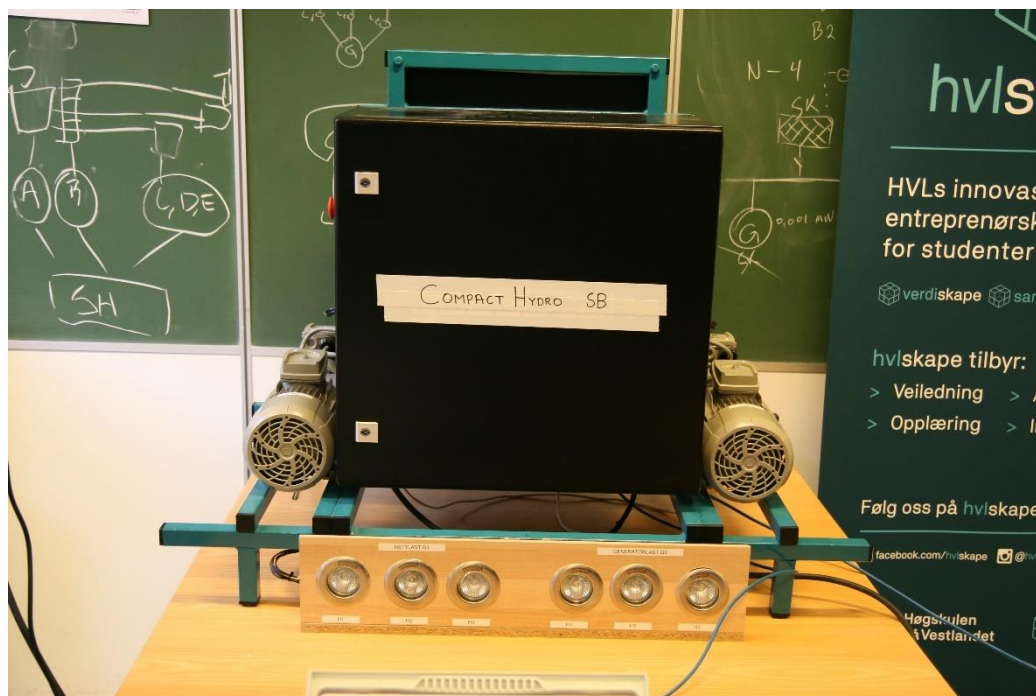
4.1 Simulering av kraftverk i praksis

En stor utfordring og en viktig studie for CompactHydro er å teste ut funksjonalitet av styringen.

Et kraftverk består av mange dyre komponenter som gjør at en liten feil i prosjekteringen fort kan bli svært kostbart. For å teste ut de ulike vern-funksjonene innen kontrollanlegg og programvare er det en stor fordel å ha en teststasjon av et simulert kraftverk som en testpilot.

Det har vært tenkt på ulike simuleringsmodeller for prosjektet, der det har blitt vurdert å sette inn anlegg i mindre skala med turbin og generator. Ombygging av pumper bestående av pumpehus og asynkronmotor var også et alternativ. Siden bacheloroppgaven er tidsbegrenset og selve oppgaven har stort søkelys på programvare og automasjonstekniske komponenter, ville en slik ombygging blitt en lite tilfredsstillende løsning. Mye av tiden ville gått med på midlertidige installasjoner som hadde blitt svært tidkrevende for prosjektet.

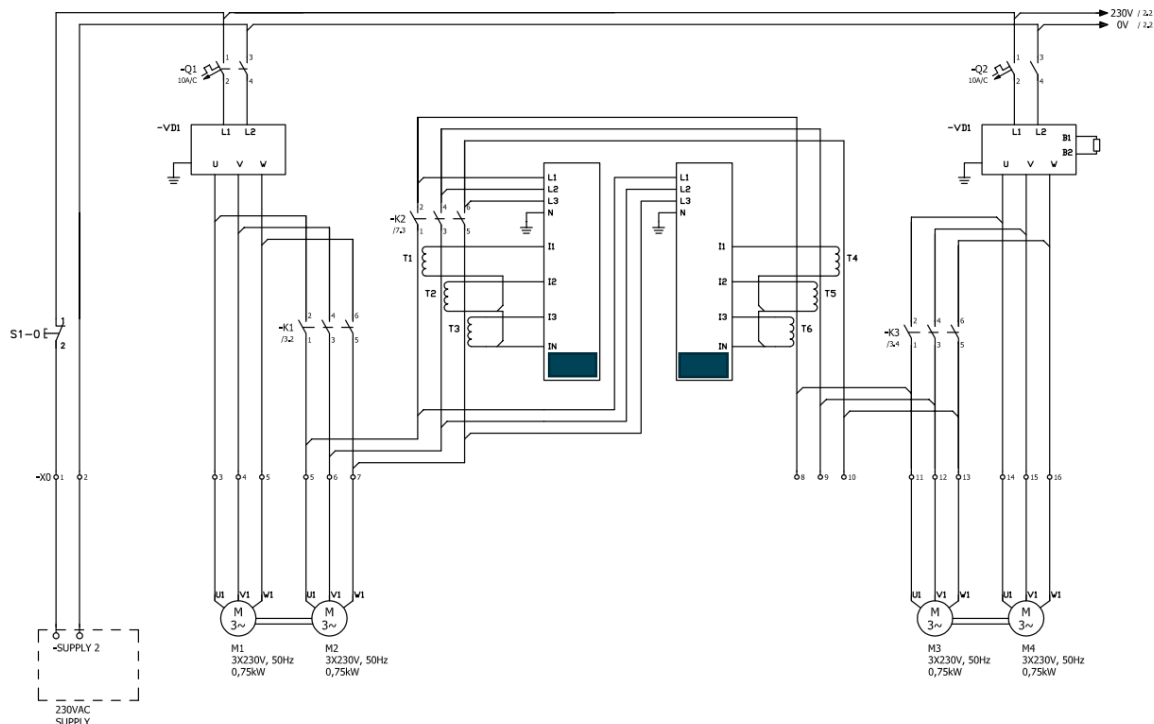
Nettanalysatoren viste seg å være egnet for oppgaven med litt ombygging, og på denne modellen fikk gruppen teste de fleste funksjonene og utfordringene et mikrokraftverk har. Samtidig ville ikke feilprosjektering føre til store økonomiske havari. Nettanalysatoren (Figur 4.1) er relativt liten og kompakt, og ble fraktet fra Bergen til Førde tidlig i januar.



Figur 4.1: Nettanalysatoren som ble bygget om til kraftverk simulator (foto: CompactHydro)

4.2 Opprinnelig Nettnalysator

Nettnalysator vist i Figur 4.2 består av totalt 4 motorer der alle motorene er asynkronmaskiner. På motorene betegnet som M1 og M4 på hver side, blir det tilført energi fra tilhørende frekvensomformerer VD1 og VD2. M1 er påkoblet M2 via en aksling og M4 er påkoblet M3 på samme måte. Generatorene på hver sin side roteres med hver sin motor, dette genererer et uavhengig og eget 230v nett på begge sider.



