



Forsuaret

Bacheloroppgave

OPG3301

Predefinert informasjon

Startdato:	05-12-2022 09:00 CET	Termin:	2022 HØST
Sluttdato:	19-12-2022 08:00 CET	Vurderingsform:	Norsk 6-trinns skala (A-F)
Eksamensform:	Oppgave		
Flowkode:	1627 OPG3301 1 O 2022 HØST SKSK		
Intern sensor:	Alexander Sauter		

Deltaker

Naun:	Maria Urtubia Witsø
Kandidatnr.:	
FHS-id:	mwitso@mil.no

Gruppe

Gruppenavn:	Energy Management System
Gruppenummer:	1
Andre medlemmer i gruppen:	Birk Dammen



Sjøkrigsskolen

Bacheloroppgave

Energy Management System

Et beslutningsverktøy om bord

av

Birk Dammen og Maria Witsø

Lvert som en del av kravet til graden:

BACHELOR I MILITÆRE STUDIER MED FORDYPNING I MARINEINGENIØR
ELEKTRO

Innlevert: Desember 2022

Godkjent for offentlig publisering

Publiseringsavtale

En avtale om elektronisk publisering av bachelor/prosjektoppgave

Kadettenene har opphavsrett til oppgaven, inkludert rettighetene til å publisere den.

Alle oppgaver som oppfyller kravene til publisering vil bli registrert og publisert i Bibsys Brage når kadettenene har godkjent publisering.

Oppgaver som er graderte eller begrenset av en inngått avtale vil ikke bli publisert.

Vi gir herved Sjøkrigsskolen rett til å gjøre denne oppgaven tilgjengelig elektronisk, gratis og uten kostnader	<input checked="" type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nei
Finnes det en avtale om forsinket eller kun intern publisering? (Utfyllende opplysninger må fylles ut)	<input type="checkbox"/> Ja	<input checked="" type="checkbox"/> Nei
Hvis ja: kan oppgaven publiseres elektronisk når embargoperioden utløper?	<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nei

Plagiaterklæring

Vi erklærer herved at oppgaven er mitt eget arbeid og med bruk av riktig kildehenvisning.

Vi har ikke nyttet annen hjelp enn det som er beskrevet i oppgaven.

Vi er klar over at brudd på dette vil føre til avvisning av oppgaven.

Dato: 17 – 12 – 2022

Birk Dammen
Kadett navn

Maria Witsø
Kadett navn

Birk Dammen

Maria Witsø

Forord

Kravene som stilles til en elektrooffiser øker i takt med den teknologiske utviklingen i verden. Derfor ønsket vi å videreutvikle en Energy Management System modell for å illustrere hvordan dette konseptet kan benyttes om bord. I tillegg ønsket vi å utforske muligheten for å koble sammen flere energikilder, for eksempel solceller som et fornybart alternativ i modellen. Ved å gjøre dette har vi fått mulighet til å jobbe med store deler av pensum vi har hatt gjennom tiden på Sjøkrigsskolen, både praktisk og teoretisk. Gjennom det praktiske arbeidet har vi utviklet mye kunnskap til hvilke krav som settes til et system. Oppgaven har gitt oss en forståelse for hvilke komponenter som er nødvendige å inkludere i et Energy Management System, samspillet mellom disse, og hvilke utfordringer dette medfører.

Arbeidet med oppgaven ble påbegynt i september 2022 og ferdigstilt i desember 2022. Oppgaven er skrevet slik at alle skal kunne forstå trekkene i oppgaven, men det kan være en fordel med teknisk bakgrunn for å forstå oppgaven i sin helhet.

Takk til Alexander Sauter for å alltid være tilgjengelig og behjelpelig med små og store utfordringer.

Takk til Arild Sæbø for støtte med formulering av problemstilling og for gode diskusjoner i løpet av prosjektiden.

Bergen, Sjøkrigsskolen, 17-12-2022



Birk Dammen



Maria Witsø

Sammendrag

Et Energy Management System (EMS) handler om å sikre effektiv energiutnyttelse ved å styre og overvåke energien i et system. Om bord på et fartøy tar et Energy Management System data fra ulike sensorer og omgjør dette til relevant informasjon for brukeren. Dermed kan et Energy Management System for eksempel benyttes til å bestemme hvor lenge et fartøy kan gå i maksimal hastighet. Tidligere har Randal & Laukvik (2019) og Wallem & Kismul (2021) skrevet om Energy Management System. I disse to bacheloroppgavene har det vært utviklet en modell basert på en hybrid DC-fordeling med senere fokus på å fjerne støy, automatisk styring av et aggregat, samt å gjøre modellen mer brukervennlig. Oppgaven her tar for seg videreutviklingen av en modell for å illustrere hvordan et Energy Management System kan benyttes som et beslutningsverktøy om bord på et fartøy.

Modellen benytter seg av to AC energikilder; landstrøm og generator, samt to DC energikilder; solcelle og batteri. Utladetester på batteriet og tester for å kalibrere nye strømt-ransformatorer er gjennomført for å kunne sammenlikne data med batteriproducentens datablad, med hensikt om å kunne bestemme batteriets nåværende tilstand, særlig med hensyn til ladekapasitet. I tillegg er det inkludert et ekstra batteri, for å gi brukeren mulighet til å skifte mellom et testbatteri og et bruksbatteri. Brukergrensesnittet er videreutviklet for å bedre interaksjonen mellom brukeren og modellen. Ved å utvikle et intuitivt og informativt brukergrensesnitt er risikoen for menneskelige feil betydelig redusert. Informasjonen er inndelt i faner og deretter i underkategorier. Dette gjør brukergrensesnittet ryddig og oversiktlig, og sørger for at informasjonen er enkel å forstå. Videre er systemet utviklet til å bli mer automatisert for å kunne utnytte seg av realistiske scenarioer. Ved å integrere solcellene som en separat DC energikilde var målet å fokusere på en fornybar og bærekraftig metode å øke energikapasiteten til en modell. Testing viste at det planlagte oppsettet med solcellene ikke forsynte modellen med nok energi til å kunne lade batteriet.

Ved å oppfylle kravspesifikasjonen satt i planleggingsprosessen er nivået av EMS modellen løftet og kan brukes som en realistisk sammenlikning til et oppsett om bord. Den økte mengden av informasjon brukeren kan få fra modellen er med på å frigjøre ressurser fra å overvåke og estimere driftstider manuelt, og vil øke handlingsrommet til brukeren av modellen. Oppgaven har utviklet en modell som kan benyttes som et godt eksempel på hvordan et Energy Management System kan benyttes som et beslutningsverktøy om bord på et fartøy. Videre er det anbefalt å gjennomføre en prosjektering for å kunne implementere et Energy Management System om bord på et utvalgt marinefartøy.

Innholdsfortegnelse

Forord	ii
Sammendrag.....	iii
Innholdsfortegnelse.....	iv
Figurer	1
Tabeller/Diagrammer	3
Forkortelser / Symboler	4
1 Innledning	5
1.1 Problemstilling	6
1.2 Mål.....	6
1.3 Kravspesifikasjon	7
1.4 Avgrensninger	7
1.5 Struktur	7
2 Teori.....	8
2.1 Energy Management System.....	8
2.2 Batteriteknologi	10
2.3 Solceller.....	13
2.4 Frekvensomformer	15
2.5 Brukergrensesnitt.....	16
3 Materialer og metode	18
3.1 Hardware	18
3.2 Software.....	32
3.3 Design av brukergrensesnitt	39
3.4 Testmetode	44
4 Resultater og analyse.....	47
4.1 Utladetester.....	47
4.2 Sensornøyaktighet	53
4.3 Effekt fra solceller	56
5 Drøfting	57
5.1 Kravspesifikasjon 1	57
5.2 Kravspesifikasjon 2	60
5.3 Kravspesifikasjon 3	60

5.4	Kravspesifikasjon 4	61
5.5	Kravspesifikasjon 5	64
5.6	Oppsummering	65
6	Konklusjon med videre anbefaling	67
7	Referanseliste	68
8	Vedlegg	71
9	Dokumentasjon vedlagt i egen fil	72

Figurliste

Figur 1. Brukergrensesnitt for mannskap om bord.....	9
Figur 2. Brukergrensesnitt for personell på land.....	9
Figur 3. AGM vs. GEL batteri.....	11
Figur 4. Typisk utladningskurve VRLA batteri ved 20°C.....	11
Figur 5. Eksempel på en utladekurve for et batteri.....	12
Figur 6. Effekt av temperatur på batterikapasitet..	13
Figur 7. Sollys tilfører elektroner energi og elektronene slås løs fra krystallgitter .	14
Figur 8. Prinsippskjema for puls bredde modulert frekvensomformer.....	15
Figur 9. Samspill mellom system, display og menneskelig oppfatning.	16
Figur 10. Fysisk oppsett av modellen sett ovenfra.	18
Figur 11. Energiflyten i systemet vist i et flytdiagram.	19
Figur 12. 230V Hovedstrømskjema.....	19
Figur 13. 200W Solcellepanel med PERC teknologi	20
Figur 14. 20A PBM Solcelleregulator	20
Figur 15. Kombinert sinus inverter og batterilader	21
Figur 16. Frekvensomformer	21
Figur 17. DC/DC omformer.....	22
Figur 18. Marathon L12V24 batteri.....	22
Figur 19. Ritar DC12-100S batteri	23
Figur 20. Produsentens utladekurve for RITAR DC12-100S batteri.....	25
Figur 21. Strømmåler T201DCH50-LP	28
Figur 22. Strømmåler T201DCH300-LP	29
Figur 23. PT1000 temperatursensor.....	29
Figur 24. Funksjonsblokk som lar brukeren velge hvilket batteri man bruker og gir ut korrekt informasjon.....	32
Figur 25. Utregning av gjenværende brukstid basert på ønsket/nåværende effekt..	33
Figur 26. Kriterier for bruk av gjennomsnittsmåling eller sanntidsmåling	33
Figur 27. Tilstandsdiagram for hovedprogrammet	34
Figur 28. Representasjon av hvordan valget av laster ser ut på brukergrensesnittet	35
Figur 29. Utdrag fra koden som viser tilstand «Standby»	35
Figur 30. Koden ved bruk av energikilde landstrøm.	36
Figur 31. Koden ved bruk av energikilde batteri.	37
Figur 32. Koden ved bruk av energikilde generator.	38
Figur 33. Temperaturvarsling i koden.	38
Figur 34. Utsnitt av brukersnittet benyttet i de tidligere oppgavene	39
Figur 35. Oppstartsmeny som brukeren får ved oppstart av modellen.	40
Figur 36. Brukergrensesnitt: Lokalt operasjonspanel	41
Figur 37. Brukergrensesnitt: Maskin kontroll rom	42
Figur 38. Brukergrensesnitt: Alarm Manager.....	43
Figur 39. Opprinnelig skalering av strømtransformatorene.....	45

Figur 40. Oppkobling for test av solceller	46
Figur 41. Rådata utladetest 23,5Ah batteri ved 2,3A.....	48
Figur 42. Resultat utladetest 2,3A med lineær tilnærming	48
Figur 43. Resultatene fra utladetestene for 23,5Ah batteriet vist i et bilde.	50
Figur 44. Utdrag fra funksjonsblokk «Capacity_Estimator».....	52
Figur 45. Skalering av sensor 5 og sensor 6	54
Figur 46. Ladeeffekt fra solcellene til batteriet i direkte sollys	56
Figur 47. Ladeeffekt fra solcellene til batteriet i ingen og indirekte sollys	56
Figur 48. Sammenlikning av LOP og Maskin Kontroll Rom.....	62
Figur 49. Utklipp fra EOT tidene når modellen er i lasttilstand «transit».....	65

Tabelliste

<i>Tabell 1: Marathon L12V24 Teknisk spesifikasjon</i>	23
<i>Tabell 2: Ritar DC12-100S Teknisk spesifikasjon</i>	24
<i>Tabell 3: Estimert driftstid ved 700W</i>	26
<i>Tabell 4: Estimert driftstid ved 450W</i>	26
<i>Tabell 5: Estimert driftstid ved 350W</i>	27
<i>Tabell 6: Estimert driftstid ved 78W</i>	27
<i>Tabell 7: Beregning av kabeldimensjon 12V</i>	30
<i>Tabell 8: PLS moduler</i>	31
<i>Tabell 9: Resultater basert på tid fra utladetester for begge batteriene</i>	47
<i>Tabell 10: Lineær tilnærming for utladetestene.</i>	49
<i>Tabell 11: Batterikapasitet basert på utladetest</i>	51
<i>Tabell 12: Landstrøm drift</i>	53
<i>Tabell 13: Batteri drift</i>	53
<i>Tabell 14: Resultat sensor 5 og sensor 6 ved skalert måleområde</i>	55

Forkortelser & Symboler

Ω	Ohm
A	Ampère
AC/DC	Alternating/Direct current
AGM	Absorbent Glass Mat
Ah	Ampere timer
EMI	Elektromagnetisk interferens
EMS	Energy Management System
EOT	Estimated Operating Time
HMI	Human Machine Interface
LCD	Liquid Crystal Display
LOP	Local Operating Panel
MMI	Menneske maskin interaksjon
PERC	Passivated Emitter and Rear Cell
PBM	Puls Bredde Modulering
PLS	Programmerbar Logisk Styring
TRMS	True Root Mean Square
Vpc	Volt per celle
VRLA	Valve-regulated lead acid
W	Watt
Wh	Watt timer

1 Innledning

Verdens energibruk fortsetter å øke, og det er forventet en ytterligere økning på 30% innen 2040 (International Energy Agency, 2017, s.23). Med denne økningen kommer et større ansvar til hvordan denne energien kan utnyttes på en utslippsreducerende og kostnadsbesparende måte.

I løpet av de siste tiårene har man sett en økende trend i bruk av hybride elektriske fremdriftssystemer, i hovedsak i kombinasjon med dieselgeneratorer eller gassturbiner (Mo, u.å.). I diesel-elektriske fartøy kan batteri brukes for å avlaste generatorene ved å ta unna effekttoppene, slik at generatorene kan gå med optimal last. Batteriene støtter generatoren når den først er på, og bør dimensjoneres for å kunne levere litt over grunnlasten til generatoren. Kraftoverføringen i et hybrid fremdriftssystem krever et oppsett som overvåker og styrer energiflyten. Et slikt energistyringssystem er kjent som et Energy Management System (EMS). Et Energy Management System handler om å sikre effektiv energiutnyttelse ved å styre og overvåke energi, samt å kontrollere gjenværende ressurser slik som brukstid. Om bord kan et energistyringssystem bidra til økt beslutningsgrunnlag, for eksempel til å bestemme hvor lenge et fartøy kan gå i maksimal hastighet. Dette vil kunne frigjøre ressurser da det ikke lenger trengs noen til å overvåke og estimere driftstider manuelt. Alt i alt vil dette kunne øke handlingsrom om bord. Et velfungerende Energy Management System om bord vil tilføre et fartøy økt fleksibilitet og kan potensielt redusere utslipp og gi lavere drivstofforbruk.

I to tidligere bacheloroppgaver har Randal & Laukvik (2019) og Wallem & Kismul (2021) skrevet om Energy Management System. Randal & Laukvik hadde som mål å «bygge en modell av en hybrid drivlinje med tilhørende EMS.» De gjennomførte en vurdering av forskjellige typer forsyningslinjer, før valget falt på en hybrid DC-fordeling (2019, s.5). Wallem & Kismul hadde som mål å «lage en EMS-modell som kan være med å danne en større forståelse for hvordan EMS og et kraftforsyningsanlegg fungerer.» I oppgaven fokuserte de på å øke presisjon av målinger, fjerne støy, fjernstyre aggregatet og å gjøre modellen mer brukervennlig (2021, s.14). Denne oppgaven tar den samme modellen som utgangspunkt.

I et Energy Management System er man nødt til å ha kontroll på energiforbruk og energireserver. For å kunne styre og overvåke energiflyt på en god måte er man i stor grad avhengig av et intuitivt og velfungerende brukergrensesnitt (HMI).

1.1 Problemstilling

I en krevende situasjon om bord på et fartøy er det kritisk å kunne ta raske og veloverveide avgjørelser. Et Energy Management System kan være med på å etablere et raskt overblikk og en god situasjonsforståelse for personell om bord. Denne oppgaven skal ta for seg spørsmålet:

«Hvordan kan et Energy Management System benyttes som et beslutningsverktøy om bord på et fartøy?»

1.2 Mål

Oppgavens mål er å tydeliggjøre prinsippene som ligger til grunn for oppbygningen av et Energy Management System og illustrere hvordan et EMS kan brukes om bord på et fartøy. Denne oppgaven skal videreutvikle og jobbe videre med prinsippene presentert i oppgaven til Randal & Laukvik (2019) og Kismul & Wallem (2021). Fokusområdet for denne oppgaven vil være å illustrere hvordan et EMS kan benyttes i operativ sammenheng, og tilrettelegge for dette. I oppgaven gjøres dette gjennom bruk av realistiske scenarier for et fartøy, inkludering av sensorer med økt nøyaktighet, økt innsikt i batteriets kapasitet og tilstand, inkludering av solceller som en ekstra DC energikilde og forbedring av modellens brukergrensesnitt.

Fire ulike drift scenarier brukes for å simulere hvordan EMS modellen ville fungert om bord. Lastene defineres ut fra maksimalt trekk som modellen tåler, og vil videre utdypes ved gjennomgang av begrensningene i de valgte hardware delene i avsnitt 3.1.6.

1. **HØY LAST: «WAR».** To fysisk simulerte framdriftsmotorer og en ytterligere ekstern forbruker. Lasten på forbrukersiden for denne driftsmetoden vil være på ca. 750 W
2. **MIDDELS LAST: «PATROLLING».** En fysisk simulert framdriftsmotor og en ekstern forbruker. Lasten på forbrukersiden for denne driftsmetoden vil være på ca. 450 W
3. **LAV LAST: «TRANSIT».** En fysisk simulert fremdriftsmotor. Lasten på forbrukersiden for denne driftsmetoden vil være på ca. 350 W
4. **INGEN LAST: «STANDBY».** Ingen ekstra last. Alle komponenter i standby trekker til sammen ca. 80W

1.3 Kravspesifikasjon

Basert på de satte målene og scenarioene settes det en kravspesifikasjon for modellens oppbygging:

1. Benytte måling, kalibrering og matematiske modeller for å få et mer nøyaktig estimat på batteriets tilstand.
2. 12VDC siden av modellen skal justeres slik at det er mulig for brukeren å bytte mellom ulike batteristørrelser
3. Integrere solceller som en separat DC energikilde.
4. Modellen skal ha brukergrensesnitt som utvikles ved bruk av teorien slik at det fungerer opp mot scenario for å redusere risiko for menneskelige feil og misforståelser.
5. Koden til modellen skal justeres slik at modellen blir mer automatisert og mer nøyaktig.

1.4 Avgrensninger

Til prosjekteringen ble det satt disse avgrensningene:

1. Modellen er dimensjonert til å benyttes som en utdanningsmodell, ikke en modell om bord på et fartøy, særlig med hensyn til effekten den kan levere.
2. Støyreducerende tiltak anbefalt i oppgaven til Kismul & Wallem vil ikke være prioritert i denne oppgaven.

1.5 Struktur

Oppgaven vil først ta for seg grunnleggende teori innenfor relevante tema til problemstillingen: Energy Management System, batteriteori, solceller, frekvensomformer og brukergrensesnitt. Deretter beskrives materialer som blir benyttet i modellen, delt opp innenfor temaene hardware, software og brukergrensesnitt. Testmetoden for oppgaven beskrives nøye før relevante resultater presenteres og analyseres. Tester er gjennomført for å sjekke batterienes kapasitet og sensorenes nøyaktighet, som benyttes til estimat av gjenværende batteritid i modellen. Solcellene vil testes for å se hvor mye effekt de kan levere til modellen. Oppgaven avsluttes med en drøfting av arbeidet som er gjennomført, samt en samsvarende konklusjon. All dokumentasjon, koder og dypere testresultat er lagt til som vedlegg.

