



**Høgskulen
på Vestlandet**

BACHELOROPPGÅVE

Kraftverksimulator

Power plant simulator

Energi, elkraft og miljø/automatiseringsteknikk

HO2-300 - Bacheloroppgåve

Avdeling for ingeniør og naturfag

Institutt for ingeniør- og teknologifag

19. mai 2017

15 949 ord

av

Asle Ness

Atle Jostein Rauset

Rakel Synnøve Ullebust

Stig Heggheim

Rettleiarar: Joar Sande, Nils Westerheim, Johannes Møgster og Kjell Johnny Kvamme

Eg stadfestar at arbeidet er sjølvstendig utarbeida, og at referansar/kjeldetilvisingar til alle kjelder som er brukt i arbeidet er oppgitt, *jf. Forskrift om studium og eksamen ved Høgskulen på Vestlandet, § 10.*



**Avtale om elektronisk publisering i Høgskulen på Vestlandet sitt
institusjonelle arkiv (Brage)**

Eg gir med dette Høgskulen på Vestlandet løyve til å publisere oppgåva (Kraftverksimulator) i Brage dersom karakteren A eller B er oppnådd.

Eg garanterer at eg har opphav til oppgåva, saman med eventuelle medforfattarar.

Opphavsrettsleg beskytta materiale er nytta med skriftleg løyve.

Eg garanterer at oppgåva ikkje inneheld materiale som kan stride mot gjeldande norsk rett.

Ved gruppeinnlevering må alle i gruppa samtykke i avtalen.

Kandidatnummer: 24

Asle Ness

JA NEI

Kandidatnummer: 33

Atle Jostein Rauset

JA NEI

Kandidatnummer: 8

Rakel Synnøve Ullebust

JA NEI

Kandidatnummer: 10

Stig Heggheim

JA NEI

STUDENTRAPPORT

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

TITTEL HO2-300 Hovudoppgåve - Kraftverksimulator	RAPPORTNR. 01	DATO 19.05.2017
PROSJEKTTITTEL Kraftverksimulator	TILGJENGE Open	TAL SIDER 50 sider + 37 vedlegg
FORFATTARAR Asle Ness Stig Heggheim Atle Jostein Rauset Rakel Synnøve Ullebust	ANSVARLEGE RETTLEIARAR Joar Sande – Prosjektansvarleg Nils Westerheim – Rettleiar EEM Johannes Møgster – Rettleiar AUT Kjell Johnny Kvamme - Ekstern rettleiar Sunnfjord Energi AS	
OPPDRA GSGJEVAR Sunnfjord Energi AS ved Kjell Johnny Kvamme		
SAMANDRAG Oppdragsgjevaren for prosjektet er Sunnfjord Energi AS, som er eit kraftselskap med kraftproduksjon, drift og bygging av nett og sal av kraft til bedrifter og hushald. Kraftselskap brukar store pengesummar på kontrollanlegg som ofte vise seg å ikkje halde mål. Dette fører til kostbare utbetringar i ettertid og driftstap på kraftverket. Ved hjelp av ein kraftverksimulator vil ein kunne finne feil ved kontrollanlegget på fabrikk, og kan rette desse før levering til kraftstasjonen. Vi skal i dette prosjektet prosjektere og programmere ein kraftverksimulator med utgangspunkt i Hove kraftverk, med hovudfokus på dei ulike sekvensane til anlegget.		
SUMMARY The assignment holder for our project is Sunnfjord Energi AS, wich is an energy company that produces, distributes and sells electrical energy to companies and households. Energy companies uses a whole lot of money on control systems that often lacks required spesifications. This leads to large additional costs and operating losses for the powerplant. With the use of a “Kraftverksimulator” the control system faults will be detected at the factory and corrected before delivery at the plant. The goal of this assignment is to project and program a hydroelectric power plant simulator with Hove powerplant as baseline. The main focus in the development is to describe and simulate the main sequences at Hove.		
EMNEORD Hovudoppgåve, Vasskraftverk, Simulering, PLS, Studentprosjekt, Elkraft, Automasjon, HO2-300, Kontrollsystem.		

Føreord

Denne rapporten er utarbeida i samband med det avsluttande hovudprosjektet vårt på ingeniørstudiet ved Høgskulen på Vestlandet, campus Førde. Rapporten viser våre undersøkingar og resultat i arbeidet med bacheloroppgåva. Studentane har under prosjektet hatt delte arbeidsoppgåver som omhandlar studieretning for energi, elkraft og miljø og automatiseringsteknikk. Oppgåva er utarbeida av Sunnfjord Energi AS med det føremålet å kvalitetssikre nye kontrollanlegg til deira vasskraftstasjonar. Dette er fordi dei erfaringsmessig ser at det er kostnadseffektivt å bruke resursar på kvalitetssikring, enn å feilrette anlegget etter det er driftssett.

Finansiering av denne prosjektfasen er det HVL som er ansvarleg for. Det vil derimot førekome svært få kostnadar under prosjekteringsfasen av kraftverksimulatoren som denne rapporten omhandlar.

Rapporten vil gjennomgå arbeidet med prosjektering og programmering av kraftverksimulatoren. I dette ligg det blant anna tekniske undersøkingar, drøfting kring valde løysingar og økonomiske aspekt. Vi har lagt til rette for at oppgåva kan takast vidare av komande bachelorgrupper. Vi har difor dokumentert undersøkingar vi har gjort og forslag for vidare arbeid.

Undervegs i prosjektet har vi fått god hjelp. Vi vil rette ein spesiell takk til Sunnfjord Energi AS for ei spennande oppgåve. Vidare vil vi takke prosjektansvarleg, Joar Sande, og rettleiarane våre Johannes Møgster og Nils Westerheim.

Førde 18.mai 2017



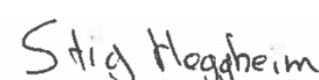
Asle Ness



Atle Jostein Rauset



Rakel Synnøve Ullebust



Stig Heggheim

Samandrag

Dette er sluttrapporten for vår hovudoppgåve (H02-300) på studiet elektroingeniør - bachelorgrad innanfor felte energi-, elkraft- og miljø og automatiseringsteknikk ved HVL, våren 2017.

Prosjektet vårt er basert på ei oppgåve gjeven av Kjell Johnny Kvamme ved Sunnfjord Energi AS. Formålet med oppgåva er å prosjektere og bygge ein mobil kraftverksimulator som kan teste kontrollanlegg til vasskraftstasjonar hjå produsenten før overlevering. Kraftselskapet vil dermed unngå unødige kostnader og driftstap i vasskraftverket etter driftssetjing.

Undersøkingane er gjort av fire bachelorstudentar som har ei tidsramme på 500 timar per student, og med avgrensa kunnskapsmessige og økonomiske resursar.

Etter avgrensingar av oppgåva i samarbeid med oppdragsgjevar og rettleiarar, har resultatet blitt ein prosjektert «kraftverksimulator», med utgangspunkt i hovudforlaupet til Hove kraftverk i Vik. Simulatoren som rapporten beskriv er samansett av grundige val av tekniske løysingar, komponentar, kostnadsoverslag og dokumentasjon som viser framgangsmåten i utviklingsarbeidet. Dei mest sentrale delane av simulatoren er blitt programmert i funksjonsblokker og presentert ved hjelp av ein grafisk betenings- og overvakingsskjerm. Val av komponentar og utstyr har vore ein viktig del av oppgåva. Beckhoff PLS er etter våre erfaringar meir fleksibelt med tanke på tilleggsmodular og programvare, samt eit rimelegare alternativ enn Siemens, som blei forkasta undervegs i prosjektet. For å simulere frekvens, straumar og spenningar har vi etter sterke ynskje frå oppdragsgjevar og nedslåande resultat på utprøvde komponentar, retta oss mot å bruke Omicron kraftelektronikk til føremålet.

Rapporten består og av ein prosjektadministrativ del. Hensikta med denne er å vise korleis prosjektgruppa har jobba seg fram til den ferdige hovudoppgåva, og er mest tenkt til skuleføremål. Utfordringane våre med avgrensing av ei stor oppgåve, samt beskrive grensesnittet mellom simulator og kontrollanlegg har vore mange og kravd mykje resursar frå gruppemedlemmane.

Grunna prosjektets tidsrammer og kostnadsrammer var det ikkje mogeleg å bygge kraftverksumulatoren. Det vil derimot vere mogeleg å byggje og utvide funksjonane til simulatoren for seinare bachelorgrupper. Dette har vi lagt til rette for i prosjektet. Utbyttet av prosjekt har vore brei kunnskap kring vasskraftanlegg og komponentane i desse. Det å ta grundige slutningar i prosjekteringsfasen har vi funne å være svært viktig, då dette er grunnpilarane for eit godt heilskapleg resultat. Gruppemedlemmane har lært mykje om prosjektadministrasjon og samarbeid på tvers av faggrupper som er ei uvurderleg erfaring.

Innhald

Fullmaktskjema	i
Referanse.....	ii
Føreord.....	iii
Samandrag.....	iv
Innhald.....	v
Figurliste	viii
Tabelliste	viii
Akronym	ix
1 Innleiing.....	1
2 Oppgåvefokus.....	2
2.1 Funksjonar	2
2.2 Tekniske løysingar	2
2.3 Programvare	3
3 Målsetjingar.....	3
3.1 Hovudmål	3
3.2 Delmål.....	3
4 Teori knytt til vasskraftverk.....	4
4.1 Vasskraftverk.....	4
4.2 Hove kraftverk	4
4.3 Hovudforlaupet i Hove kraftverk.....	5
4.3.1 Stillstand.....	5
4.3.2 Startklar	6
4.3.3 Start til tomgang utan spenning	6
4.3.4 Tomgang utan spenning	6
4.3.5 Magnetisering.....	6
4.3.6 Tomgang med spenning	6
4.3.7 Innkopling til drift	6
4.3.8 Drift.....	6
4.3.9 Utkopling av effektbrytar	6
4.3.10 Fråkopling	7
4.3.11 Hurtigstopp.....	7
4.3.12 Stopp	7
4.3.13 Nødstop	7
4.3.14 Nødstyring	7
4.4 Komponentar i Hove kraftverk.....	7
4.4.1 Inntak.....	8
4.4.2 Ventilsystem	8
4.4.3 Turbinregulator	8
4.4.4 Bremsar	9
4.4.5 Generator	9
4.4.6 Rotorløft	9
4.4.7 Spenningsregulator	9
4.4.8 Avgangsanlegg.....	10
4.4.9 Kjølevasssystem	10
5 Tekniske løysingar	10
5.1 Grunngeving av tekniske val.....	10
5.2 Skisser og skjema.....	12
5.2.1 Oversiktsskisse.....	12
5.2.2 Koplingskjema for relé og PLS modular	12

5.2.3	IO-liste	13
5.2.4	Relé-liste	14
5.2.5	HMI-liste	14
5.3	Funksjonsbeskriving	14
5.4	Val av komponentar	15
5.4.1	PLS	15
5.4.2	Inngangsmodule	15
5.4.3	Utgangsmodule	16
5.4.4	HMI-beteningspanel	16
5.4.5	Relé	17
5.4.6	Straumforsyning	17
5.5	Undersøkte komponentar	18
5.5.1	Omicron	18
5.5.2	CM Engine	19
5.5.3	GOOSE, IEC 61850	20
5.5.4	Simulering PT100 element	20
5.5.5	Skaping av trefase	22
5.5.6	Transformator	23
5.5.7	Effektregulator	24
5.5.8	Autotransformator	25
5.5.9	Modul for måling	26
6	Programmering	26
6.1	Programvare	26
6.2	Programmeringsspråk	27
6.2.1	Funksjonsblokk, FB	27
6.2.2	Strukturert tekst, ST	28
6.2.3	Utvida funksjonsblokkdiagram, CFC	28
6.3	Programmeringsstruktur	28
6.3.1	Global Variable List, GVL	29
6.4	HMI	29
6.5	Testing	31
7	Måloppnåing	31
7.1	Hovudmål	31
7.2	Delmål	32
8	Drøfting	32
8.1	Vidareutvikling	34
9	Konklusjon	35
10	Administrasjon av prosjektet	36
10.1	Organisering	36
10.1.1	Oppdragsgjevar	36
10.1.2	Styringsgruppa	37
10.1.3	Prosjektgruppa	37
10.2	Ansvarsfordeling	37
10.3	Arbeidsmetodar	38
10.4	Milepålar, Gantt	39
10.5	Møteplan	39
10.6	Dokumentstyring	39
10.6.1	OneDrive	39
10.6.2	AutoCAD	40
10.6.3	Adobe Photoshop	40
10.7	Tidsressursar	41
10.8	Økonomi	41

10.9	Prosjektnettstad	42
10.10	Risikostyring	42
10.11	Prosjektevaluering.....	43
10.11.1	Gruppeprosess og kommunikasjon	43
10.11.2	Utfordringar.....	43
10.11.3	Utbytte av prosjektet	45
11	Referansar	46
12	Vedlegg.....	49

Figurliste

Figur 1. Høgtrykkskraftverk [2].....	4
Figur 2. Hovudforlaupet i Hove kraftverk [vedlegg 1].....	5
Figur 3. Oversiktsskisse.....	12
Figur 4. Koplingskjema.....	13
Figur 5. Relé for utgang.....	13
Figur 6. Relé for inngang.....	13
Figur 7. Utklipp frå IO-liste.....	14
Figur 8. Beckhoff CX5140 [26].....	15
Figur 9. Beckhoff EL1008 [4].....	15
Figur 10. Beckhoff EL2008 [5].....	16
Figur 11. Beckhoff CP2916-0000 [20].....	16
Figur 12. Omron G2RV [7].....	17
Figur 13. PULS CS5.241 [21].....	17
Figur 14. Omicron CMC 356 [8].....	18
Figur 15. Forslag til grensesnitt for PLS til Omicron.....	20
Figur 16. Digitalt potensiometer [12].....	21
Figur 17. Diagram for PT100 sin endring av ohm-verdi.....	21
Figur 18. Beckhoff EL2124 [28].....	22
Figur 19. Einfase transformator.....	23
Figur 20. Trekant - trekant kopla transformator.....	23
Figur 21. Pettersen PAC35 [22].....	24
Figur 22. Effektregulator 604B [24].....	24
Figur 23. Belotti autotransformator [vedlegg 19].....	25
Figur 24. Beckhoff EL3773 [14].....	26
Figur 25. Eksempel på deklarerer av funksjonsblokk.....	27
Figur 26. Eksempel på kode i strukturert tekst.....	28
Figur 27. Døme på ei funksjonsblokk som ligg i CFC.....	28
Figur 28. Liste over funksjonsblokker.....	28
Figur 29. HMI-fane av inntaket i kraftverksimulatoren.....	30
Figur 30. Organisasjonsstruktur.....	36
Figur 31. Sunnfjord Energi logo [18].....	36
Figur 33. OneDrive logo [18].....	40
Figur 34. AutoCAD logo [19].....	40
Figur 35. Adobe Photoshop logo [20].....	40
Figur 36. Sektordiagram av tidsbruk.....	41

Tabelliste

Tabell 1. Forkortingar med forklaring.....	ix
Tabell 2. Utrekna straumforbruk til komponentar.....	17
Tabell 3. Kontaktinformasjon for styringsgruppa.....	37
Tabell 4. Kontaktinformasjon for prosjektgruppa.....	37

Akronym

Tabell 1. Forkortingar med forklaring.

SEAS	Sunnfjord Energi AS
HVL	Høgskulen på Vestlandet
EEM	Studieretning energi, elkraft og miljø
AUT	Studieretning automatiseringsteknikk
HMT	Helse, miljø og tryggleik
PLS	Programmerbar logisk styring
HMI	Human machine interface (menneske-maskin grensesnitt)
IO	Input/output (inn- og utgangsmodule for PLS)
DI	Digital input (digital inngang)
DO	Digital output (digital utgang)
IEC	International electrotechnical commission (internasjonal standard)
ST	Structured text (strukturert tekst)
CFC	Continuous function chart (utvida funksjonsblokkdiagram)
GVL	Global variabelliste (global variabelliste)
Tag	Ein variabel
SPI	Serial peripheral interface (kommunikasjonsprotokoll)
SW	Software (programvare)
VDC	Volt, direct current (spenning frå likestraumskjelde)
Kraftelektronikk	Elektronisk utstyr brukt til kraftoverføring
CME	CM Engine
NO	Normally open (kontakt som er open ved kviletilstand)
NC	Normally closed (kontakt som er lukka ved kviletilstand)
MW	Megawatt
GWh	Gigawatt-timar

1 Innleiing

Kraftselskap brukar store pengesummar på kontrollanlegg som viser seg å innehalde feil. Blir dette oppdaga for seint, kan ein i verste fall risikere at komponentar i vasskraftverket bli øydelagde. Dette resulterer til unødige tidsbruk og store kostnader. Ved hjelp av ein «kraftverksimulator» vil ein kunne avdekke desse feila før kontrollanlegget blir transportert og installert på kraftstasjonen. I samband med utskiftingar av fleire kontrollanlegg har Sunnfjord Energi eit ønske om at det blir bygd ei mobil eining som simulerer eit operativt vasskraftverk. Kraftverksimulatoren skal manipulere kontrollanlegget til å køyre ulike driftssituasjonar og reagere ved feilmeldingar, og på den måten teste om kontrollanlegget held mål.

I byrjinga av prosjektet fokuserte vi på å få oversikt over korleis eit vasskraftverk fungerte. I tillegg undersøkte vi ulike komponentar og løysingar som kunne nyttast. For å sikre framgang i arbeidet fordelte vi arbeidsoppgåver etter ønskjer og kvalifikasjonane til gruppemedlemmane. Vidare arbeidde vi med å setje grensesnitt for kraftverksimulatoren, og utarbeide ein funksjonsbeskriving utifrå dokumentasjon frå Hove kraftverk. Brulandsfossen kraftverk, som Sunnfjord Energi eig, var også eit anlegg som var aktuelt å ta utgangspunkt i, men grunna manglande dokumentasjon måtte vi gå vekk frå dette. Funksjonsbeskrivinga la grunnlaget for PLS-programmering av funksjonane i kraftverksimulatoren og design av HMI som skal styre og overvake funksjonane. Rapporten er skriven utifrå arbeidet vi har lagt ned i oppgåva frå starten av, og dekkjer alt frå koplingskjema til personlege erfaringar undervegs i prosjektet.