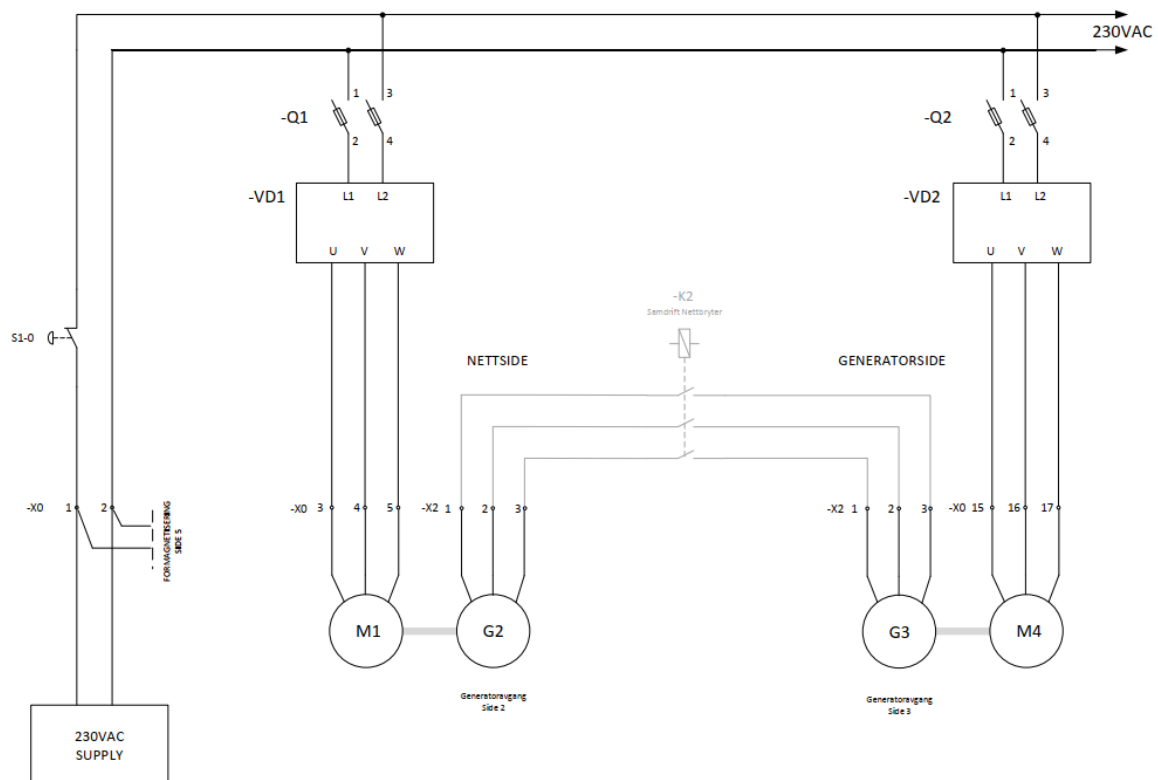
Figur 4.2: Kretsskjema av opprinnelig Nettnalysator (Goodtech sine tegninger)

Nettnalysatoren er videre bestykket med to PLS-er, hvor den ene Siemens PLS-en er brukt mot styring av frekvensomformereren. Dermed kan påvirkningen av nettet «reguleres». Den andre PLS-en er en Beckhoff, som har som formål å detektere uregelmessigheter og melde videre om eventuelle feil i nettet.

Nettnalysatoren var tidligere tiltenkt oppgavene å analysere usymmetrisk spenning og frekvensavvik i nettet, og alarmere ulike uønskede driftshendelser. Målsettingen var her å utvikle program.

4.3 Ombygging av modellen

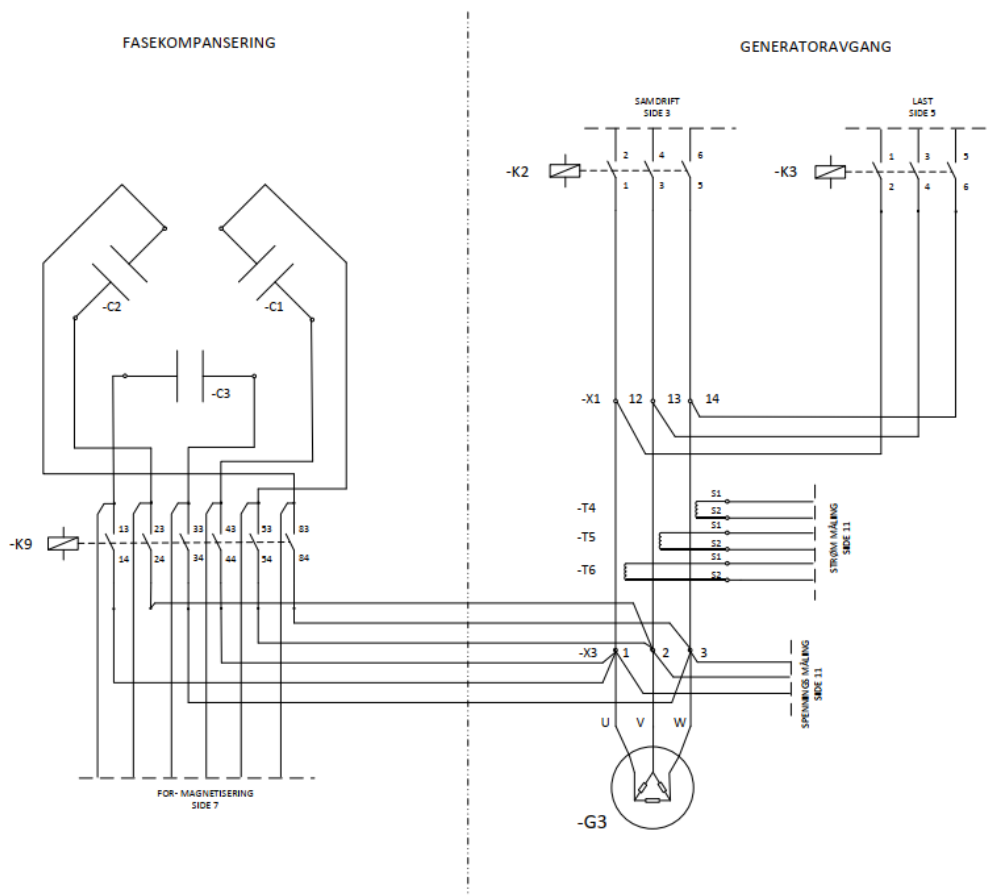
Nettanalysatoren gruppen fikk hånd om, var med en mindre ombygging av hovedkomponenter svært ideell som kraftverksimulator til oppgaven. Kraftverksimulatoren som vist i Figur 4.3, fungerer slik at frekvensomformerer fortsatt styrer hvert sitt uavhengige nett, men da med dedikert nett- og turbinside. Tanken er at den ene siden skal ligge stabilt i frekvens og defineres som nettside og simulere overføringsnett. På den andre siden vil frekvensomformerer simulere en turbindrift av en generator, som vil generere et «kraftverksnett» og gi et uavhengig nett som kan fases inn mot overføringsnettet.



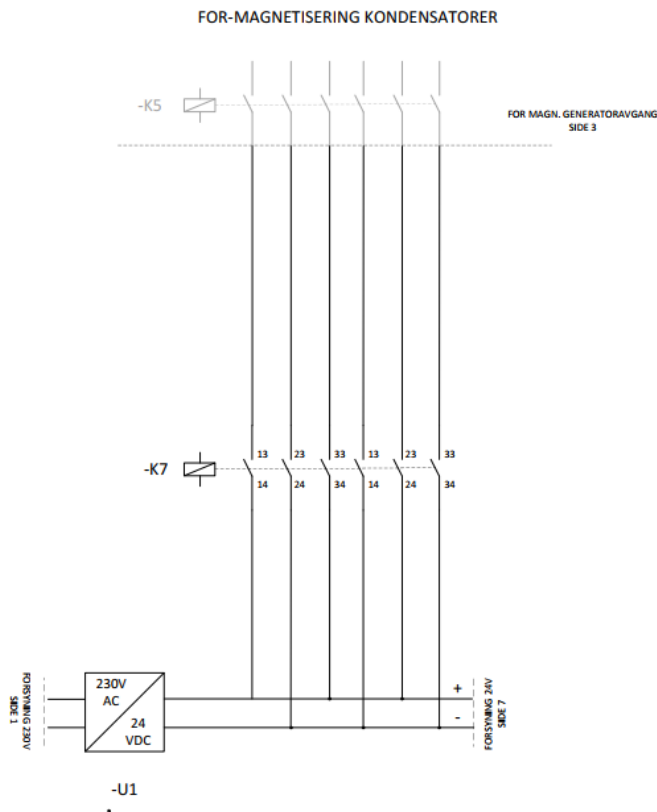
Figur 4.3: Kretsskjema og prinsippskisse av kraftverk simulator (CompactHydro tegninger)