2 Teori

Dette kapitlet forklarer relevant teori for oppgaven. Temaene som vil forklares er: Energy Management System, batteriteori, solceller, frekvensomformer og brukergrensesnitt.

2.1 Energy Management System

Et Energy Management System (EMS) handler om å sikre effektiv energiutnyttelse ved å styre og overvåke energien i et system. Det finnes flere forskjellige standarder som kan benyttes for å etablere et velfungerende EMS. ISO 50001 og Kongsberg Energy Management er to eksempler på slike standarder.

ISO 50001 definerer et Energy Management System som et system som hjelper organisasjoner å administrere egen energibruk på en bedre måte, og dermed forbedre egen produktivitet. I tillegg innebærer det å utvikle en energipolitikk, sette oppnåelige mål for energibruk, og utforme handlingsplaner til å måle framgang (International Organization for Standardization, 2018, s.1-3). Likevel legges det trykk på at ikke alle EMS er like, ISO 50001 er kun et rammeverk for hva et EMS bør inneholde. Noen EMS vil ha høyt fokus på overvåking og måling av bestående energibruk, mens andre kan ha fokus på vesentlige endringer i prosesser og teknologi med mål om å redusere eller tilpasse et forbruksmønster (Field, 2019, s.9-10).

Ifølge Kongsberg er et Energy Management System med på å forbedre en besetnings bevissthet på et skips ytelse i tillegg til at det kan hjelpe med å redusere energibruk, drivstofforbruk og driftskostnader. Med andre ord kan et Energy Management System være nøkkelen til hvordan man kan forbedre ytelsen til et fartøy. Ved å sammenlikne nåværende data med historisk ytelse kan mannskapet utnytte mulighetene for å kutte utslipp og øke driftstid (Kongsberg, 2018, s.2). Et EMS må tilpasses i forhold til målgruppen, slik at relevant data blir presentert til riktige personer. EMS tar data fra skipets kontrollsystem og sensorer ombord. Gitt denne informasjonen kan mannskapet optimalisere driften, for eksempel ved å endre antall kjørende motorer for å treffe riktig belastningsområde med lavest mulig spesifikt drivstofforbruk. Figurene under viser eksempler på relevante Energy Management Systems hos Kongsberg. Figur 1 viser hvordan brukergrensesnittet ser ut om bord for mannskapet, mens figur 2 viser hvordan brukergrensesnittet ser ut for ledelsen som sitter på land. (Kongsberg, 2018, s.2-3).



On-board interface for crew

Figur 1. Brukergrensesnitt for mannskap om bord. Viser et mer detaljert bilde og har flere forskjellige faner å velge mellom. På bildet ser vi statistikk for en flåte sitt drivstofforbruk per måned. (Kongsberg, 2018, s.2).



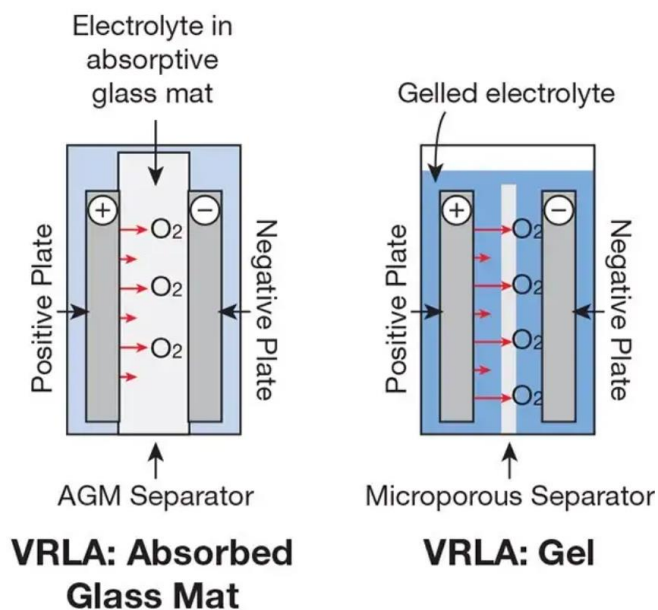
On-shore interface for management

Figur 2. Brukergrensesnitt for personell på land. Viser et mer overordnet bilde med et utdrag av den viktigste informasjonen. (Kongsberg, 2018, s.3).

2.2 Batteriteknologi

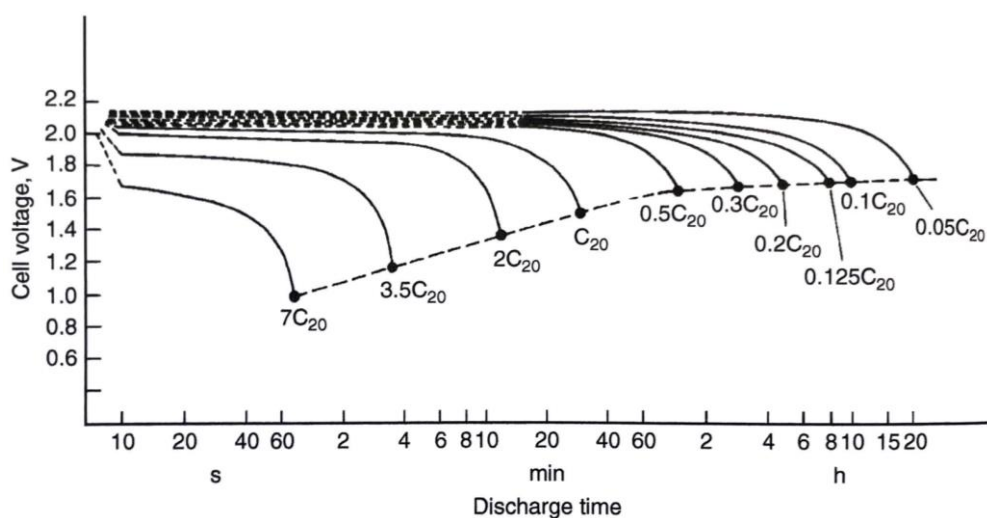
Batterier benyttes ofte som elektrisk buffer og, i tider der mer energi er tilgjengelig enn det som forbrukes, til energilagring i et energistyringssystem. Et batteri er en enhet som konverterer kjemisk energi direkte til elektrisk energi gjennom en elektrokjemisk redoksreaksjon, og andre veien tilbake til kjemisk energi ved lading av batteriet (Linden & Reddy, 2011, s.1.3). Det skilles mellom primærbatterier, som ikke kan lades opp og må kastes etter bruk, og sekundærbatterier som er oppladbare.

En type oppladbart batteri er bly syre batteri. Bruk av bly syre batterier er utstrakt, da de kommer i mange størrelser, design, spenninger og har en lav pris (Linden & Reddy, 2011, s.16.1). Overdreven lading av et bly syre batteri kan forårsake gassing, som igjen kan føre til at batteriet kan antenne. I senere tid er det derfor utviklet et ventilregulert bly syre batteri (VRLA), som har en reguleringsventil for å forsegle batteriet og frigjøre gass. Her er en enveis trykkavlastningsventil designet for å forsegle cellen helt til det interne trykket overskrider designets maksimale verdi. Det finnes to typer VRLA batterier: GEL-type og AGM-type (Linden & Reddy, 2011, s.17.1). Absorbent glassmatte (AGM) batterier har glassfibernet mellom batteriplatene som inneholder elektrolytten (Linden & Reddy, 2011, s.17.1). Dette sikrer mot lekkasje, og under normal drift frigjøres svært små mengder gass fra batteriet. I tillegg er batteritypen vedlikeholdsritt og mindre utsatt for sulfatering ved uønsket utladning, som kan degradere ladekapasiteten til batteriet. Batteritypen lader raskt, men kan være utsatt for overlading og høye temperaturer. GEL batterier vil typisk ha lenger levetid og tillate dypere utladninger, men krever mer spesifikke lademetoder (Zed, 2018). Figur 3 viser forskjellen på innsiden til de to VRLA batteriene. Kostanden for et AGM batteri er omtrent dobbelt så stor som for et vanlig bly syre batteri i samme størrelse, og et GEL batteri koster omtrent tre ganger så mye. Man bør velge et AGM batteri dersom man trenger et godt startbatteri, gjerne i kombinasjon med tidvis dype utladninger.

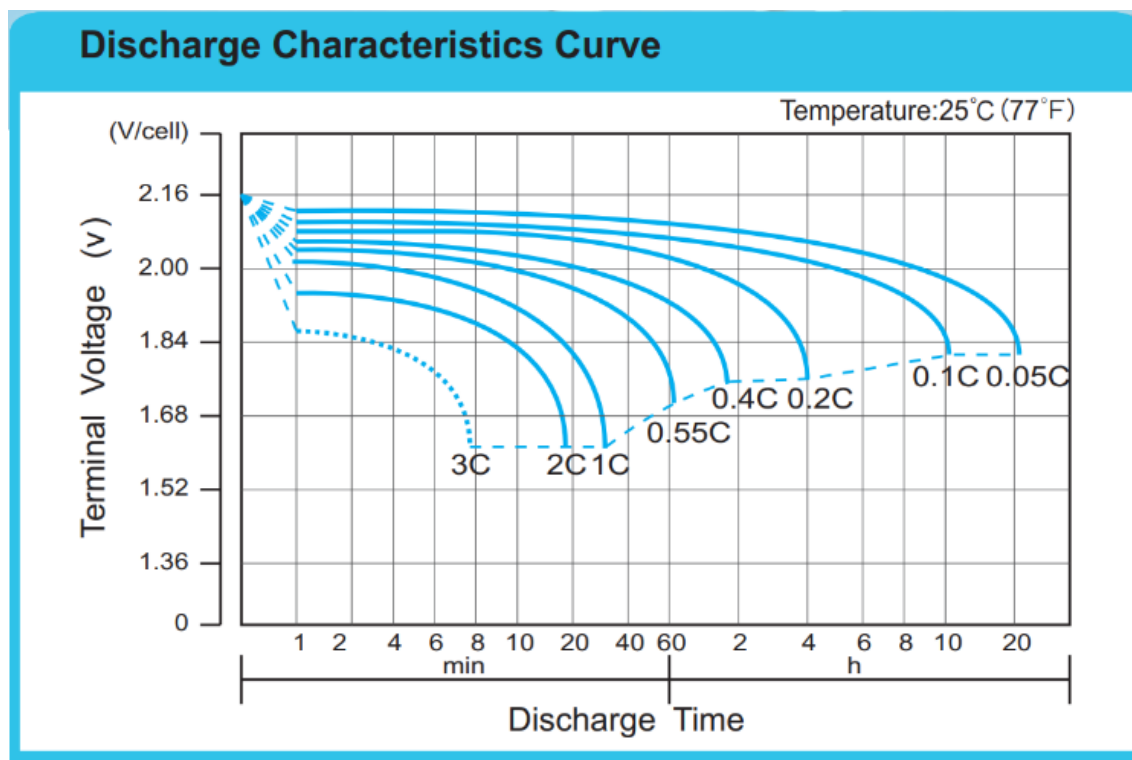


Figur 3. I et AGM batteri absorberes elektrolytten i glassmatten, mens i et Gel batteri er elektrolytten i gel-form. (Zed, 2018).

Et 12V bly syre batteri har seks seriekoblede celler, der hver celle har en spenning på omtrent 2,1V når fulladet. Da har et fulladet batteri en hvilespenning på 12,6V-12,7V. Et utladet batteri vil ha en spenning fra 2 Volt per celle (Vpc) og lavere. (Wikse, 2022). En typisk utladningskurve for et VRLA batteri er vist i figur 4 med C-faktor C₂₀, ved 20°C (Linden & Reddy, 2011, s.17.18).



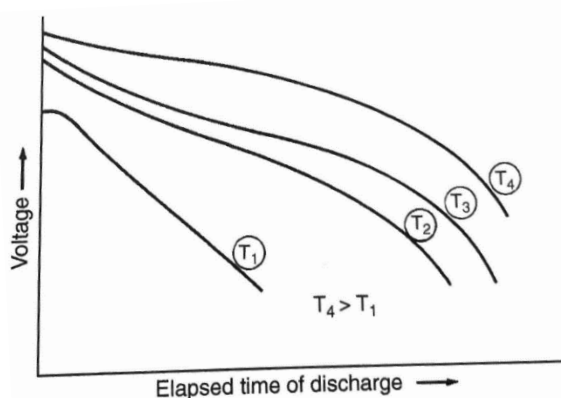
Figur 4. Typisk utladningskurve VRLA batteri ved 20°C (Linden & Reddy, 2011, s.17.18).



Figur 5. Eksempel på en utladekurve for et batteri (Ritar, u.å.)

I en utladningskurve ser man spenningen over batteriet per tidsenhet. C-faktor er den mest vanlige metoden som benyttes for å måle hastigheten et batteri lades eller utlades med (Linden & Reddy, 2011, s.3.4). C-faktor defineres som forholdet mellom strøm og nominell kapasitet, som vist i formel 2.1. Dersom et batteri med kapasitet 100Ah celle utlades med 0.1C, så er det fullstendig utladet på 10 timer. Dette vises i figur 5.

$$C - faktor = \frac{Strøm [A]}{Nominell kapasitet [Ah]} \quad (2.1)$$



Figur 6. Effekt av temperatur på batterikapasitet. Temperatur øker med indekseen (Linden & Reddy, 2011, s.3.9).

Temperaturen batteriet har under utlading er en av flere faktorer som vil påvirke ytelsen til batteriet. Dette er på grunn av både reduksjon i kjemisk aktivitet og økning i batteriets interne motstand ved fallende temperatur. Å redusere batteriets temperatur under utlading vil redusere kapasitet samt øke stigningen til utladningskurven. Generelt kan man anta at den beste ytelsen finnes mellom 20°C og 40°C. Dette illustreres i figur 6, der temperaturen er progressivt økende fra T₁ til T₄, der T₄ er romtemperatur (Linden & Reddy, 2011, s.3.9).

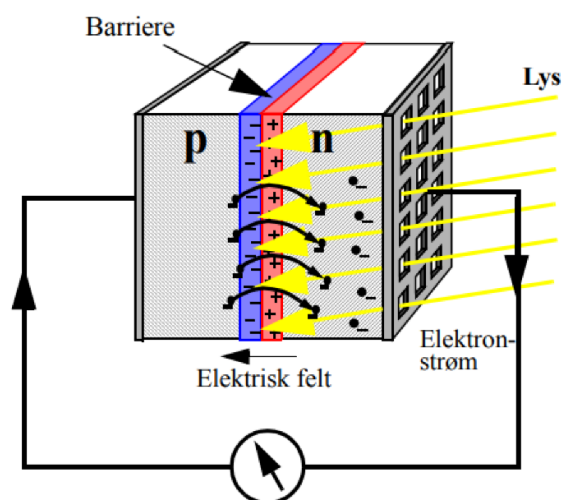
2.3 Solceller

Solenergi er både lys- og varmestråler fra solen, og kan anses som den primære energikilden på jorden. I løpet av et år er mengden strålingsenergi som treffer jorden omtrent 15 000 ganger jordens forbruk. Med andre ord, dersom man klarer å utnytte en større andel av denne energien vil man ha nok energi så lenge solen skinner (Rossing et al., 2020, s.10).

En halvleder er en isolator som er kontrollert forurenset av et annet stoff slik at det får noen frie elektroner og blir svakt ledende. Solceller er bygget opp av halvledere. Cellene består av tynne flak silisium, som i ren form er en isolator. Silisium er et grunnstoff hvor atomene er bundet til hverandre i et krystallgitter. Et slikt krystallgitter leder strøm dårlig, så for at silisium skal fungere som en solcelle må den forurennes av for eksempel bor og fosfor (Rossing et al., 2020, s.21).

Ved å forurense silisium med fosfor vil det forurensete silisiumet bli noe ledende med noen frie elektroner. Siden fosfor har fem elektroner i det ytterste skallet vil det være et overskudd av elektroner, og materialet vil bli negativt-dopet (n-dopet). Det motsatte skjer når bor tilsettes, da bor har tre elektroner i det ytterste skallet og vil dermed skape et elektronhull i krystallgitteret. Dette fører til et positivt-dopet (p-dopet) materiale, da det blir ledige elektronposisjoner i gitteret (Rossing et al., 2020, s.21).

En solcelle er p-dopet med et tynt n-dopet lag ved overflaten som skal belyses. Om man tar et n-dopet materiale og legger inntil et p-dopet materiale får man en pn-overgang. Her vil en ladningsforflytning finne sted da elektronene i n-området vil diffundere over til p-området og vil fylle en del av elektronhullene. Dette fører etter hvert til at p-området nært grenseskiktet blir negativt ladet, mens n-området blir positivt ladet. Av denne grunn oppstår et elektrisk felt over pn-overgangen, og det vil til slutt oppstå en likevekt av elektroner (Rossing, u.å., s. 4).

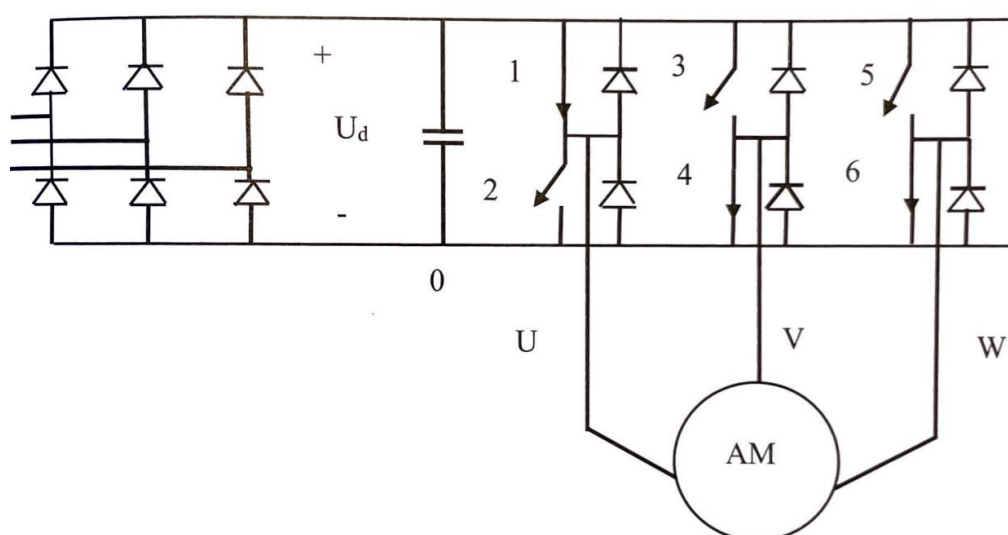


Figur 7. Sollys tilfører elektroner energi og elektronene slås løs fra krystallgitteret (Rossing, 2014, s.15).

Når pn-overgangen belyses med tilstrekkelig energi vil elektroner slås løs fra krystallgitteret og føres over til n-området, mens det oppstående hullet vil bevege seg med feltet. For å gjenopprette balansen må elektronene returnere til p-området, der den letteste veien er gjennom ledningen som går på utsiden av panelet. Dette illustreres i figur 7. (Rossing, u.å., s. 4-5). Solenergi er ikke en permanent tilgjengelig energikilde. Av denne grunn er det behov for energistyring og energilagring ved bruk av solceller.