Rapporten er skriven med omsyn til oppdragsgjevar og bachelorgrupper som ønskjer å ta oppgåva vidare. Vi har difor lagt vekt på å grunngje vala vi har gjort, undersøkingar og tips for vidare arbeid. Rapporten dokumenterer arbeidet gruppa har hatt i samband med prosjektering av kraftverksimulatoren og utarbeiding av kostnadsoverslag. Dette inneberer undersøkingar kring val av løysingar og komponentar, samt programmering av funksjonar som skal ligge i det ferdige testustyret.

Vi har lagt vekt på at alle opplysingar i rapporten skal kome frå sikre kjelder. For å sikre at kvaliteten på oppgjevne data i oppgåva er rettmessige, har vi valt å bruke produsentens eigne datablad, trykte fagbøker, Statkrafts dokumentasjon over Hove kraftverk, samt rettleiarane våre som har høg utdanning og lang arbeidserfaring. Ved bruk av konkrete fagdata er det oppgjeve kjeldene til desse for å auke truverda av stoffet som er presentert i denne rapporten.

Rapporten byrjar med innføring av grunnleggande teori knytt til vasskraftverk med vekt på Hove kraftverk. Deretter blir det presentert ulike løysingar vi har undersøkt og valt. Her finn ein forslag til HMI, skisse og koplingskjema for den planlagde simulatoren. Avslutningsvis er det tatt med ein

prosjektfagleg del. I denne delen skildra vi korleis prosjektgjennomføringa har føregått og erfaringar vi har gjort undervegs. I tillegg til det som er presentert i rapporten, er det også vedlagt dokument relatert til kraftverksimulatoren og prosjektgjennomføringa. Dette inkluderer mellom anna ei funksjonsbeskriving som utgjer ein stor del av oppgåva.

2 Oppgåvefokus

Grunnlaget for prosjektet er hovudsakleg basert på Sunnfjord Energi si skildring av oppgåva, samt rammer sett av HVL og diskusjonar som er tekne saman med styringsgruppa. Vi har lagt vekt på kvalitet i arbeidet som blir utført, dette er fordi kontrollanlegg er kostbart og krev at alle omstende er tenkt på. Sidan det skal vere mogelegheit for andre bachelorgrupper å ta oppgåva vidare, har vi lagt vekt på at aktuelle løysingar skal være undersøkt og dokumentert for å lette arbeidet til komande prosjektgrupper.

2.1 Funksjonar

Prosjektgruppa har tatt utgangspunkt i hovudforlaupet til Hove kraftverk for å sikre at kraftverksimulatoren blei mest mogeleg reell. Dei mest sentrale komponentane i forhold til hovudforlaupet er difor blitt tatt med. Simulatoren skal få og sende digitale signal til kontrollanlegget i vasskraftstasjonen, dette kontrollert av ein PLS. Ulike talverdiar og kommandoar kan gjevast av operatør via HMI, og kontrollanlegget skal reagere på desse.

2.2 Tekniske løysingar

Det har blitt lagt vekt på å ha kvalitet på dei tekniske løysingane. Desse må vere innanfor rimelegheitas grense for kostnad og teknologisk forståing. I tillegg skal den prosjekterte simulatoren vere enkel å frakte og tole hard medfart. I arbeidet med å finne tekniske løysingar er det tatt utgangspunkt i oppdragsgjevar ønskje. Spesielt vurderingar kring driftssikkerheit, simulatorens frakteeigenskapar og brukarvenleik er blitt tungt vekta. Tekniske eigenskapar vert vekta over prisen på komponentane. Ulike alternativ til tekniske løysingar er blitt diskutert mellom prosjektgruppa og styringsgruppa og godkjent av begge partar.

2.3 Programvare

Fokus for programvara til kraftverksimulatoren er å nytte det utstyret som gjev oss dei funksjonane vi treng til simulatoren. Sunnfjord Energi hadde ønskje om at det skulle nyttast Siemens S7-1500 som PLS då dei har erfaring med desse frå tidlegare. Dette ønskje blir ikkje tatt omsyn til om vi finn utstyr som eignar seg betre til oppgåva som skal løysast. Vi har lagt vekt på at kraftverksimulatoren skal vere brukarvenleg, og at ein raskt skal setje seg inn i måten den verkar på. Vi har difor forsøkt å utarbeide HMI på ein måte som enkel og oversiktleg, med ein meny som gjev rask tilgang til alle delar av simulatoren.

3 Målsetjingar

3.1 Hovudmål

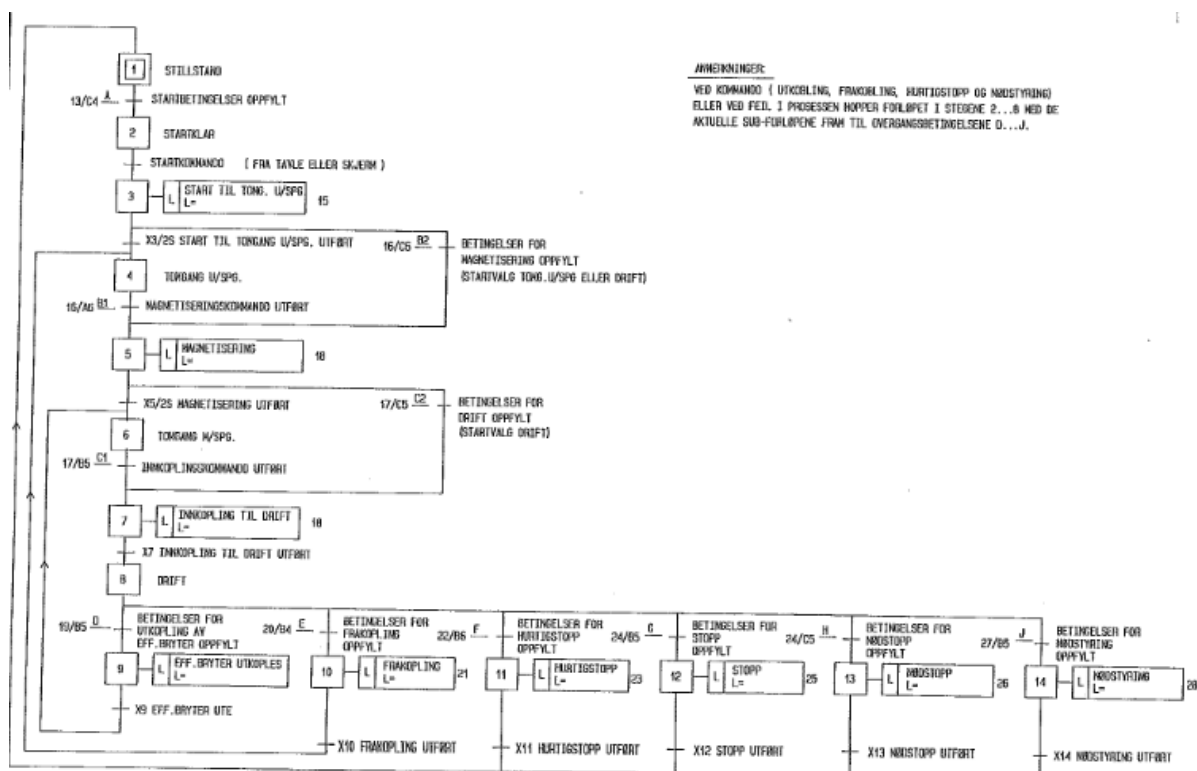
"Hovudmålet for prosjektet er å prosjektere ein kraftverksimulator som simulerer ved hjelp av PLS."

3.2 Delmål

- Utarbeide og få godkjent prosjektbeskriving, forprosjektrapport og hovudrapport
- Opprette heimeside, samt halde den oppdatert
- Utarbeide budsjett, risikoanalyse, Gantt-diagram
- Finne forslag til kraftelektronikk som kan nyttast ved testing av dei logiske funksjonane i kontrollanlegget
- Lage ei funksjonsbeskriving for kraftverksimulatoren sine funksjonar og grensesnitt
- Programmering av software
- Utarbeide pressemelding og plakat
- Presentere det teoretiske arbeidet og berekningar som er utført
- Gjennomføre prosjektet i samsvar med framdriftsplan og budsjett
- God dokumentering av alle prosjektfasane

4.3 Hovudforlaupet i Hove kraftverk

Vi har valt å legge vekt på hovudforlaupet i Hove kraftverk ved prosjektering og programmering av kraftverks simulatoren. Ved å ta utgangspunkt i hovudforlaupet blei arbeidet meir ryddig og vi fekk ein meir gjennomført simulator. Ved testing av kontrollanlegg vil ein då kunne køyre igjennom hovudforlaupet for å sjå om kontrollanlegget oppføra seg som ønskja. I tillegg vil ein sjå korleis kontrollanlegget reagerer når simulatoren ikkje oppfylle vilkåra som krevst for å gå vidare i hovudforlaupet. Hovudforlaupet er vist på figur 2. Dei ulike stega i hovudforlaupet er presentert under. Betingelsane som er omtala i stega kan finnast i funksjonsplanen for Hove kraftverk, den er lagt som vedlegg 1 (lukka vedlegg).



Figur 2. Hovudforlaupet i Hove kraftverk [vedlegg 1].

4.3.1 Stillstand

Ved stillstand er ventilsystemet lukka og anlegget er i ro. Hovudforlaupet i Hove startar og sluttar med stillstand.

4.3.2 Startklar

For at anlegget skal bli startklar må både dei faste og variable startbetingelsane vere oppfylt. Kraftverksimulatoren vil sende signalet "startbetingelsar oppfylt", og ein forventar då at kontrollanlegget vil gå vidare til "start til tomgang utan spenning" etter å ha mottatt startkommando frå tavle eller skjerm.

4.3.3 Start til tomgang utan spenning

Under denne delen av forløpet startar dei ulike hjelpesystema opp. Bremsar blir kopla ut og ventilsystem blir gradvis opna. Turtalet aukar roleg frå 0% til 100%. Generatoren er ikkje belasta ved dette steget.

4.3.4 Tomgang utan spenning

I steg fire er kraftverket i tomgang utan spenning. Er alle betingelsane oppfylt går forløpet vidare til magnetisering av generator.

4.3.5 Magnetisering

Magnetisering skjer når betingelsar for magnetisering er oppfylt og magnetiseringskommando er gjeven. Feltbrytaren vil då kople seg inn. Generatoren produserer no spenning.

4.3.6 Tomgang med spenning

Generatoren produsera spenning. Spenninga blir optimalisert for å kunne koplust inn mot nettet i neste steg.

4.3.7 Innkopling til drift

Effektbrytar blir kopla inn når synkroniseringa bekreftar at spenninga og frekvensen frå generatoren er lik linjenettet. Ventilsystemet er no 100% opent.

4.3.8 Drift

Kraftverket går som normalt.

4.3.9 Utkopling av effektbrytar

Effektbrytar blir utkopla. Dette skjer ved kommando frå tavle eller fjernstyring, stoppsekvensane eller ved lang innkoplingstid. Effektbrytar blir også kopla ut når spenninga og/eller frekvensen frå generatoren ikkje stemmer med nettet. Når effektbrytaren har lagt seg ut vil det gå tilbake til steget "tomgang med spenning".

4.3.10 Fråkopling

Fråkopling av effektbrytar og feltbrytar. Kontrollanlegget gjev kommando til effektbrytaren om at den skal koplust ut, utkopla effektbrytar skil generatoren vekk frå nettet. Dette skapar rusing av generatoren sidan lasta ikkje blir redusert før utkopling. Deretter blir feltbrytaren koplust ut magnetiseringsstraumen, og når magnetiseringsstraumen blir fråkopla blir generatorspenning lik null. Fråkopling blir utført ved til dømes overspenning, skeivlast, tap av synkronisering, høg temperatur på stator eller overlast. Etter fråkopling hoppar ein tilbake til steget "tomgang utan spenning".

4.3.11 Hurtigstopp

Vasstilførselen blir stengt, effektbrytar og feltbrytar utkopla. Bremsene blir lagt på og heng på fram til turtalet er 0%. I tillegg stengast kjølevassventilen. Målet til bremsene her er å få raskt redusert turbinen sin hastigheit. Hurtigstopp blir utløyst ved feil, høge temperaturar på lager, vibrasjonar i lager/turbin og generelle mekaniske feil ved turbin. Når denne sekvensen er over hoppar forlaupet tilbake til steget "stillstand".

4.3.12 Stopp

Fråkopling av effektbrytar og feltbrytar, vasstilførsel blir stengt og bremsene legg seg på ved turtal under 10% og kjølevassventilen stengast.

Blir utført ved jordfeil på rotor/stator, kortslutningar og generelle elektriske feil i generator.

4.3.13 Nødstopp

Vasstilførselen blir stengd og effektbrytar og feltbrytar utkoplust. Her blir det i tillegg brukt bremsar for å raskt redusere turbinen si hastigheit. Bremsene legg seg på ved turtal under 90%.

Nødstopp blir utløyst ved kritisk høg temperatur på lager. Dette for å forhindre skadar på kraftverket. Nødstopp er meir effektivt enn hurtigstopp.

4.3.14 Nødstyring

Nødstyring blir aktivert når dei andre stoppsekvensane sviktar. Dette er ei reservestyring der målet er å få stoppa alt. Effektbrytar og feltbrytar blir koplust ut, vasstilførselen blir stengd og bremsene legg seg på ved turtal under 10%.

4.4 Komponentar i Hove kraftverk

Vi har valt å ta med dei mest sentrale komponentane i Hove kraftverk. Desse er presentert under, som igjen er dei aktuelle komponentane som er implementert i programmeringa/funksjonsbeskrivinga.

Dokumentasjonen til Hove kraftverk er lagt ved som lukka vedlegg. Sjå vedlegg 1.

Dokumentasjonen for Hove kraftverk beskriv fleire funksjonar enn det som er tatt med i prosjektet. Til dømes: Samleskinne, nødstyring, ventilasjonsanlegg, vekselrettar, hjelpesystem, brannmeldeanlegg, kompressorsystem, lensesystem og transformator. Dess er blitt utelukka for å avgrense oppgåvas storleik.

Dei ulike komponentane i kraftverket har eigne styresystem som fungera åleine. Komponentane fungerer fint aleine, men kontrollanlegget har eit overordna ansvar for å starte/stoppe funksjonar på rett tidspunkt i løpet av sekvensane.

4.4.1 Inntak

Inntaksluke er den komponenten som opnar og lukkar vasstilførselen frå vassmagasinet, og slepp vatnet inn i tunnelane og røyra. Luka er ofte laga av treverk som er samansett til ei plate, og som då blir senka ned i tunnelen. I tillegg til open og lukka, har luka har ei 5% open stilling, for roleg fylling av tunnel og røyrgate etter vedlikehald. Ved for rask opning vil sette i sving ukontrollerte vasskrefter.

4.4.2 Ventilsystem

Ventilsystemet består av hovudventil som er ein stor ventil med diameter lik røyrgata, og omløpsventil som er ein liten ventil som har ein del mindre diameter enn røyrgata. Omløpsventilen har som funksjon å utjamne trykket på begge sider av hovudventilen før den blir opna, dette gjer den ved å gå parallelt forbi hovudventilen. Grunnen til dette er at hovudventilen blir utsett for veldig stor belastning når det er store trykkforskjellar. Hovudventilen har eit stille på 30% open, som blir brukt ved oppstart av aggregatet. Turbinen får då ei roleg auke av rotasjonshastigheita. Ved utjamna trykk kan omløpsventilen enten bli ståande open eller stenge. Vi har programmert omløpsventilen til å stenge etter trykket er utjamna.

4.4.3 Turbinregulator

Turbinregulatoren er også eit sjølvstendig system som blir overvaka av kontrollanlegget. Den har som funksjon å justere vasstilførselen til turbinhjulet for å oppretthalde ønska turtal ved oppstart og levert effekt når kraftverket er kome i drift. For å justere vasstilførselen opnar og lukker regulatoren ledeapparatet som slepp vatn på turbinen.

Ved rask stenging av vasstilførsel har turbinregulatoren ein funksjon som blir kalla hurtiglukker, som stenge ledeapparatet raskare enn normalt. Turbinregulatoren vi har tatt utgangspunkt i gjev ut signal for turtal i ulike områder, dette er signal som blir brukt i sekvensane til kontrollanlegget.

Turtalssignala brukast til følgande:

Turtalet skal vere over 90% i steg 3 (start til tomgang u/spenning) for at anlegget kan gå vidare til

neste steg. Turtalet må også vere over 90% for at anlegget skal kunne starte magnetisering og vere i drift.

Ved turtal under 90% kan anlegget gå til stega fråkopling, hurtigstopp, stopp og nødstop.

Medan ved turtal under 15% lukkar ventilsystemet seg og effektbrytar blir lagt ut. Vidare går turtalet ned til å bli under 10%. Ved turtal lik 0% er anlegget i ro.

Turbinregulatoren er delt opp i to deler, elektrisk og mekanisk med trykkolje. Vi har valt å samle desse i ei felles funksjonsblokk.

4.4.4 Bremsar

Hydrauliske bremsar skapar friksjon mot ei bremseskive slik at turbinen reduserer rotasjonshastigheita. Ein av betingelsane kontrollanlegget sjekkar før ein eventuelt start, er tilstanden på bremsetrykket. Dette må vere tilstades for å kunne kome til startsekvens.

4.4.5 Generator

Generator er ein komponent som dannar rotasjonsenergi om til elektrisk energi. I simuleringa har det blitt lagt vekt på ulike feilmeldingar og driftsmeldingar, medan skaping av straum og spenning frå generator har vi gått vekk i frå. Vi har lagt fokuset på å simulere feilmeldingar ved kritiske temperaturar og implementere dette i PLS-programmet med betjening frå HMI-panelet. For å skape ei meir reell simulering, er det blitt laga til felt på betjeningspanelet for å kunne oppgjje setpunkt for «merkespenning" (V) og "merkeyting" (kVA). Generatoren er knytt saman med turbinregulator og spenningsregulator slik at alle komponentane endrar seg når generatoren får «setpunkt» for ønska produksjon (levert effekt frå generator) eller generatorspenning (spenning levert frå generator).