4.3.1 Tilpassing av modellens asynkronmaskiner.

En utfordring med asynkronmaskinene er at de ikke er i stand til å bli magnetisert opp for å generere egen spenning. For å kunne drifte modellens motorer med 230v spenning, er vi derfor avhengige av å ha riktig frekvens ut av frekvensomformerne. En asynkronmaskin er avhengig av å hente sitt reaktive behov fra hovednettet. Siden modellen ikke er tilkoblet hovednettet for å hente reaktiv effekt, er det ikke mulig å få spenning ut av de eksisterende asynkrongeneratorene [7]. Derfor er en i modellen avhengig av å fasekompansere viklingene i generatoren ved hjelp av kondensatorer. I denne modellen var valget å løse det med kondensatorer koblet i trekant sammen med generatorviklingene (vedlegg I), som vist i Figur 4.4. I tillegg er den avhengig av å lade opp kondensatorene som vist i Figur 4.5. Dette ordnes ved å tilføre strøm til kondensatorene slik at de er i stand til å magnetisere opp generatoren når den roterer i tomgang ved optimalt turtall (nominell drift). For å lade opp kondensatorene må en koble ut viklingene på generatoren, slik at de ikke tappes ut igjen i viklingenes resistans. Oppladningen skjer via en enkel 24VDC strømforsyning, kalt -U1.



Figur 4.4: Fasekompensering av asynkrongenerator -G3 på generatorsiden. (CompactHydro tegninger)

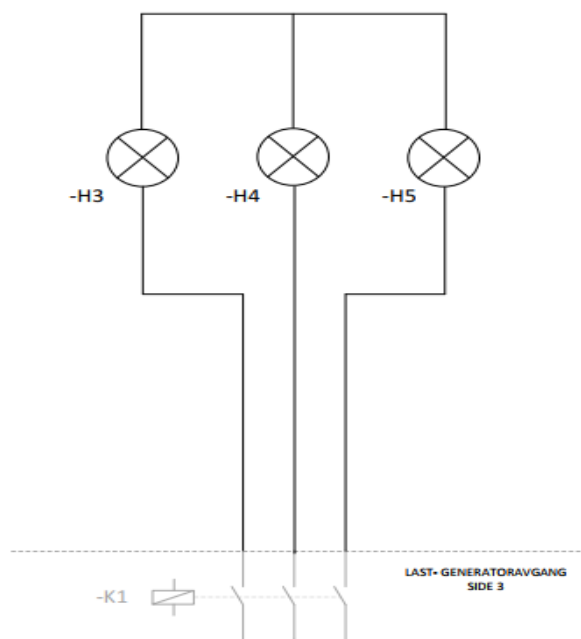


Figur 4.5: Oppladning av kondensatorer for magnetisering av -G2(generatorside)

En utfordring med små asynkronmaskiner kan være at de har lett for å bli litt ustabile med spenningspendling (vedlegg I). Derfor er det valgt å sette inn en liten lastkilde på generatoravgangen, for å se hvilken påvirkning den har og om lasten er med på å stabilisere spenningspendlingen. Under utprøving av modellen er det her ikke konkludert rundt påvirkning av stabilitet eller innfasing. For å få skikkelig resultat burde nok testingen på modellen foregått over lengre tid enn det som var gjort her for å kunne si noe mer om stabiliteten. Dette vil uansett ikke ha noe å si dersom generatoren leverer effekt ut på hovednettet i et tradisjonelt mikrokraftverk. Asynkronmaskinene i modellen har en effekt på 0,75kW som vist på merkeskiltet i Figur 4.6. Her er det montert inn tre stykk halogenpærer med et samlet effektbehov på 60 W, jevnt fordelt på alle faser som vist i Figur 4.7.



Figur 4.6: Merkeskilt asynkronmaskin på modellen, (foto: CompactHydro)



Figur 4.7: Lastutgangen til generatoravgangen i kraftverk simulatoren (CompactHydro tegninger)

4.3.2 Innfasing av generatorer mot synkront nett (Unntatt offentlighet)

Dette kapittelet er unntatt offentligheten fordi det inneholder sensitiv informasjon som tilhører CompactHydro SB.

4.3.3 Ombygging av nettanalysator til kraftverksimulator

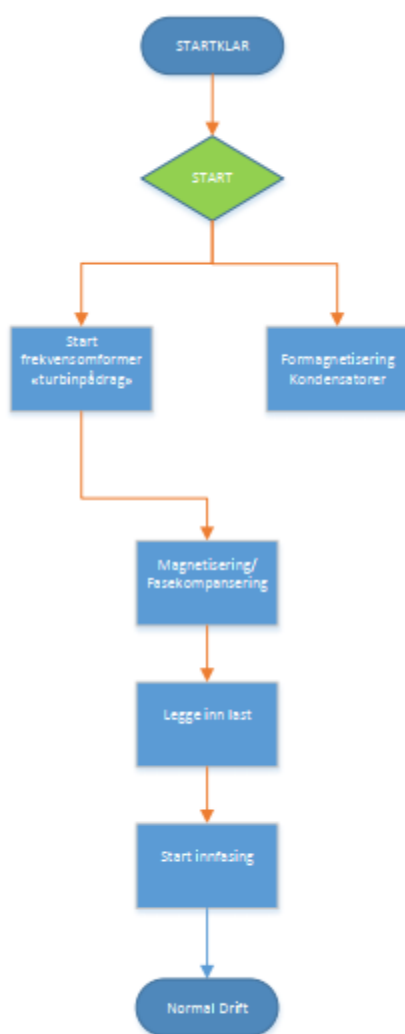
Uti prosjektet dukket det opp den del tidligere udokumenterte endringer og ombygginger av nettanalysatoren. En var her avhengig av å gå gjennom alle koblinger og kontakter for å kunne oppdatere originale tegninger. Disse tegningene ble brukt til å lage et nytt tegningssett til kraftverksimulatoren. Tegningene som er utviklet er konstruert i programmet «Microsoft Viso», som hadde god nok funksjonalitet til formålet for denne oppgaven. En ser gjerne her en mulighet for forbedring til mer elektro tilpasset program dersom dette skulle bli aktuelt å jobbe mer med. Komplette tegninger for kraftverksimulatoren finnes i vedlegg K.

Etter gjennomgang i modellens vern og beskyttelsestiltak på styrestrømsiden, fant en behovet for å sikre Beckhoff PLS-en mot spenningsforstyrrelser fra generatorene litt bedre. Her ble det prosjektert og montert inn galvaniske skiller som sikrer målekortene fra skadelig støy fra generatorene. På strømsiden måtte en også koble om alle måletransformatorene, slik at de passet inn mot de nye målekortene til Beckhoff PLS. Det ble også satt inn en del nye kontaktorer for å dekke behovet for å kunne styre formagnetisering, magnetisering og lastutgangene.