2.4 Frekvensomformer

En frekvensomformer styrer en motors turtall og moment ved å omforme en satt spenning og frekvens (ofte nettspenningen, U_L) til en variabelt styrbar spenning og frekvens. Hovedkomponentene til en frekvensomformer er en likeretter, en mellomkrets, og en vekselretter. Likeretteren likeretter påtrykt nettspenning, mens mellomkretsleddet stabiliserer og regulerer strøm eller spenning på DC-bussen. Vekselretteren har som oppgave å generere utgående spenning til motor med valgt spenning og frekvens (Sivertsen, 2019, s.182-185). Figur 8 viser oppbyggingen av en puls bredde modulert frekvensomformer, der U_d er middelverdi av likerettet spenning ($U_d = 1,35U_L$)



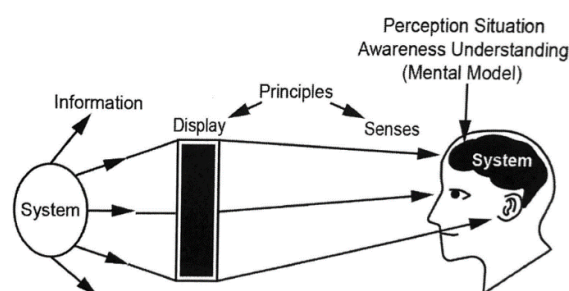
Figur 8. Prinsippkjema for puls bredde modulert frekvensomformer (Sivertsen, 2019, s.185). U, V og W er utgående faser til asynkronmotor AM.

Det finnes flere prinsipper for frekvensomformere, der en av de vanligste er puls bredde modulering (PBM). En slik frekvensomformer består av en diodestyrte likeretterkrets, en spenningsstyrt mellomkrets og en spenningsstyrt vekselretterkrets. De seks svitsjene i vekselretteren styres av et kontrollsignal og et trekantsignal. Når kontrollsignalet er større enn trekantsignalet for de respektive fasene får svitsjene 1, 3, 5 startsignal. Når trekantsignalet er større enn kontrollsignalet får svitsjene 2, 4, 6 startsignal. Frekvensen på motorspenningen kan dermed justeres ved å endre på disse styrespenningene (Sivertsen, 2019, s.182-185). Disse egenskapene til frekvensomformeren gjør dermed at den kan få tilført en fast enfase spenning og omgjøre utgangen til trefase styrbar spenning.

2.5 Brukergrensesnitt

Oppbygging og design av menneske maskin interaksjon (MMI), også kjent som «Human Machine Interface» (HMI) er essensielt for at et system skal fungere best mulig i samvirke med mennesker. Det største fokus her er på design og oppbygging av display og valg av kontrollere. Ifølge Designing For People har en god HMI til hensikt å forbedre sikkerhet ved å redusere risiko for skade og død, prestasjoner ved å øke produktivitet, kvalitet og effektivitet, og tilfredshet ved å øke aksept, komfort og velvære (Lee et al., 2017, s. 4).

Bruken av display er en vanlig og effektiv måte å vise relevant informasjon om et system til brukeren. USA sin MIL-STD definerer visuelt display som: “*Visual display: Any device that presents graphical information, textual information, or images in a static or dynamic format that is electronically, electrically, or naturally illuminated*” (Department Of Defense, 2019, s.20). Et system inneholder ofte store mengder med informasjon. Hvis brukeren av systemet skulle forholdt seg til all denne informasjonen er det sannsynlig at mengden informasjon hadde blitt uhåndterbar. Derfor er oppgaven til et display å redusere den tilgjengelige informasjonen til systemet på en forståelig måte. Dermed må mengden og kompleksiteten av informasjonen som blir presentert samsvare med brukeren sin evne og behov til å prosessere informasjonen (Lee et al., 2017, s. 244-45). Figur 9 illustrerer hvordan et display siler ut viktig informasjon og gir denne informasjonen videre til brukeren.



Figur 9. Samspill mellom system, display og menneskelig oppfatning. (Lee et al., 2017, s.245)

For å kunne styre et system er man avhengig av kontrollere (controllers) og utvalget av slike er stort. MIL-STD definerer kontrollere som “*A device or coordinated arrangement of devices used to direct the actions of or to cause a system or subsystem to act or function in a certain way*” (Department Of Defense, 2019, s.17). Man kan velge mellom bryter, spaker, ulike tastatur, vippebryter, stemmestyring, joystick med flere. Å velge riktig kontrollertil systemet vil føre til mindre brukerfeil og systemet blir enklere å styre.

Brukervennlighet av riktig kontroll er avhengig av mange faktorer slik som farge, størrelse og utforming av kontrolleren (Lee et al., 2017, side. 285).

HMI fokuserer på samhandlingen mellom maskiner og menneske. Med andre ord så fokuserer en HMI på å koble sammen brukeren og maskinen gjennom bruk av display og kontrollere, for å oppnå et satt mål. Det er stor variasjon i bruken av HMI, alt fra komplekse automasjonssystem til enkle videospill på mobilen. Det er derfor viktig å vite målgruppen til brukergrensesnittet som skal designes. Videre er samhandlingen mellom menneske og maskin delt opp i tre dimensjoner: er bruken av systemet påbudt eller selvvalgt, hvor ofte skal systemet brukes og hvordan er oppgaven strukturert (Lee et al., 2017, s. 325-328).

Påbudt bruk er ofte når systemet må benyttes i forbindelse med jobb eller et oppdrag, for eksempel sykehusjournaler, våpensystemer eller navigasjonssystemer. Slike HMI stiller store krav til både ytelse og sikkerhet. Selvvalgt bruk er for eksempel Facebook, spill eller nettsider. Her er brukervennlighet, enkelhet og glede mer i fokus enn sikkerhet og ytelse. Bruksfrekvens er også viktig når det gjelder design av HMI. Hvor ofte en person bruker systemet kan ha stor innvirkning på graden av kompleksitet systemet kan ha. System der brukeren har fått opplæring og bruker systemet daglig kan inneholde mer informasjon, flere funksjoner og en økt grad av kompleksitet enn systemer som skal kunne håndteres av uerfarne en sjelden gang. Oppdragsstruktur handler om oppgaven har klart definerte steg eller om oppgaven tilrettelegger for mer kreativ tenkning. En oppgave som å fylle ut et skjema vil gi brukeren en stegvis gjennomgang av hva som skal gjøres og det vil dermed være mindre mulighet for feil. I motsetning vil en oppgave som å bruke et tegneprogram til å lage komplekse tegninger eller visualiseringer kreve mer kunnskap.

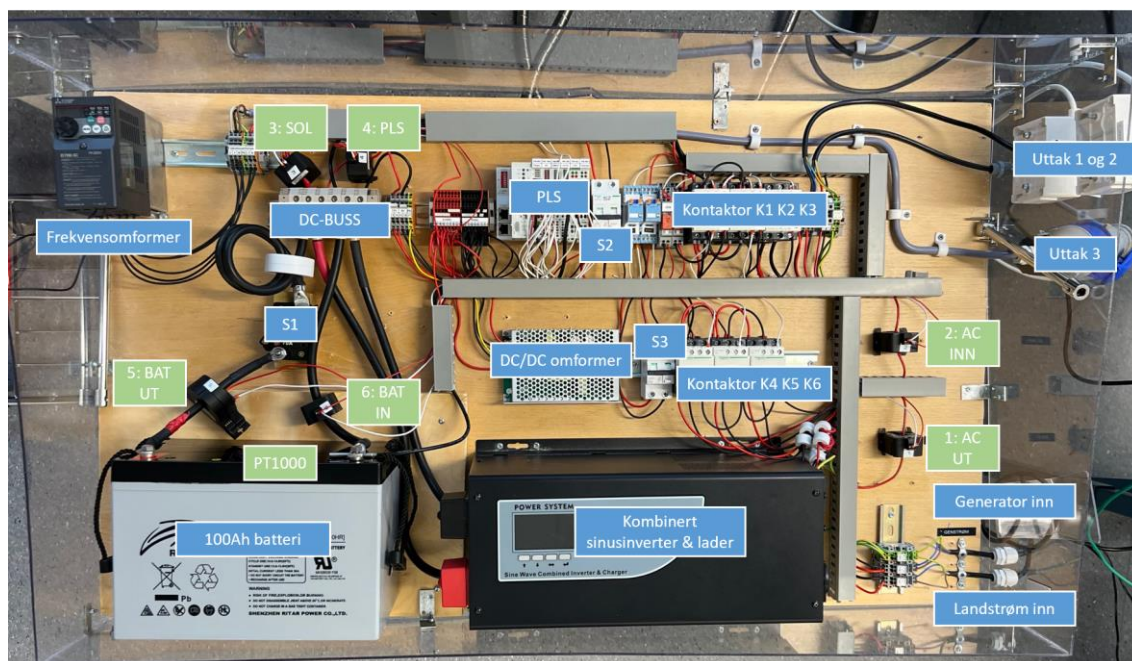
Disse dimensjonene angående bruksområde til HMI er avgjørende for designet. Dersom man ikke kjenner målgruppen på brukergrensesnittet man lager vil resultatet ikke være tilfredsstillende.

3 Materialer og metode

I dette kapittelet presenteres materialene som blir benyttet i prosjektet, samt hvilken metodikk som er benyttet for å løse oppgaven. Først presenteres fysisk maskinvare, deretter systemvare og tilhørende brukergrensesnitt. Til slutt presenteres testmetodene for utlade-test, kalibrering av sensorer og test av solcelleeffekt.

3.1 Hardware

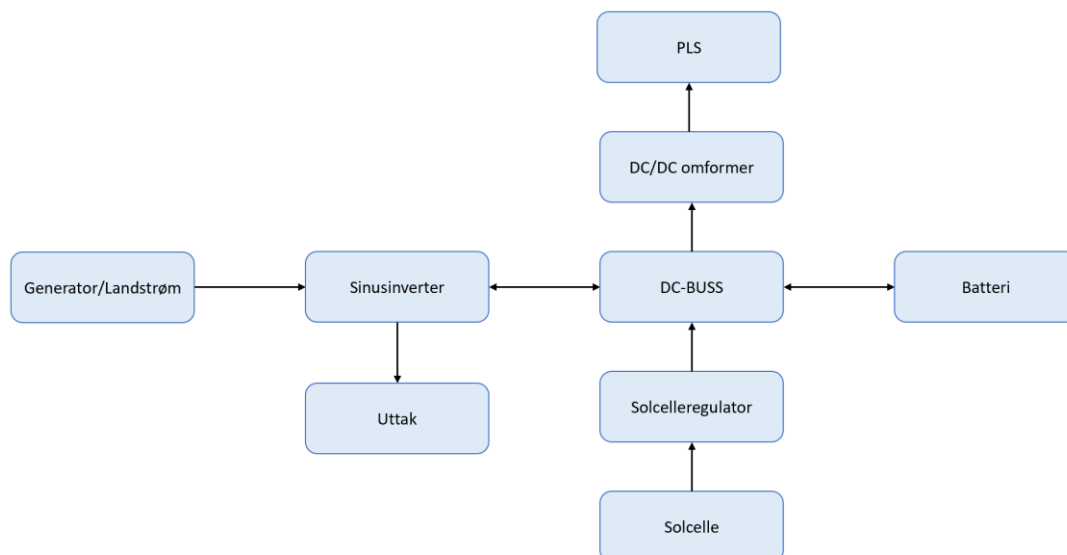
Oppbyggingen av modellen vises i figur 10. I blått markeres komponentene og i grønt markeres sensorene. Sensorene markert med tall 1 til 6 er strømtransformatorer som benyttes for å måle strømflyt i modellen. For å styre modellen benyttes en Programmerbar Logisk Styling (PLS) vist sentralt på figur 10 under. Anskaffelsene i modellen vises i vedlegg G.



Figur 10. Fysisk oppsett av modellen sett ovenfra.

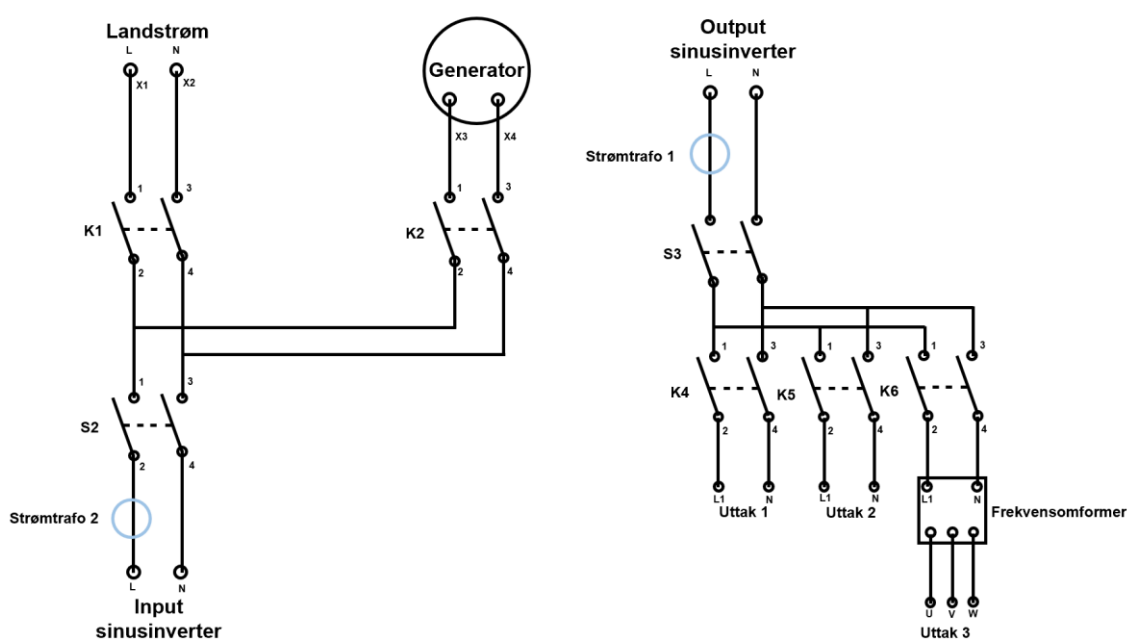
I tillegg til det som vises i figur 10 har modellen flere komponenter som benyttes. Det finnes en generator med tilhørende temperatursensor som står under modellen. Solcellene kobles opp via en solcelleregulator og inn på DC-bussen. En LCD skjerm benyttes for å vise brukergrensesnittet, og det finnes et sett med knapper som kan styre frekvensomformeren.

Figur 11 illustrerer energiflyten som skal styres i oppgaven. Generator, landstrøm og uttakene har en spenning på 230VAC, DC-bussen (batteri og solcellene) har en spenning på 12VDC, og PLS har en spenning på 24VDC.



Figur 11. Energiflyten i systemet vist i et flytdiagram.

For å kunne styre hvilket lastscenario som er ønsket er det gjort endringer i oppkoblingen, som vises i hovedstrømskjema i figur 12. 230V hovedstrømskjema viser hva som skjer på inngang- og utgangssiden av sinusinverteren. Landstrøm og generator går inn på sinusinverteren, og ut har man de tre uttakene som styres ved hjelp av hver sin kontaktor. Uttak 3 er et trefase uttak og går dermed via en frekvensomformer.

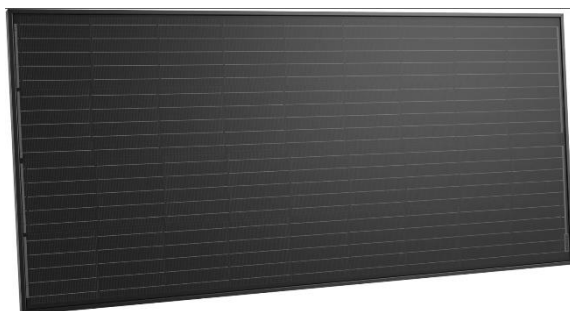


Figur 12. 230V Hovedstrømskjema som viser input og output på sinusinverteren

Vedlegg E viser de resterende systemskissene for 12VDC fordeling, PLS moduler og 24VDC fordeling.

Delkomponentene som benyttes i modellen beskrives som følgende.

3.1.1 Solcellepanel og solcelleregulator



Figur 13. 200W Solcellepanel med PERC teknologi (Hyttetorget, u.å.(b)).

Solcellepanelet, som vist i figur 13, har en maksimal effekt på 200W, og har en virkningsgrad på 22,4%. Panelet utnytter seg av PERC (Passivated Emitter and Rear Cell) teknologi, som øker ytelsen på solcellepanelet ved å benytte et ekstra lag på baksiden av solcellene til å absorbere mer lys. Monopanel slik som disse lader best når solen skinner, men fungerer også når det er overskyet.



Figur 14. 20A PBM Solcelleregulator (Hyttetorget, u.å.(c)).

I tillegg benyttes en solcelleregulator med pulsbreddemodulasjon, som vist i figur 14, for å sikre korrekt lading av batteriet. Regulatoren har en merkestrøm på 20A og kan benyttes på solceller opp til 260W. I tillegg har regulatoren en LCD skjerm som blant annet viser omgivelsestemperatur, ladestrøm fra solcellepanelet og ladestatus med eventuelle feilkoder.

3.1.2 Kombinert sinus inverter og batterilader



Figur 15. Kombinert sinus inverter og batterilader (Power Star, u.å., s.2).

Batteriene og solcellene fungerer som kjent som 12VDC energikilder, så for å kunne koble disse opp mot resten av modellen benyttes en sinus inverter, som vist i figur 15. En sinus inverter omformer DC spenning til AC spenning gjennom puls bredde modulasjon. I tillegg kan sinus inverteren benyttes for å omforme fra AC til DC ved å like-rette og transformere spenningen for å lade batteriet.

Enheten brukt i modellen er en kombinert batterilader på 12V 35A og ren sinus inverter på opp til 1000W. Det vil si at i tillegg til å omforme spenningen gjør enheten det mulig å lade batteriet når man går på landstrøm eller i generator drift.

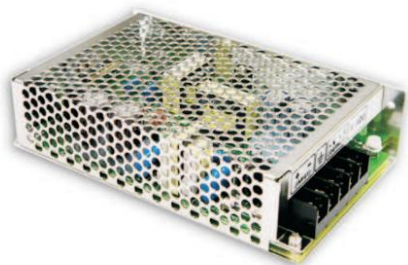
3.1.3 Frekvensomformer FR-D720S

Frekvensomformer, som vist i figur 16, følger prinsippet som forklart i teoridelen (2.4). Frekvensomformer har høy brukervennlighet med en firesifret LED skjerm som kan benyttes til å endre og overvåke dens parametere. Frekvensomformer har en merkestrøm på 4,2A og kan levere en nominell effekt på opptil 750W til 200-240VAC motorer. Frekvensen som leveres befinner seg i området 0,2-400Hz, med en svitsjefrekvens på 0,7-14,5kHz (Mitsubishi Electric, u.å.). Frekvensomformer driver en trefase motorforbruker med en belastning på opp mot omtrent 250W. Frekvensomformer aktiveres ved hjelp av en ekstern knapp som befinner seg på modellen, og pådrag styres ved bruk av hjulet på frekvensomformer.



Figur 16. Frekvensomformer (Mitsubishi Electric, u.å.).

3.1.4 DC/DC omformer



Figur 17. DC/DC omformer
(Mean Well, u.å. s.1).

DC/DC omformere benyttes for endring av spenningsnivået eller for å skape en bedre regulert likespenning, for eksempel fra et batteri. Omformeren som er i bruk her tar inn spenning i området 9,2-18VDC og omgjør denne spenningen til 24VDC. Omformeren er vist i figur 17. Omformeren kan benyttes som strømforsyning til utstyr som krever helt stabil spenning, i vårt tilfelle PLSen. DC/DC omformeren har innebygd beskyttelse mot kortslutning, overbelastning og for høye spenninger. I tillegg så har enheten innebygd EMI filter, for å begrense støy.