4.4.6 Rotorløft

Rotorløftaren har som funksjon å løfte rotoren i håp om at det renn inn olje i bærelageret, for at det skal smøre lageret betre. Rotorløfter er ein teknologi som er på veg ut og blir no erstatta av trykkoljeavlasting. Forskjellen på desse er at med trykkoljeavlasting blir olja sett under høgt trykk, som gjer at ein garantert fyller alle dei små kanalane i bærelageret med olje. Denne teknologien førar til at bærelageret blir smurt ordentleg og minimerar slitasje. Hove kraftverk har på si side rotorløftar for smørjing og vi har difor tatt dette med i vår simulator.

4.4.7 Spenningsregulator

Spenningsregulatoren har som oppgåve å halde spenninga til generatoren utifrå kva setpunkt som blir sett av kontrollanlegget. Regulatoren er som dei fleste anleggsdelane i kraftverket, sjølvstendig men med overvaking frå kontrollanlegget. Spenningsregulatoren regulerar magnetiseringspenning og

-straum for å oppretthalde ønskja spenning på generatoren, samt justering av reaktiv effekt etter ønskje. Kontrollanlegget sin funksjon ovanfor spenningsregulatoren er å gje setpunkt som regulatoren skal regulere seg inn på og kontrollere at spenningsregulatoren har rett tilstand utifrå kva sekvens kontrollanlegget er i.

4.4.8 Avgangsanlegg

Brytaranlegget til kraftverket. Der har vi effektbrytar, skillebrytar og jordbrytar. Effektbrytar er ein brytar som er dimensjonert for ein trefasa kortslutning. Skillebrytar er ein enklare brytar som er berekna for å kunne betenast utan noko vesentleg last. Jordbrytar er ein sikkerheitsbrytar som blir brukt ved sikring mot innkopling, dette sikrar den ved å kortslutte alle tre fasane, og direkte kople dei til jord. Samanhengen mellom brytarane i kraftverket er at dei er forrigla, det vil seie at posisjonen til ein brytar kan hindre betjening av ein annan. Til dømes kan ein ikkje betene skiljebrytar når effektbrytar er innkopla, eller betene jordbrytar når skiljebrytar er innkopla.

4.4.9 Kjølevasssystem

Dette systemet har som funksjon å kjøle komponentane. Det er eit separert system som til ei kvar tid skal halde driftstemperatur. Kjølesystemet har separate krinsar for kvar anleggsdel. Vi har valt å ta for oss systemet sine generelle funksjonar sidan kjølevasssystema er forskjellige frå stasjon til stasjon. Funksjonar som opning og lukking av ventil og tilstanden på sirkuleringspumpa for kjølevatnet.

5 Tekniske løysingar

5.1 Grunngeving av tekniske val

Oppdragsgjevar ønskte seg testutstyr for å kunne finne feil ved kontrollanlegg på fabrikktest av dei nye kontrollanlegga.

Oppgåva byrja med at vi tok utgangspunkt i skissa i oppgåvebeskrivinga frå oppdragsgjevar (vedlegg 2). Vi vart førespegla å måtte fysisk simulere ekte spenning og straum, som om det skulle vere ein ekte generator. Det på den måten at vi skulle fungere som både ein straumtransformator, og ein spenningstransformator. Desse transformatorane gjev ut spenning eller straum, utifrå eit førehandsbestemt forholdstal, til dømes leverar 1/100 del av generatoren sin straum eller spenning.

For å oppfatte ønskja endringar frå kontrollanlegget, måtte vi i tillegg ha utstyr for å kunne måle spenning/straum som blei sendt ut av kontrollanlegget. I den samanheng undersøkte vi Omicron, som er eit testutstyr som er mykje brukt for testing av ulike vern og avanserte målingar. Vi såg nærare på to ulike modellar som ville vere aktuelle for vårt bruk. Dette står det meir om under

avsnitt «5.5.1 Omicron». Dette var dessverre for kostbare til at oppdragsgjevar ønskte å kjøpe dei inn.

For å finne eit alternativ til måling av spenning/straum, såg vi først igjennom det som var av utstyr til Siemens PLSar. Der kunne vi ikkje finne noko utstyr som hadde evna til å måle likespenning eller -straum. Etter tips frå emneansvarleg undersøkte vi ei tidlegare oppgåve som var av same retning. Der fann vi ein analog modul frå Beckhoff med akkurat den evna vi var på utkikk etter. Dette har vi drøfta meir under avsnitt «5.5.9 Modul for måling».

Vi undersøkte og alternativ kraftelektronikk til Omicron. Dette gjorde vi ved å studere datablad og sjå på tekniske opplysningar i forhold til korleis komponentane sitt samspel vil kunne fungere. Her måtte ein setje saman fleire komponentar for å skape ei fungerande løysing. Dette har vi drøfta meir under avsnitt «5.5.7 Effektreulator».

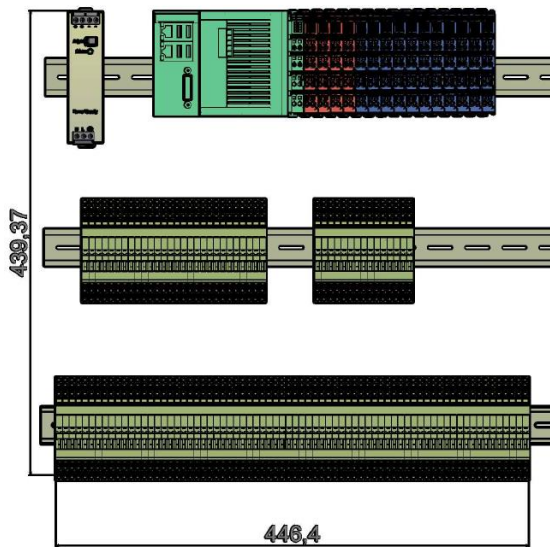
Saman med oppdragsgjevar og rettleiar Nils Westerheim vart vi einige om å ta utgangspunkt funksjonsplanen for Hove kraftverk, som er lagt ved som lukka vedlegg (vedlegg 1). Simulering av dei mest sentrale komponentane for aggregatet, er utført. Dei utvalde komponentane har vi fortalt meir om under «4.4 Komponentar i Hove kraftverk».

Løysinga vi vil føreslå inneheld Beckhoff-PLS med digitale inn- og utgangsmodular, relé for beskyttelse av PLS-utstyr og programmert simulatorfunksjon med tilhøyrande HMI-skjerm. Ein finn oversiktsskisse, koplingskjema, IO-liste, relé-liste og HMI-tagliste som er utarbeida tekniske dokumentasjon. Desse ligg under overskrifta «skisser og skjema».

For å grunnje dei tekniske vala som er gjort har vi nytta oss av det vi meiner er sikre kjelder for informasjon. Rettleiarane våre har vore viktige støttespelarar i arbeidet med å finne gode tekniske løysingar, dei er høgt fagleg utdanna og sit på mykje erfaring kring emna vi har arbeidd under. Ved val av komponentar har vi tatt utgangspunkt i produsenten sine datablad og har i gruppa vurdert desse utifrå vårt kunnskapsnivå, samt rådført oss med rettleiarar og produsentar. Vi har då lagt vekt på kor vidt det er praktisk mogeleg å la seg gjennomføre, og korleis vil det vere mogeleg å få eit grensesnitt mot PLS. Dette utan halv gode løysningar i mellom PLS og den aktuelle komponenten. Lærebøker frå tidlegare emne, andre fagbøker og artiklar frå nettstadar med sikre kjelder, er blitt nytta for å auke truverdigheita til valet av dei tekniske løysingane.

5.2 Skisser og skjema

5.2.1 Oversiktsskisse

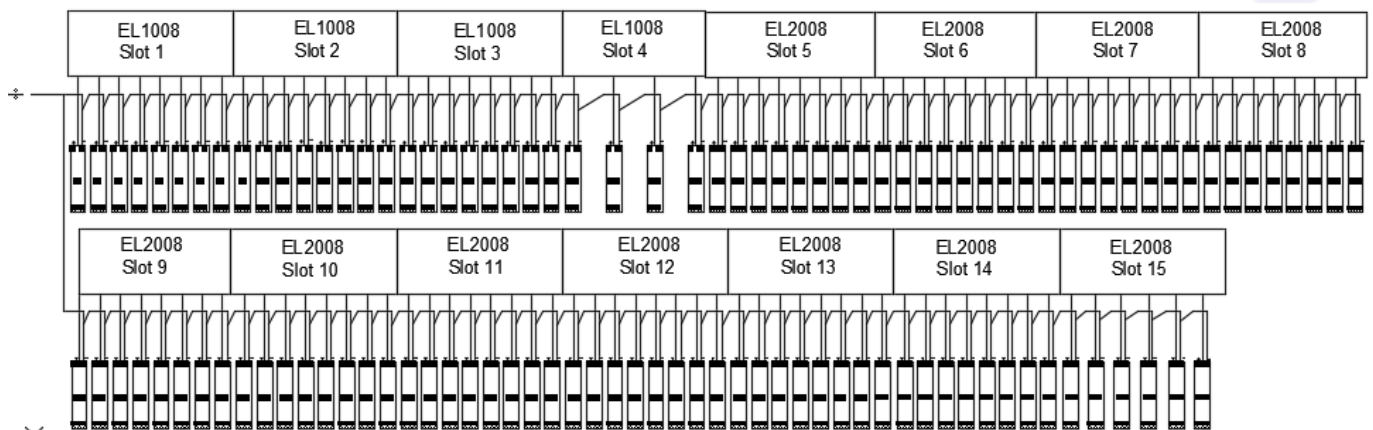


Figur 3. Oversiktsskisse.

Forklaring til figur 3: Oppe frå venstre har vi straumforsyning PULS CS3.241, den grøne ved sidan av er PLS-en, CX5140. Dei raude er inngangsmodular av typen EL1008, mens dei blå er utgangsmodular av typen EL2008. På andre rad har vi frå venstre relé for inngangane(K1-K28), ved sidan av har vi relé for dei ulike standardbetingelsane (K100-K114). På nederste rad har vi relé for utgangar(K29-K99). Tala som er vist på figur 3 er måla på modellen gjeve i millimeter.

5.2.2 Koplingsskjema for relé og PLS modular

Kraftverksimulatoren består av 15 modular. EL 1008 er inngangsmodular, medan EL2008 er utgangsmodular. Kvar modul har åtte binære tilkoplingspunkt. Sjå "val av komponentar" for meir informasjon om PLS modulane. På dei tilkoplingspunkta som er i bruk er det kopla til relé. Modulane skal koplast fysisk saman slik oversiktsskissa viser. Sjå figur 4.



Figur 4. Koplingskjema.



Figur 6. Relé for inngang.



Figur 5. Relé for utgang.

5.2.3 IO-liste

Dette er ei oversiktleg liste over alle inn- og utgangar i simulatoren. Denne fekk vi god innføring i under oppgåver knytt til PLS tidlegare i studiet.

Lista definere ein «tag» som ein ser på figur 7. Deretter skriv ein først inn namnet på funksjonsblokka, og «_» for å skilje funksjonsblokka og kallenamn for variabelen til dei ulike signala. Vi må også registrere om signalet er «inn» eller «ut» og kva spenning det er snakk om. I dette tilfellet er det snakk om «DI» som tydar digital inngang, og «input type» står det 24V som er driftspenning for denne inngangsmodulen.

Det som skaper den verkelege oversikta er at signala blir oppgjeve med plassering på modul gjeve plass frå venstre til høgre. Til dømes er «Slot 1» første modul, medan «Slot 15» blir siste modul. I tillegg blir signala merka med tilkoplingspunkt, der kvar modul har åtte tilkoplingspunkt som er tydeleg merka med tal. I IO-lista er desse tilkoplingspunkta kalla «Channel».

Tag	Comment	IO type	EtherCAT Device	Module type	Slot	Channel	NO/NC	Input type	Output type	PLC declaration
AvAnl_EffBrInn	Effektbrytar inn	DI		1 EL1008		1	1 NO	24V		xAvAnl_EffBrInn AT %I* : BOOL; (* Effektbrytar inn *)
AvAnl_EffBrUt	Effektbrytar ut	DI		1 EL1008		2	2 NO	24V		xAvAnl_EffBrUt AT %I* : BOOL; (* Effektbrytar ut *)
AvAnl_JBrInn	Jordbrytar inn	DI		1 EL1008		3	3 NO	24V		xAvAnl_JBrInn AT %I* : BOOL; (* Jordbrytar inn *)
AvAnl_JBrUt	Jordbrytar ut	DI		1 EL1008		4	4 NO	24V		xAvAnl_JBrUt AT %I* : BOOL; (* Jordbrytar ut *)
AvAnl_SkBrInn	Skillebrytar inn	DI		1 EL1008		5	5 NO	24V		xAvAnl_SkBrInn AT %I* : BOOL; (* Skillebrytar inn *)
AvAnl_SkBrUt	Skillebrytar ut	DI		1 EL1008		6	6 NO	24V		xAvAnl_SkBrUt AT %I* : BOOL; (* Skillebrytar ut *)

Figur 7. Utklipp frå IO-liste.

Denne lista som er vist i figur 7. har vi laga i Excel. Dette sidan det finst gode reknearkfunksjonar i Excel, slik at ein kan få eit eget felt som blir automatisk generert av tal/bokstavar som vi set inn i dei ulike radene i lista. I IO-lista blir «PLC declaration» automatisk generert utifrå kva vi fyller inn i dei andre felta. Kommandoene som blir danna her, kan ein kopiere direkte frå Excel og inn i TwinCAT. I TwinCAT blir desse plassert under GVL, som tyder global variabelliste. Det er i GVL ein definerer alle inn- og utgangsvariablar som fysisk skal forlate PLS-en. Fullstendig IO-liste finn ein i vedlegg 3.

5.2.4 Relé-liste

For å halde oversikt over dei ulike reléa har vi laga ei liste. Reléa er merka frå K1 til K114, der vi byrjar med inngangar og avsluttar med utgangar. Eit relé har ei tilkopling på inn- og utgangsmodulane som gjev same signal. Vi har laga eit «5.2.2 Koplingskjema for relé og PLS modular» for å vise modulane og reléa sin samanheng. Relé-lista finn ein i vedlegg 4.

5.2.5 HMI-liste

HMI-lista er relativt lik den utarbeida IO-lista, men til forskjell inneheld den ikkje inn- og utgangsvariablar. Til forskjell definerer ein i HMI-lista berre ein «tag», som er kallenamn for variablane til inn- og utgangar til funksjonsblokkene. I dette tilfellet er «tag» brukt internt i programmet mellom funksjonsblokkene, og dei ulike lampene eller brytarane på HMI skjermen. HMI-lista finn ein som vedlegg 5 til rapporten.

5.3 Funksjonsbeskriving

Det er utarbeida ei funksjonsbeskriving for kraftverksimulatoren for å gje ei skildring av funksjonane til kraftverksimulatoren. Funksjonsbeskrivinga gjev ei oversikt over programmeringsblokkene, logikk, HMI og feilsignal for dei ulike komponentane. Funksjonsbeskrivinga er utarbeidd av prosjektgruppa utifrå dokumentasjonen til Hove kraftverk og råd frå rettleiarane. Ved programmering av kraftverksimulatoren er det blitt tatt utgangspunkt i funksjonsbeskrivinga. Funksjonsbeskrivinga for kraftverksimulatoren ligg i vedlegg 6 til rapporten.

5.4 Val av komponentar

5.4.1 PLS

Oppdragsgjevar føreslo at ein kunne nytte seg av ein PLS eller ein FPGA for å simulere logikken i kraftverket. FPGA står for Field-programmable gate array. Dette er ein halvleiarkomponent som inneheld programmerbar logikk [4]. Eit eksempel på dette er ein Altera DE2 som vi har brukt i undervisninga på skulen. Den typen FPGA vi har brukt tidlegare har avgrensingar for vårt bruksområde. Eit eksempel på dette er antal inn- og utgangar. Sidan vi har gode erfaringar med bruk av PLS frå tidlegare, valde vi å gå for dette. PLS er også brukt mykje i industri, og har ferdige modular for å kople til forskjellig utstyr og sensorar.



Figur 8. Beckhoff CX5140 [27].

I utgangspunktet hadde vi valt Siemens S7-1500 som PLS, men grunna tekniske fordelar gjekk vi over til Beckhoff. Dette står meir detaljert beskrive under avsnittet for «5.5.9 Modul for måling».

Beckhoff har mange ulike PLS-ar med ulike storleikar og ytingar. Vi har ikkje veldig tunge oppgåver ved simuleringa, og difor ikkje behov for noko kraftig PLS. Vi valde å ta utgangspunkt i CX5140 (figur 8), dette på grunn av praktiske årsaker sidan høgskulen har ein slik tilgjengeleg på labben. CX5140 er ein PLS med god arbeidskapasitet og dekkjer våre behov med tanke på modulbasert tilbehør.

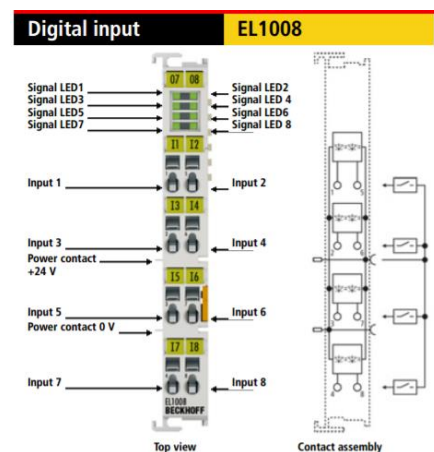
Teknisk dokumentasjon for PLS-en finn ein i databladet (vedlegg 7).

5.4.2 Inngangsmodule

EL1008 er ein digital inngangsmodule frå Beckhoff. Den har nominell spenning på 24V DC, men ein spenningsmargin på +20% og -15%. EL1xxx betyr at dette er ein digital inngangsmodule. Det siste sifferet i namnet på modulen står for antal kanalar/inngangar. I dette tilfellet har vi åtte inngangar på kvar module [5].

Vi valte denne digitale inngangsmodule sidan dette er ein av typene som blir nytta på labben på høgskulen. Grunnen til at det blei valt «EL1008» og ikkje «EL1004» som module, kjem av at denne har åtte inngangar. «EL1004» derimot har berre fire inngangar, og skapar dårlegare utnytting av plass.

Datablad for denne er lagt ved som vedlegg 8.