Lastutgangen ble i tillegg bestykket med en enkel plate med tre spotlights, hver på 20W effekt. Tanken med å bruke lys her var for å noe visuelt som indikerer at det er last på generatoren, samt gi generatoren en last for spenningspendlingen som tidligere er beskrevet i kapittel 4.3.1. Alle komponentene som var nødvendige for å komplettere kraftverksimulatoren ble bestilt inn tidlig etter at prosjekteringen var gjennomført og gjennomgått. Siden dette er en simulator så er risikoen for varierende spenning og frekvens høy. Det var dermed viktig å konstruere kraftverksimulatoren slik at den kunne bli mest mulig realistisk inn mot et riktig anlegg. Under prosjekteringen ble det laget en risikoanalyse og en tilhørende vernmatrise for et mikrokraftverk. Det var viktig for CompactHydro at flest mulig av disse funksjonene kunne bli simulert på en best mulig måte i kraftverksimulatoren.

4.3.4 Sekvenser i hendelsesforløpet til kraftverkssimulatoren

En viktig forutsetning for mikrokraftverket, og med kraftverksimulatoren, er å dele prosessene inn i sekvenser og de ulike tilstandene til anlegget i riktig rekkefølge. Kraftverksimulatoren fraviker naturligvis noe fra et mikrokraftverk, da en del av funksjonene er ulike, små eller mangler på kraftverksimulatoren. De aller viktigste funksjonene er ivaretatt i kraftverksimulatoren, noe som gir god likhet til et mikrokraftverk. I Figur 4.8 framgår en forenklet startsekvens fra start til drift, med de ulike betingelser og kommandoer som blir utført underveis. Sekvensen; det første som skjer etter startsignal er at pådraget får melding om å starte og dette vil øke åpningen på dysene inn turbinen.



Meldingene som går ut fra kraftverkstyringen er lik med tilsvarende melding fra kraftverksimulatoren da det er frekvensomformerer som får tilsvarende meldinger om øke/minke. Samtidig med dette vil formagnetisering av kondensatorer starte. Når turtallet er 100% av nominelt turtall vil generatoren bli fasekompensert gjennom det vi kaller for magnetisering i sekvensen og generatoren vil begynne å produsere spenning. Når spenningen har stabilisert seg på 230v, vil sekvensen gå videre og legge inn lasten til kraftverksimulatoren.

Når lasten er lagt inn vil sekvensen gå til siste trinnet, som er innfasing mot synkront nett, eller det som er samdrift i kraftverksimulatoren. Etter dette vil sekvensen legge seg i «normal drift», og i kraftverksimulatoren vil denne ligge og følge med nettet i spenningsregulering og effektregulering. Den ligger i tillegg inne med kontinuerlig overvåking dersom det oppstår feil og vil stanse automatisk ved feil, som vist i vernmatrisen i vedlegg G.

Figur 4.8: Forenklet startsekvens fra stillstand til drift på kraftverksimulatoren (CompactHydro)

I et mikrokraftverk vil kanskje prosessen avvike noe her da den ligger mot et stivt nett og det ikke er behov for spennings- eller turtallsovervåking. Her er det mer naturlig at lasten regulerer seg etter nivået i inntaket, med andre ord en vannstandsregulator i denne sammenhengen. [7]

Detaljerte sekvenser utdypes og skrives mer om i Kap. 5 og i vedlegg J.

4.3.5 Montasje og idriftsettelse av modellen

Etter at dokumentasjonen til modellen var utarbeidet så satte en delene i bestilling i februar, noen av delene hadde litt leveringstid og ble levert tidlig i mars. Selve ombyggingen startet relativt raskt og var godt i gang før COVID-19-restriksjonene kom og stoppet opp montasjearbeidet. Arbeidet med selve modellen ble satt på vent, men en tok tidlig høyde for at en kanskje kunne gjenoppta arbeidet her i slutten av mars. I tiden etter restriksjonene var innført ble det fokus på ferdigstilling av program, emulering av kraftverket og nødvendige planer ble lagt for å kunne utføre montasje og testing effektivt på en uke eller to. Heldigvis fikk CompactHydro tilgang (som eneste bachelorgruppe i Førde) til skolen i en begrenset tid i starten av mai, og det ble satt en begrensing på inntil en arbeidsuke for ferdigstilling og utprøving. Prosjektgruppen var avhengige av å legge gode, effektive planer for sluttmontasje og idriftsettelse, slik at jobben kunne gå mest mulig på skinner. Som et resultat av at dette måtte skje over en kort periode, ble det også satt en del begrensinger rundt utprøving av forskjellige funksjonaliteter på modellen.

Selve idriftsettelsen gikk veldig fint, hvor gruppen hadde fem dager til rådighet. De to første dagene ble brukt på å ferdigstille montasjen, deretter sette spenning på for å teste ut styrestrømskursene strategisk. Det ble som forventet også litt feilsøking på små termineringsfeil, men dette ble ordnet opp i før en kom til utprøving av selve generatorene. Utprøving av generatordrift og nettdrift startet på dag 3 og gikk over to hele dager. I denne perioden ble programmet til kontrollanlegget testet, med de fleste funksjonaliteter. Den siste dagen ble prioritert til fintuning av parameter mot programmet, innfasingsutrustningen og utprøving av vern. Det ble også laget en film av modellen, som skal brukes til presentasjonen av denne bacheloroppgaven.

5 Programvarens funksjonalitet (Unntatt offentligheten)

Dette kapittelet er unntatt offentligheten fordi det inneholder sensitiv informasjon som tilhører CompactHydro SB.

6 Konklusjon

6.1 Drøfting

Målsettingen til studentene bak denne oppgaven har som oppgitt i målet vært å gjøre en studie innen produksjon av fornybar energi. Studentene bestemte seg derfor for å se mer på vannkraft der hovedtema var å gjøre en selvstendig studie innen utvikling av et konsept for mikrokraftverk. Den tilegnede kunnskapen gjennom prosjektet kan muligens senere brukes til å utvikle en bedrift, hvor det kan tilbys et eget produkt som legger til rette for en innovasjon innen mikrokraftverk.

Et stort ønske før hovedoppgaven startet var å finne et produkt som gruppen i tillegg kunne utvikle og forske på gjennom semesteret. Dette var mer eller mindre for å unngå å sitte igjen med en følelse av en ren «papiroppgave» som resultatoppgave. Det ble også relativt tidlig klart at det var en stor fordel å slå sammen studieretningene elkraft og automasjon, fordi disse feltene naturlig faller sammen i et kraftverk. Sammensetningen av gruppen er heller ikke tilfeldig valgt – en sammensetning av tre deltagere; en fra elkraft, en fra automasjon og en som går begge studiene. Fordelingen på kompetanse blir derfor ganske lik, og en kan lettere diskutere og ha forståelse av fag og oppgaver på tvers av studiet.

Alle deltagerne har i tillegg et eller flere elektrofagbrev fra før av som utgjør grunnleggende erfaring innen montasje og drift av tilsvarende anlegg. Uten denne erfaringen, ville nok ikke gruppen kunne ha utført denne oppgaven med samme forståelse. Dette var også en av grunnene til at gruppen i første omgang valgte å ta fatt på en så omfattende oppgave. Likevel er det heller ingen av deltagerne som er «utlærte» innen fagområdene sine, da alle har stor respekt og stolthet for faget.

6.2 Drøfting av fagområdet Elkraft

Elkraftstudiet som er gjennomført i oppgaven, baserer seg i all hovedsak på tidligere forskning og løsninger som allerede eksisterer. Den største utfordringen her var mer eller mindre å finne ut enkelte krav og regler som gjelder for mikrokraftverk. I motsetning til et småkraftverk, som det finnes mange rapporter og nettsider om, var det for mikrokraftverk lite og mangelfull informasjon rundt krav og problemstillinger for dynamisk påvirkning og synkronisering av nett.