3.1.5 Batteri

Modellen er utstyrt med to forskjellige 12V batterier, i den hensikt å ha et testbatteri med mindre kapasitet og et mer realistisk driftsbatteri.

3.1.5.1 Marathon L12V24



Figur 18. Marathon L12V24 batteri (GNB Industrial Power, u.å.).

Marathon L12V24, som vist i figur 18, er et robust og vedlikeholdsfritt AGM batteri med en nominell kapasitet på 23,5Ah. Batteriet har en kort oppladningstid, og passer dermed utmerket som et testbatteri.

Tabell 1 under er et utdrag fra databladet og viser batteriets viktigste tekniske egenskaper (GNB Industrial Power, u.å.).

Tabell 1: Marathon L12V24 Teknisk spesifikasjon

Nominell spenning [V]	Nominell kapasitet (C10) 1,8 Vpc [Ah]	Nominell kapasitet (C1) 1,6 Vpc [Ah]	Kortslutningsstrøm [A]	Intern motstand [mΩ]
12	23,5	15,8	880	14,3

Batteriet begrenses av en 70A sikring, noe som tilsier at det kan maksimalt trekkes 840W ut fra batteriet.

$$P = U \cdot I \quad (3.1)$$

$$P = 12V \cdot 70A = 840W$$

Ved interpolasjon av informasjonen i batteriets datablad kan man finne den estimerte tiden batteriet vil vare på en slik belastning. Forutsetninger her er at batteriet utlades til 1,8Vpc ved 20 °C. Ut ifra denne informasjonen kan man estimere at batteriet vil tømmes på omtrent 6 minutter ved maksimal belastning. Ved en så kort tid vil det være utfordrende å få en nøyaktig utladetest, og dermed et nøyaktig estimat av batteriets tilstand.

$$t = t_{max} + (A - A_{min}) \cdot \frac{t_{min} - t_{max}}{A_{max} - A_{min}} \quad (3.2)$$

$$t_{70A} = 10 + (70 - 52) \cdot \frac{5 - 10}{76 - 52} = 6,25 \text{ minutter}$$

3.1.5.2 Ritar DC12-100S



Figur 19. Ritar DC12-100S batteri
(Ritar, u.å.)

Ritar DC12-100S, som vist i figur 19, er et 100Ah AGM batteri med «Deep Cycle» teknologi. «Deep Cycle» batterier er designet for å regelmessig kunne gjennomføre en dyp utladning med mesteparten av batteriets kapasitet i takt (Ritar, u.å.). Tabell 2 viser et utdrag fra batteriets datablad med teknisk spesifikasjon for batteriet.

Tabell 2: Ritar DC12-100S Teknisk spesifikasjon

Nominell kapasitet (C20) 1,75Vpc [Ah]	Nominell kapasitet (C10) 1,75Vpc [Ah]	Nominell kapasitet (C5) 1,75Vpc [Ah]	Intern motstand [$m\Omega$]	Maksimal utladningsstrøm [A] (5 sek)	Maksimal ladestrøm [A]
100	95	83,5	4,8	1000 A	30

For å finne estimert tid batteriet kan levere maksimal belastning (70A) kan man gjennomføre tilsvarende beregninger som for Marathon L12V24 batteriet. Utrekningene forutsetter av man utlader batteriet til 1,8Vpc ved 25 °C.

$$t_{70A} = 60 + (70 - 51,3) \cdot \frac{30 - 60}{85,9 - 51,3} = 43,8 \text{ minutter.}$$

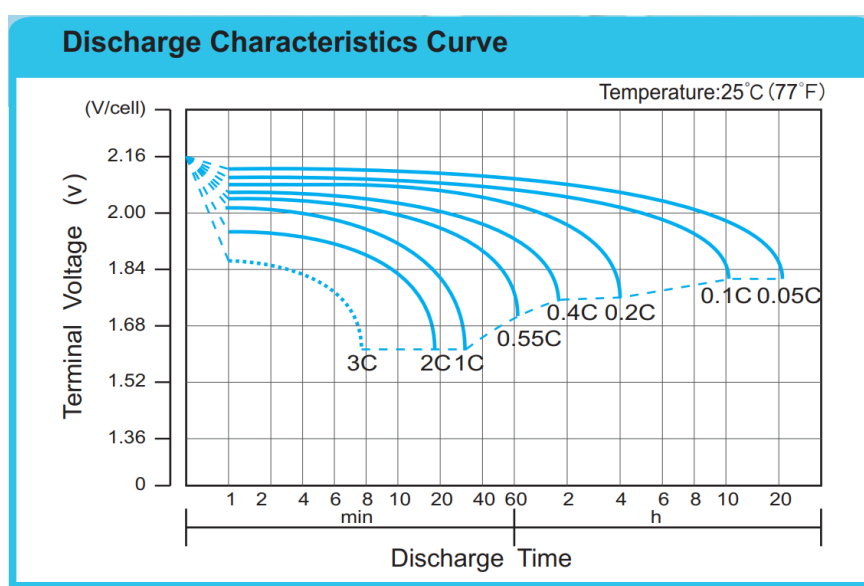
Ritar batteriet har omtrent syv ganger lengre estimert brukstid ved maksimal belastning enn Marathon batteriet. Av denne grunn vil batteriet fungere bedre som et bruksbatteri. Det vil gi brukeren et mer realistisk syn på hvor lenge batteriet kan benyttes, og er et bedre dimensjonert batteri til modellen som bruksmodell.

Leverandøren oppgir antall utladninger til å være 600 stykk ved 50% og 300 stykk ved 100% utladning. Dette batteriet er nyinnkjøpt og vil dermed ikke ha noen utladninger før denne oppgavens utladetester.

3.1.6 Forbrukere

De forskjellige scenarioene er basert på hvor mye forbrukerne trekker fra batteriet til en gitt tid. I tillegg til forbrukere på uttakssiden bruker PLS noe effekt, samt andre komponenter slik som sinusinverteren som står i standby. Til de forskjellige samlede effektene bestemmes tilsvarende strøm som må trekkes fra batteriet, slik at databladet til batteriet kan benyttes for interpolering ved formel 3.2 for å finne estimert driftstid under en gitt belastning. For å finne utladningsstrømmen ved valgt effekt brukes formel 3.3.

$$I = \frac{P}{U} \quad (3.3)$$



Figur 20. Produsentens utladekurve for RITAR DC12-100S batteri (Ritar, u.å.).

Figur 20 viser utladekurven til RITAR DC12-100S batteriet, og viser hvordan tiden det tar før batteriet er utladet endres ved forskjellige C-faktorer.

Om bord på fartøy har de klare prioriteringer når det gjelder hvilke laster som er vitale i enhver situasjon. Scenarioene i oppgaven baseres på forskjellige situasjoner der man vil trenge forskjellige typer og mengder last.

3.1.6.1 Høy belastning, 700W: «WAR»

Den høye belastningen representerer en klart skip situasjon, der man ønsker å benytte alt man har av fremdriftsmotorer, samtidig som man benytter en annen ekstern forbruker slik som et våpensystem. Disse belastningene er svært viktige, men tar mye energi og det er

dermed viktig å ha et nøyaktig estimat av hvor lenge modellen vil kunne fungere på denne belastningen. Den høye belastningen nærmer seg opp mot modellens maksimale kapasitet, men ved bruk av 100Ah batteriet fungerer modellen her i nærmere en time. Tabell 3 viser estimerte driftstider ved 700W.

$$I_{høy} = \frac{700}{12} = 58,3A$$

Tabell 3: Estimert driftstid ved 700W

Batteri	Estimert driftstid
Marathon L12V24 (23,5Ah)	8,7 minutter
Ritar DC12-100S (100Ah)	53,9 minutter

3.1.6.2 Middels belastning, 450 W: «PATROLLING»

Ved middels belastning vil modellen benytte seg av en simulert framdriftsmotor og en ekstern forbruker. Dette kan representere at et fartøy patruljerer et havområde for å overvåke og sikre det. Med dette forbruksnivået kan 100Ah batteriet vare i over 1,5 time. Tabell 4 viser estimerte driftstider ved 450W.

$$I_{mid} = \frac{450}{12} = 37,5A$$

Tabell 4: Estimert driftstid ved 450W

Batteri	Estimert driftstid
Marathon L12V24 (23,5Ah)	16,7 minutter
Ritar DC12-100S (100Ah)	1 time 41 minutter

3.1.6.3 Lav belastning, 350W: «TRANSIT»

Den lave belastningen representerer en transportsituasjon, der fokuset er å forflytte seg fra A til B. Lasten trekkes av en simulert fremdriftsmotor som ved bruk av en frekvensomformer har mulighet for å trekke totalt 350W ut av modellen. Denne transportetappen er en dagligdags rutine for fartøy, og det vises at ved bruk av batteri som energilagring kan denne energien nyttes til transport. Ved bruk av 100Ah batteriet kan modellen driftes ved lav belastning i over to timer. Tabell 5 viser estimerte driftstider ved 350W.

$$I_{lav} = \frac{350}{12} = 29,1A$$

Tabell 5: Estimert driftstid ved 350W

Batteri	Estimert driftstid
Marathon L12V24 (23,5Ah)	24,4 minutter
Ritar DC12-100S (100Ah)	2 timer 17 minutter

3.1.6.4 Ingen belastning, 78W: «STANDBY»

Dersom ingen forbrukere er koblet til vil modellen likevel trekke 78W. Dette er det som kreves for å holde modellen i drift uten noen eksterne trekk. I realiteten vil denne lasten tilsvare et fartøy til ankers. Ved denne driftstilstanden kan begge batteriene drive modellen over lang tid, og viser tydelig at modellen kan være selvforsynt, selv uten påfyll av generatorens drivstoffnivå eller å være koblet til landstrøm. Tabell 6 viser estimerte driftstider ved 78W.

$$I_{stby} = \frac{78}{12} = 6,5A$$

Tabell 6: Estimert driftstid ved 78W

Batteri	Estimert driftstid
Marathon L12V24 (23,5Ah)	3 timer 14 minutter
Ritar DC12-100S (100Ah)	16 timer 30 minutter

3.1.7 Sensorer

For å kunne tolke tilstanden til systemet er man avhengig av nøyaktige strømverdier for å kunne beregne hvor mye effekt som brukes. I tillegg er temperatursensorer viktige for å overvåke systemet.

3.1.7.1 Seneca T201DCH50-LP strømtransformator



Figur 21. Strømmåler

**T201DCH50-LP (Seneca,
u.å.(c), s.3)**

Denne strømtransformatoren, som vist i figur 21, måler magnetfeltet rundt en ledning og kan ved bruk av Hall Effekten måle strømmen som går gjennom ledningen. Sensoren trenger en driftsspenning på 9 – 28V og har en output verdi på 4 – 20mA, noe som passer til analog-inn modulen PLSen. Sensoren kan måle både likestrøm og vekselstrøm, og en innebygd DIP switch kan benyttes for å justere måleområdet. (Seneca, u.å.(a), s.1)

Vekselstrøm måleområde: 0-50A/0-25A

Likestrøm måleområde: -50-50A/-25-25A

Fire slike sensorer benyttes for å måle strømmene inn og ut av energikildene og forbrukere:

SENSOR 1 0-25A AC UT (til forbrukerne)

$$I_{max} = \frac{P}{U} = \frac{1000W}{230V} = 4,35A$$

SENSOR 2 0-25A AC INN (fra AC energikilde)

$$I_{max} = \frac{P}{U} = \frac{2800W}{230V} = 12,17A$$

SENSOR 3 -25-25A DC INN (fra solcellene til DC-BUS)

$$I_{max} = \frac{P}{U} = \frac{200W}{12V} = 16,67A$$

SENSOR 4 -25-25A DC til PLS

$$I_{max} = \frac{P}{U} = \frac{12W}{24V} = 0,5A$$

3.1.7.2 Seneca T201DCH300-LP strømtransformator

Denne strømtransformator, som vist i figur 22, benytter seg også av Hall Effekten til å måle strøm. Denne måleren benyttes for å måle likestrøm inn og ut av batteriet. Måleområdet til sensor 5 innstilles på -150-150A, for å samsvare med den begrensende sikringen ved batteriet på 70A (Seneca, u.å.(b), s.1).



Figur 22. Strømmåler T201DCH300-LP (Seneca, u.å.(c), s.4)

3.1.7.3 PT1000 temperatursensor



Figur 23. PT1000 temperatursensor (Jumo, u.å.).

Et PT1000 element, som vist i figur 23, er en temperatursensor som er basert på at motstanden endrer seg med temperaturen. PT står for at metallet i sensoren er platina og 1000 står for at motstanden er 1000Ω ved $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Temperatursensoren skal være svært nøyaktig og har et bredt måleområde fra $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $600\text{ }^{\circ}\text{C}$. I modellen benyttes to temperatursensorer, der den ene måler temperaturen til generatoren og den andre måler temperaturen til batteriet. PLSen har en egen modul som benyttes til avlesning av motstandselementer, som vil forklares i kapittel 3.1.9.

3.1.8 Kabling

I alle elektriske anlegg skal det gjennom beregning dokumenteres at kablene ikke blir overbelastede. Belastningsstrømmen regnes ut fra maksimal belastning på batteriet. Det settes et krav om at belastningsstrømmen I_B skal være mindre eller lik vernets størrelse I_n som skal være mindre eller lik kabelens strømføringssevne I_z . Beregningene utføres ved hjelp av skjema i læreboken *Elenergi* (Andersson-Ulseth, 2015, s.154) og *NEK400 Elektriske lavspenningsinstallasjoner*. Relevante utregninger er vist i tabell 7.

Krav 1:

$$I_B \leq I_n \leq I_z$$

Tabell 7: Beregning av kabeldimensjon 12V

Belastningsstrøm I_B	$I_B = \frac{P}{U} = \frac{750W}{12V} = 62,5A$
Vernets størrelse I_n	$I_n = 70A$
Referanseinstallasjonsmetode	C «En- eller flerleder kabel montert på en trevegg»
Type kabelisolasjon	PVC
Strømføringsevnen I_z	85A (for 16 mm ²)
Kabelverrsnitt [mm ²]	16
Korreksjonsfaktor for temperatur	1,06 ved 25 grader
Ny I_z	1,06*85 = 90,1A
Krav 1: $I_B \leq I_n \leq I_z$	62,5 ≤ 70 ≤ 90,1 OK
Resistansen i kabel $\rho_{cu} = 0,0175 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$	$R_L = \rho_{cu} \cdot \frac{l [m] \cdot 2}{A [mm^2]} \quad (3.4)$ $R_L = \frac{0,0175 \cdot 1 \cdot 2}{16} = 0,00219\Omega$
Spenningsfall i kabel	$\Delta U = I_B \cdot R_L = 70 \cdot 0,00219 = 0,153V$ $\Delta U\% = \frac{0,153 \cdot 100}{12} = 1,28 \%$

Det prosentvise spenningsfallet skal være mindre enn 4% (Norsk Elektronisk Komité, 2014, s.172), noe det vil være dersom man benytter en kabel på 16mm². I utgangspunktet vil dette være tilfredsstillende å benytte i modellen, men siden 35mm² er det som er benyttet i modellen tidligere vil dette forbli uendret. Spenningsfallet vil da være 0,58% per meter.

$$\Delta U = I_B \cdot R_L = 70 \cdot \frac{0,0175 \cdot 1 \cdot 2}{35} = 0,07V$$

$$\Delta U\% = \frac{0,1 \cdot 100}{12} = 0,58 \%$$

3.1.9 PLS Kontrollsystem

Programmerbar Logisk Styring (PLS) er i prinsippet en datamaskin som er godt egnet til å styre og overvåke både store og små systemer. De fleste PLS er modulære, noe som gjør at de er enkle å bygge opp og endre etter det behovet som brukeren har. Noen av fordelene med PLS er at det er enkelt å koble til inn og utgangsutstyr, driftssikkerhet, enkelt å legge til flere moduler etter endrede behov og de kan kommunisere med andre styreenheter eller datamaskiner i nettverk. Bruksområdet til PLS er stort, og i dag brukes de til alt fra enkel lys og varmestyring i hus til komplekse automasjonsanlegg.

I prosjekteringen benyttes WAGO sine komponenter grunnet at de dekker de ønskede oppgavene. Disse komponentene benyttes i tillegg i undervisningen på Sjøkrigsskolen, noe som sikrer god tilgjengelighet. Datablad til PLS modulene er inkludert i dokumentasjon vedlagt i egen fil 7-12. PLS modulene forklares kort i tabell 8.

Tabell 8: PLS moduler

Modul (modellnr)	Info
Kontroller PFC100 (750-8101)	Programmerbar kontroller med 2x Ethernet. Driftsspenning på 24 VDC.
16-kanals digital utgang; 24 V DC; 0,5 A (750-1504)	Modul for å gi binære utgangssignaler til de tilkoblede aktuatorene.
Analog input (4-20 mA) (750-496)	Modul for måling av analoge 4-20 mA strømsignaler.
4AI RTD (750-450)	Modul for å måle resistansen i ledninger, returnerer temperatur
0-30 VDC differensialmåler (750-483)	Modul for å måle analoge differensialsignaler fra 0 til 30 V DC
Endemodul (750-600)	Modul for å avslutte den interne data kretsen og sikre en feilfri data flyt

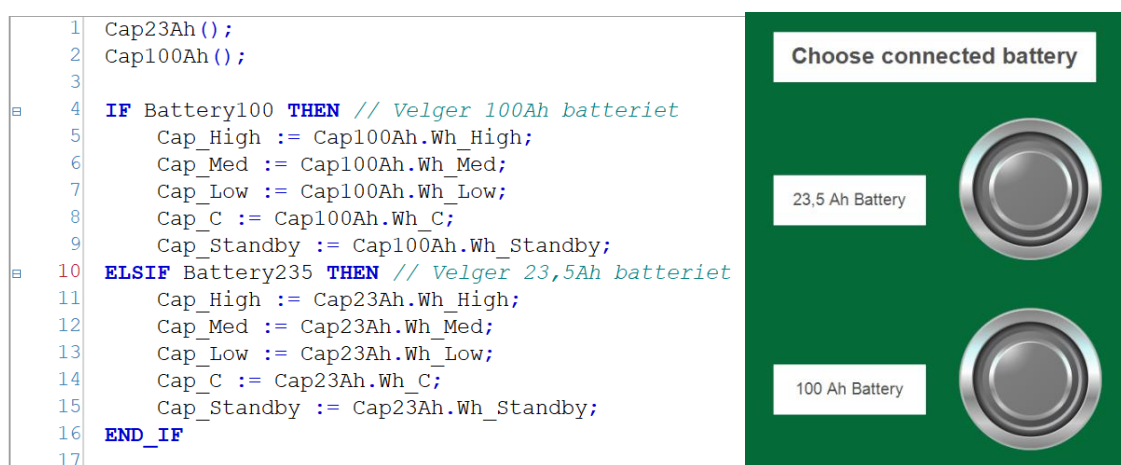
3.2 Software

For å videreutvikle modellen er systemvaren nødt til å tilpasses til de ønskede funksjonene til systemet. Koden som er benyttet i modellen baserer seg på den tidligere koden, med viktige justeringer. En endring skjer på grunn av de fysiske endringene, slik som muligheten til å bytte mellom to batteri, inkludering av solceller og flere uttak i systemet. I tillegg er det viktig å skape en metode for å ha mest mulig nøyaktige batteriestimat. Programmet bygges opp ved bruk av funksjonsblokker og bruk av en tilstandsbasert struktur i hovedprogrammet. Koden skal gjøre det enkelt for brukeren å benytte modellen ved å gjøre mest mulig automatisert, men likevel legge til rette for manuelle endringer dersom det anses som nødvendig. Hele programmet med tilhørende kommentarer er lagt ved som vedlegg D.