Figur 9. Beckhoff EL1008 [5].

5.4.3 Utgangsmodul

EL2008 er ein digital utgangsmodul frå Beckhoff. Den har nominell spenning på 24V DC, men har ein spenningsmargin på +20% og -15%. EL2xxx tyder at dette er ein digital utgangsmodul. Det siste sifferet i namnet på modulen står for antal kanalar/utgangar. I dette tilfelle har vi åtte utgangar på kvar modul [6].

Vi valte denne digitale utgangsmodulen sidan dette er ein av typane som blir nytta på labben på høgskulen. Grunnen til at det blei valt «EL2008» og ikkje «EL2004» som modul, kjem av at denne har åtte inngangar. «EL2004» derimot har berre fire inngangar, og skapar dårlegare utnytting av plass.

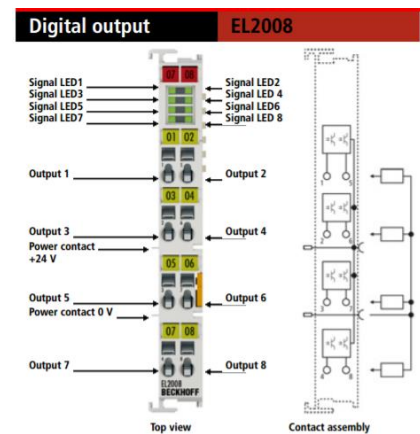
Datablad for denne er lagt ved som vedlegg 9.

5.4.4 HMI-betjeningspanel

For å betene kraftverksimulatoren treng vi ein HMI-betjenings skjerm. Vi har valt å nytte oss av ein multi-finger touchskjerm med DVI/USB frå produsenten Beckhoff, for maksimal fleksibilitet og brukarvenleik. Beckhoff CP2916-0000 er ein 15,6tommer touchskjerm med 1366 x 768 oppløysing og kraftig quad-core i7 prosessor som taklar alle oppgåver [7].

Denne skjermen skal koplast opp mot PLS-en og vise dei designa HMI fanene, samt verke som styringspanel for simulatoren. CP2916-0000 har IP65 sertifisering, bygnad av aluminium og rustfritt stål, samt uknuseleg glas som gjer den eigna til alle ytre forhold og transport med fly. Grunnen for val av denne storleiken er at det skal bli oversiktleg nok for operatøren å bruke alle funksjonane i simulatoren, samtidig som den skal være portabel. HMI fanene er kompakt designa for å støtte alle storleikar, men vil med denne storleiken auke brukarvenleiken.

Datablad for denne er lagt ved som vedlegg 10.



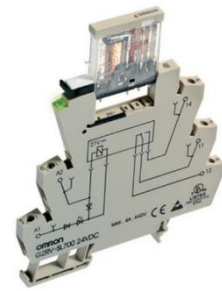
Figur 10. Beckhoff EL2008 [6].



Figur 11. Beckhoff CP2916-0000 [21].

5.4.5 Relé

Vi har valt å ta utgangspunkt i relé av typen Omron G2RV på alle inn- og utgangar. Dette er for å verne PLS-utstyret mot eventuelle overspenningar eller overharmoniske straumar. Reléet vil då fungere som eit galvanisk skilje. Gruppa hadde frå tidlegare erfaring med Omron relé, men tilsvarende relé kan veljast til dette føremålet.



Reléet består av to delar: Sokkel med tilkoplingar og sjølve reléet. Sjølve reléet kan koplast av og på sokkelen. På den måten er det enkelt å bytte ut sjølve reléet dersom det blir defekt.

Figur 12. Omron G2RV [8].

Driftsspenninga for styring av reléet er 24V DC, som er det same som PLSen opererer med. Innkopling av reléet skjer ved ein at får 24V DC over klemmene «A1» og «A2». På sekundærsida har releet NC og NO kontakt, der «11» og «12» er ein NC kontakt, og «11» og «13» er NO kontakt (figur 12). Desse endrar tilstand ved innkopla relé [8]. Ein finn utfyllande teknisk dokumentasjon i databladet (vedlegg 11).

5.4.6 Straumforsyning

Vi brukar ei ekstern straumforsyning til å forsyne PLS-en, samt inn- og utgangsmodulane for å tilfredsstille effektbehovet til komponentane. Det vart utført dimensjonering av straumforsyning, som vist i tabell 2. Maksimalt effektforbruk er berekna til å vere i underkant av 4,9 ampere. Valet fell dermed på PULS CS5.241, som kan levere 5 ampere. PULS kan erstattast av tilsvarende straumforsyning som kan levere 5A, men det er tatt eit val med tanke på oppgåva. Vi ser ikkje på det som sannsynleg at effektbehovet oppnår høgaste belastning ettersom alle reléa ikkje blir testa på same tid.



Figur 13. PULS CS5.241 [22].

Tabell 2. Utrekna straumforbruk til komponentar.

Utstyr	Antal	Forbruk i mA pr stk	Sum	Eining
PLS	1	2000	2000	mA
Relé	114	13,3	1516,2	mA
IO-moduler	15	90	1350	mA
Total forbruk i milliampere			4866,2	mA
Total forbruk i ampere			<u>4,866</u>	A

Dimensjonering av straumforsyning er vist i tabell 2. Vi tok utgangspunkt i maksimalt forbruk på «Omron G2RV» relé, PLS og inn- og utgangsmodulane som er valt i oppgåva. Datablad for denne er lagt ved som vedlegg 12

5.5 Undersøkte komponentar

5.5.1 Omicron

For å skape spenning og straum til dei ulike simuleringane i kraftverksimulatoren undersøkte vi fleire typar utstyr. På grunn av oppdragsgjevar og rettleiarar sine anbefalingar av Omicron sin kraftelektronikk, undersøkte vi deira produkt mot våre behov. Aktuelt utstyr som blei undersøkt var Omicron's CMC 256-Plus og CMC 356. Desse er i utgangspunktet relativt like. Det som skil dei er at 256-Plus er meir nøyaktig under målingar og sending av utgangssignal for straum, spenning og frekvens. Nøyaktigheit er lista opp som «error» i prosent under dokumentasjonen som kan finnast i vedlegg 13. CMC 356 er på den andre sida eit kraftigare utstyr der ein kan sende ut større effekt på utgangane på same tid. Dette såg vi som ein fordel til simulatoren då ein hadde fleksibilitet i kor stor del av anlegget som kunne testast på same tid. CMC 356 sine effektfordelar visast under «power» i databladet som ligg som vedlegg 14.

Erfaringane med Omicron sin kraftelektronikk var frå arbeidsgjevaren si side gode. Under tidlegare testar av kraftstasjonane har leverandøren av anlegget stilt med Omicron for å teste blant anna generatorvern, som beskyttar generatoren ved ein eventuell feilsituasjon. Dette har vist seg å fungere svært tilfredsstillande grunna si pålitelegheit og nøyaktigheit. Av denne grunn var dette eit av dei store ynskja frå oppdragsgjevar, å kunne implementere Omicron sitt utstyr i kraftverksimulatoren. Implementeringa er sett på i prosjekteringsfasen, men andre alternativ er undersøkt grunna Omicron sin høge pris, og at vi ville sjå på om dette faktisk var den beste løysinga.



Figur 14. Omicron CMC 356 [9].

Kraftelektronikk frå produsenten Omicron er utvikla for å teste utstyr i kraftindustrien. Funksjonaliteten i desse er å sende ut frekvensar, straumar og spenningar for kontrollere at komponentar fungera på rett måte. Utstyret kan og foreta kalibrerte målingar, og alt kan kontrollerast og registrerast ved bruk av tilkopla datamaskin. CMC 356 har mange inn og utgangar som gjer det fleksibelt under små og store testar, og justeringsmogelegheitene er «uendelege». Rett

og slett eit komplett testutstyr. Ei av utfordringane med å bruke Omicron var å få dette til å reagere på styresignala vi gjev ut frå PLS-modulen. Dette såg vi som mogeleg å få til, med bruk av Omicron's eige kommunikasjonsgrensesnitt CM Engine. Dette er forklart under punktet «5.5.2 CM Engine».

Som ein kan lese av undersøkingane lenger nede i rapporten, var det ingen av dei undersøkte løysingane som kunne måle seg med Omicron CMC 356. Dette er eit komplett testutstyr som kan brukast både uavhengig og saman med kraftverksimulatoren. Frekvens, spenning, og straum kan med stor nøyaktigheit og i rett storleik sendast kontrollert til kontrollanlegget ein testar. Dette gjerast for å verifisere at handlingane til kontrollanlegget fungera på rett måte. Utstyret er svært kostbart, men er etter våre vurderingar det einaste som underbyggjer kvaliteten i testinga som vi krev. Omicron er eit ferdig produkt som er samansett av komponentar rett for føremålet, og er samtidig kalibrert for å gje nøyaktige målingar, som skapt for vårt føremål.

Vårt alternativ var at mange ulike komponentar skulle setjast saman til å fungere på same måte som CMC 356. Dette hadde sin fordel med at komponentar best eigna til sin spesielle funksjon kunne veljast og at dette var eit rimelegare alternativ. Ulempa var på den andre sida større med problema for å få desse til å «snakke saman», på ein måte som gav stabile simuleringar. Dette kom til å krevje store tidsressursar og ville framleis ikkje nå opp til kvaliteten og nøyaktigheita på Omicron CMC 356. Utan at vi sjølv fekk prøvd ut utstyret er vi etter samtale med oppdragsgjevar og rettleiar Nils sikker på at dette fungera perfekt til våre intensjonar.

5.5.2 CM Engine

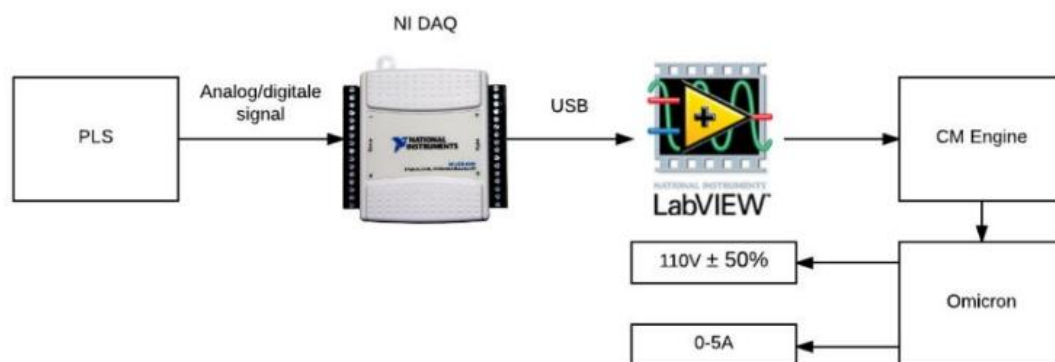
CM Engine, forkorta CME er ein software til PC som brukast til å styre ulike Omicron produkt som nemnd over. Dette er Omicron sitt eigenproduserte kommunikasjonsgrensesnitt. Softwaren er laga til for å kunne fungere på Windows 7, Vista og XP. CME tillèt brukarar å lage sine egne program til å for eksempel teste vern til kraftnettet. Eit av programmeringsspråka ein kan bruke til å skrive i CME er C++. LabVIEW kan også nyttast.

LabVIEW og DAQ som er vist på figur 15, produkt frå National Instruments. LabVIEW er eit programvareverktøy som nyttast av personar som jobbar med utvikling for å skape ulike styrings- og målingsprogram, som koplast til den fysiske komponenten DAQ. Dette er ein dataloggar som samlar inn ulike måleverdiar frå blant anna sensorar. I dette tilfelle vil det vere signal frå PLS-en, om ulike endringar som er ønskeleg å utføre med Omicron [10]. Grunnen til at vi valde å lage skisse for LabVIEW og DAQ, og ikkje C++ er at vi har erfaring med desse produkta til National Instruments frå tidlegare emne.

Ved hjelp av CM Engine kan ein styre spenning, straum og justerere sinuskurva som blir gjevne ut med Omicron utstyret.

Vi såg føre oss å kunne lage eit grensesnitt mellom CME og PLS, slik at ein frå programmet i PLS og HMI kan endre den aktuelle spenninga ut. Dette blei ikkje realisert då dette vart kostbart, og avgrensing av oppgåva førte til at Omicron blei utelukka.

Det er laga ei skisse for å illustrere korleis dette skal fungere. Skissa kan ein sjå på figur 15.



Figur 15. Forslag til grensesnitt for PLS til Omicron.

5.5.3 GOOSE, IEC 61850

GOOSE står for Generic Object Oriented Substation Event, og følger den internasjonale standarden for transformatorstasjonar «IEC 61850». I transformatorstasjonar kan ein bruke denne protokollen for å kunne integrere vern, måling, styring og overvåkingsfunksjonar. I tillegg skal den sørge for hurtige vern funksjonar. GOOSE kommunikasjonen går over Ethernet [11].

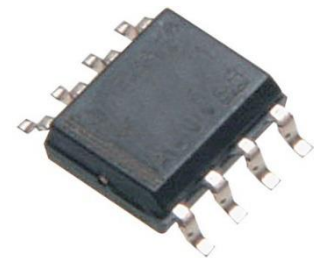
Dette grensesnittet såg vi på som ei mogleg løysning mellom Omicron og PLS, sidan Omicron støttar denne standarden. Vi har ikkje studert nøye på korleis ein kan løyse denne kommunikasjonen, sidan vi ikkje hadde tilgang på Omicron utstyr.

5.5.4 Simulering PT100 element

Eit PT100 element er eit platina som linjert endrar motstand ved temperaturendringar. For å finne temperaturen måler vi motstanden som vi deretter regner om til grader celsius. Eit PT100 element har som namnet tilseier ein resistans på 100Ω ved 0°C. Dette er den mest brukte standarden innan industri, men ein har også typane PT500, PT1000 og andre typar [12].

I eit kraftverk er det nødvendig å ha informasjon om kva temperaturen er på forskjellige komponentar og væsker, slik at ein til dømes kan stenge ned aggregatet om ein får kritisk temperatur i eit lager.

Ein PLS har som regel inngangsmo­du­lar som kan lese PT100 signal, men ikkje mo­du­lar som kan simulere desse. Difor måtte vi finne ein måte å lage ein resistans som vi kunne regulere via ein PLS. Etter litt søking på internett kom vi fram til eit digitalt potensiometer frå leverandøren Analog Devices.

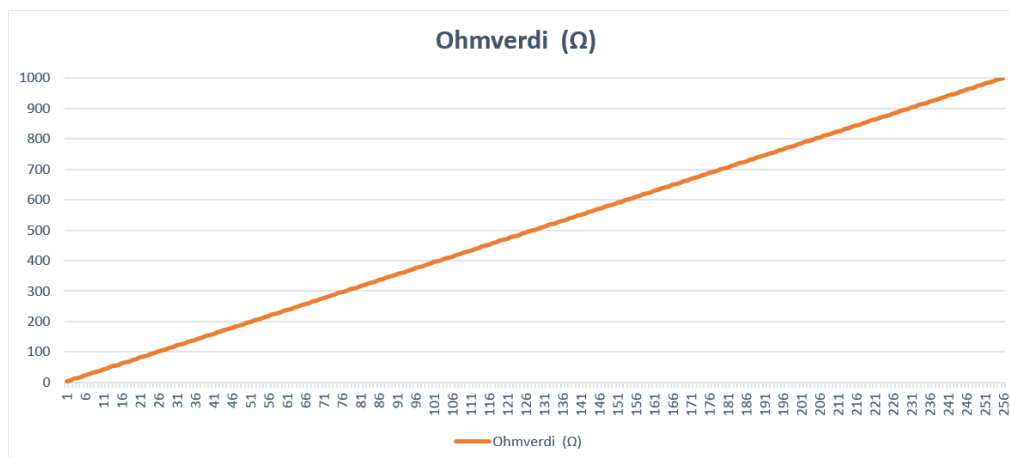


Komponentserien heiter AD8400 og kjem i ulike versjonar med forskjellig antal utgangar, motstandar og oppløysing [13].

Komponenten vi valde har typenamn AD8400ARZ1. Denne var lagervare hos Elfa Distrelec, ein nettbutikk for elektronikk som skulen nyttar. Den har ein kanal på 1kΩ. Antal trinn på denne er 256 steg. Om ein då delar 1kΩ på 256 steg får ein at kvart steg er om lag 3,9Ω. I figur 17. ser ein at ohm-verdien går linjert frå 3,9 Ω til 1kΩ.

Figur 16. Digitalt potensiometer [13].

Datablad for denne er lagt ved som vedlegg 15.



Figur 17. Diagram for PT100 sin endring av ohm-verdi.

Potensiometeret brukar ein kommunikasjon som vert kalla «Serial Peripheral Interface Bus», forkorta SPI. I første forsøk på å teste ut komponenten brukte vi eit ferdig program for Arduino [14]. Etter mindre modifikasjonar fungerte det som ønska, og vi ville undersøke om dette også var mogeleg å få til via PLS.

Vi har undersøkt forskjellige leverandører av PLS, og ingen av disse støtta SPI kommunikasjon. Sidan Beckhoff heller ikkje har noko innebygd SPI kommunikasjonsbibliotek laga vi ein forenkla funksjonsblokk for SPI kommunikasjon som kunne kommunisere med potensiometeret. Dette fungerte som ønska. Vedlagt programmeringskode for potensiometeret finn ein i vedlegg 16.

Potensiometeret AD8400 opererer på 5V, medan PLS-en har 24V som driftspenning. Etter litt undersøking av produkta som Beckhoff har som tilbehør for PLS, fann vi ein digital

utgangsmodule som leverer 5V. På grunn av denne modulen slepp ein spenningsavgrensande motstand mellom PLS og potensiometeret. Denne vert kalla EL2124, og er vist på figur 18. Modulen har fire utgangar, medan SPI kommunikasjon som nemnd tidlegare brukar tre.