Det finnes faktisk ingen praksis på hvordan et mikrokraftverk med asynkrongenerator skal fases inn *riktig* mot et nett [21]. Som det tidligere er skrevet om i kapittel 2.3.6, tillater mange nettselskap at en legger kraftverket inn mot nett når generatoren har oppnådd nominelt turtall, så lenge ikke «innfasingen» utgjør mer enn 3% spenningsforstyrrelser på nettet. Det er mye på bakgrunn av manglende praksis rundt dette at gruppen valgte å prosjektere for et konsept som inneholder en enkel løsning for synkronisering til nett.

Med modellen fikk gruppen mulighet til å gjøre forsøk på synkroniseringen. Videre kunne det utvikles en egen programvare i PLS som håndterer synkronisering på samme måte som et synkronoskop kan. En utfordring med modellen er at den er utstyrt med asynkrongeneratorer som i utgangspunktet ikke lar seg magnetisere uten tilført reaktiv effekt. Gruppen har evaluert denne utfordringen med en rekke fagpersonell, og konkluderte med å forsøke å legge inn kondensatorer som fasekompensatorer til dette formålet. Siden generatorene spinner i et eget nett uten spenning, var det viktig å få tilført strøm for å lade opp kondensatorene. Deretter kunne kondensatorene magnetisere opp generatoren for å få den spenningssatt. Erfaringer fra forsøket viser at en måtte opp i 60Hz for å få ut spenning over 210 – 220VAc på modellen, det utdypes mer om hvorfor under delkapittel 6.5.

En av de større målsettingene var å minimalisere komponenter, derfor var det også et stort ønske om å bruke PLS til mange av vernfunksjonene. Det kan ofte bare være en effektbryter, eller termiske sikringer som er brukt på tradisjonelle mikrokraftverk. Skulle en av disse sikringene trippe, har en sjelden detaljert overvåking av hva som er den underliggende årsaken. Som følger av denne problemstillingen var et av målene gruppen satte seg å få bedre overvåking av hendelser som kan inntreffe i et mikrokraftverk.

6.3 Drøfting av fagområdet Automasjon

Å sette en PLS alene som et av de eneste organene er lite brukt i kraftsammenheng, da de oftest står i kommunikasjon med en rekke standard komponenter som vern, synkronoskop, spenningsregulatorer, turbinregulatorer med mer. I mikrokraftverk er det ofte ikke behov for PLS eller overordnet krav om overvåking [15], slik at løsningene her ofte faller på det enkle. En målsetting for oppgaven er å bygge en helautomatisert kraftverkstyring, der den selv foretar stopp/start og regulering i forhold til vanntilsiget og i tillegg skal inneha alle funksjoner som et større kraftverk gjerne har krav om.

Ved å ha en helautomatisert styring blir kraftverket enkelt å betjene, noe som er viktig med tanke på at bruker/kunde som oftest ikke er sakkyndig personell. Kraftverket kan enkelt startes opp fra HMI-panel og skal deretter kjøre på automatikk så lenge vann er til stede og det ikke oppstår feil i anlegget eller nett.

Selv om denne helautomatiserte løsningen har sine klare fordeler følger det også med noen ulemper som må tas hensyn til og som krever grundig overvåking av anlegget, med feilrapportering og eventuell trygg stans av kraftverket om nødvendig. Denne løsningen medfører at PLS-en kan bli sårbar dersom driftsavbrudd oppstår og man er derfor avhengig av å ha vern eller ekstern relestyring som kan stanse anlegget ved driftsavbrudd på PLS. Kravet til nettselskapene ved bortfall av overliggende nett er at mikrokraftverket skal stenge ned automatisk [15, p. 21]. På kraftverksimulatoren er det satt fokus på sekvenser, reguleringer, overvåking og innfasingsfunksjoner. Programvaren til kraftverket er svært omfattende med mye innebygd funksjonalitet, og på grunn av en avkortet testperiode gjenstår det videre å underbygge en bedre løsning for sikrere håndtering og sårbarhet av PLS i anlegget.

6.4 Resultat og måloppnåelse

Prosjektgruppen har kommet fram til et konsept som danner grunnlag for et fullt automatisert mikrokraftverk. I dette konseptet har det blant annet blitt undersøkt hvilken generatorløsning som egner seg best i et mikrokraftverk. Med sine gode egenskaper og relativt lave pris, er det ingen tvil om at det er alternativ 1 som er mest aktuelt for prosjektets konsept. Velges asynkronløsning stilles det automatisk mindre krav til anlegget, og man kan unngå et komplisert system med mange komponenter for magnetisering og synkronisering.

Modellen har hatt stor nytteverdi for prosjektet og har vist seg å være et nyttig studie og verktøy for å teste kraftverksfunksjonene i trygge omgivelser uten fare for store økonomiske konsekvenser. En ser også at en slik simulator kan bli et viktig verktøy ved videre utvikling. Ved en eventuell oppstart av bedrift kan man ved hjelp av modellen teste nye funksjoner og få erfaringer på en bedre måte før de implementeres i et fullskala kraftverk. Modellen har mange muligheter for videreutvikling, blant annet implementering av nivåregulering, temperatur- og vibrasjonsovervåking og kan uten store inngrep ombygges for flere typer generatorer.

Erfaringene og resultatene gruppen sitter igjen med fra idriftsettelsen er veldig gode, og målsettingen er oppnådd selv med de utfordringer som fulgte av COVID-19 under studietiden. Mange av komponentene man normalt finner i et kraftverk er i vårt anlegg nå erstattet med programvare, noe som igjen vil føre til et rimeligere kraftverk. Programvaren ser ut til å virke som planlagt og gruppen har fått testet mesteparten av funksjonalitet, men skulle gjerne ha hatt litt mer tid til rådighet for en grundig testing av alle av kraftverkets funksjoner.

6.5 Videre utviklingsmuligheter

Vi har erfart utifra dialog med leverandører og ved anleggsbesøk, at ved innfasing av generator mot nett så blir det her ofte brukt en frekvensomformer med bypassfunksjon til dette formålet – hvor frekvensomformeren drar opp turtallet på generatoren og siden øker vannmengden på turbinen slik at lasten overtar driften av turbinen. Men vi mener at en frekvensomformer er kostbar og utgjør en ekstra feilkilde for kraftverket. Bruker man vanntrykket til å dra opp turtallet og en turtallsmåler som regulerer generator til aktuelt turtall, sammen med en kombinasjon av konseptets innfasingsløsning burde dette kunne la seg gjennomføre på en rimeligere og god måte. Denne løsningen må selvsagt utredes grundigere, og gjerne i kombinasjon av et reelt pilotanlegg.

Under forsøket med modellen oppdaget vi også at vi måtte opp i 60Hz for å hente ut ønsket spenning på generatoren. COVID-19-restriksjonene gav begrenset tid til testing, noe som førte til at gruppen ikke fikk gjort flere forsøk på dette. I samtale med Lasse Sivertsen i senere tid, kom en fram til at spenningen kunne truffet bedre på 230VAc ved nominelt turtall og 50hz på asynkrongeneratoren ved hjelp av en reaktiv regulerbar fasekompensator [22]. Vi antar at videre forsøk og utregninger på dette ville gitt oss bedre svar på denne utfordringen, og vi ser en utviklingsmulighet her for å analysere asynkronmaskinen bedre.