3.2.1 Estimering av batterikapasitet

For å kunne estimere batterikapasitet benyttes resultatene fra utladetestene sett opp mot de forskjellige scenarioene. Det er tiltenkt at brukeren skal kunne velge hvilket batteri de bruker ved oppstart, for å få opp korrekte estimat av batterikapasitet.

For enkelhetens skyld velges dette kun en gang. Dette er fordi man likevel må koble av systemet for å eventuelt skifte batteri. Av denne grunn brukes også strukturerte variabler i en funksjonsblokk for å sende programmet videre til korrekt batteriestimat. Denne funksjonsblokken er vist i figur 24.



Figur 24. Funksjonsblokk som lar brukeren velge hvilket batteri man bruker og gir ut korrekt informasjon. Til høyre ser man hvordan valget vil se ut i brukergrensesnittet.

For å kunne estimere batterikapasitet på mest mulig nøyaktig måte, er man nødt til å analysere resultatene fra utladetestene. Basert på spenningskurvene som vist i figur 20 vil man forvente at spenningen synker lineært i et spenningsområde, før spenningen vil synke eksponentielt mot slutten.

Basert på estimatet av gjenværende kapasitet kan gjenværende brukstid regnes ut. Kapasiteten for driftstilfellet deles på effekten som går ut av batteriet, noe som vil gi antall timer batteriet kan drifte modellen. Denne utregningen vises i figur 25.

```

19
20 EOT_High := REAL_TO_TIME(3600000*Capacity.Cap_High/W_Battery);
21 EOT_Medium := REAL_TO_TIME(3600000*Capacity.Cap_Med/W_Battery);
22 EOT_Low := REAL_TO_TIME(3600000*Capacity.Cap_Low/W_Battery);
23 EOT_Standby := REAL_TO_TIME(3600000*Capacity.Cap_Standby/W_Battery);
24 EOT_C := REAL_TO_TIME(3600000*Capacity.Cap_C/W_Battery);
25

```

Figur 25. Utregning av gjenværende brukstid basert på ønsket og nåværende effekt

3.2.2 Valg av spenningsmåler

Spenningen på DC-bussen måles ved bruk av 0-30VDC differensialmodulen på PLSen, og man har muligheten til å benytte seg av en gjennomsnittsmåling over de siste fem minuttene, eller en nåtidsmåling. Overgangskriteriene er vist i figur 26.

Første gang man går fra standby til høy last vil dette medføre en høy startstrøm. For at modellen skal kunne fortsette på batteridrift er man nødt til å benytte seg av en gjennomsnittsmåling av spenningen når spenningsmåleren viser under 11V.

```

1 //FB for å velge om man skal bruke gjennomsnitt verdi eller nåtid verdi av spenningsmåling
2 FUNCTION_BLOCK V_DC_Selector
3 VAR_INPUT
4 END_VAR
5 VAR_OUTPUT
6     V_DC_SEL : REAL;
7 END_VAR
8 VAR
9     DC_Realtme : Conversion;
10    DC_Average : Volt_Average;
11 END_VAR
12
13 DC_Realtme();
14 DC_Average();
15
16 //Hvis spenningen er mellom 12,75 og 11 V eller man går med land eller generator
17 //så bruker man nåtid verdi av spenning
18 IF (DC_Average.V_DC_AVERAGE > 12.5) OR (DC_Realtme.V_DC>11.0) OR (DC_Average.V_DC_AVERAGE = 0.0)
19     OR K2_Shore OR K1_Gen THEN
20     V_DC_SEL := DC_Realtme.V_DC;
21 ELSE //Hvis ikke bruker man gjennomsnittsverdi
22     V_DC_SEL := DC_Average.V_DC_AVERAGE;
23 END_IF

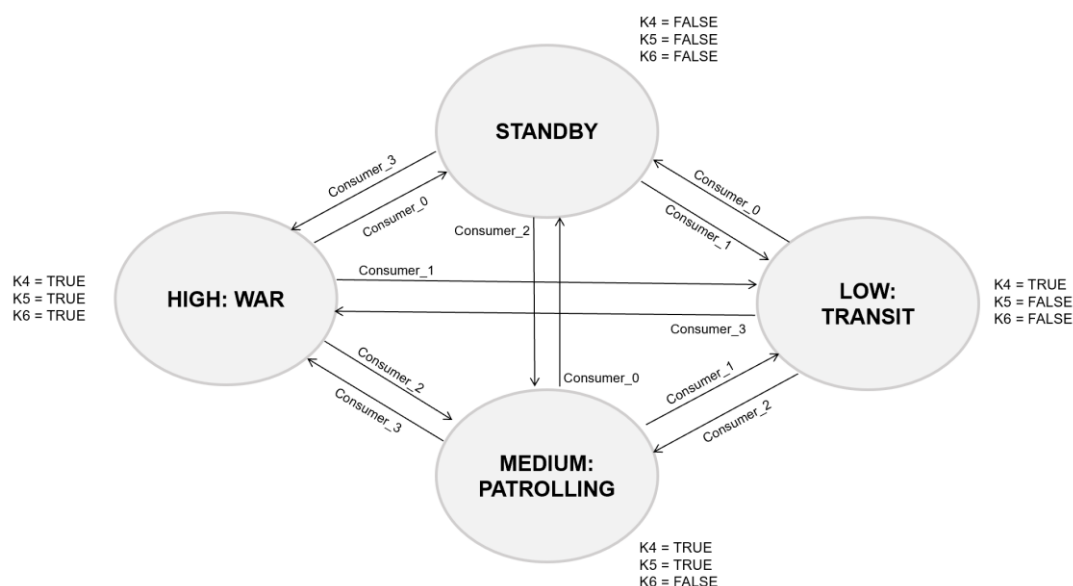
```

Figur 26. Kriterier for bruk av gjennomsnittsmåling eller sanntidsmåling

Modellen benytter seg også av en gjennomsnittsmåling når spenningen er over 12.5V, da den ikke lenger kan anses som lineær. Dette gjelder også for landstrømsdrift og generatordrift, da nåtidsverdien ikke vil være stabil.

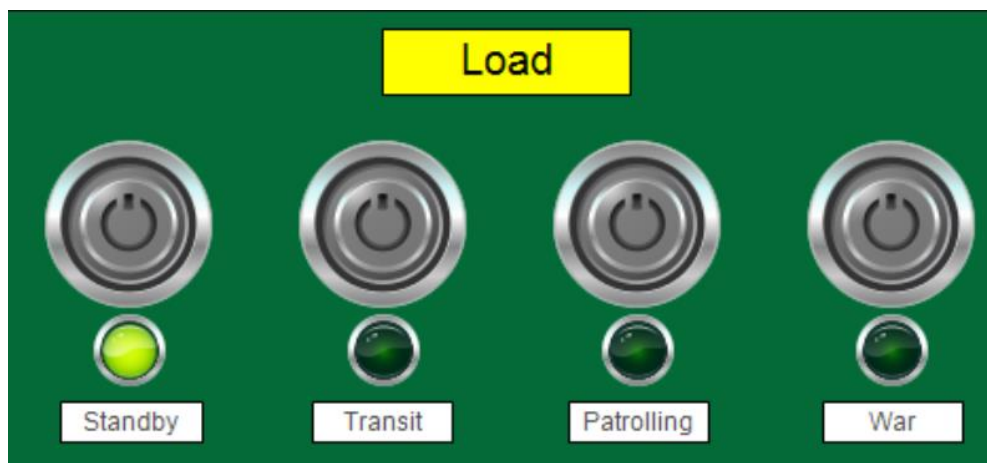
3.2.3 Hovedprogram

Tilstandsstrukturen er endret fra å omhandle energikildene i de tidligere bacheloroppgavene til å omhandle forbrukerne i denne oppgaven. Styringen i programmet baserer seg på tilbakemelding fra brukeren angående hvilket lastscenario som er ønsket. Dette gjøres enkelt via knapper på HMIn. Dette signalet brukes deretter for å styre kontaktorene K4, K5 og K6. Strukturen vises i et tilstandsdiagram i figur 27, der «Consumer_x» er knapper på HMIn som tilsier hvor mange forbrukere som skal bli aktive.



Figur 27. Tilstandsdiagram for hovedprogrammet. Viser de fire forskjellige lasttilstandene.

Fra enhver lasttilstand kan man nå alle de forskjellige lastene. Det eneste som vil endre hvilken last modellen benytter seg er en fysisk endring fra brukeren. Figur 28 viser panelet på brukergrensesnittet der brukeren endrer hvilken lasttilstand som er ønsket.



Figur 28. Representasjon av hvordan valget av laster ser ut på brukergrensesnittet

I hver tilstand vil de relevante kontaktorene bli TRUE/FALSE (slått inn eller ut), og man vil få muligheten til å bli sendt videre til alle de andre tilstandene. I tillegg vil programmet gjenkjenne hvilken verdi for energien (Wh_Total_Bat) som skal benyttes som et estimat, basert på spenningsnivået. Et utdrag fra koden vises i figur 29.

```

CASE States OF
  Standby : //Case struktur på om man går med Standby, Low, Med eller High last
            //I Standby eller alle forbrukerne av
            //alle kontaktorene til forbrukerne er av i standby
            K4_User := FALSE;
            K5_User := FALSE;
            K6_User := FALSE;

            Wh_Total_Bat := Cap_Selector.Cap_Standby; // Verdi for Wh som skal benyttes hentes basert på batteri og last

            IF Consumer_1 THEN //Hvis man skrur på en forbruker går man over til low
              States := Low ;
              Consumer_1 := FALSE; //Resetter knapp
            END_IF

            IF Consumer_2 THEN //Hvis man skrur på en forbruker går man over til med
              States := Medium;
              Consumer_2 := FALSE; //Resetter knapp
            END_IF

            IF Consumer_3 THEN //Hvis man skrur på en forbruker går man over til high
              States := High;
              Consumer_3 := FALSE; //Resetter knapp
            END_IF

```

Figur 29. Utdrag fra koden som viser tilstand «Standby». Tilsvarende kode for de andre tilstandene er lagt ved som vedlegg D.

For å styre hvilken energikilde som brukes har man som tidligere mulighet til å benytte seg av knapper, eller andre forhåndsbestemte innstillinger.

Dersom spenningen over batteriet blir for lav, og brukeren ikke agerer vil modellen selv gjøre den endringen. For å benytte modellen på landstrøm kan man enten fysisk trykke på landstrømsbryteren, eller så vil modellen prøve å gå over til landstrøm når spenningen er under 11.2V. Dette er for at modellen skal kunne gå over til landstrømsdrift før generatordrift, dersom dette er tilkoblet. Energien beregnes ved bruk av tidligere estimat som

regnes ut i funksjonsblokkene «Capacity_Estimator» for hvert av de to batteriene. Dersom landstrøm ikke er koblet til et uttak vil modellen automatisk gå over til batteridrift, og man vil få et alarmvarsel. Dette måles ved bruk av strømtrafo 1 AC IN. I løpet av to sekunder vil modellen kunne gjenkjenne om det kommer strøm inn eller ikke og dermed kunne bestemme hvilken lasttilstand som bør benyttes. Koden for landstrøm som energikilde er vist i figur 30.

```
//Landstrøm som energikilde. Dersom landstrømsbryter trykkes eller spenningen blir for lav
IF (Shore_Switch OR (V_DC_Select.V_DC_SEL <=(11.2))) THEN
  K2_Shore := TRUE;
  Battery_State := FALSE;
  K1_Gen := FALSE;
  GenStop := TRUE;
  GenStart := FALSE;
  Shore_Switch := FALSE;
  Wh_Count (Start := TRUE);

END_IF

//Endring i Wh summerer med forrige estimerte nivå på batteriet
Wh_Count_Timer (IN := K2_Shore);
IF (Wh_Count_Timer.ET >= Temp_Time + T#1S) THEN
  Wh_Total_Bat := Wh_Total_Bat + Wh_Count . Wh_Bat;
  Temp_Time := Wh_Count_Timer.ET;
END_IF

// Dersom landstrøm ikke er koblet til får man en alarm og kobles over på batteri
LandTimer(IN:=K2_Shore);
IF (LandTimer.Q = TRUE AND (A_AC_IN_RAW < 150.0)) THEN
  Shore_Off := TRUE;
  Battery_Switch := TRUE;
END_IF
```

Figur 30. Koden ved bruk av energikilde landstrøm.

For å benytte seg av batteri som energikilde vil man enten bli sendt fra landstrømsdrift dersom landstrøm ikke er koblet til, eller så kan brukeren manuelt benytte seg av batteribryteren. I batteridrift vil energinivået regnes ut basert på spenningen over batteriet og verdiene innhentet fra utladetestene. Av denne grunn vil tiden nullstilles og gjøres klar for å benyttes i estimat i landstrøm og generatordrift. Koden for batteri som energikilde er vist i figur 31.

```
//Batteri som energikilde
IF Battery_Switch THEN
  Battery_State := TRUE;
  K2_Shore := FALSE;
  K1_Gen := FALSE;
  GenStop := TRUE;
  GenStart := FALSE;
  Battery_Switch := FALSE;

  //Nullstillingen av timer til Wh inn og ut
  Wh_Count (Start := FALSE , Time_Var := T#0S);
  Wh_Count_Timer (IN := FALSE);
  Temp_Time := T#0S;

END_IF
```

Figur 31. Koden ved bruk av energikilde batteri.

Generatoren kan som de andre lasttilstandene kobles til ved bruk av en generatorbryter. I tillegg vil modellen gå over til generatordrift dersom spenningen blir lavere enn en satt verdi for Volt_Min, vanligvis 11V. Dette vil kun skje dersom landstrømmen ikke er tilkoblet, da generatoren er et alternativ som bør benyttes dersom brukeren ønsker det, eller dersom man ikke har noe annet alternativ. Generatoren har mulighet for å starte automatisk ved bruk av choke dersom temperaturen er for lav. Dette skjer ved bruk av et relé som pulserer hvert sekund. Reléet vil slutte å pulsere når strømtransformator 1 gjenkjenner at det kommer strøm inn. Dette gjør at man kan starte generatoren både fra batteridrift, og fra landstrømsdrift. Koden for generator som energikilde er vist i figur 32.

```

// Generator som energikilde.
// Dersom generatorbryter trykkes eller spenningen blir for lav OG landstrøm ikke er tilkoblet
IF (Generator_Switch OR ((V_DC_Select.V_DC_SEL <= Volt_Min) AND A_AC_IN_RAW < 130)) THEN
  K2_Shore := FALSE;
  Kl_Gen := TRUE;
  GenStop := FALSE;
  Generator_Switch := FALSE;
  Generator_starter := TRUE;
  Battery_State := FALSE;

  //Oppdatering av timere til Wh
  Wh_Count (Start := TRUE);
  Wh_Count_Timer (IN := TRUE , PT := T#15S);
  IF (Wh_Count_Timer.ET >= Temp_Time + T#1S) THEN
    Wh_Total_Bat := Wh_Total_Bat + Wh_Count . Wh_Bat;
    Temp_Time := Wh_Count_Timer.ET;
  END_IF

END_IF

//Styring av generator. Startreleet pulserer i 1 sek til generatoren starter.
GenStart_TP (IN := Generator_starter);
IF ((A_AC_IN_RAW > 175) AND NOT GenStart_TP.Q) THEN
  Generator_starter := FALSE;
END_IF

//Sikkerhet for at Kl_Gen blir på, gir signal til å operere choke.
IF Generator_starter = TRUE THEN
  GenStop := FALSE;
  Kl_Gen := TRUE;
  IF GenTemp.decimal <= 42.0 THEN
    Servo := TRUE;
  END_IF
  GenStart := GenStart_TP.Q;
ELSE
  GenStart := FALSE;
  Servo := FALSE;
END_IF

```

Figur 32. Koden ved bruk av energikilde generator.

I hovedprogrammet vil det også legges til rette for at brukeren skal kunne varsles dersom batteritemperaturen eller generatortemperaturen blir for høy. Dette gjøres slik at brukeren skal få mulighet til å utbedre tiltak for at modellen skal fungere på best mulig måte. Koden som varsler for høye temperaturer, er vist i figur 33.

```

// Alarmer for høy temperatur
IF GenTemp.decimal > 250 THEN //Gir alarm hvis Generator temperatur blir over 250 grader
  GenTemp_High := TRUE;
END_IF

IF BatTemp.decimal > 40 THEN //Gir alarm hvis batteri temperatur blir over 40 grader
  BatTemp_High := TRUE;
END_IF

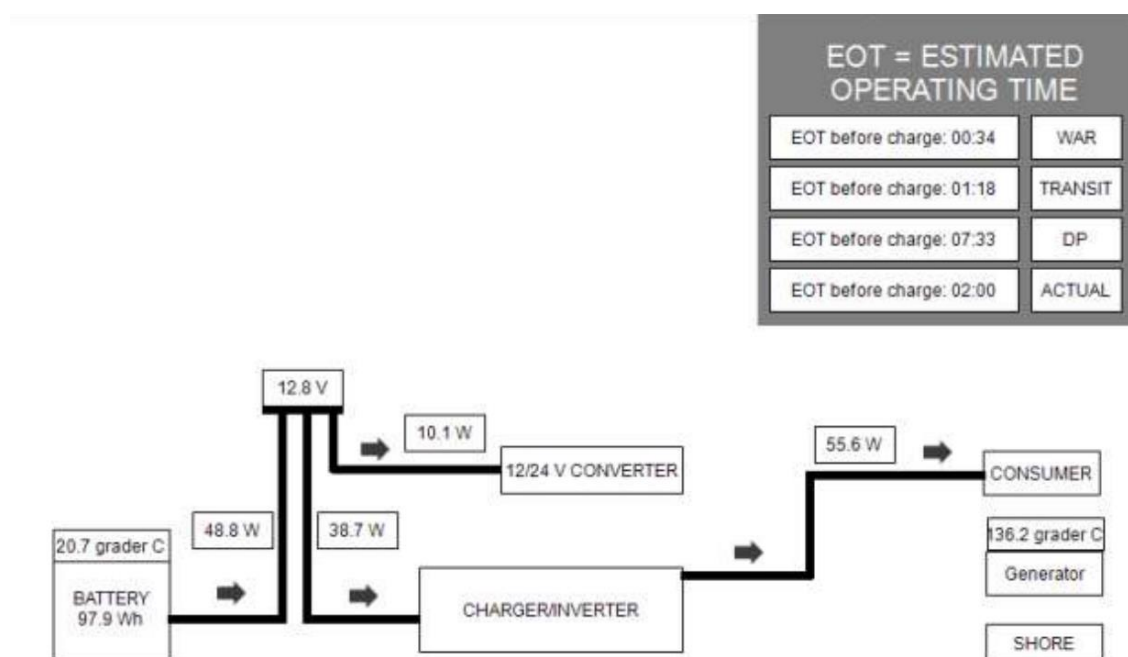
```

Figur 33. Programmet vil sende ut varsler dersom temperatur på generator eller batteri blir for høy.

3.3 Design av brukergrensesnitt

Et av nøkkelpunktene i et godt brukergrensesnitt er at brukeren får den informasjonen de trenger, når de trenger den. Om bord på et fartøy trengs forskjellig informasjon i forskjellige situasjoner. Av den grunn er det nye brukergrensesnittet endret til å inkludere tre forskjellige faner, som er tiltenkt til hver sin situasjon og ulike oppgaver. I tillegg finnes en ny oppstartsmeny som tar inn nødvendig informasjon for at modellen skal fungere på riktig måte. Brukergrensesnittene er lagd på engelsk og samsvarer med koden. Mer detaljerte bilder av brukergrensesnittene er lagt til som vedlegg H.