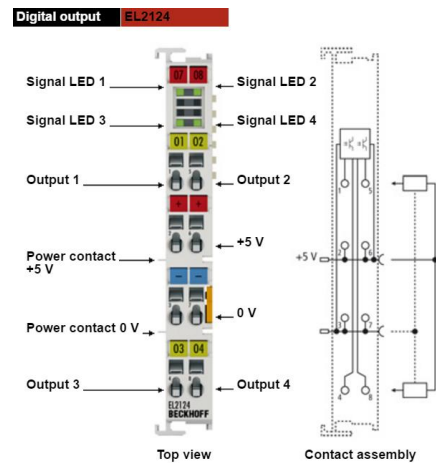
I byrjinga av prosjektperioden hadde vi planar om å simulere analoge temperatursignal. Etter at ein såg funksjonsplan frå Hove kraftverk, trengde vi berre å simulere digitale signal på forvarsel og kritiske temperaturar, ikkje sjølve temperaturen.

5.5.5 Skaping av trefase

Då vi undersøkte alternative løysingar for Omicron, såg vi på mogelegheita å kunne bruke frekvensomformar for å skape trefasespenning. Frekvensomformar inneheld elektronikk som gjer at ein kan kople til ein standard einfase 230V stikkontakt i veggen, og frekvensomformaren danner trefase 230V. Vi tenkte i desse baner då ein 230V «vanlig» eurostikkontakt er standardisert, og finnast nesten over alt. Då testinga ikkje har behov for direktekople trefaseuttak grunna lave effektbehov, ser ein det som ein fordel å unngå uttak med trefase som er meir sjeldan å finne.

Vi tolka oppgåva slik at vi skulle danne «generator» og «nett», der begge deler skulle vere trefase. «Nett» skulle vere låst på 110V AC og 50Hz, medan «generator» skulle kunne regulere spenning og frekvens for å justerer seg lik «nett». Når spenning, frekvens og tidsperioden på sinussignalet er lik, kan kontrollanlegget foreta ei innkopling av effektbrytaren. Då effektbrytaren er innkopla er «generator» og «nett» knytt saman. Prosessen før innkopling av effektbrytar blir kalla «synkronisering».

Grunnlaget for funksjonen var at vi kunne teste kontrollanlegget sin evne til å justere spenning og frekvens lik kvarandre. Sidan den alternative løysinga på «generator» vart lagt vekk, konkluderte vi med at vi skulle halde oss til Omicron. Dette sidan ei alternativ løysning etter vårt syn ikkje blei

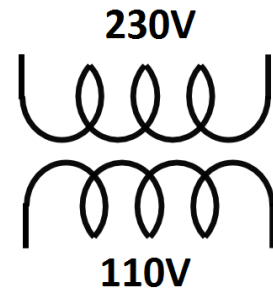


Figur 18. Beckhoff EL2124 [29].

nøyaktig nok. Vårt studie om alternativ til «generator», er meir beskrevet under «5.5.7 Effektregulator».

5.5.6 Transformator

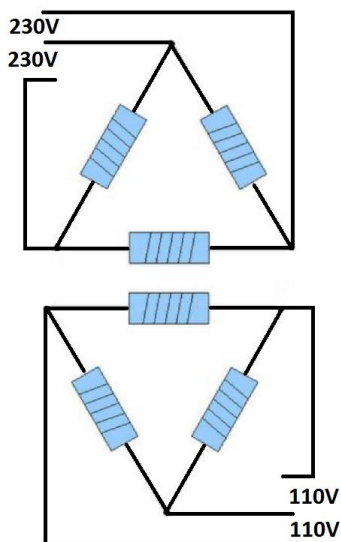
Val av transformator blei undersøkt i samanheng med å finne eigna utstyr til ei fast AC-spenning som simulerer «nett» si spenning. Vi gjorde undersøkingar for ei trefase 230V til 110V AC-transformering. Vi fann mange alternativ som hadde høg vekt, og storleik som ikkje eigna seg av det kriteriet.



Så vi såg difor på enkle einfase transformatorar slik som figur 19, og fann ut at vi kunne kople saman 3.stk av denne typen. Dette for å kunne bruke dei som ein trefase-transformator. Difor valde vi å kople saman primær- og sekundærsida slik som figur 20 viser.

Figur 19. Einfase transformator.

Skaping av trefase hadde fungert heilt ideelt på «nettdelen» av simulatoren. Løysninga i forhold til «generator» delen av simulator gjorde at vi valde å halde oss til Omicron som løysing, uavhengig av løysing på «nettsida».



Figur 20. Trekant - trekant kopla transformator

5.5.7 Effektregulator

Vi såg i byrjinga på ulike effektregulatorar for å kunne erstatte Omicron sin «generator» funksjon for justering av spenning.

Vi såg på ulike trefase effektregulatorar, men dei fleste av dei var veldig grove og berekna for industri. Dette førte til at dei fleste effektregulatorane hadde krav om ei minimum belastning som var ufornuftig høg til vårt bruk.

Det som var bra med trefase effektregulatorane var at dei kunne justerast med 4-20mA, som er standard for analogstyring ved PLS. Det produktet vi var mest fornøgd med gitt våre søkepreferanser, 4-20mA og lav minimumbelastning, var PAC35 frå produsenten Pettersen. Teknisk dokumentasjon for PAC35 finn ein i databladet (vedlegg 17).



Figur 21. Pettersen PAC35 [23].

Ein anna løysing vi såg på var å bruke 3 stk. einfasa effektregulatorar frå produsenten United Automation LTD, som vist på figur 22. Desse hadde ei låg minste belastning, med ein låg pris og var lagervare på nettsida Elfa Distrelec som skulen nyttar til innkjøp. Ved hjelp av dei kan ein regulere spenninga ved å endre motstanden på den regulerbare motstanden som ein har kopla mellom «1» og «2» som vist på figur 22. Vi tenkte å bruke motstandsreguleringa frå PT100 prinsippet som vi har laga til, slik at vi kunne justere motstanden frå PLS. Desse effektregulatorane bestilte vi inn, og kopla opp for testing. Koplingskjema for effektregulatoren finn ein i databladet (vedlegg 18).



Figur 22. Effektregulator 604B [24].

Då vi testa einfase effektregulatorane fekk vi under testinga erfare at dei ikkje var presise nok, og i tillegg ganske ustabile. Dei einfasa effektregulatorane gjekk vi dermed vekk ifrå. Effektregulatoren PAC35 er vårt beste alternativ til effektregulator, då eigenskapane ser ut til å passe vårt bruksområde. Ved å ha ein frekvensomformar fram føre utstyret kunne ein få laga til trefase, og regulere frekvensen som var den andre parameteren som vi skulle justere i tillegg til spenninga. Då vi studerte desse nærmare la vi merke til at effektregulatorar berre fungerer på 50- og 60hz. Ved å ha frekvensomformar framfor kan det resultere i 0 til 200hz frekvens inn på effektregulatoren. Konklusjonen vart av effektregulator er utelukka, sidan det ikkje ville fungere saman med frekvensomformar. Vi bestemte oss for at vi skulle halde oss til Omicron som løysning for den simulerte «generator» funksjonen.

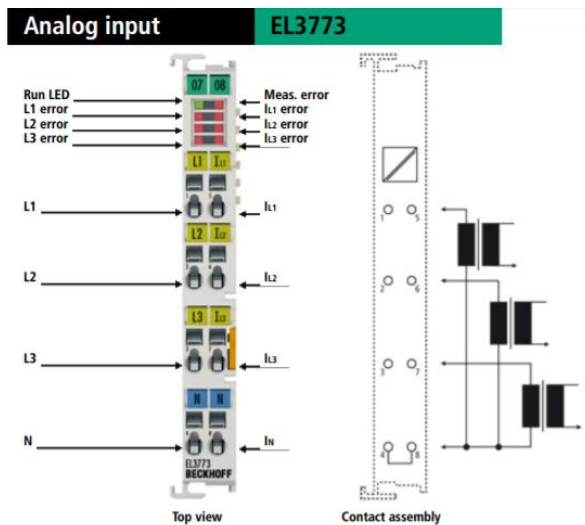
5.5.8 Autotransformator

Under arbeidet med å undersøke aktuelle løysingar for «generatorsida» av simulatoren såg vi på å kunne bruke ein regulerbar straumtrafo til å regulere straum og spenning. Etter å ha tatt kontakt med Noratel Norge, fekk vi tilsendt datablad for regulerbare transformatorar, også kalla motorstyrte variacs, frå produsenten Belotti Variatori. Du kan sjå desse i vedlegg 19. Tilsvarende løysing frå andre produsentar kunne og ha vore nytta. Desse transformatorane kan regulerast ved hjelp av PLS med ein 0-10V analog utgang. Dette verka som ei stabil og trygg løysing. Problemet med autotransformatoren var at reguleringa skjedde for langsamt, det ville dermed bli vanskeleg å få utstyret til å regulere seg ilag med raskare utstyr. Ein av grunnane til at dette blei eit forkasta forslag var vekta. Ettersom simulatoren skal være mobil må vekta og være lav, noko som ikkje var mogeleg å oppnå då sjølv dei minste autotransformatorane var for store for vårt bruksområde.



Figur 23. Belotti autotransformator [vedlegg 19].

5.5.9 Modul for måling



Figur 24. Beckhoff EL3773 [15].

Dette er ein analog inngangsmodule frå PLS produsenten Beckhoff, som vi såg på som ein løysing for vårt behov for måling av DC-spenning. Denne har evna til å måle både AC- og DC-spenning, i tillegg til straum. Sidan vi hadde tatt utgangspunkt i Siemens prøvde vi å finne noko tilsvarande, men vi kunne ikkje finne noko tilsvarande Siemens produkt. Vi fekk bekrefta frå Siemens si kundestøtte at dei ikkje hadde tilsvarande produkt. Heller ikkje andre PLS produsentar har denne typen modul, etter det vi kunne finne. Valde difor å gå over til Beckhoff-PLS. Planen i prosjektet var å bruke denne DC-målinga (likespenning), i forbindelse med at kontrollanlegget ønskte meir/mindre magnetisering av generator [15]. Meir teknisk informasjon finn ein i databladet (vedlegg 20).

Sidan vi føretok endringar i prosjektet, blir ikkje modulen brukt til vår simulering, men utstyret er veldig aktuelt for ei utviding av oppgåva.

6 Programmering

6.1 Programvare

For å simulere logikken til simulatoren valde vi å bruke PLS, den som vart aktuell for oss var ein frå produsenten Beckhoff. Grunnlaget for valet finn ein under «5.4.1 PLS». Programmeringsplattforma som blir nytta til å kode logikken, og overføre den til PLS-en heiter TwinCAT. Vi har brukt versjonen 3.1, sidan det er den siste versjonen. Studentane ved HVL – Campus Førde har god kjennskap til Beckhoff og TwinCAT då desse inngår i emnet «Prosesstyring».

6.2 Programmeringsspråk

Til å kode i TwinCAT har vi nytta to ulike språk innanfor programmering. Vi har nytta «funksjonsblokker» til å gjenspegle dei ulike komponentane, og knytt dei saman i eit utvida funksjonsblokkdiagram. Her ser ein ser tydeleg kva komponentar som er avhengig av dei ulike funksjonane frå dei andre komponentane. Inne i funksjonsblokkene har vi brukt «strukturert tekst» for å uttrykke logikken for kvar enkelt komponent.

6.2.1 Funksjonsblokk, FB

Ei funksjonsblokk kan samanliknast med ein elektronisk krins. Ein byggjer opp blokka som ein komponent med inn- og utgangar, der ein har logikk for samanhangen mellom desse. Når ein først har laga funksjonsblokka kan ein bruke denne som ein ferdig mal, og kan brukast fleire gangar i hovudprogrammet.

```
1 FUNCTION_BLOCK FB_Rotloft
2 VAR_INPUT
3     // Eksterne variablar inn
4     inStart      : BOOL;    (* Rotorløft start *)
5     inStopp      : BOOL;    (* Rotorløft stopp *)
6
7     // HMI variablar inn
8     inDriftsklar : BOOL;    (* HMI: Rotorløftpumpe driftsklar *)
9     inRotorSenk  : BOOL;    (* HMI: Senking av rotor *)
10    inIgnStartStopp : BOOL;  (* HMI: Ignorer start/stopp *)
11 END_VAR
12 VAR_OUTPUT
13     // Eksterne variablar ut
14     outDriftsklar : BOOL;    (* Rotorløftpumpe driftsklar *)
15     outPa         : BOOL;    (* Rotorløft på *)
16     outLoftet    : BOOL;    (* Rotor løftet *)
17 END_VAR
18 VAR
19     // Interne variablar
20     DelayOn       : TON;      (* På timer *)
21     DelayOff      : TOF;      (* Av timer *)
22     Loftetid     : TIME := T#5S; (* Tid er tar for rotor er loftet *)
23     Senketid     : TIME := T#5S; (* Tid er tar for rotor er senket *)
24     Senk         : BOOL;     (* Hjelpe variabel *)
25 END_VAR
```

Figur 25. Eksempel på deklarerer av funksjonsblokk.

Figur 25 viser eit døme på korleis vi definera variablar for ei funksjonsblokk. I dømet ser ein at variablar er delt opp i tre kategoriar: «VAR_INPUT» som definera inngangsvariablar som funksjonsblokka hentar inn. «VAR_OUTPUT» definera utgangsvariablar som blir sendt ut av funksjonsblokka, medan «VAR» er interne variablar som berre blir brukt i funksjonsblokka, og har ikkje noko kommunikasjon inn eller ut. Når ein deklarerer ein variabel må ein gje variabelen eit namn, og fylle inn kva type det er. Døme på variabeltype kan vere «BOOL» som er ein i logikkvariabel. Den har tilstand på «TRUE» eller «FALSE» som på norsk betyr sann/usann. Ein kan også førehandsbestemme startverdien for variablane. Ein legg også til kommentarar om kva dei forskjellige variablane betyr.

6.2.2 Strukturert tekst, ST

Programmeringsspråket strukturert tekst er som det ligg i namnet, ein tekstbasert programmeringsmetode. Den er basert på IEC 61131-3 standarden, som er ein standard for programmeringsspråk innan industriell automasjon. Fordelen med at programmeringsverktøy brukar lik standard er at ein sparar tid ved at det ikkje er behov for å lære seg mange

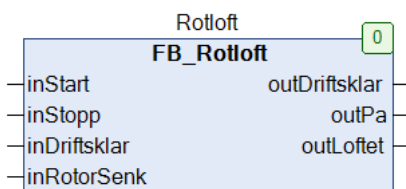
```
1 outDriftsklar := inDriftsklar;
2 DelayOn(IN:=outPa , PT:=Loftetid , Q=> , ET=> );
3 DelayOff(IN:=Senk , PT:=Senketid , Q=> , ET=> );
4
5 IF inStopp AND NOT inIgnStartStopp THEN
6   outPa := FALSE;
7 ELSIF inStart AND outDriftsklar AND NOT inIgnStartStopp THEN
8   outPa := TRUE;
9 END_IF
10
11 IF DelayOn.Q THEN
12   OutLoftet := TRUE;
13 ELSIF NOT DelayOff.Q THEN
14   outLoftet := FALSE;
15   Senk := TRUE;
16 END_IF
17
18 IF inRotorSenk THEN
19   Senk := FALSE;
20 END_IF
```

Figur 26. Eksempel på kode i strukturert tekst.

ulike måtar å programmere på. Ein skal også i teorien kunne kopiere koden direkte frå ein PLS-leverandør til ein annan. Dette programmeringsspråket inneheld blant anna dei viktige kommandoane som if-then-else, case, for og while [16]. Døme på slik programmering ser ein på figur 26, det er ved hjelp av desse kommandoane ein skaper logikken som PLS-en nyttar.

6.2.3 Utvida funksjonsblokkdiagram, CFC

Utvida funksjonsblokkdiagram, som på engelsk heiter «Continuous Function Chart». Derav forkortinga CFC. Dette er ein grafisk måte å programmere på, der ein legg inn blokkar og koplar desse saman.



Figur 27. Døme på ei funksjonsblokk som ligg i CFC.

6.3 Programmeringsstruktur

Vi har delt litt på å programmere dei forskjellige funksjonsblokkane. Dei forskjellige blokkene vi har programmert ser ein i figur 28. Ein kan lese meir om korleis desse skal fungere i funksjonsbeskrivinga som ligg i vedlegg 6.

Det er to blokker som ikkje er beskriver i funksjonsbeskrivinga. Desse er «Klokke» og «Ramping».

- FB_AvAnl (FB)
- FB_BetDrift (FB)
- FB_BetFrakopl (FB)
- FB_BetHStopp (FB)
- FB_BetNStopp (FB)
- FB_BetNStyring (FB)
- FB_BetStartDrift (FB)
- FB_BetUtkEffBr (FB)
- FB_Brems (FB)
- FB_Klokke (FB)
- FB_FastStartBet (FB)
- FB_Gen (FB)
- FB_KjolSys (FB)
- FB_MagBet (FB)
- FB_MagKom (FB)
- FB_Ramping (FB)
- FB_Rotloft (FB)
- FB_StartBet (FB)
- FB_StoppBet (FB)
- FB_Tilegg (FB)
- FB_TomgStartMSpgBet (FB)
- FB_TReg (FB)
- FB_UReg (FB)

Figur 28. Liste over funksjonsblokker.

Klokkefunksjonen sender ut ein puls kvart sekund. Det klokkefunksjonen gjer, er at den sender ut ein puls kvart sekund til andre funksjonsblokker som er avhengig av tid. Poenget med denne blokka er at ein kan justere hastigheita på simuleringa.

Rampefunksjonen fungerer slik at eit set kva verdi ein ønskjer og kor lang tid den skal bruke for å nå denne. Om ein då ser på eksempelet «FB_Ventilsys» som blir brukt av inntaksluka og hovudventil, ser ein at ventilen har ein verdi på 0-100%. Deretter set ein ynskja opningstid. Rampefunksjonen reknar då om kor mange % han skal opne kvart sekund. Om ein då regulerer opp pulsane i klokkefunksjonen, vil ventilen opne kjappare.

Programmeringskode knytt til «Kraftverksimulatoren», er lagt ved i vedlegg 21.

6.3.1 Global Variable List, GVL

«Global Variable List», forkorta GVL er ei liste der ein deklarerer globale variablar. Det som er meininga med ein global variabel er at den vil vere tilgjengeleg i heile programmet. Fordelen med det er at både HMI og PLS programmet kan lese og skrive desse variablane. Ein bør på ei anna side tenkje på om ein ønsker at desse skal vere synlege for heile programmet. Vi har valt å legge alle variablar frå IO-lista og HMI-tags i GVL lista [17].