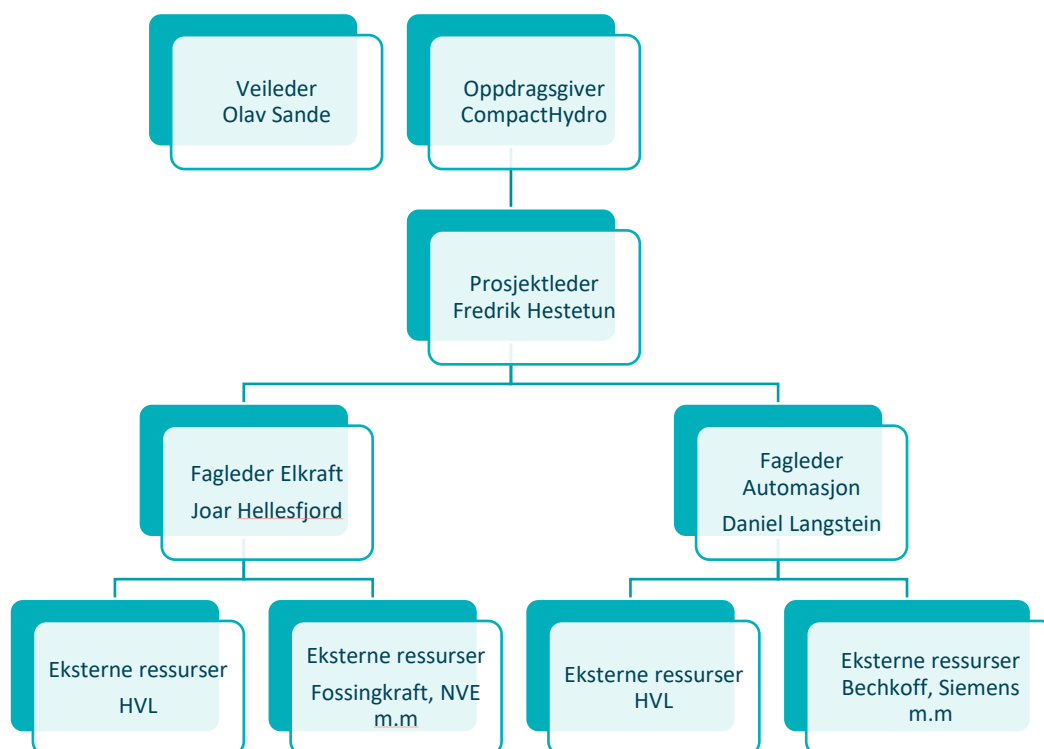
I dette prosjektet ble det utført en risikoanalyse som igjen ble brukt til å skape ei detaljert vernmatrise. Her ligger mye av de viktigste vernfunksjoner som en kan tenke seg at mikrokraftverket har, og dette ble overført til prinsippene på kraftverksimulatoren. Det gjenstår mye testing og prøving før vi kan proklamere valgt løsning og være sikre på at vår løsning dekker alt av utfordringer et mikrokraftverk har. En av de større målene våre har vært å utvikle en overordnet overvåking og vern i PLS, men ser i ettertid at behovet for godkjente og klassifiserte vern er nødvendig som sikkerhet dersom PLS skulle feile. Videre arbeid her vil være å undersøke om sikkerhetsfeil og vern er godt nok ivaretatt i dette konseptet.

I denne oppgaven er det ikke utledet beregninger av rørgate eller turbin, og en ser en klar fordel av at dette blir utledet bedre av faggrupper med maskin- og mekanisk bakgrunn. Kanskje kan en framtidig bachelor gruppe se videre på mikrokraftverkets konstruksjon av rørgate og turbin.

7 Prosjektadministrasjon

7.1 Organisering

For å imøtekomme prosjektet på best mulig måte ble de tre gruppemedlemmene organisert slik at de blir fordelt på de ulike feltene som medlemmene egner seg best til. Gruppen har selv bestemt denne organiseringen, som vist i Figur 7.1. Det er bestemt at gruppen skal bestå av Fredrik Hestetun som fast prosjektleder gjennom hele prosjektet, som på en god måte skal kunne styre og dele opp oppgaven mest realistisk utifra målsettingene. Under prosjektlederen, ble det delt opp i to fagfelt derav elkraftdelen styres av Joar Hellesfjord og automasjon styres av Daniel Langstein. Under de sistnevnte ligger eksterne ressurser som gruppen har brukt gjennom prosjektperioden. Dette er HVL (Høgskolen i Vestlandet) sine ressurser som f.eks. faglærere innen elkraft. Oppdragsgiver i denne oppgaven er oss selv, videre nevnt som CompactHydro. Vår veileder fra HVL gjennom oppgaven er Olav Sande, som også er en viktig støttespiller for det tekniske.



Figur 7.1: Organisering av bachelor prosjektet CompactHydro

7.2 Prosjektperiode

Prosjektperioden startet den 13. januar med en forprosjektperiode og i løpet av denne perioden skulle det leveres en prosjektbeskrivelse med frist 27. januar. Siden gruppen allerede hadde bestemt seg for oppgave i god tid før semesteret startet kunne prosjektbeskrivelsen tidlig ferdigstilles og innleveres 15. januar. Forprosjektperioden varte frem til innlevering av forprosjektrapport den 21. februar og det ble da samtidig opprettet en Facebookgruppe for prosjektet som kan finnes på <https://www.facebook.com/CompactHydro-100530314849696/>. Umiddelbart etter innlevering av forprosjektrapporten startet gruppen med hovedprosjektperioden, som strekker seg frem til presentasjon den 2. juni. I løpet av hovedprosjektperioden har gruppen hatt en rekke tidsfrister å forholde seg til. Den 3. april skulle det etter planen holdes en midtveispresentasjon, men denne utgikk på grunn av COVID-19.

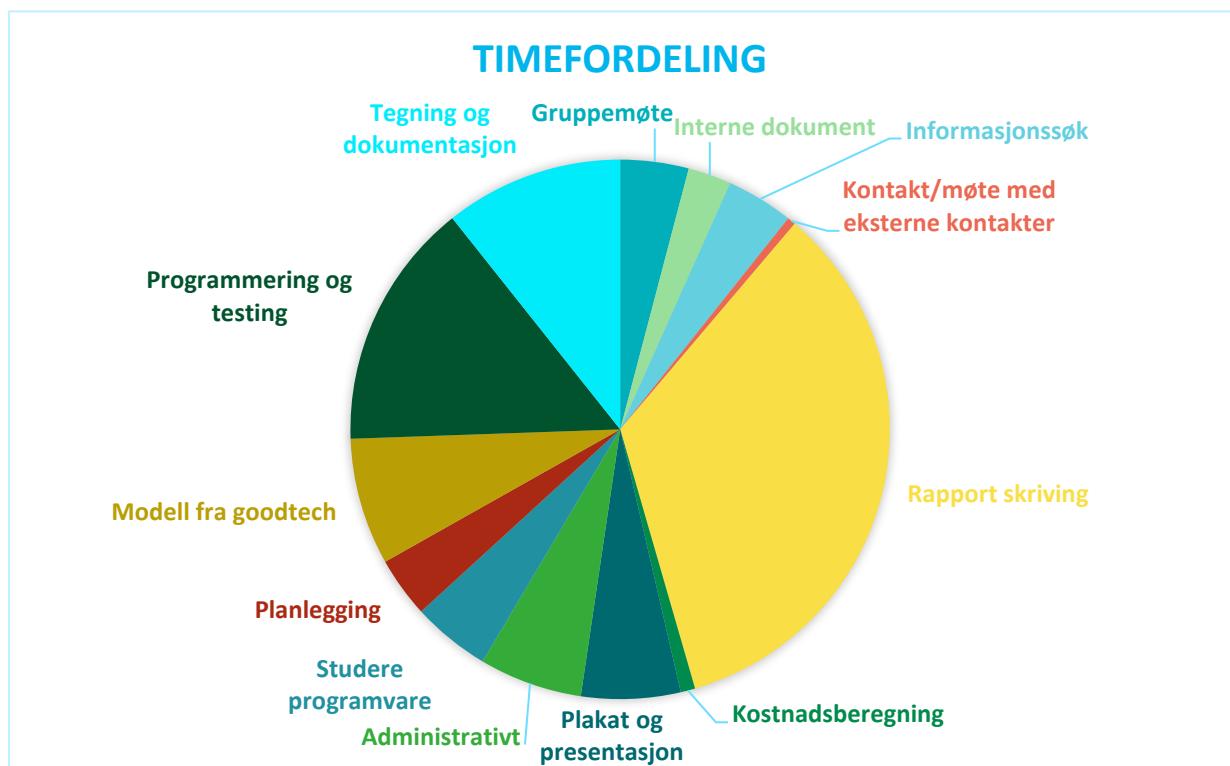
Den 15. mai skulle pressemelding inn til godkjenning, og i forbindelse med dette ble det produsert en kort videosnutt til pressemeldingen. Denne ble sendt inn til godkjenning 12. mai. Pressemeldingen ble godkjent samme dag og sendt inn til Firda. Den 25. mai skal sluttrapporten innleveres. Det ble også åpnet for å utsette denne datoen med en uke på grunn av COVID-19, men prosjektgruppen bestemte seg for å forholde seg til den opprinnelige datoen. 27. mai skal plakat være klar og på grunn av COVID-19 blir plakaten dette semesteret en digital utgave som skal inn i en digital årbok. 2. juni skal prosjektet presenteres med påfølgende spørreunde og evaluering, dette markerer da slutten på prosjektperioden.