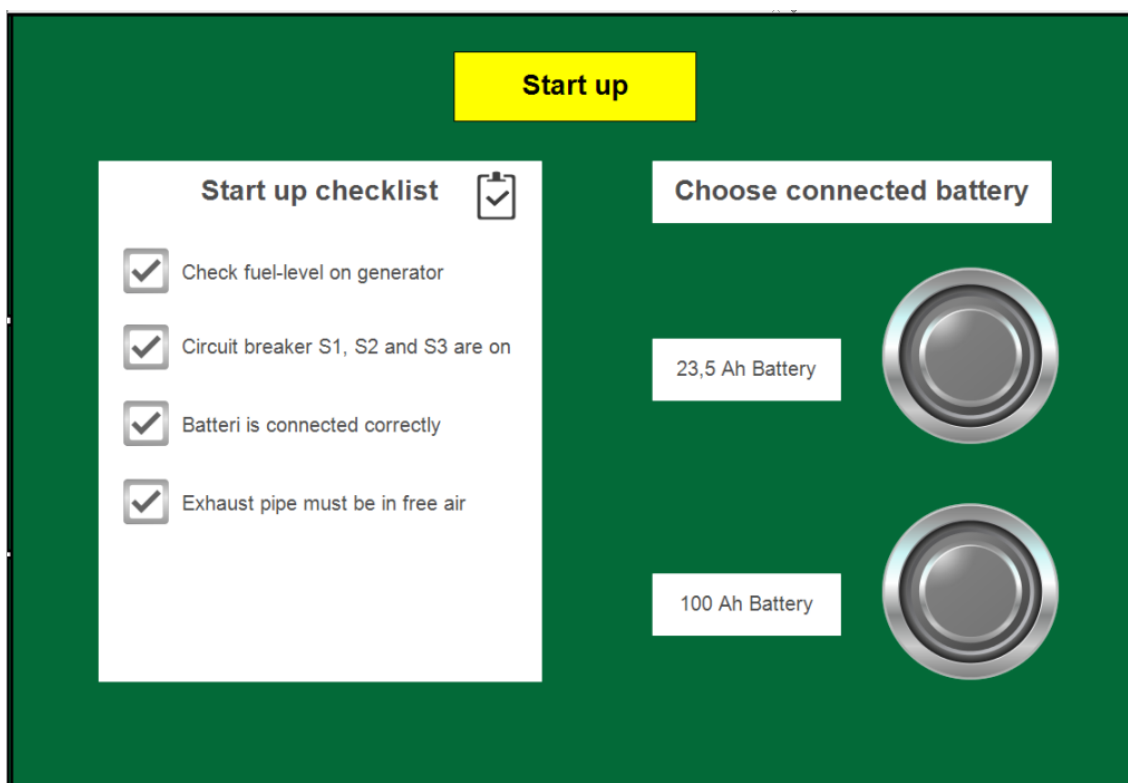
For å sammenlikne er brukergrensesnittet utviklet av Randal & Laukvik (2019) og benyttet av Kismul & Wallem (2021) vist i figur 34. Brukergrensesnittet viser en tydelig energiflyt og er tydelige på de gjenværende brukstidene (EOT: Estimated Operating Time). Likevel er det vanskelig å benytte seg av dette brukergrensesnittet dersom man ikke har lagd det selv. Det er ingen tydelig indikasjon på hva som er en passiv boks, og hva som er en boks som også fungerer som knapp. Med dette brukergrensesnittet er man veldig avhengig av en god brukerinstruks som forteller brukeren hva de kan gjøre med modellen.



Figur 34. Utsnitt av brukersnittet benyttet i de tidligere oppgavene (Kismul & Wallem, 2021).

3.3.1 Oppstartsmeny

Oppstartsmenyen, som vist i figur 35, vil alltid være det første brukeren ser ved oppstart av modellen. Her vil brukeren få en sjekkliste som må gjennomgås for at modellen skal fungere på best mulig måte. Ved å inkludere denne sjekklisten blir modellen mer intuitiv og risikoen for brukerfeil reduseres. Disse tingene er viktig å sjekke for at modellen skal fungere sikkert og korrekt. I tillegg er sjekklisten veldig tydelig når man automatisk får den opp ved oppstart, og dette kan dermed erstatte en del av en brukerinstruks som var laget i tidligere oppgaver. Ny brukerinstruks er lagt til i vedlegg F. I oppstartsmenyen velges hvilket av batteriene som benyttes i modellen. Når batteriet er valgt vil oppstartsmenyen forsvinne, og brukeren vil sendes videre til neste fane.

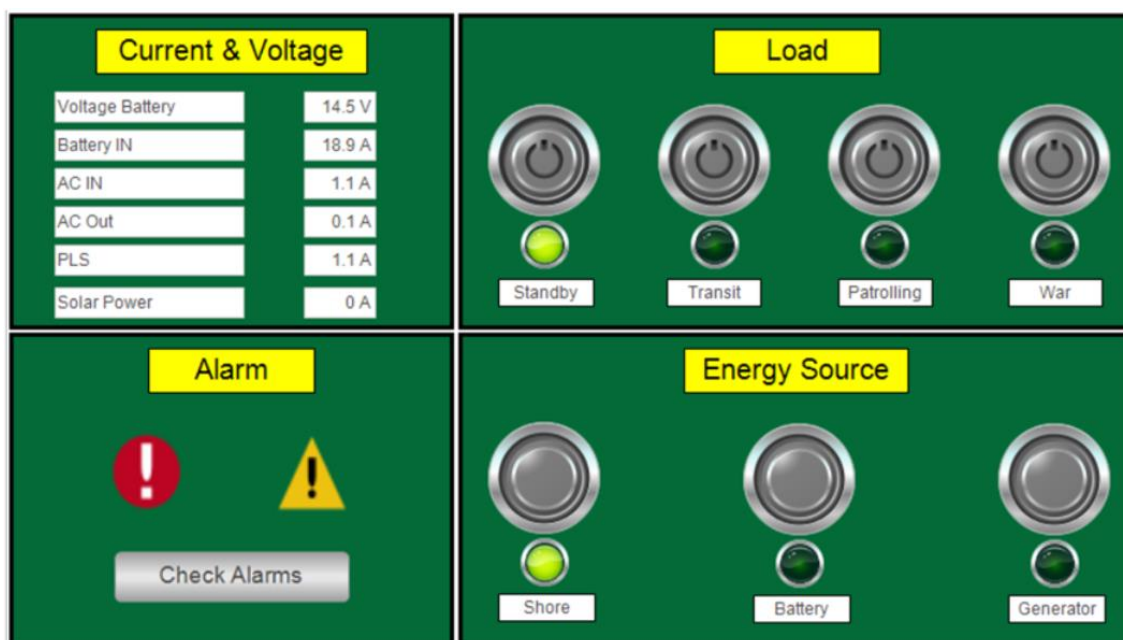


Figur 35. Oppstartsmeny som brukeren får ved oppstart av modellen.

3.3.2 Lokalt operasjonspanel (LOP)

Et operasjonspanel, også kjent som «Local Operating Panel» (LOP) er som regel plassert i et maskinrom i nærheten av det som skal opereres. I dette tilfellet benyttes LCD skjermen som et LOP. Basert på at LOP vil være på en liten skjerm er det viktig å fokusere på den mest nødvendige og vitale informasjonen. En LOP skal gjerne benyttes for å gjennomføre nødvendig styring, for eksempel hvis styringen fra maskin kontroll rom ikke

fungerer. Derfor er det viktig at brukeren får en enkel oversikt over den viktigste informasjonen fra systemet, og enkelt kan gjøre endringer ved å benytte seg av store og tydelige knapper. Det lokale operasjonspanelet er vist i figur 36.

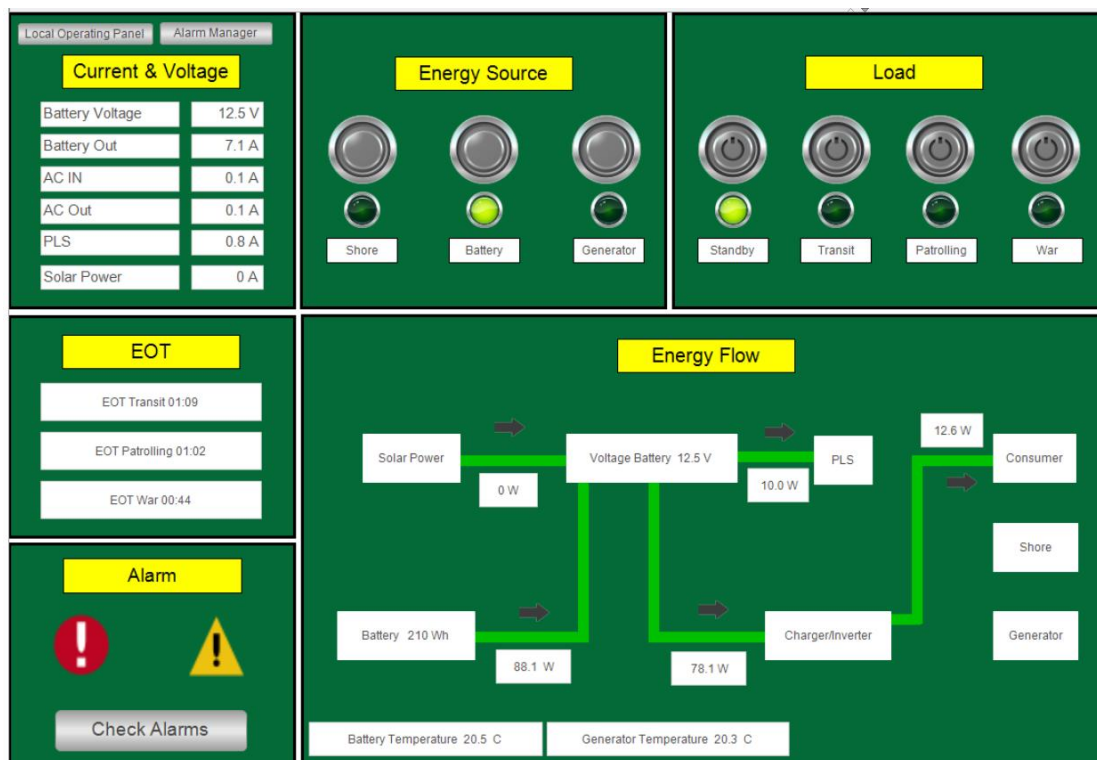


Figur 36. Det lokale operasjonspanelet som er plassert på LCD skjerm rett ved modellen. Hver av boksene innad i fanen representerer en kategori.

Operasjonspanelet er kategorisert i fire deler, som er tydelig markert. «Current & Voltage» viser en oversikt over hvor strømmen i systemet beveger seg, og hva nåværende spenning på batteriet er. «Load» viser de fire lasttilstandene som brukeren kan velge, og det vises tydelig med et lys under hva den aktuelle lasttilstanden er. «Energy Source» gjør at man kan, som tidligere, manuelt velge hvilken energikilde man ønsker å gå med. Dette overstyrer det systemet bestemmer på egenhånd. «Alarm» brukes for å varsle brukeren om feil ved systemet. Det vil dukke opp et rødt varsel ved en kritisk alarm, og et gult varsel ved en mindre kritisk alarm. Disse symbolene er ikke synlige når det ikke er feil ved systemet, og vil kun dukke opp hvis en feil oppstår. På denne måten er det tydelig for brukeren dersom det oppstår endring i forhold til normalsituasjon. Dersom det oppstår en alarm vil brukeren også ha muligheten til å se alarm-fanen, for å kunne utbedre feil.

3.3.3 Maskin Kontroll Rom

I maskin kontroll rom, som vist i figur 37, er det tiltenkt at man vil kunne se brukergrensesnittet på en stor skjerm. Av denne grunn kan man her vise all nødvendig informasjon til brukeren av systemet. I tillegg til informasjonen som presenteres i det lokale operasjonspanelet vil man her få informasjon om effektflyt og operasjonstider. Fra maskin kontroll fanen kan man i tillegg benytte knappene oppe til venstre for å bytte til «Alarm Manager» eller «Local Operating Panel» dersom man ønsker å se disse på en større skjerm.



Figur 37. Maskin kontroll rom fanen viser en større oversikt over systemet. Noen av kategorien fra LOP er brukt her i tillegg til en del nye kategorier.

«Current & Voltage», «Energy Source», «Load» og «Alarm» er delt inn på samme måte som forklart i LOPen. Dette gjør at brukeren av systemet lett kan gjenkjenne hvordan systemet er bygget opp. I tillegg viser «Energy Flow» et dynamisk bilde som forandrer seg basert på hvilken energikilde som leverer til systemet. Denne inndelingen er inspirert av hvordan brukergrensesnittet var bygget opp i den tidligere modellen, da den visuelle framstillingen gir et tydelig bilde på hvordan energiflyten er i øyeblikket. Gjenværende brukstid (EOT) inndelingen lar brukeren se tidsestimater for hvor lenge man kan gå med de aktuelle driftstilstandene. EOT er kun relevant når modellen går for batteridrift, og det vil ikke vises noe i denne inndelingen dersom man går for landstrøm eller generatordrift.

3.3.4 Alarm Manager

Fanen «Alarm Manager» viser et detaljert bilde av hvilke alarmer og varsler som finnes i systemet. Her er det helhetlige fokuset kun på alarmene slik at brukeren har et tydelig bilde av de gjeldene alarmene, uten å ha andre distraksjoner.



Figur 38. Alarm manager fanen viser alarmene i systemet. Her kan man resette alle ved knappen nede til venstre eller resette enkeltvis med knappen ved siden av alarmen.

Figur 38 viser et eksempel på hvordan det vil se ut når det er en alarm for høy batteritemperatur, og et varsel om at man trekker en for høy strøm. De røde alarmene varsler om kritiske alarmer og de gule alarmene viser ikke-kritiske alarmer. For å resette alarmene kan man enten trykke på «Reset all alarms» nederst til venstre, eller ved å resette hver enkelt alarm. Brukeren bør resette alarmen dersom man mener at man har utbedret feilen. Hvis feilen er utbedret vil lyset forbli slukket, men dersom alarmen fremdeles er gjeldende vil lyset fortsette å lyse. Dette er for å gjøre eventuell feilsøking av modellen enklest mulig.

3.4 Testmetode

For å øke nøyaktigheten til estimatet av batterikapasitet er det gjennomført utladetester ved valgte belastninger. I tillegg er det gjennomført tester av sensorer, og kalibrering av disse for at resultatene skal være mest mulig nøyaktige. Solcellene er testet for å se hvor mye effekt disse kan gi.

3.4.1 Utladetest – kontroll av batterikapasitet

Formål

Når et batteri blir eldre og det har blitt utladet mange ganger vil dette føre til en redusert kapasitet. Hensikten med utladetestene er derfor å finne ut av den reelle kapasiteten til batteriene. Videre kan resultatene av disse testene benyttes til å utarbeide mest mulig nøyaktige estimater av batterikapasitet når batteriet er i drift.

Metode

Metoden for å gjøre utladetest ble gjennomført med å lade batteriet opp til det er fulladet, altså en hvilespenning på 12,7 V. Spenningen vil måles med en FLUKE 43B. Videre kobles batteriet til en motstand slik at man får et stabilt strømtrekk. Siden spenningen synker ettersom kapasiteten til batteriet går ned må man derfor gjøre små justeringer på motstanden underveis for å holde et stabilt strømtrekk gjennom hele testen. Detaljert prosedyre for utførelse av utladetester er lagt til som vedlegg A.

For Marathon L12V24 batteriet ble det utført utladetester ved 2,3A, 29,1A, 37,5A og 58,3A.

For Ritar DC12-100S batteriet ble det utført utladetester ved 9,5 A, 29,1A, 37,5A og 58,3 A.

Resultatene på testene vises i kapittel 4.1.

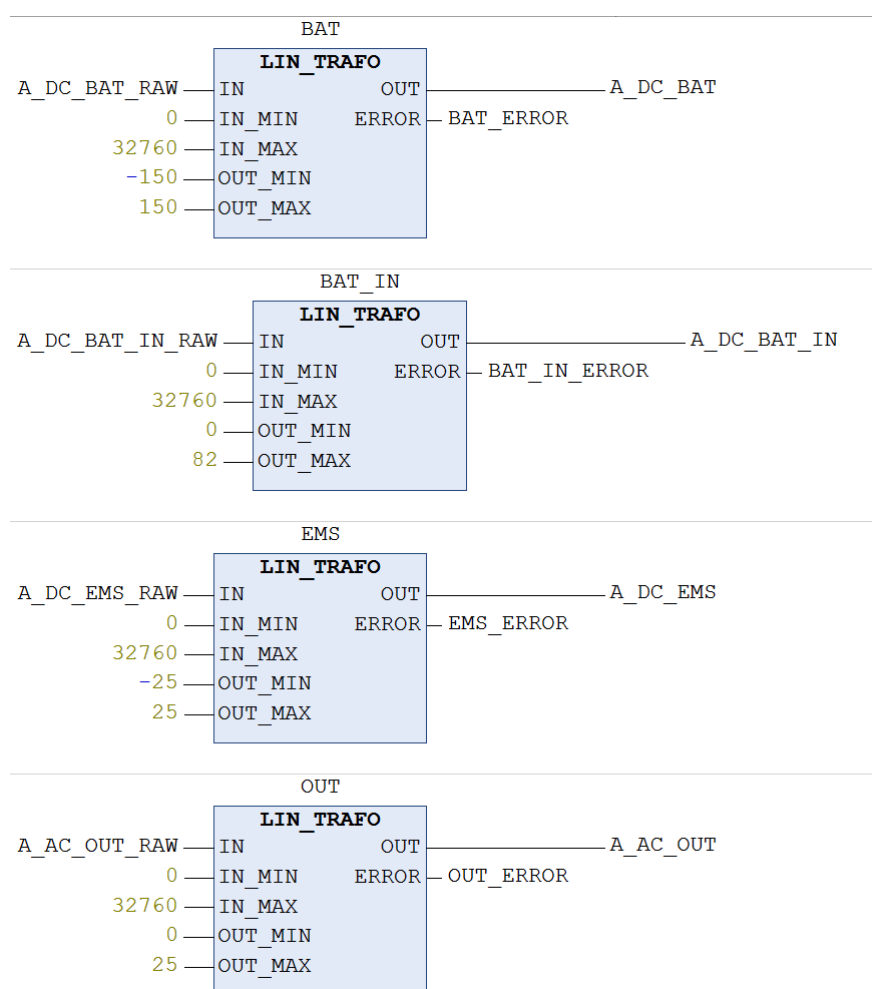
3.4.2 Test av sensornøyaktighet

Formål

For å kunne estimere mest mulig korrekt batterikapasitet, er det avgjørende at strømtransformatorene gir nøyaktige målinger. Etter å ha byttet en sensor er det dermed nødvendig å kontrollere verdien strømtransformatorene gir opp mot en kalibrert strømtang som referansemåling.

Metode

For å teste nøyaktigheten av sensorene benyttes FLUKE 43B med strømtang. Ved bruk av strømtangen måles strømmen på de samme stedene der strømtransformatorene befinner seg. Målingene gjennomføres ved både batteridrift og ved landstrømsdrift. Deretter sammenliknes verdiene målt med FLUKE 43B opp mot verdiene som hentes ut fra strømtransformatorene gjennom PLS. AI-modulen leser verdien fra sensoren og fordeler det på en skala 0-32760, og dermed må funksjonsblokken LIN_TRAFO benyttes for å skalere disse verdiene – og for å eventuelt etter-kalibrere sensorene. Ved start vil funksjonsblokkene bruke sensorenes måleområde, som beskrevet i 3.1.7. Dette er vist i figur 39. Ved avvik i målingene vil «OUT_MIN» og «OUT_MAX» i LIN_TRAFO justeres for å ytterligere skalere målingene.