6.4 HMI

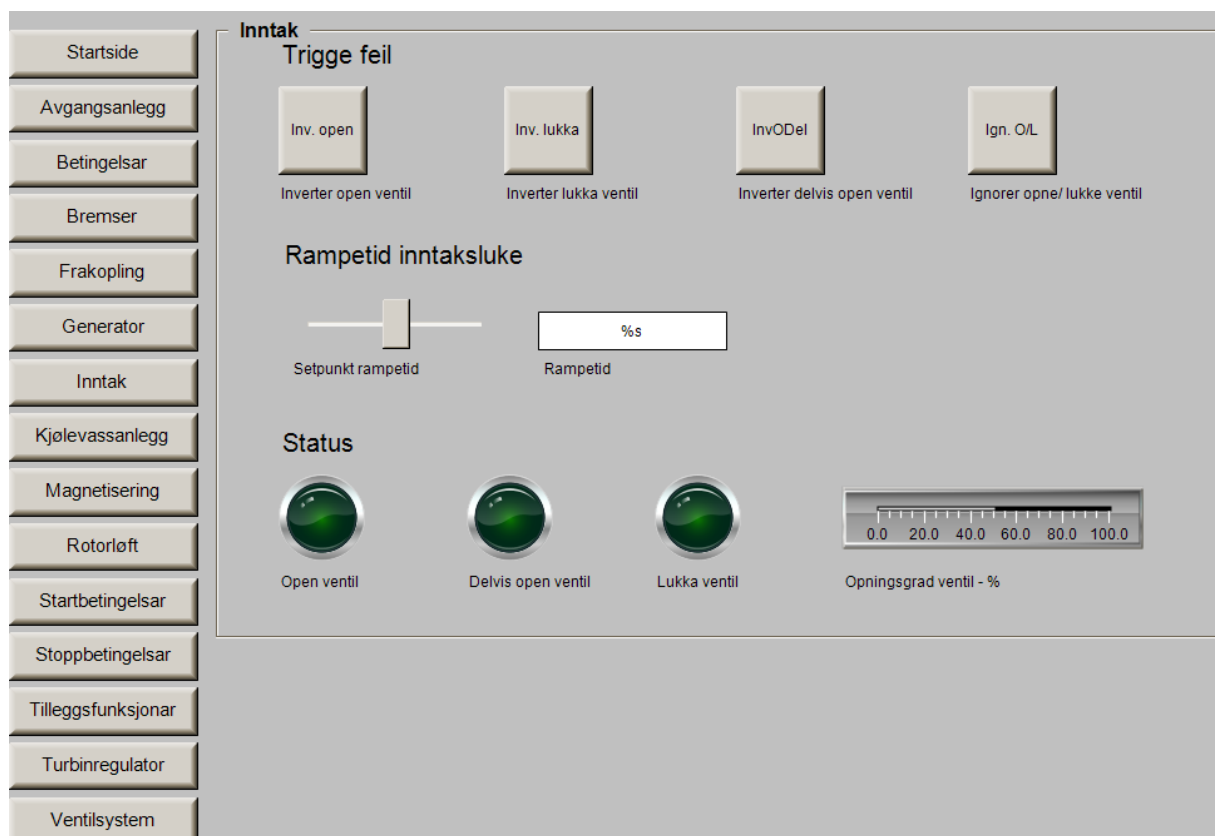
Eit HMI eller menneskje-maskin grensesnitt på norsk, er grensesnittet mellom operatøren og kraftverksimulatoren. HMI viser ei grafisk oversikt over simulatoren og gjev operatøren mogelegheit til å overvake dei ulike sekvensane i kraftverket, samt trigge feil på komponentane. I dei ulike fanene i HMI-panelet kan ein få presentert verdiar om blant anna generatoryting i MVA, temperatur i bærelager og posisjon på ledeapparatet. Prosessar i kraftverksimulatoren kan og påverkast med til dømes å endre setpunktet til ønskja turtal på turbinen, endre rampetida til inntaksluka eller sette feil på synkroniseringsinstrumentet, slik at ein ikkje kan slå inn effektbrytaren mot linjenettet.

HMI-panelet er designa i Beckhoff sitt tileigna PLS-program, TwinCAT. Funksjonen ein designar i heiter «visualization» og har eit bibliotek med ferdige boksar, knappar, lys og instrument. Programmet gjer det oversiktleig og enkelt å lage funksjonar som stemmer overeins med det som er programmert. Ettersom funksjonane til kraftverksimulatoren og er programmert i TwinCAT, kan programmering og HMI-design føregå separat og koplast saman etterpå ved hjelp av variablar.

Utgangspunktet for arbeidet med den grafiske betjenings- og overvakingsskjermen har vore funksjonsbeskrivinga som er laga med utgangspunkt i Hove kraftverk. Utifrå dei planlagde funksjonsblokkene er nødvendige brytarar, indikasjonar, og visningar beskrive her. Under arbeidet

med HMI til simulatoren har det vore fokus på brukarvenleik. God oversikt over prosessane i dei ulike delane av anlegget, at det skal være forståeleg for brukargruppa, samt eit profesjonelt uttrykk har vore viktige haldepunkt for arbeidet. Grunngevinga for vala som er gjort er henta frå fagbok om HMI, samt god rettleiing frå Johannes, som har mykje erfaring med utarbeiding av slike grensesnitt.

Boka «The High Performance HMI Handbook» har vore ei viktig kjelde i arbeidet. Handboka set fokus på korleis HMI skal utformast for å passe brukarane på best måte, med naturleg oppsett utifrå korleis hjernen oppfattar og tenkjer [18]. Distraksjonslaust miljø og minimalt med avbrot frå hovudoppgåva til operatøren under testprosedyra er viktig, samtidig som skjermen er designa for effektivitet i normale og unormale testsituasjonar. Biletet skal være standardisert, intuitivt, rett fram enkelt og krevje få tastetrykk for å kome fram til funksjon. Skjerm skal lagast som informasjon i form av lampe for indikasjon når funksjon ligg inne eller ein «bar» for å vise grad av yting, heller enn berre nummer på skjermen. Grafikk skal ikkje innehalde unødvendige detaljar og fargar. Ein brukar grå bakgrunn for å minimere gjenspeglings og for å få ei lav-kontrast framstilling og fargar til å framheve viktige funksjonar eller kritiske feil. Døme på HMI-fane ser du under figur 29.



Figur 29. HMI-fane av inntaket i kraftverksimulatoren.

Dei ulike «fanene» på HMI-panelet er utforma etter eit bestemt mønster for at det skal verke naturleg for operatørane. «Fanene» måtte og designast i eit kompakt format for å kunne passe alle

storleikar på betenings skjermen. Alle funksjonane er sett i eit tenkt rutenett for å skape eit oversiktleg system. Alle funksjonar på HMI panelet med, unntak av indikasjonslys henta frå «visualization» biblioteket, er alt prega av kvadratiske eller rektangulære former. Dette fordi det skapar eit oversiktleg og ryddig inntrykk for brukarane av panelet. Det designa panelet har grå bakgrunnsfarge, ellers lite bruk av fargar og krev maksimalt 2 trykk for å aktivere ønskja funksjon. Fanene har visningar for aktiverte funksjonar med enten lys eller grafar som går frå låg til høg, orientert frå venstre til høgre. Alt dette for å underbyggje kva teorien seier om best utforming. Alle HMI-fanene til simulatoren er lagt ved rapporten i vedlegg 22.

6.5 Testing

Vi har undervegs testa dei ulike funksjonsblokkene medan vi utarbeida desse. Då vi hadde laga alle dei ulike funksjonsblokkene, kopla ein dei saman i CFC struktur. Slik fekk vi testa samspelet mellom dei, for å luke vekk uønskete hendingar. Under testing av samspel hadde vi også knytt inn- og utgang til HMI for ei oversiktleg overvaking av endringane. Til slutt manipulerte ein inngangsignala ein skal få frå kontrollanlegget, for å sjå korleis dette føregjekk. Vi konkluderte med at testresultatet var bra, på den måten at det fungerte som ønskja.

Ideelt sett burde vi køyre ein komplett test det vi testar kvar enkelt del fullstendig. Det blir for tidskrevjande å teste alle komponentar, så difor har vi valt og ta ein komplett test på ein tilfeldig komponent, ei stikkprøve. Testrapporten for den komponenten ligg som vedlegg 23.

7 Måloppnåing

I forprosjektperioden utarbeidde gruppa hovudmål og delmål for prosjektet. Måla er laga utifrå retningslinjer frå Høgskulen på Vestlandet og ønskje frå oppdragsgjevar. Måla blei sett etter drøfting i prosjektgruppa, og etter innspel frå styringsgruppa. Kva grad måla er oppnådd er presentert systematisk under.

7.1 Hovudmål

"Prosjektere ein kraftverksimulator som simulerer ved hjelp av PLS."

Hovudmålet er det vi har jobba mot undervegs i heile prosjektperioden. Målet blei dekt av delmåla som er presentert under.

7.2 Delmål

- *"Utarbeide og få godkjend prosjektbeskriving, forprosjektrapport og hovudrapport."*

Dette er gjennomført. Det gjenstår å laste opp hovudrapporten på nettstaden «WISEflow».

- *"Opprette heimeside, samt halde den oppdatert."*

Heimeside blei oppretta i forprosjektperioden. Den er blitt oppdatert kvar veke i prosjektperioden.

- *"Utarbeide budsjett, risikoanalyse og Gantt-diagram."*

Det er laga budsjett for sjølve gjennomføringa av prosjektet og eit prisoverslag for kraftverksimulatoren. Risikoanalyse og Gantt-diagram er også utarbeid.

- *"Finne forslag til kraftelektronikk som kan nyttast ved testing av dei logiske funksjonane i kontrollanlegget."*

Det er lagt fram eit forslag til kraftelektronikk, vi har undersøkt ulike løysningar før valet vart Omicron. Etter møte i styringsgruppa, vart vi einige om å utelukka Omicron frå prosjektet. Omicron kom utanfor prosjektet sine rammer, men er veldig aktuell ved vidareføring av prosjektet. Dette er dokumentert under "tekniske løysingar".

- *"Lage ein funksjonsbeskrivelse for kraftverksimulatoren sine funksjonar og grensesnitt."*

Funksjonsbeskrivinga er laga utifrå dokumentasjon av Hove kraftverk. Styringsgruppa kom med ønskje og tips til funksjonsbeskrivinga. Dette blei tatt hensyn til.

- *"Programmering av software."*

Dette er gjennomført. Ved programmering av SW blei det tatt utgangspunkt i funksjonsbeskrivinga.

- *"Utarbeide pressemelding og plakat."*

Pressemelding er levert til prosjektansvarleg, Joar Sande. Plakat er laga og klar for å bli hengt opp.

- *"Presentere det teoretiske arbeidet og berekningar som er utført."*

Prosjektet skal framførast 23.mai. Vi vil då fortelje om kva løysingar vi komen fram til, demonstrere SW og HMI og fortelje litt om korleis vi har arbeidd.

- *"Gjennomføre prosjektet i samsvar med framdriftsplan og budsjett."*

Eit stykke ut i prosjektperioden blei det sett nye rammer for prosjektet. Dette førte til at vi kom litt bakpå i forhold til framdriftsplanen. Vi er likevel komen i mål med alle delane av oppgåva. Budsjettet har vi derimot overstige grunna transportutgifter som oppstod i tilknytning til eit møte i Sogndal.

- *"God dokumentering av alle prosjektfasane."*

Undervegs i arbeidet har det vore kvar enkelt sitt ansvar å dokumentere det ein har arbeidd med. Sidan vi har nytta oss av OneDrive har alle gruppemedlemmane hatt tilgang til all dokumentasjon. Dette har letta arbeidet med rapporten. I tillegg har vi dagleg logga tidsbruk med arbeidsoppgåver og skreve om framdrifta kvar veke på nettstaden vår.

8 Drøfting

Prosjekt av denne storleiken krev stor innsats og engasjement frå prosjektgruppa. Ved oppstart av prosjektet hadde vi lite kunnskap om vasskraftverk og vi måtte difor skaffe oss oversikt over dette før vi kunne starte planlegginga av kraftverksimulatoren. Tidleg i prosessen måtte gruppa, ofte i dialog med oppdragsgjevar og rettleiarar, gjere vurderingar til korleis vi skulle gå fram for å oppfylle krava i

prosjektet. Prosjektbeskrivinga gav ikkje eit konkret bilete av spesifikasjonane som måtte være med i den føreslegne løysinga. Kartlegging av oppgåva vart første steg i prosessen mot hovudmålet. I utgangspunktet skulle vi byggje ein kraftverksimulator som kunne brukast til å teste kontrollanlegg i alle typar vasskraftstasjonar. Etter råd frå rettleiarer vår, Nils Westerheim, bestemte vi oss for å avgrensje oppgåva for å sikre gjennomførbarheita til prosjektet. Det skulle då takast utgangspunkt i Brulandsfossen kraftverk som er eigd av Sunnfjord Energi. Grunna manglande dokumentasjon på dette anlegget valde vi å prosjektere kraftverks simulatoren med utgangspunkt i Statkraft sitt kraftverk Hove. Prosjektgruppa og styringsgruppa meiner denne avgrensinga var nødvendig å gjere for å få kraftverks simulatoren mest mogeleg realistisk og innhaldsrik, noko som var ein av hovudintensjonane i arbeidet.

Hovudforløpet til Hove kraftverk var den viktigaste dokumentasjonen under arbeidet med å utarbeide den omfattande og krevjande funksjonsbeskrivinga for kraftverks simulatoren. Denne gav prosjektgruppa utfordringar på grunn av at det lenge var usikkerheit kring innhaldet i denne og kor grensesnittet mellom kontrollanlegget sine funksjonar og kva simulatoren skulle utføre var. Ei løysing som gjev operatør oversikt over delar av kontrollanlegget med visuelle visningar på HMI-skjerm, saman med simulatoren sine interne og eksterne signal blei valt til funksjonsbeskrivinga. Dette gjev ei større oversikt en berre å vise simulatoren sine funksjonar.

Arbeidet med prosjektering av kraftverks simulatoren vil kunne gjerast på fleire måtar, og løysingane vil være mange. Hovudfokuset i vårt arbeid har vore å velje dei løysingane som skal fungere best mogeleg til spesifikasjonane gjevne av oppdragsgjevaren. Kraftverks simulatoren skal være driftssikker og universelt utforma til å kunne fungere i alle land og til alle kontrollanlegg. Grunnlaget for å skape ein slik simulator er langt på veg nådd, og det er opp til seinare bachelorgrupper å skape ein fysisk simulator som taklar alt av utfordringar. Programmeringa av hovudforløpet i simulatoren er gjort saman med prosjektering av simulatoren for å få ei djupare teknisk oppgåveløysing. Beckhoff sitt PLS program, TwinCAT er brukt til å programmere funksjonane og design av HMI. Det er lagt vekt på at ein seinare utviding skal være enkelt, der ein brukar funksjonsblokker som koplaster saman til eit program og eit universelt utforma HMI-skjermbilete.

Alle avgjerder knytt til prosjektering av kraftverks simulatoren er drøfta i prosjektgruppa, presentert og grunngjevne i rapporten. Gruppemedlemmane meiner at det undervegs i arbeidet er blitt tatt velovervegde val som og vil kome seinare prosjektgrupper til gode. Arbeidet som er utført, men ikkje del av det synlege resultatet frå oppgåva, er den viktigaste delen i samband med vidareføring av prosjektet. På felte der kunnskapsgrunnlaget til gruppa har vore mangelfull er eksterne fagpersonar blitt henta inn for å forsterke kunnskapsnivået kring emnet. Resultatet som er presentert oppfyller

krava til oppdragsgjevar og fleire av stega i den opprinnlege problemstillinga er løyst. Prosjekteringsarbeidet har resultert i val av utstyr som skal brukast i kraftverksimulatoren, kostnadsoverslag for bygging av det mobile testustyret og teoretisk grunnlag i form av funksjonsbeskriving og prosjektrapport.

8.1 Vidareutvikling

Vi har lagt til rette for at studentar som kjem etter oss kan vidareutvikle og bygge kraftverksimulatoren ved å dokumentere og grunngje kvifor vi har tatt dei vala vi har teke. Under har vi presentert det vi ser på som mest sentralt for å kome i mål med ein komplett kraftverksimulator.

- Utvikle grensesnitt mellom Beckhoff PLS og CM Engine
- Utvide funksjonane til kraftverksimulatoren
- Byggje ein simulator som er eigna for flytting
- Måling av straum og spenning

Utvikle grensesnitt mellom Beckhoff PLS og CM Engine

For å kunne kome i mål med å byggje kraftverksimulatoren er ein avhengig av å ha nokon som kan støtte økonomisk ettersom Omicron er veldig kostbart. Anbefalinga er å bruke Omicron CMC 356 kraftelektronikk til å simulere tilbakemeldingar frå komponentar i kraftverket. For at samspelet mellom PLS og Omicron skal fungere må eit grensesnitt mellom Beckhoff PLS og CM Engine vere på plass. CM Engine er dataprogrammet ein styrer Omicron med, det må utviklast eit grensesnitt for føremålet. Etter våre undersøkingar finst det ikkje ei slik løysing på dagens marknad.

Utvide funksjonane til kraftverksimulatoren

Det er gode moglegheiter for å utvide funksjonane til simulatoren. Ein bør til dømes ta med alle dei tre vanlegaste turbinkonfigurasjonane. I denne oppgåva er francisturbinen med. Det er difor ynskjeleg å utvide simulatoren ved å legge til rette for vasskraftverk med pelton- og kaplanturbin og deira hjelpesystem. Oppdragsgjevar ynskjer at simulatoren skal være universell for å kunne kontrollere flest mogleg kontrollanlegg. Kraftstasjonar er sjeldan like, slik at ein kan implementere mange fleire funksjonar enn dei vi har tatt med i dette prosjektet.

Byggje ein simulator som er eigna for flytting

For å gjere simulatoren godt eigna for flytting, bør ein sikre den under transport. Vi føreslår då at det blir nytta ein koffert. Den må være robust for å takle flytransport. Dette sidan bagasjen blir utsett for kraftige støyt ved lossing og lasting. I tillegg vil det vere praktisk å ha ein koffert med hjul og handtak, samt feste for hengelås for å hindre uvedkomande tilgang.