7.3 Gjennomføring i forhold til plan

I forprosjektperioden ble det brukt mye tid til planlegging, definering og målsetting av oppgaven. Det var beregnet 500 timer per student (1500 timer totalt) på oppgaven og en måtte da sette seg realistiske mål for prosjektet. På grunn av COVID-19 måtte målene omjusteres noe, mer om dette i kapittel 1.4 og 4.3.5. Det ble tidlig opprettet en timeliste (vedlegg M) for registrering av timer fordelt utover forskjellige arbeidsoppgaver med en liten kommentar på hver oppføring om hva studenten har jobbet med i denne perioden. Timene fra og med 24. mai er estimerte timer for ferdigstilling av rapport, innlevering og fremføring. Som en ser av Tabell 7.1 stemte antall brukte timer bra med planlagt tidsforbruk. Figur 7.2 viser timefordeling utover de forskjellige arbeidsoppgavene. Det ble også i løpet av forprosjektperioden laget en framdriftsplan for prosjektet i form av et gantt-diagram som viser planlagt og faktisk tidsbruk på de ulike arbeidsoppgavene (vedlegg C).

Tabell 7.1: Timefordeling

Timer Joar	549,65
Timer Fredrik	526,50
Timer Daniel	538,93
Timer Totalt	1615,08



Figur 7.2: Timer fordelt utover arbeidsoppgaver

7.4 Økonomi

Siden nettanalysatoren måtte ombygges for å dekke prosjektets formål måtte behovet for ekstra utstyr tidlig kartlegges og bestilles slik at dette ble levert tidsnok for ombygging. Tabell 7.2 viser de samlede kostnadene for bestilt utstyr. Alt utstyr er oppført og bestilt som lab-utstyr til skolen siden modellen er tiltenkt å kunne brukes i fremtidige laboratoriumsøvelser og oppgaver på skolen.

Tabell 7.2: Bestillingsliste

Vare	Type	Antall	Total pris inkl. rabatt	Bestilt fra
Skilletrafo	FR608-23024-PS 40VA	4	kr 1 996,12	Elektroskandia
Kontaktorer fase kompensering	3RH2262-18B40	4	kr 2 508,00	Elfa
Lastbryter	3RH2140-18B40	2	kr 834,00	Elfa
Halogenpærer 20W		6	kr 367,20	Lysmannen.no
Sokler til pærer	44-720	2	kr 150,00	Biltema
TOTAL			kr 10 382,32	
+mva 25%			kr 2 595,58	
SUM			kr 12 977,90	

Budsjett

Det har ikke for denne hovedoppgaven blitt laget noe omfattende budsjett, ettersom prosjektet går under et lavbudsjett prosjekt. Tanken var å lage et budsjett i forprosjektet som skulle vedvare gjennom hovedoppgaven. Budsjettet tar for seg to studieturer som var tenkt gjennomført i semesteret, men som et resultat av COVID-19 ble ikke dette gjennomført. Gjennom forprosjekt perioden var heller ikke gruppen fullstendig klar over hvorvidt en kunne få tak i modellen til hovedoppgaven. Derfor har det ikke i forkant blitt budsjettet inn kjøp av komponenter til modellen. Bestilling av alle deler og utstyr ble gjort fortløpende. Fullstendig budsjett finnes i vedlegg N.

7.5 Generell prosjektevaluering

COVID-19-utbruddet og påfølgende redusert tilgang til modellen har ført til at prosjektgruppen har måttet justere delmålene noe underveis. Gruppens samlede oppfatning er likevel at målet med oppgaven er oppnådd og vi er fornøyde med resultatet. Selv om COVID-19 førte med seg en del praktiske utfordringer for gruppen, har dette blitt løst på en god måte. Alternativer var raskt på plass med blant annet emulering av programvare, og digitale kommunikasjonsløsninger. Det har for gruppen vært god lærdom i det å raskt kunne omstille seg ved utfordringer, uten å tape for mye tid og fortsatt holde effektiviteten oppe for videre flyt i arbeidet.

Prosjektets organisering hvor hver student har sitt spesifikke ansvarsområde har fungert på en god måte, og samarbeidet mellom ansvarsområdene har fungert bra med hyppige prosjektmøter. En ser også viktigheten av god planlegging og målsetting for å treffe de 500 planlagte timene per student. En god parallell vil være tidsbruken i arbeidslivet, hvor man må planlegge godt i forkant fordi man ofte jobber innenfor gitte tidsrammer.

Samtlige gruppemedlemmer har hatt stor faglig kompetanseutvikling i løpet av denne prosjektoppgaven både innenfor sitt eget fagfelt, og på tvers av fagfeltene.

Figurliste

Figur 2.1: Norsk kraftprisbane mot 2040 som følger av NVEs analyse [4]	7
Figur 2.2: Prinsippskisse av et ordinært mikrokraftverk med transformator	11
Figur 3.1: 37 kW Asynkrongenerator med turbin, Nedre Kvemma minikraftverk (foto: CompactHydro)	20
Figur 3.2: Komponenter i et konvensjonelt mikrokraftverk [18].	25
Figur 3.3: Utsnitt av Beckhoff visualisering (skjerm bilde: CompactHydro).....	27
Figur 3.4: Siemens HMI (Skjerm bilde: CompactHydro).....	27
Figur 4.1: Nettanalysatoren som ble bygget om til kraftverk simulator (foto: CompactHydro).....	28
Figur 4.2: Kretsskjema av opprinnelig Nettanalysator (Goodtech sine tegninger)	29
Figur 4.3: Kretsskjema og prinsippskisse av kraftverk simulator (CompactHydro tegninger)	30
Figur 4.4: Fasekompensering av asynkrongenerator -G3 på generatorsiden. (CompactHydro tegninger)	31
Figur 4.5: Oppladning av kondensatorer for magnetisering av -G2(generatorside)	32
Figur 4.6: Merkeskilt asynkronmaskin på modellen, (foto: CompactHydro)	33
Figur 4.7: Lastutgangen til generatoravgangen i kraftverk simulatoren (CompactHydro tegninger)...	33
Figur 4.8: Forenklet startsekvens fra stillstand til drift på kraftverksimulatoren (CompactHydro).....	35
Figur 7.1: Organisering av bachelor prosjektet CompactHydro	42
Figur 7.2: Timer fordelt utover arbeidsoppgaver	44