Figur 39. Opprinnelig skalering av strømtransformatorene med hensyn til datablader.

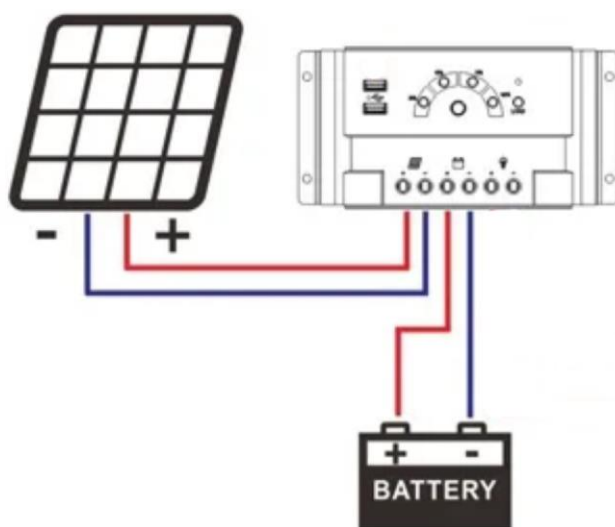
3.4.3 Test av effekt fra solcellene

Formål

Solcellene ble integrert for å kunne gi et kostnadseffektivt og miljøvennlig alternativ til en energikilde. Solcellepanelet i modellen leverer maksimalt 200W, og skal ifølge produsenten være i stand til å lade også når det er overskyet. Den høyeste mulige ladestrømmen vil være $I=P/U=200/12=16,7A$. Dersom panelet klarer å levere dette vil ladestrømmen være omtrent like stor som ladestrømmen fra sinus inverteren, og dermed et godt tilskudd til modellen.

Metode

For å teste hvor mye effekt solcellene kan levere vil solcellene kobles direkte til regulatoren og fra regulatoren videre på batteriet. Oppkoblingen er vist i figur 40. Regulatoren gir ut verdier for strøm og spenning. Disse verdiene brukes for å regne ut levert effekt fra solcellene.



Figur 40. Oppkobling for test av solceller. (Hyttetorget, u.å. (a))

4 Resultater og analyse

I dette kapitlet presenteres resultatene basert på testmetodene forklart i kapittel 3.4. Relevante testresultater presenteres gjennom grafer og tabeller. Resultatene analyseres for å kunne benyttes videre i modellen.

4.1 Utladetester

Utladetestene gjennomføres i henhold til metoden forklart i 3.4.1. Først representeres resultatene, før batterikapasiteten beregnes og sammenliknes med datablad. Til slutt brukes resultatene fra utladetesten i en funksjonsblokk for estimering av batterikapasitet.

4.1.1 Kapasitetsestimert basert på tid

Utladetestene har som mål å holde en jevn strøm ut av batteriet over et tidsintervall for å nå en spenning på 10,8V over batteriet. Basert på hvor lang tid det teoretisk skulle tatt å lade ut batteriet ved den angitte strømmen kan man finne batterikapasiteten i prosent. Disse resultatene er vist i tabell 9.

Tabell 9: Resultater basert på tid fra utladetester for begge batteriene

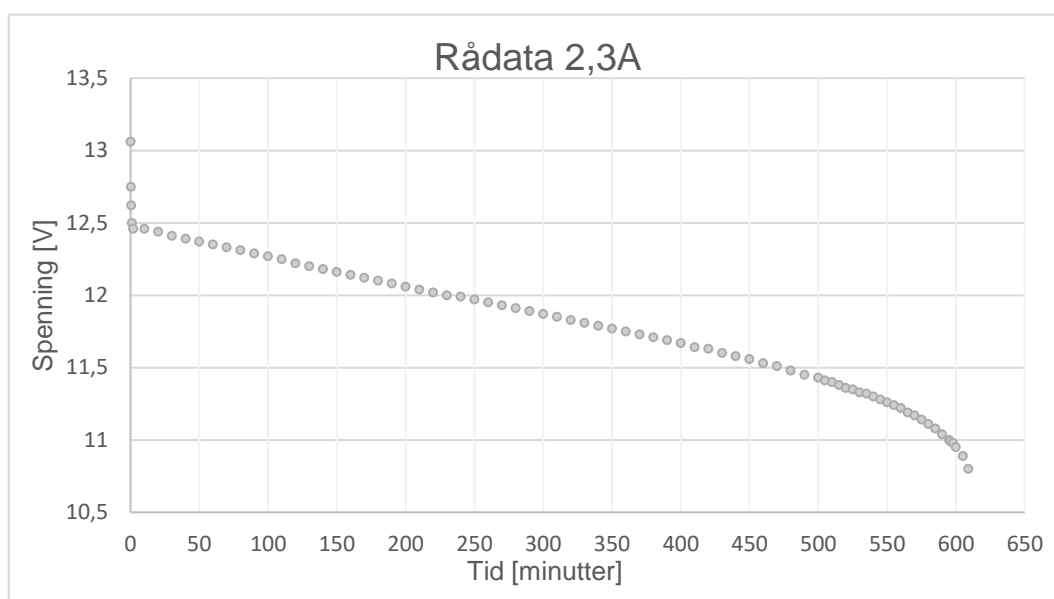
	23,5Ah				100Ah			
	2,3A	29,1A	37,5A	58,3A	9,5A	29,1A	37,5A	58,3A
Teoretisk tid	600 min	1464 sek	1002 sek	522 sek	600 min	137 min	101 min	54 min
Faktisk tid	609 min	1465 sek	1003 sek	506 sek	590 min	140 min	98 min	56 min
Kapasitet [%]	101,5	100,0	100,1	96,9	98,3	102,2	97,0	103,7

Fra disse resultatene er det tydelig at kapasiteten til batteriene har omtrent den kapasiteten som kan forventes basert på produsentenes datablad. Usikkerheter som må tas hensyn til

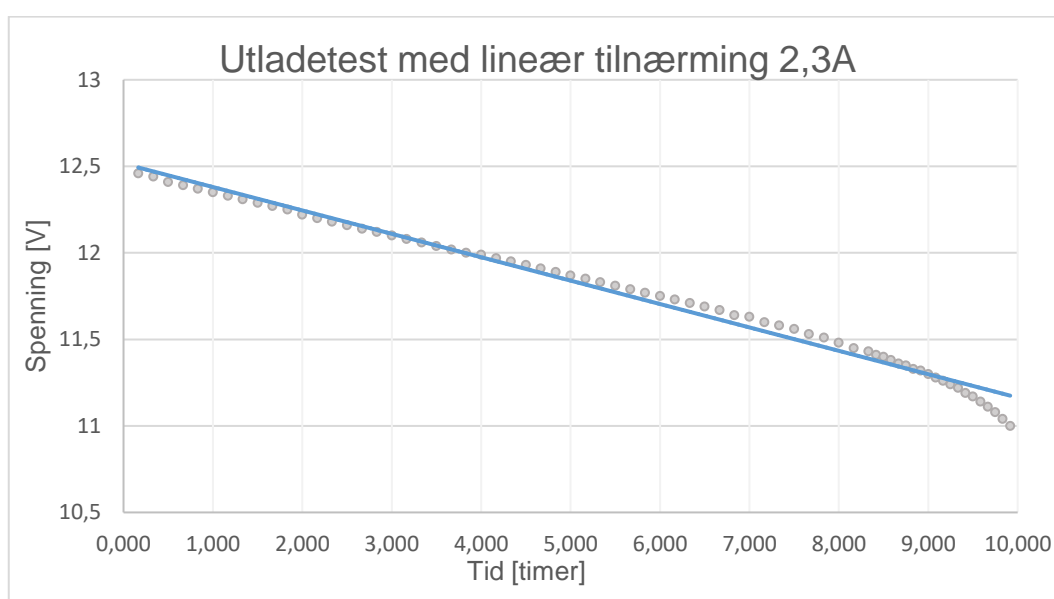
er å holde en konstant strøm ut av batteriet i flere timer, temperaturforskjeller og nøyaktighet på måleinstrumenter.

4.1.2 Linearitet under utladetester

Resultatene fra utladetesten gjennomført ved 2,3A er vist under i figur 41. Ut ifra resultatene kan man si at grafen er tilnærmet lineær mellom 12,5V og 11,0V. Under 11V synker spenningen mer eksponentielt, som forventet fra produsentens datablad. Dette utsnittet vises i figur 42.



Figur 41. Rådata utladetest 23,5Ah batteri ved 2,3A



Figur 42. Resultat utladetest 2,3A med lineær tilnærming

Her viser den blå linjen en lineær tilnærming til punktene, gitt ved formelen:

$$y = -0,1352x + 12,515$$

Linjens tilhørende korrelasjonsfaktor er:

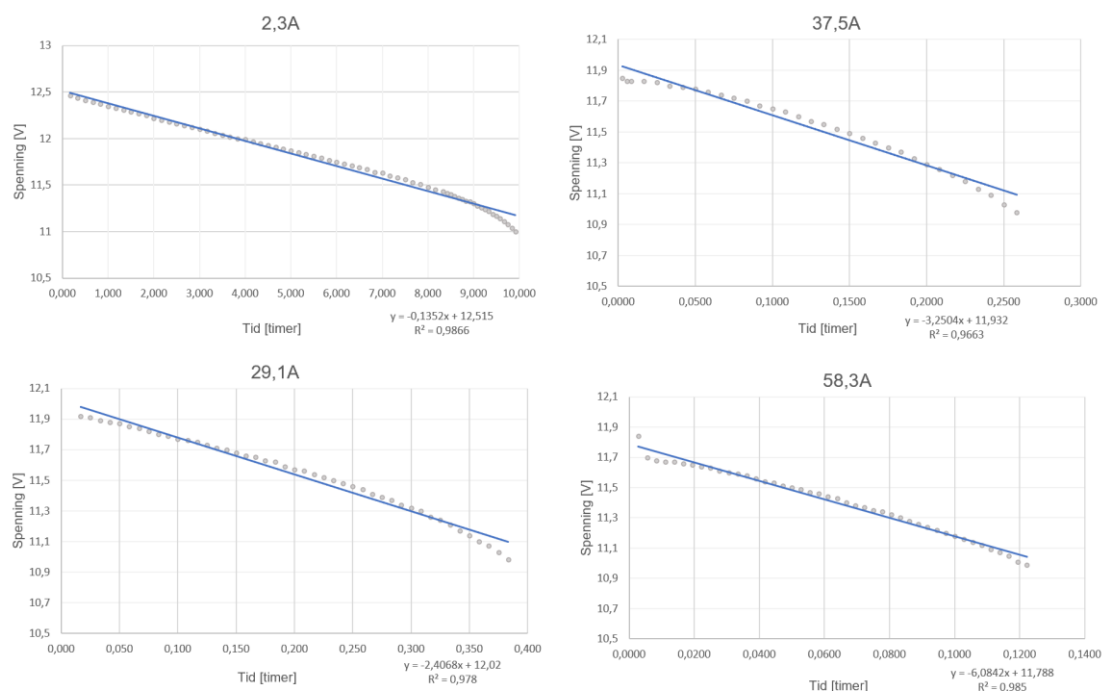
$$R^2 = 0,9866$$

Tilsvarende utregninger gjøres for alle strømmene, og vises i vedlegg B. En oppsummering av resultatene er vist i tabell 10.

Tabell 10: Lineær tilnærming for utladetestene.

Batteri	Utladningsstrøm	y(x)	R ²
23,5Ah	2,3A	-0,1352x+12,515	0,989
	29,1A	-2,4068x+12,02	0,978
	37,5A	-3,2504x+11,932	0,966
	58,3A	-6,0842x+11,788	0,985
100Ah	9,5A	-0,1484x+12,519	0,9805
	29,1A	-0,491x+12,153	0,953
	37,5A	-0,5027x+11,754	0,992
	58,3A	-1,0067x+11,933	0,988

Et overordnet bilde av resultatene fra utladetestene for 23,5Ah batteriet er vist i figur 43. Her ser man hvordan en lineær tilnærming fungerer i forhold til de faktiske resultatene.



Figur 43. Resultatene fra utladetestene for 23,5Ah batteriet vist i et bilde. Resterende resultater er vist i vedlegg B.

4.1.3 Kapasitet ifølge utladetester

Resultatet fra utladetesten kan benyttes for å bestemme batterikapasitet ved den gitte strømmen. Arealet under grafen gir Volt-timer, så for å få Watt-timer multipliseres denne med utladningsstrømmen. Grafen kan anses som lineær mellom tidene t_1 og t_2 [timer], så denne metoden kan kun benyttes for å beregne kapasitet mellom disse punktene.

$$Energi [Wh] = \text{Utladningsstrøm [A]} \int_{t_1}^{t_2} y(x) dx \quad (4.1)$$

$$Energi [Wh] = 2,3 \int_{0,0167}^{9,917} -0,1352x + 12,515 dx = 269,7 Wh$$

Tilsvarende utregninger er gjennomført for alle utladetestene. Rådata fra utladetestene er vist i vedlegg B. Tabell 11 viser en oppsummering av kapasiteten til batteriene ved de ulike strømmene.

Tabell 11: Batterikapasitet basert på utladetest

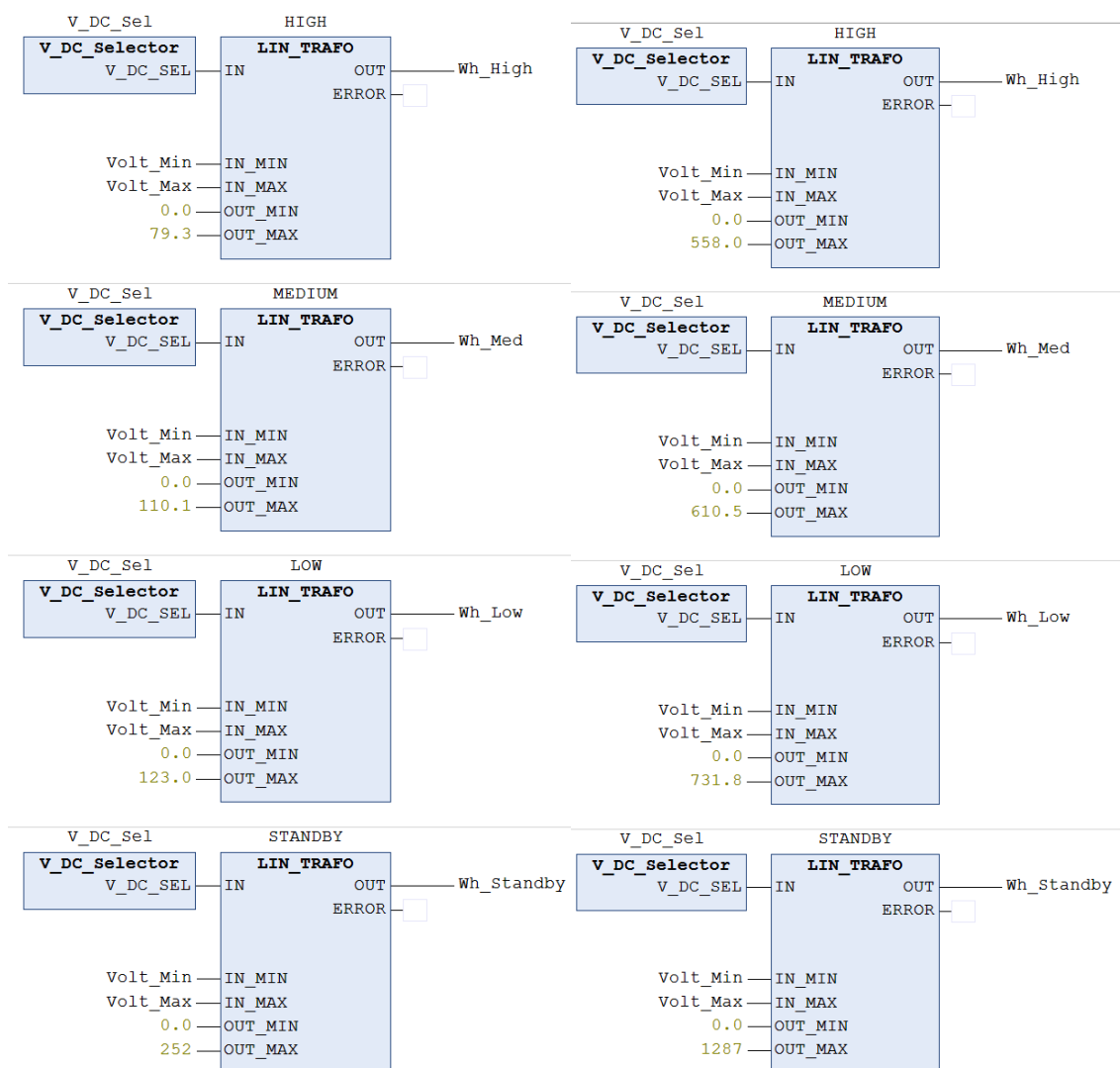
Batteri	Utladningsstrøm	Beregnet kapasitet	Teoretisk kapasitet
23,5Ah	2,3A	269,7Wh	276Wh
	29,1A	123,0Wh	142Wh
	37,5A	110,1Wh	125Wh
	58,3A	79,3Wh	101Wh
100Ah	9,5A	1021,3Wh	1140Wh
	29,1A	731,8Wh	797Wh
	37,5A	610,5Wh	758Wh
	58,3A	558,0Wh	628Wh

Tabell 11 viser at avviket fra teoretisk kapasitet er størst ved høy belastning. Dette er fordi den beregnede kapasiteten kun beregner innenfor området 11-12,5V. Av denne grunn vil man i hver ende miste noen Watt-timer. Når strømmen øker, vil mer av kapasiteten legges igjen i dette området.

4.1.4 Funksjonsblokk for estimering av batterikapasitet

Resultatet fra utladetestene vil benyttes for å estimere batterikapasiteten til hver av de forskjellige driftstilfellene.

Utladetestene viser at spenningen synker tilnærmet lineært mellom 12,5V og 11V. Av denne grunn brukes en lineær transformasjon basert på spenningen som måles ved 0-30VDC differensialmåler modulen på PLSen for å beregne gjenværende kapasitet til batteriet. Innenfor de valgte verdiene for maksimum og minimumsspenning vil funksjonsblokken gi ut gjenværende kapasitet i watt-timer for de forskjellige driftsscenarioene. Resultatene som vist i tabell 11 vil bestemme disse maksimumsverdiene. Volt_Min og Volt_Max defineres som globale variabler og vil typisk være henholdsvis 11V og 12,5V. Figur 44 viser et utdrag fra funksjonsblokken «Capacity_Estimator» og viser hvordan den gjenværende kapasiteten beregnes ved bruk av resultatene fra utladetestene, for alle driftstilfellene.



Figur 44. Utdrag fra funksjonsblokk «Capacity_Estimator» for 23,5 Ah batteri (venstre) og 100Ah batteri (høyre).

4.2 Sensornøyaktighet

For å ha nøyaktige målinger kalibreres strømtransformatorene opp mot en kalibrert FLUKE 43B. Som nevnt tidligere i avsnitt 3.4.2 er avlesning med strømtransformator basert på verdiene gitt i databladet, før ytterligere kalibrering. Disse verdiene er forklart ytterligere i avsnitt 3.1.7.1 og 3.1.7.2. Tabell 12 og tabell 13 viser et utdrag fra målingene gjennomført ved standardinnstillinger henholdsvis i landstrøm og batteridrift. Alle målingene er vist i vedlegg C.