Måling av straum og spenning

Vi har allereie funne ei løysning for måling av DC og AC straum/spenning med EL3773 modul frå Beckhoff. Dersom grensesnitt mellom PLS og Omicron fungerer, vil og målemodulen og fungere etter føresetnadane. Modulen for måling av AC og DC er viktig for at simulatoren skal fungere.

9 Konklusjon

Hovudmålet i dette prosjektet var å prosjektere ein mobil kraftverkssimulator som kan styrast ved hjelp av PLS. Grunnlaget for dette prosjektet er oppdragsgjevars ønskje om å verifisere kvaliteten til nye kontrollanlegg i vasskraftstasjonar. For å nå vårt hovudmål sette vi oss inn i korleis eit kraftverk fungera. Vi har tileigna oss mykje kunnskap ved å studere dokumentasjonen frå Hove kraftverk, og ved å besøke kraftverk. På det eine besøket fekk vi observere stopp og start av Sunnfjord Energi sitt kraftverk på Mo i Førde kommune. Vi fekk då sjå heile forlaupet til anlegget. Dokumentasjon for Hove kraftverk har blitt brukt som utgangspunkt ved prosjektering av kraftverksimulatoren.

Fleire løysingar har vore vurdert utifrå tekniske, økonomiske og plasskrevjande kriterie. Vi har hatt hovudfokus for på å finne gode løysingar som skapar eit driftssikkert samspel mellom dei ulike komponentane i kraftverksimulatoren. I tillegg til prosjektering av ein «kraftverksimulator» har vi utarbeidd eit PLS program som gjev simulatoren funksjonar som illustrerer eit reelt vasskraftverk sine sekvensar. Den endelege løysinga som er presentert oppfyller måla og spesifikasjonane som er utarbeida i samarbeid med oppdragsgjevar og styringsgruppe for prosjektet.

Under «tekniske løysingar» har vi presentert forslag knytt kraftverksimulatoren sine komponentar. Vi har konkludert med at PLS frå produsenten Beckhoff med digitale inn- og utgangsmodular, straumforsyning, HMI-trykkskjerm og potensialfrie relé for beskyttelse av PLS-utstyret vil være den beste løysinga. Testutstyret CMC 356 frå Omicron er trekt fram som metode for å skape straum og spenning som simulerar aktive komponentar i kraftverket. Grunna økonomiske utfordringar vart Omicron ekskludert frå prosjektet, men gjev anbefaling til prosjektgrupper som vil vidareutvikle konseptet om å implementere dette i simulatoren.

Prosjektering er utført ved hjelp av vurderingar av utstyr mot brukarbehov, kalkulasjon av energitekniske storleikar, behovsanalyse av materiell, teikning i AutoCAD og bruk av teknisk dokumentasjon. Programmering er gjort etter erfaringsmessige kunnskapar og rettleiing frå faglærar.

Avgrensing av oppgåva vart gjort i tida før levering av forprosjektsrapport. Grunnlaget for dette var opprinnelege oppgåve sin storleik som krev fleire timar enn rammene opnar for. Gruppa bestemde seg for å jobbe mot ei mindre mål og fokusere på kvalitet i arbeidet istadenfor ei oppgåve som gav

preg av «hastearbeid» i negativ forstand. Vi meina at kvaliteten på det arbeidet som er gjennomført er godt og at dette er tilstrekkeleg dokumentert. Velovervegde val gjort etter kravspesifikasjonar frå oppdragsgjevar, resurskrevjande utarbeiding av funksjonsbeskriving med tilhøyrande PLS program og løysingsframlegg for slutføring av simulator er bland delane som utmerkar seg. Måla for oppgåva er nådd og læringsutbyttet på tvers av studieretningane er stort.

10 Administrasjon av prosjektet

10.1 Organisering

Figur 30. viser organisasjonsstrukturen for prosjektet. Prosjektorganiseringa har vore delt inn i tre nivå; oppdragsgjevar, styringsgruppe og prosjektgruppe.



Figur 30. Organisasjonsstruktur.

10.1.1 Oppdragsgjevar

Oppdragsgjevar er Sunnfjord Energi AS. Dei er eit kraftselskap med kraftproduksjon, drift og bygging av nett og sal av kraft til bedrifter og hushald. SEAS er delt inn i fire avdelingar; stasjon, nett, marknad og administrasjon. SEAS har 10 kraftverk med totalt 14 aggregat. Årsresultatet for 2015 var på 35,5 millionar kr.



Figur 31. Sunnfjord Energi logo [18].

10.1.2 Styringsgruppa

Styringsgruppa har eit overordna ansvar i forhold til gjennomføringa av dette prosjektet. Gruppa har som oppgåve å drøfte og ta viktige avgjersler. Den er samansett følgande:

Tabell 3. Kontaktinformasjon for styringsgruppa.

Kjell Johnny Kvamme	Ekstern rettleiar. Kontaktperson frå SEAS	kjell.johnny.kvamme@sunnfjordenergi.no
Joar Sande	Prosjektansvarleg	joar.sande@hvl.no
Nils Westerheim	Rettleiar EEM	nils.westerheim@hvl.no
Johannes Møgster	Rettleiar AUT	johannes.mogster@hvl.no
Asle Ness	Prosjektleder	ness.asle@gmail.com

10.1.3 Prosjektgruppa

Prosjektgruppa består av fire studentar som gjennomfører bacheloroppgåve i samband med ingeniørstudia «Energi, elkraft og miljø» og «Automatiseringsteknikk». Gruppa er samansett av medlemmar med ulike utdanning og arbeidsbakgrunn. Atle Jostein Rauset og Stig Heggheim har bakgrunn som elektrisk, Asle Ness har bakgrunn som energimontør, medan Raket Synnøve Ullebust har gått studiespesialisering med realfag. I denne gruppa har Asle Ness fått rolla som prosjektleder.

Tabell 4. Kontaktinformasjon for prosjektgruppa.

Asle Ness	ness.asle@gmail.com
Atle Jostein Rauset	a_rauset@hotmail.com
Raket Synnøve Ullebust	rakelsu@stud.hisf.no
Stig Heggheim	stigh123@gmail.com

10.2 Ansvarsfordeling

Vi har hatt som mål at alle gruppedeltakarane skal få kjennskap til alle dei ulike fasane og emna dette prosjektet inneheld. Vi har fordelt hovudansvaret på dei ulike delane av prosjektet mellom gruppedeltakarane der fordelinga er basert på kvar enkelt sine kvaliteter, erfaringar og ynskjer.

Asle Ness har vore prosjektleder og har hatt hovudansvar for det administrative knytt til gjennomføringa av prosjektet. I dette inngår arbeidsfordeling og oversikt over framdrifta i forhold til fristar og framdriftsplan. Asle har vore involvert i både elkraft- og automatiseringsoppgåver for å oppnå tverrfagleg godskriving.

Atle Jostein Rauset har vore ansvarleg for kvalitetssikring av arbeidet og kraftelektronikk. Han har i tillegg utarbeidd HMI for vasskraftsimulatoren. Kvalitetssikring innebere gjennomgang av arbeidet

gruppa har gjort. Atle har saman med Asle vore involvert i både elkraft- og automatiseringsoppgåver for å oppnå tverrfagleg godskriving.

Rakel Synnøve Ullebust er dokumentasjonsansvarleg og har hovudansvar for elkraftoppgåvene. Rakel er den på gruppa som har vore hovudansvarleg for dei formelle dokumentasjonskrava til bacheloroppgåva, men har fått god hjelp av dei andre. Ettersom ho er den einaste med rein bakgrunn frå elkraft, har ho tatt seg av den mest krevjande elkraftteorien.

Stig Heggheim har hatt hovudansvaret for programmering og spesifikk automatiseringsteori. Han har hatt ei sentral rolle i den tekniske delen av prosjektet som inneberer testing og val av komponentar, som også er inkludert utarbeiding av teknisk dokumentasjon.

Kvart medlem har hatt eit ansvar for å innhente informasjon og dokumentere sitt eige arbeid. Oppdateringar og informasjon har blitt gjennomgått i fellesskap i gruppa, slik at gruppemedlemmane har hatt innsikt i dei ulike emna prosjektet omfattar. Dette er ein avgjerande faktor for at prosjektet skulle lukkast.

10.3 Arbeidsmetodar

Hovudprosjektet er utarbeidd etter ei rekke retningslinjer sett av HVL. Dette innebar arbeidskrav som blant anna forprosjektrapport, pressemelding, plakater, sluttrapport og presentasjon. Dette er mål vi har arbeidd mot gjennom heile prosjektfasen. Gruppemedlemmane har basert arbeidet stort sett på gruppearbeid med tre faste dagar i veka. Dei resterande dagane har som oftast vore sjølvstendig arbeid med kvar sine arbeidsoppgåver. Organiseringa la opp til at alle deltakarane i gruppa tok ansvar for felles mål og fastsette arbeidsoppgåver. For å unngå «skippertak» ved slutten av prosjektfasen, sette vi oss mål om at kvar student skulle arbeide 25 til 30 timar kvar veke.

Før vi gjekk i gang med arbeidet hadde vi eit møte med oppdragsgjevaren der vi fekk oversikt over kva ønskje dei hadde for produktet. Vidare blei det mykje teoretisk arbeid der vi måtte studere og sette oss inn i korleis eit vasskraftverk fungera, ettersom vasskraftsimulatoren skal sende tilsvarende signal til kontrollanlegget ved testing. Denne kunnskapen tileigna vi oss ved å besøke vasskraftverk og lese funksjonsbeskriving for Brulandsfossen kraftverk, og dokumentasjon for Hove kraftverk. Vi har lagt mest vekt på å sekvensane i Hove kraftverk ettersom det er desse vi har programmert vasskraftsimulatoren etter.

Vi har nytta skulen sitt utstyr til testing av komponentar for å bekrefte at funksjonaliteten var som ønskja. Sidan vi ikkje har bygd sjølve testriggen har det vore lite praktisk arbeid.

Gruppa har lagt vekt på å dokumentere grundig undervegs for å halde oversikt og ha eit godt

grunnlag for sluttrapport. Dette har vi gjort ved å føre timebruk og arbeidsoppgåver kvar dag. I tillegg har vi skreve jamt i forprosjektrapporten og sluttrapporten og lagt ved kjelder etter kvart som det er blitt nytta. Vi har også vore nøyen med å halde tett dialog med rettleiarane for å få eit best mogeleg fagleg resultat.

10.4 Milepålar, Gantt

Arbeidet har forgått med utgangspunkt i milepålar gjeven av HVL og eit utarbeida Gantt-diagram av prosjektgruppa. Gantt-diagrammet er laga for å sikre ein jamn og oversiktleg framgang under prosjektperioden.

Diagrammet har vi laga ved hjelp av Microsoft Excel. I tillegg til dei milepålane som er førehandsbestemt frå HVL, har lagt inn nokon eigne milepålar etter forventta framdrift. Gantt-diagrammet har hjulpet oss å nå måla våre og halde eit jamt arbeidstempo. Milepålane gjeve av HVL er markert med oransje strekar i Gantt-diagrammet. Dette var fristar som måtte haldast for å få prosjektet godkjend. Våre eigne milepålar er derimot vegleiande. Gantt-diagrammet har blitt justert ved uforutsette hendingar. Framdriftsplanen er presentert i vedlegg 24. Oversikt over milepålane er presentert i vedlegg 25.

10.5 Møteplan

Det vart lagt opp til møte for styringsgruppa kvar 14. dag. Dette for å halde god kontakt med styringsgruppa og gje dei jamleg oppdatering. Dei fekk då ei betre oversikt over kvar i prosjektet vi var komen, og kva som blei neste steg. I tillegg kom dei med rettleiing ved behov. Ved eit par tilfelle har møtet blitt avlyst då det ikkje har vore behov. Til alle møta i styringsgruppa er det blitt skrive møteinnkalling og møtereferat. Møteplanen for styringsgruppa kan finnast i vedlegg 26.

Møteinnkallingar og referat er presentert i vedlegg 27.

Prosjektgruppa har gjennomført uformelle prosjektmøter kvar veke der vi har diskutert status, utfordringar og plan for vidare arbeid. Det er ikkje skreve noko innkalling eller referat frå desse møta. I dei tilfella det er blitt tatt viktige avgjersler, er dette blitt lagt ut på nettstaden vår. På den måten har også styringsgruppa halde seg oppdatert.

10.6 Dokumentstyring

10.6.1 OneDrive

I dette prosjektet har vi valt å nytte oss av OneDrive og Office-pakken med 2016 versjon. OneDrive er ei nettlagringsteneste med funksjonar som gjer det mogeleg å samarbeide om eit dokument på forskjellige datamaskiner samtidig, utan at det skapar duplikat. OneDrive gjev i tillegg fordelene med

at alt er trygt lagra digitalt på nett, samt at ein kan arbeide på dokument så lenge ein har internettilkopling. Kvart enkelt gruppelem fekk med denne tenesta betre oversikt over prosjektet og større valmogelegheit av arbeidsplass.



Figur 32. OneDrive logo [19].

10.6.2 AutoCAD

AutoCAD er ein applikasjonsprogramvare for 2D og 3D konstruksjonar. Dette verktøyet kan brukast til å designe teikningar, og ulike konstruksjonar innanfor til dømes verktøy og bygningar.

Ein stor fordel med AutoCAD er gratislisensen for studentar. For å forberede oss til bacheloroppgåva deltok heile gruppa på eit 30 timar AutoCAD-kurs i haust. Der vi fekk god innføring i grunnleggande funksjonar og verktøy, både i 2D og 3D-teikning.

Vi har nytta AutoCAD ved teikning av koplingsskjema og oversiktsskisse av kraftverksimulatoren. Desse to finn ein som figur 3 – oversiktsskisse, og figur 4 – koplingsskjema.



Figur 33. AutoCAD logo [20].

10.6.3 Adobe Photoshop

Adobe Photoshop er eit dataverktøy for avansert redigering av bilete. Vi valde å bruke Photoshop til å designe plakat, då gruppa hadde kjennskap til dette verktøyet frå før. Plakaten har vi lagt ved, og ein finn den som vedlegg 28.



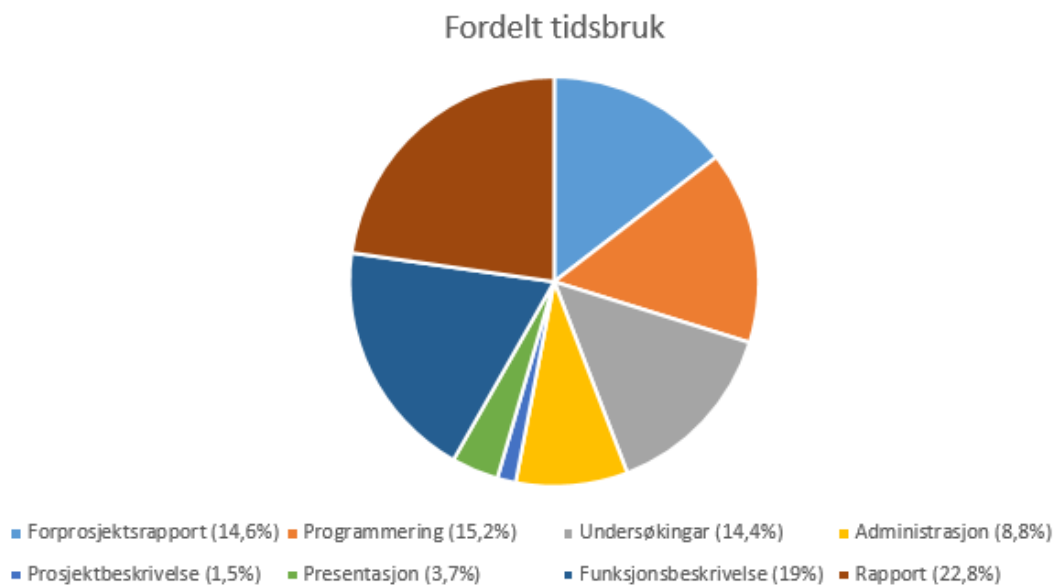
Figur 34. Adobe Photoshop logo [20].

10.7 Tidsressursar

Hovudprosjektet ved HVL gjev, ved godkjend resultat, 20 studiepoeng. Til dette er det frå HVL berekna ei disponibel tid på 500 timar på kvart gruppemedlem. Vi har difor tatt utgangspunkt i 2000 timar for heile prosjektet. For å nytte desse timane best mogeleg laga vi til Gantt-diagram. Dette har vi nytta aktivt under arbeidet med oppgåva, for å sørge for at vi fullførte måla våre.

Det er ikkje sett noko grense for kor mykje tid det skal setjast av til kvar enkelt del av prosjektet, men Gantt-diagrammet som er utarbeidd viser kva dato dei ulike fasane skal vere avslutta. Grunna ulike utfordringar vi møtte på undervegs blei det enkelte justeringar. Det største avviket er knytt til funksjonsbeskrivinga, vi måtte begynne på nytt med denne ettersom det blei endring i rammene for prosjektet. Undervegs har vi loggført tidsbruken kvar dag i prosjektdagboka. Vi har då oppsummert kva oppgåve ein har arbeidd med og kor lenge.

GANTT-diagrammet er presentert i vedlegg 23 og prosjektdagboka er presentert i vedlegg 29. Ein ser på figur 35 korleis tidsbruken for prosjektgruppa er fordelt.



Figur 35. Sektordiagram av tidsbruk.

10.8 Økonomi

Ved forprosjektet blei det utarbeid eit budsjett for sjølve prosjektet. Budsjettet inneheld utgifter til transport, komponentar til testing og undersøking og andre utgifter knytt til gjennomføring av prosjektet. I tillegg er det laga til rekneskap for prosjektet som viser kva den endelege utgifta ved prosjektet blei. Budsjettet er presentert i vedlegg 30. og rekneskapen i vedlegg 31.

Vi har også laga eit prisoverslag for kva det vil koste å bygge kraftverksimulatoren. Vi har då tatt utgangspunkt i prisane vi har fått frå leverandørar og prisar vi har funne på nettsidene deira. Prisoverslaget for kraftverksimulatoren er lagt i lukka vedlegg sidan vi operera med studentprisar. Dette kan finnast i vedlegg 32.