Tabelliste

Tabell 2.1: Oversikt over hva det utbygde vannkraftsystemet i Norge består av pr 01.01.2020 [2].	5
Tabell 2.2 Maksimum grenseverdier for synkroniseringsparametre [15, p. 48].....	18
Tabell 3.1: Utsnitt fra vernmatrise	24
Tabell 7.1: Timefordeling.....	44
Tabell 7.2: Bestillingsliste	45

Referanseliste

- [1] NVE, «Kraftproduksjon i Norden til 2040,» okt 2019. [Internett]. Available: http://publikasjoner.nve.no/rapport/2019/rapport2019_43.pdf. [Funnet 25 mars 2020].
- [2] NVE, «Vannkraft,» Norges vassdrags- og energidirektorat, 31 jan 2020. [Internett]. Available: <https://www.nve.no/energiforsyning/vannkraft/>. [Funnet 25 mars 2020].
- [3] NVE, «Konsesjonsbehandling av vannkraft,» Norges vassdrags- og energidirektorat, 24 feb 2020. [Internett]. Available: <https://www.nve.no/konsesjonssaker/konsesjonsbehandling-av-vannkraft/>. [Funnet 25 mars 2020].
- [4] H. I. J. H. F. A. M. B. R.Gogia, «Langsiktig Kraftmarkedsanalyse 2019-2040,» NVE, Oslo, 2019.
- [5] E.S.Viseth, «Nå drar koronatiltakene ned strømprisen,» Teknisk Ukeblad Energi, 18 mars 2020. [Internett]. Available: <https://www.tu.no/artikler/na-drar-koronatiltakene-ned-stromprisen/487924>. [Funnet 30 april 2020].
- [6] NVE, «Små vannkraftverk,» Norges vassdrags- og energidirektorat, 13 mars 2020. [Internett]. Available: <https://www.nve.no/konsesjonssaker/konsesjonsbehandling-av-vannkraft/sma-vannkraftverk/>. [Funnet 25 mars 2020].
- [7] B. E. D. SWECO, Veileder i planlegging, bygging og drift av små kraftverk, OSLO: Norges vassdrags- og energidirektorat, 2010.
- [8] E. F. I. H. H. H. S. M. A. N. J. N. S. S. A. S. A. S. B. Å. I.Hanssen-Bauer, «Klima i Norge 2100,» Norsk klimaservicesenter, Oslo, 2016.
- [9] V. P. Z. H.-O. P. D. R. J. S. P. S. A. P. W. M.-O. C. P. R. P. S. C. J. M. Y. C. X. Z. M. G. E. L. T. M. M. T. a. T. W. Masson-Delmotte, «Global Warming of 1.5°C,» IPCC, 2018.
- [10] NVE, «Elsertifikater,» Norges vassdrags- og energidirektorat, 03 april 2020. [Internett]. Available: <https://www.nve.no/energiforsyning/elsertifikater/>. [Funnet 15 april 2020].
- [11] NVE, «Kulturminner i norsk kraftproduksjon : en evaluering av bevaringsverdige kraftverk (KINK),» Norges vassdrags- og energidirektorat, Oslo, 2006.
- [12] N. AS, «Kostnadsgrunnlag for små vannkraftanlegg (< 10MW),» Norges vassdrags- og energidirektorat, Oslo, 2016.
- [13] L.Sivertsen, Elektriske Maskiner, Bergen: Fagbokforlaget, 2019.
- [14] K.A.Rosvold, «Asynkronmotor,» Store norske leksikon, 01 feb 2019. [Internett]. Available: <https://snl.no/asynkronmotor>. [Funnet 19 feb 2020].

- [15] O. T. Ø. A. Petterteig, «Tekniske retningslinjer for tilknytning av produksjonsenheter, med maksimum aktiv effektproduksjon mindre enn 10MW,» SINTEF AS, Trondheim, 2006.
- [16] T. O. A. H. I. A. Kjølle, «Veileder i kvalitetssikring av små vannturbiner,» NVE, Oslo, 2007.
- [17] K. Saugstad, «Effektbryter,» Store norske leksikon, 12 juni 2019. [Internett]. Available: <https://snl.no/effektbryter>. [Funnet 02 mai 2020].
- [18] O. Sande, *Compact Hydroelectric Powerplant control system*, Upublisert presentasjon.
- [19] Beckhoff, «Licence types,» [Internett]. Available: https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tc3_licensing/27021598720104331.html&id=. [Funnet 13 feb 2020].
- [20] OpenJS Foundation, «Node-RED,» [Internett]. Available: <https://nodered.org/>. [Funnet 2020].
- [21] A. H. AS, Personlig kommunikasjon, 2020.
- [22] L. Sivertsen, Personlig kommunikasjon, 2020.
- [23] NVE, «Spenningskvalitet, Ytterligere forklaring på noen begreper innen spenningskvalitet,» Norges vass- og energidirektorat, 21 jan 2020. [Internett]. Available: [https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten/nettjenester/leveringskvalitet/spenningskvalite](https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten/nettjenester/leveringskvalitet/spenningskvalitet/) t/. [Funnet 02 mai 2020].

Vedleggliste

Vedlegg A.	Forretningsplan Compact Hydro (Unntatt offentligheten)
Vedlegg B.	Mål for forprosjekt
Vedlegg C.	Gantt diagram
Vedlegg D.	NVE godkjenningsgebyr elsertifikat
Vedlegg E.	Framgangsmåte, utregning av kondensatorer til modell
Vedlegg F.	Risikoanalyse (Unntatt offentligheten)
Vedlegg G.	Vernmatrise (Unntatt offentligheten)
Vedlegg H.	I/O liste (Unntatt offentligheten)
Vedlegg I.	Asynkronmaskin spenningspendling
Vedlegg J.	Flytskjema oppstartssekvens (Unntatt offentligheten)
Vedlegg K.	Tegninger kraftverksimulator (Unntatt offentligheten)
Vedlegg L.	Flytskjema tilstandsmaskin (Unntatt offentligheten)
Vedlegg M.	Timelister
Vedlegg N.	Budsjett



Høgskulen på Vestlandet

Bacheloroppgåve

H02-300

Predefinert informasjon

Startdato:	14-05-2020 15:00	Termin:	2020 VÅR
Sluttdato:	25-05-2020 14:00	Vurderingsform:	Norsk 6-trinns skala (A-F)
Eksamensform:	Bacheloroppgåve		
SIS-kode:	203 H02-300 1 O 2020 VÅR		
Intern sensor:	Olav Sande		

Deltaker

Navn:	Joar Nikolai Svalland Hellesfjord
Kandidatnr.:	302
HVL-id:	570911@hvl.no

Informasjon fra deltaker

Antall ord *:	15357		
Egenerklæring *:	Ja	Inneholder besvarelsen konfidentielt materiale?:	Nei
			Jeg bekrefter at jeg har registrert oppgavetittelen på norsk og engelsk i StudentWeb og vet at denne vil stå på vitnemålet mitt *:

Gruppe

Gruppenavn:	CompactHydro: Utvikling av konsept for mikro vannkraftverk
Gruppenummer:	4
Andre medlemmer i gruppen:	Daniel Stokseth Langstein, Fredrik Grou Hestetun

Jeg godkjenner avtalen om publisering av bacheloroppgaven min *

Ja

Er bacheloroppgaven skrevet som del av et større forskningsprosjekt ved HVL? *

Nei

Er bacheloroppgaven skrevet ved bedrift/virksomhet i næringsliv eller offentlig sektor? *

Ja, CompactHydro SB