10.9 Prosjektnettstad

I tilknytning til hovudprosjektet skal det i starten av prosjektperioden opprettast ein nettstad for prosjektet. Denne skal kontinuerleg oppdaterast med status og nyhende for prosjektet. På nettstaden har vi delt dokument undervegs som forprosjektrapport, pressemelding, plakat og sluttrapport. Vi har i tillegg lagt ut status for prosjektet kvar torsdag.

Utforminga av nettstaden er gjort i Webnode, som er eit gratis og enkelt publiseringsverktøy på web. Det viktigaste med nettstaden er at den gjev eit profesjonelt uttrykk og funksjonalitet for våre lesarar.

Nettstaden kan finnast på: <http://kraftsim.webnode.com>

10.10 Risikostyring

Ei risikoanalyse er eit verktøy vi nyttar oss av til å kartlegge og beskrive kritiske suksessfaktorar for hovudoppgåva. Denne analysa er retta mot risiko knytt til gjennomføring av krav som HVL set, og har ikkje samanheng med den fysiske simulatoren. Risikoanalyse viser kva vi forventar å støyte på av problem og farar under utføringa av prosjektet. Føremålet med å utarbeide denne er å hindre at personar og materiell skal kome til skade og at ein skal kome i mål med prosjektarbeidet ved å sikre kontinuerleg framdrift. Sidan oppgåva vår er teoretisk retta har det ikkje vore noko vesentleg fare for personskadar eller materielle skadar.

Risiko vert kalkulert etter kriteriet:

Sannsynet for at hendinga inntreffer * konsekvensen av at det inntreffer.

Faktorane sannsyn og konsekvens er numerisk skalert frå 1-5, der 1. er ubetydeleg, medan 5. er alvorleg. Tar ein produktet av desse to faktorane kan ein oppnå ein maksimalverdi på 25. For kvar post i risikovurderinga er det gruppedeltakarane som kritisk har skalert dei ulike faktorane opp mot forventningar og utført planleggingsstadiet.

Førebyggjande tiltak må gjerast dersom risikofaktoren vert høg. Tiltak skal utførast dersom risikoverdien kjem over grense fastsett av gruppedeltakarane. Verdier mellom 1-7 blir sett på som lav risiko, der ein ikkje ser behov for å gjere tiltak. Ved ein risikoverdi på eller over 8 skal tiltak utarbeidast og utførast for å senke risikoen. Dersom risiko vert vurdert 15. eller meir skal det

utarbeidast tiltak og plan for oppfølging av desse, ettersom vi ser på dette som alvorleg. utfordringar for prosjektet i HMT samanheng er lista opp i vedlegg 33.

10.11 Prosjektevaluering

10.11.1 Gruppeprosess og kommunikasjon

Ved tidlegare gruppearbeid har gruppemedlemmane i dette prosjektet jobba saman. Vi kjenner difor til kvarandre sine sterke sider, og har fordelt arbeidet ut ifrå det.

I situasjonar der vi har vore usamde, har vi hatt diskusjonar i gruppa og funne ordningar på dette saman. For å halde ein god kommunikasjon i prosjektgruppa har vi arbeid saman på grupperom måndag til onsdag. I tillegg har vi ein gruppesamtale på «Facebook» der vi har tatt opp mindre utfordringar vi har støytt på.

Kommunikasjonen med styringsgruppa har hovudsakleg føregått via styringsgruppemøta. I tillegg har vi sendt e-post eller ringt ved behov.

Før prosjektgruppa starta arbeidet med oppgåva hadde vi ei målsetjing om å tileigne oss mest mogeleg kunnskap. I tillegg var alle i prosjektgruppa innstilt på å legge ein god innsats i oppgåva for å oppnå best mogeleg karakter.

Vi synast samarbeidet i prosjektgruppa og styringsgruppa har fungert godt, noko som har bidrege til at vi sit igjen med gode resultat.

10.11.2 Utfordringar

Prosjektgruppa har støytt på fleire utfordringar. Desse har blitt diskutert med styringsgruppa for å finne dei beste løysingane. Dei største utfordringane var:

- Avgrensing av oppgåva
- Programmering
- Val av komponentar
- Design av HMI-grensesnitt

Avgrensing av oppgåva

Den største utfordringa i dette prosjektet var å avgrense oppgåva. Utifrå oppgåva vi fekk frå oppdragsgjevar skulle vil lage ein komplett testrigg som fungera for alle kraftverk. Vi var komen eit godt stykke ut i prosjektperioden før vi innsåg at dette blei for mykje. Etter råd frå rettleiaren vår, Nils Westerheim, bestemde vi oss for å ta utgangspunkt i Hove kraftverk.

Etter kvart bestemde vi oss også for at vi ikkje skulle byggje testriggen då dette viste seg å ville bli langt over vore kostnads- og tidsrammer. Sidan vi var komen eit godt stykke ut i prosjektet før vi tok

desse vala, førte det til at vi har brukte ein del tid på undersøkingar som ikkje vert del av det synlege resultat av prosjektet. Likevel ser vi på dette som nyttige erfaringar som vi vil ta med oss vidare i arbeidslivet.

Programmering

Programmeringa gjekk stort sett utan store utfordringar, men nokre var det. Blant anna var det litt utfordrande å programmere dei mest avanserte komponentane i simulatoren. Ein anna utfordring var å programmere kommunikasjonen mellom det digitale potensiometeret og PLS. Ein måtte då først setje seg inn i korleis kommunikasjonen fungerte, deretter programmere PLS etter korleis kommunikasjonen mellom dei fungerte. Dette kravde fleire rundar med korrigeringar før potensiometer og PLS «snakka saman».

Val av komponentar

Arbeidet med å finne og undersøke aktuelle komponentar til prosjektet var ein møysommeleg prosess. Det vart sett opp ein plan på korleis vi kunne finne ei alternativ løysing til Omicron kraftelektronikk. Komponentar til denne løysinga måtte finnast og undersøkast opp mot løysinga vi ynskte. Dette var utfordrande då fleire aspekt med kvar enkelt komponent måtte samanliknast.

Under arbeidet måtte produsentar/grossistar av utstyret kontaktast for å bekrefte om utstyret hadde ønskja funksjonar. Ein måtte då være heilt sikker på at ein hadde kontroll på kva funksjonen til komponenten skulle være, og korleis denne skulle «snakke saman» med PLS-en vi hadde valt, dette var utfordrande å setje seg inn i. På den ande sida var Omicron eit komplett utstyr. Problemet med dette var at det var veldig omfattande å setje seg inn i alle delar av kraftelektronikken. Under engelsk dialog med Omicron sitt hovudkontor var det og vanskeleg å beskrive og få svar på alt vi lurte på kring dette utstyret. Etter mykje dialog kom vi i kontakt med ein norsk seljar for Omicron som sette oss i kontakt med fleire fagpersonar i miljøet. Dei hadde lite erfaring med å kople dette mot PLS som var vår tanke, og vi måtte dermed undersøke mykje kring dette på eigahand for å kome fram til konklusjon.

Design av HMI-grensesnitt

Etter lite grunnkunnskap kring design av HMI-grensesnitt, var det utfordrande å byggje opp skjermbilete som skulle fungere for alle brukargrupper. Ved hjelp av Beckhoff sine forklaringar på heimesida, blei funksjonar i biblioteket til TwinCAT plukka ut for å passe våre mål for HMI. Fagstoff blei nytta som kjelde til dei store delane av oppbygginga. Plasseringa av dei ulike delane blei gjort ved hjelp av «prøve og feile» metoden og med korrigert plassering i X og Y retning i koordinatsystemet, for optimal plassering. Ved bruk av ekstra tidsressursar og tilbakemeldingar frå gruppa og rettleiar,

kom ein fram til eit resultat ein kunne være nøgd med. Detaljert utforming blei gjort ved å prøve dei ulike innstillingane som låg i kvar av funksjonane.

HMI er ein viktig del av prosjektet fordi den skal vise grafisk korleis simulatoren fungera for brukarar og interessantar for prosjektet. Utfordrande, men kjekt når ein får det til! Der utfordringane har vore størst, har vi henta inn kunnskap frå eksterne fagpersonar for å løyse problema vi har hatt. Ekstra tidsbruk har stort sett vore løysinga på dei utfordringane vi har hatt, med at vi har gjort konkrete undersøkingar mot problema for å løyse desse. Det er av utfordringane våre vi har lært mest av i prosjektet.

10.11.3 Utbyte av prosjektet

Dette prosjektet har vore utfordrande, lærerikt og spennande. Vi har fått utvikla oss både individuelt og som gruppe under prosjektarbeidet. Vi har tileigna oss ny kunnskap rundt vasskraftverk, programmering og komponentar som vi har undersøkt under arbeidet med kraftverksimulatorene. Vi har blant anna vore på omvising på to av Sunnfjord Energi sine kraftverk, der vi ved det eine besøket fekk stoppe og starte anlegget. I tillegg har vi fått nytta mykje av teorien frå fleire av emna i studia ved prosjektering av kraftverksimulatorene.

I tidlegare semester har vi hatt mindre prosjekt, og har derfor erfaring med prosjektarbeid. Vi har tatt med oss erfaringar frå tidlegare, og har derfor vore nøyen med å planlegge og dokumentere jamt gjennom heile prosjektet. Det har likevel vore lærerikt å jobbe med dette prosjektet då vi har hatt ein ekstern rettleiar og vore i kontakt med ulike leverandørar, noko som ikkje har vore tilfelle ved tidlegare prosjekt.

11 Referansar

- [1] A. V. o. K. Hofstad, «snl.no/vannkraft,» Store norske leksikon, 19. April 2016. [Internett]. Available: <https://snl.no/vannkraft>. [Funnet 30. April 2017].
- [2] O. F. o. A. Brimi, «NTNU.no,» [Internett]. Available: <http://web.phys.ntnu.no/~stovngeng/FY1303NY/prosjekt/vannkraft.pdf>. [Funnet 19 April 2017].
- [3] Statkraft, «Statkraft.no,» [Internett]. Available: <http://www.statkraft.no/Energikilder/vaare-kraftverk/norge/Hove/>. [Funnet 19 April 2017].
- [4] Store norske leksikon, «FPGA,» 4 Februar 2010. [Internett]. Available: <https://snl.no/FPGA>. [Funnet 16 Mai 2017].
- [5] Beckhoff, «Beckhoff.com-EL1008,» [Internett]. Available: http://download.beckhoff.com/download/document/catalog/main_catalog/english/separate-pages/EtherCAT/el1008.pdf. [Funnet 4 April 2017].
- [6] Beckhoff, «Beckhoff.com-EL2008,» [Internett]. Available: https://download.beckhoff.com/download/Document/Catalog/Main_Catalog/english/separate-pages/EtherCAT/el2008.pdf. [Funnet 4 April 2017].
- [7] Beckhoff, «Beckhoff.com - CP2916-0000,» [Internett]. Available: <http://www.beckhoffautomation.com/english.asp?highlights/multitouch/default.htm>. [Funnet 20 April 2017].
- [8] Omron, «Elfa distrelec,» Omron, [Internett]. Available: https://www.elfadistrelec.no/no/interface-relay-omron-industrial-automation-g2rv-sl500-24-vdc/p/13690128?q=*&filter_Buyable=1&filter_Category6=G2RV&filter_Category5=Rel%C3%A9grensensnittermoduler%2C+6%2C2+mm&filter_Category3=I%2FU-moduler+og+grensensnitterrel%C. [Funnet 4 April 2017].
- [9] Omicron, «omicronenergy.com,» [Internett]. Available: <https://www.omicronenergy.com/en/products/all/secondary-testing-calibration/cmc-356/>. [Funnet 07 Mai 2017].
- [10] N. Instruments, «National Instruments,» [Internett]. Available: <http://norway.ni.com/labview>. [Funnet 07 Mai 2017].
- [11] IEC, «Schneider-electric,» IEC, [Internett]. Available: <http://www.schneider-electric.com/en/product-range-presentation/60793-iec-61850-standard/>. [Funnet 18 April 2017].
- [12] A. Gylseth, «PT 100 Elementet,» elektrofag.info, [Internett]. Available: <http://w3.elektrofag.info/instrumentering/pt100>. [Funnet 2 Mai 2017].

- [13] Elfa Distrelec, «Potensiometer 1 kOhm, AD8400ARZ1,» [Internett]. Available: <https://www.elfadistrelec.no/no/potensiometer-ic-kohm-so-analog-devices-ad8400arz1/p/17322444?q=173-22-444&page=1&origPos=1&origPageSize=50&simi=98.0>. [Funnet 27 April 2017].
- [14] «Controlling a Digital Potentiometer Using SPI,» [Internett]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/DigitalPotControl>. [Funnet 25 Januar 2017].
- [15] Beckhoff, «Beckhoff.com - EL3773,» [Internett]. Available: http://download.beckhoff.com/download/document/catalog/Main_Catalog/english/separate-pages/EtherCAT/el3773.pdf. [Funnet 4 April 2017].
- [16] PLCopen, «PLCopen,» [Internett]. Available: http://www.plcopen.org/pages/promotion/publications/downloads/intro_iec_march2013.pdf. [Funnet 2 Mai 2017].
- [17] Beckhoff, «Beckhoff.com - GVL,» [Internett]. Available: [https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tc3_plc_intro/18014398645438091.html&id=.](https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tc3_plc_intro/18014398645438091.html&id=) [Funnet 07 Mai 2017].
- [18] D. O. I. N. o. E. H. Bill Hollifield, i *The High performance HMI handbook* , Huston, 360 Bigital Books, 2008, pp. 37-70.
- [19] OneDrive, «Droid life,» 27 Oktober 2014. [Internett]. Available: <http://www.droid-life.com/tag/onedrive/>. [Funnet 20 April 2017].
- [20] AutoCad, «2020iscoming.info,» [Internett]. Available: <http://2020iscoming.info/else/autocad-2017-logo.coming>. [Funnet 03 Mai 2017].
- [21] Beckhoff, «Beckhoff.com - Bilde CP29XX,» [Internett]. Available: <http://www.beckhoffautomation.com/english.asp?highlights/multitouch/default.htm>. [Funnet 20 April 2017].
- [22] PULS, «Elfa Distrelec,» 19 April 2017. [Internett]. Available: https://www.elfadistrelec.no/no/switch-mode-stromforsyning-for-din-skinne-puls-cs5-241/p/16996519?channel=b2c&price_gs=1516.25&wt_mc=no.cse.gshop.no.-&source=googleps&pup_e=1&pup_cid=35879&pup_id=16996519&gclid=Cj0KEQjwxPbHBRCdxJLF3qen3dYBEiQAMRyxS3uH0jHo.
- [23] I. Pettersen, «Pettersen.no,» [Internett]. Available: http://www.pettersen.no/index.php?page=shop.product_details&flypage=flypage.tpl&product_id=33&category_id=8&option=com_virtuemart&Itemid=40. [Funnet Januar 25 2017].
- [24] U. a. ltd, «Elfa distrelec,» [Internett]. Available: <https://www.elfadistrelec.no/no/effektregulator-apne-ual-united-automation-ltd-604b/p/17205313?q=effekt+regulator+vac+604&page=2&origPos=2&origPageSize=50&simi=90.61>. [Funnet 1 Februar 2017].

- [25] S. Energi, «Sunnfjordenergi.no,» [Internett]. Available: <https://www.sunnfjordenergi.no/>. [Funnet 20 April 2017].
- [26] A. Photoshop, «Adobe photoshop,» [Internett]. Available: <https://adobe-photoshop.softonic.com/>. [Funnet 4 Mai 2017].
- [27] Beckhoff, «Beckhoff.com - CX5140,» [Internett]. Available: <http://www.tpautomation.de/Automation-systems/Beckhoff-Embedded-PCs/Series-CX5100/CX5140/CX5140-0100-CPU-Module-w/o-operating-system-w/o-TwinCAT::32762.html>. [Funnet 4 April 2017].
- [28] Beckhoff, «Beckhoff CX5100-serien,» Beckhoff, [Internett]. Available: https://www.beckhoff.com/english.asp?embedded_pc/cx5100.htm. [Funnet 4 Mai 2017].
- [29] Beckhoff, «Beckhoff - EL2124,» [Internett]. Available: <https://www.beckhoff.com/english.asp?ethercat/el2124.htm>. [Funnet 20 April 2017].

12 Vedlegg

Vedlegg 1 - Funksjonsplan Hove kraftverk (lukka)

Vedlegg 2 - Bacheloroppgåve-Sunnfjord-Energi-Aggregatsimulator

Vedlegg 3 - IO liste

Vedlegg 4 - Relé liste

Vedlegg 5 - HMI liste

Vedlegg 6 - Funksjonsbeskrivelse

Vedlegg 7 - Datablad Beckhoff CX5140

Vedlegg 8 - Datablad Beckhoff EL1008

Vedlegg 9 - Datablad Beckhoff EL2008

Vedlegg 10 - Utklipp frå datablad Beckhoff CP29XX

Vedlegg 11 - Utklipp frå datablad Omron G2RV

Vedlegg 12 - Utklipp frå datablad PULS CS5.241

Vedlegg 13 - Datablad Omicron CMC 256plus

Vedlegg 14 - Datablad Omicron CMC 356

Vedlegg 15 - Utklipp frå datablad Analog Devices AD8400

Vedlegg 16 - Programmering PT100

Vedlegg 17 - Utklipp frå datablad Pettersen PAC35

Vedlegg 18 - Datablad United Automation Limited CSR-series

Vedlegg 19 - Datablad Belotti Variatori SRL

Vedlegg 20 - Datablad Beckhoff EL3773

Vedlegg 21 - Programmering kraftverksimulator (lukka)

Vedlegg 22 - HMI Kraftverksimulator

Vedlegg 23 - Testrapport kraftverksimulator

Vedlegg 24 - Gantt-diagram

Vedlegg 25 - Milepålar

Vedlegg 26 - Møteplan

Vedlegg 27 - Møteinnkalling og -referat

Vedlegg 28 - Plakat

Vedlegg 29 - Prosjektdagbok

Vedlegg 30 - Budsjett

Vedlegg 31 - Rekneskap

Vedlegg 32 - Prisoverslag (lukka)

Vedlegg 33 - Risikoanalyse

Vedlegg 34 - Prosjektbeskriving

Vedlegg 35 - Pressemelding

Vedlegg 36 - Forprosjektsrapport

Vedlegg 37 - Prosjektavtale