Tabell 12: Landstrøm drift

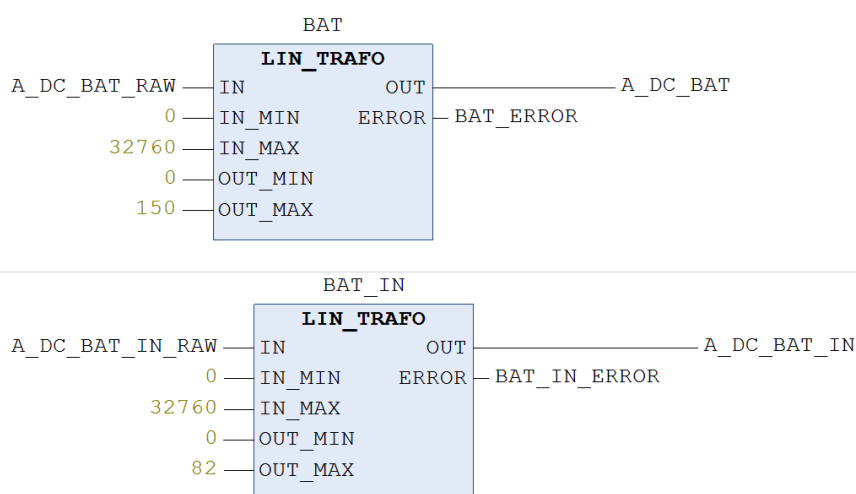
	Strømtang	Strømtransformator	Belastning
Sensor 5 Batteri	17,9	17	Ingen ytterligere belastning
Sensor 4 PLS	2	1,86	
Sensor 2 AC Inn	1,27	1,24	
Sensor 1 AC Ut	0,36	0,2	
Sensor 5 Batteri	17	17	Motormodell
Sensor 4 PLS	2,05	1,83	
Sensor 2 AC Inn	1,87	1,8	
Sensor 1 AC Ut	0,96	0,91	

Tabell 13: Batteri drift

	Strømtang	Strømtransformator	Belastning
Sensor 5 Batteri	8,33	11,1	Ingen ytterligere belastning
Sensor 4 PLS	1,49	1,56	
Sensor 2 AC Inn	0	0	
Sensor 1 AC Ut	0,178	0,18	
Sensor 5 Batteri	18,6	25,86	Motormodell
Sensor 4 PLS	1,47	1,7	
Sensor 2 AC Inn	0	0	
Sensor 1 AC Ut	0,709	0,611	

Målingene i tabell 12 og 13 viser at målingene for de nye sensorene, sensor 1, 2 og 4, stemmer med en nøyaktighet på ca. +/- 0,5A, og trenger ikke videre skalering. Sensor 5 vises å ikke ha et samsvarende måleområde på strømmen ved batteridrift, selv om strømmen ved landstrømsdrift er mer nøyaktig. Også ved justering av OUT_MAX og OUT_MIN på LIN_TRAFO var det ikke mulig for sensoren å treffe på begge målingene. Av denne grunn vil disse målingene deles opp til to forskjellige sensorer for å kunne estimere batterikapasitet videre. Med andre ord vil det benyttes en sensor for å måle spenningen ut av batteriet, og en sensor for å måle spenningen inn i batteriet. Sensor 6 som legges til er av typen Seneca T201DC med et måleområde på 0-40A. Denne sensoren trenger ikke et høyere måleområde, da strømmen inn i batteriet vil begrenses av sinusinverteren eller solcelleregulatoren, og ha en maksimalverdi på omtrent 20A. Måleområde på sensor 5 justeres fra -150-150A til 0-150A.

Metoden gjentas ved å endre OUT_MAX og OUT_MIN for sensor 5 og sensor 6 til man får et resultat med minst mulig avvik. De valgte verdiene er vist i figur 45, med resultatene i tabell 14. Resultatene vises i vedlegg C.



Figur 45. Skalering av sensor 5 og sensor 6

Tabell 14: Resultat sensor 5 og sensor 6 ved skalert måleområde

	Strømtang	Strømtransformator	Belastning
Sensor 5 Batteri UT	6,0	6,4	Ingen belastning
Sensor 6 Batteri INN	17,9	18,2	
Sensor 5 Batteri UT	18,9	18,8	Motormodell
Sensor 6 Batteri INN	18,0	18,1	

Resultatene i tabell 14 viser at skaleringen av strømtransformatoren gir en mer nøyaktig måling sammenliknet med kontrollmålene fra FLUKE 43B.

4.3 Effekt fra solcellene

Solcellene ble testet på en solfylt dag i november (Bergen), både i skyggen og i direkte sollys. I forsøkene viste det seg raskt at solcellene er nødt til å ha direkte sollys for å ha noen som helst form for effekt. Figur 46 viser resultatene fra testene på solcellene.



Figur 46. Ladeeffekt fra solcellene til batteriet i direkte sollys 16.11.22

Strømmen og spenningen som vises på solcelleregulatoren kan deretter brukes for å finne effekten som solcellene leverer:

$$P = U \cdot I = 13,0 \cdot 1,8 = 23,4 \text{ W}$$

Dette vil si at i direkte sollys så lader solcellene batteriet med 10% av ladekapasiteten til sinus inverteren, og 12% av solcellenes maksimale effekt.

Dersom hele solcellepanelet er utenfor direkte sollys vil strømmen være 0A. Dersom en liten del av panelet skygges for vil også strømmen synke drastisk. Dette vises i figur 47.



Figur 47. Ladeeffekt fra solcellene til batteriet i ingen og indirekte sollys 16.11.22

5 Drøfting

Denne oppgaven har hatt som fokus å videreutvikle en Energy Management System modell i den hensikt å illustrere hvordan konseptet Energy Management System kan utnyttes i en kontekst slik som om bord på et operativt fartøy. Kjernen i EMS er å ha kontroll på et systems energiforbruk og energireserver. Ved videreutvikling er det lagt vekt på bruk av realistiske scenarioer som kan representere operative scenarioer, mer nøyaktig estimering av batterikapasitet og å lage et intuitivt brukergrensesnitt som reduserer sjansen for brukerfeil, og med en lavere terskel for å kunne bruke systemet. I sin helhet har målet vært å i størst mulig grad gjøre modellen automatisert og selvstyrende, men fremdeles med mulighet for å velge energikilden manuelt om brukeren skulle ønske det.

Dette kapittelet vil drøfte hvordan Energy Management System modellen kan benyttes som et beslutningsverktøy om bord på et fartøy, ved å ta for seg hver av kravspesifikasjonene satt i planleggingsfasen. Kravspesifikasjonene gjentas:

1. Benytte måling, kalibrering og matematiske modeller for å få et mer nøyaktig estimat på batteriets tilstand.
2. 12VDC siden av modellen skal justeres slik at det er mulig for brukeren å bytte mellom ulike batteristørrelser
3. Integrere solceller som en separat DC energikilde.
4. Modellen skal ha brukergrensesnitt som utvikles ved bruk av teorien slik at det fungerer opp mot scenario for å redusere risiko for menneskelige feil og misforståelser.
5. Koden til modellen skal justeres slik at modellen blir mer autonom og mer nøyaktig.

5.1 **Kravspesifikasjon 1: Benytte måling, kalibrering og matematiske modeller for å få et mer nøyaktig estimat på batteriets tilstand.**

Fra oppgaven til Randal & Laukvik (2019) var det forventet at batterikapasiteten til Marathon L12V24 var mindre enn halvert i forhold til produsentens opprinnelige data. Av denne grunn ble det gjennomført utladetester til begge batterienes tilhørende C10, for å ha en reel representasjon av batteriets tilstand. En stor utfordring med å utvikle noe basert på en tidligere bacheloroppgave var at det ikke fantes noen informasjon om hvordan

Randal & Laukvik gjennomførte deres utladetester. Av denne grunn var det ikke mulig å gjenskape dette forsøket, og det er vanskelig å vite hvorfor resultatene i denne oppgaven og oppgaven til Randal & Laukvik ikke samsvarer. For å kunne gjennomføre utladetestene med høyest mulige reliabilitet ble det utviklet en detaljert prosedyre for utladetest. Ved bruk av prosedyren er det mulig å gjenta forsøket på en lik måte flere ganger, også ved flere utvalgte strømmer. Begge utladetestene ved C-faktor C10 viste at kapasiteten til batteriene var innenfor $\pm 2\%$ av produsentens data når det gjaldt tid. Dersom man tar hensyn til usikkerheter slik som å holde en konstant strøm ut av batteriet i 10 timer, temperaturforskjeller og nøyaktighet på måleinstrumenter anses dette som gyldige og pålitelige målinger.

Utladetester ved høye strømmer, slik som 58,3A og 37,5A vil ha en påvirkning på spenningen på batteriet. Spenningen påvirkes av den økte temperaturen på batteriet, og det kan virke som at det er mer kapasitet igjen enn det faktisk tilsvarer spenning på batteriet. Dette kunne man kompensert for ved å inkludere en temperaturmåling på utladetestene, eller ved å måle en sluttspenning når batteriet er kjølt ned. Også under lengre bruk av batteriet kunne man kompensert for dette for å gi et bedre estimat på den gjenværende kapasiteten til batteriet når det blir varmt. Å inkludere en temperaturmåling anses som den beste løsningen, da man ikke risikerer å la batteriet stå dypt utladet over lenger tid.

For å videre øke nøyaktigheten til batterikapasitet estimatet bør man i tillegg til utladningstester gjennomføre oppladningstester ved bruk av den kombinerte sinus inverteren og batteriladeren. Ved å inkludere oppladningstester vil man kunne benytte dette til å vite når batteriet er fullt oppladet. Slik som det er nå er spenningen den beste indikatoren på et fullt oppladet batteri, da spenningen vil reduseres fra 14V som den er når batteriet lades, til 13V. Ved bruk av både utladningstester og oppladningstester kan man ha et nøyaktig estimat av batterikapasitet til enhver tid, mens uten oppladningstester er det vanskeligere å vite hva batterikapasiteten er mens batteriet er under oppladning.

For å kunne finne et nøyaktig estimat av batterikapasitet har sensornøyaktighet vært et viktig tema i oppgaven. Antallet sensorer har blitt økt, og de gamle sensorene er erstattet med sensorer med passende måleområde. Det viser seg at de nye Seneca T201DC sensorene som benyttes på AC siden, solcellene og inn til PLS fungerer så godt som kan forventes på det måleområdet som er oppgitt av produsenten. En av de største utfordringene viste seg å være å oppnå et nøyaktig estimat av strømmen som gikk inn og ut av batteriet.

Realistisk sett var dette ikke mulig ved bruk av kun en sensor, da sensoren ikke kunne kalibreres for å treffe på både strøm inn og strøm ut. Løsningen ble å inkludere en Seneca T201DCH50-LP til å måle strømmen fra inverteren inn i batteriet, og benytte Seneca T201DCH300-LP med måleområde 0-150A for å måle strømmen ut av batteriet. Dette viste seg å gi et betydelig bedre estimat, og gjør modellen mer pålitelig og gyldig.

En annen utfordring er at sensornøyaktigheten vil variere med belastningen. Belastningen i modellen går fra å være svært lav ved standby, til å være høy når alle lastene er påskrudde. Med maksimal belastning var det utfordrende å få sensorene til å stemme på alle de forskjellige stedene. Sensorene er justert til å fungere svært godt på standby, lav og medium belastning, men vil måle en noe høyere strøm enn det faktisk er på høy belastning. Konsekvensen av dette vises i større grad på AC siden, da en veldig liten endring i strøm kan gi en merkbar endring i effekten basert på at spenningen er så høy. For å løse dette problemet er man enten nødt til å legge til flere sensorer, og justere disse til å fungere til spesifikke belastningsområder, eller så kan man benytte seg av en funksjonsblokk for å justere måleområdet. Funksjonsblokken må basert på belastningsområdet justere utgangsverdien for strømmen, for å oppnå mer nøyaktige tall i modellen.

Overvåking er en essensiell del av et EMS. Nå overvåkes systemet i hovedsak ved bruk av strømtransformatorer samt temperaturmålere. For å utvikle overvåkningen videre kan man supplere med en spenningsmåling på 230VAC siden, for å forsikre seg om at denne stemmer. Små endringer i spenning vil ha et stort utslag i effekt på en såpass stor spenning, så å ikke ha et nøyaktig tall her anses som en ulempe. I tillegg kunne man inkludert strømmålere på hver enkelt forbruker, for å ha større kontroll på disse. Da hadde det vært mulig for systemet å sende ut en alarm ved feil på en av forbrukerne. Feil ved en forbruker kan for eksempel være at den trekker mer enn tiltenkt, eller mindre enn tiltenkt. Dersom det er feil på forbrukersiden vil dette påvirke både EOT og batterikapasiteten, uten at brukeren nødvendigvis vet om det.

5.2 Kravspesifikasjon 2: 12VDC siden av modellen skal justeres slik at det er mulig for brukeren å bytte mellom ulike batteristørrelser

I modellen er det tilrettelagt for å kunne benytte to forskjellige batteri. Disse batteriene har lik batterikjemi, men forskjellig kapasitet. Batteriene har hver sin fordel, der 23,5Ah batteriet benyttes som testbatteri, og 100Ah batteriet benyttes som driftsbatteri. Med belastningene modellen er satt opp for å kunne håndtere nå kunne man med fordel hatt et batteri med enda større kapasitet, slik at det kan holde over en time ved høyeste belastning.

Ved å bygge på en tidligere modell viste det seg å bli en utfordring å få tak i riktige materialer. Av denne grunn ble det valgt å ikke bytte kabel på 12VDC siden, der det tidligere var brukt 35mm² kabel. Ved bruk av utregninger og NEK400 ble det vist at det hadde vært tilstrekkelig med en kabeltykkelse på 16mm². Selv om den tykkere kabelen har et lavere effekttap per meter vil den likevel føre til noen andre begrensninger. I modellen viste det seg å være en utfordring å håndtere størrelsen på kabelen på grunn av plassbegrensning og utstyrsbegrensning. For å benytte seg av en så tykk kabel er man nødt til å sørge for å ha riktig utstyr for å kutte kabelen og klemme på kabelsko. I realiteten vil også en for tykk kabel være unødvendig, og medføre ekstra vekt på et fartøy. I tillegg er kostnaden for en tykk kabel betydelig høyere. Totalt sett anbefales det å redusere kabeltykkelsen på 12VDC siden til 16mm².

5.3 Kravspesifikasjon 3: Integrere solceller som en separat DC energikilde.

Som nevnt tidligere var det forventet at batteriet ikke hadde full kapasitet da prosjekteringen begynte. Av denne grunn er det dimensjonert feil størrelse på solcellepanelet på 200W. I ettertid er det tydelig at i forhold til lastene burde solcellene gitt mer effekt, slik at de kunne hatt en reell innvirkning på modellen. En annen faktor man bør vurdere er størrelse og vekten til solcellepanelet, i forhold til hva panelet maksimalt kan levere. Der som man skulle økt til for eksempel 335W ville arealet på panelet økt med tilsvarende 63%. Dette gjør det utfordrende å skulle dimensjonere solceller som passer med effektbehovet til modellen, og samtidig størrelsen til modellen. I tillegg viste det seg å være en utfordring mengden effekt man faktisk fikk ut av solcellene. Når maksimal effekt i direkte sollys viste seg å være 10% av forventet effekt ble bruksområdet til solcellene ansett som enda mindre. Av denne grunn anses solcellene som en ustabil energikilde i nordisk miljø, da man ikke vet hva de vil levere fra dag til dag. Resultatene fra testen kan ha sett veldig

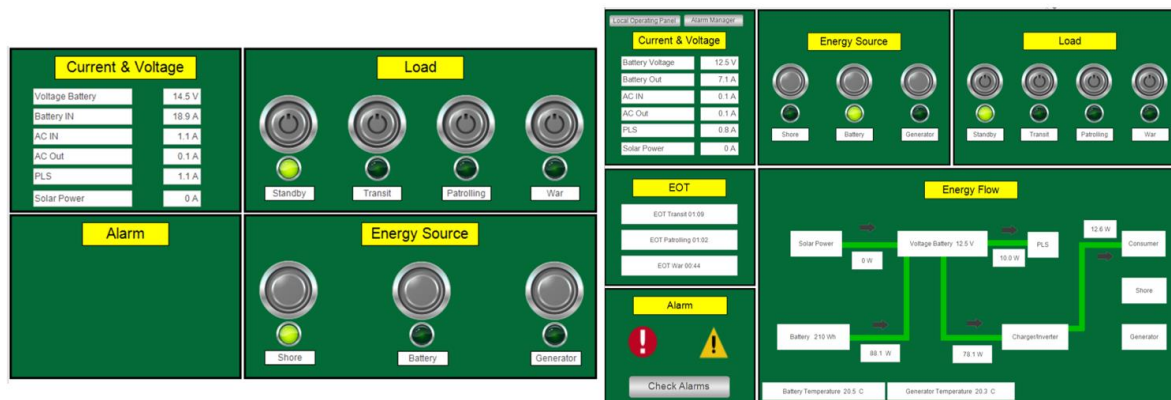
annerledes ut i juli, når mengden sollys er betydelig høyere enn i november. Det er derfor viktig at solcellene inkluderes i modellen som en energikilde som man ikke er avhengig av, men et bonus alternativ. For eksempel, dersom solcellene kan lade batteriet mens batteriet driver forbrukerne vil gjenværende brukstid på batteriet øke, og det vil ta lenger tid før man må gå over på landstrøm eller generator. Prinsipielt gir solcellene muligheten til å spare drivstoff fra generatoren ved å øke tiden modellen kan fungere i batteridrift. Derfor anses prosjekteringen rundt solcellene som et positivt tilskudd til modellen, til tross for dårlig effektuttak i testperioden. Det finnes nå et opplegg for å kunne inkludere en ny likestrøm energikilde, både fysisk på modellen, i koden og i brukergrensesnittet. Dette gjør det veldig enkelt å bygge på dersom man skulle ønske å videre utforske forholdet mellom en vekselstrøm og likestrøm energikilde i modellen.

5.4 Kravspesifikasjon 4: Modellen skal ha brukergrensesnitt som utvikles ved bruk av teorien slik at det fungerer opp mot scenario, for å redusere risiko for menneskelige feil og misforståelser.

Under utviklingen av brukergrensesnitt har målet vært å lage et brukervennlig og intuitivt design i den hensikt å øke brukeren sin evne til å kunne ta gode beslutninger. Basert på teorien om at forskjellige display bør vise relevant informasjon bygges brukergrensesnittet opp ved bruk av forskjellige faner. Det var ønskelig å minimere antall faner som brukeren måtte navigere seg gjennom, samtidig som at mengden informasjon i hver enkelt fane ikke skulle være overveldende. Dermed ble informasjonen gruppert i kategorier, for å gjøre det enklere å prosessere for brukeren. Ulempen er at dette kan bli mye informasjon på en skjerm, og kan bli uoversiktlig. Derfor tar brukergrensesnittet som er lagd hensyn til hvilken skjerm informasjonen skal vises på.

Videre var det fokus på at oppbyggingen av brukergrensesnittet skulle være gjenkjennelig for brukeren i alle skjermversjoner. I hovedsak vil dette være et system med høy bruksfrekvens, og det vil være de samme personene som bruker systemet over lengre tid. Den samme oppbyggingen benyttes derfor på alle kategoriene og på alle de forskjellige fanene. Dette vil gjøre det intuitivt for brukeren av systemet å kjenne igjen knappene og informasjonen på skjermen hvis man må skifte mellom å benytte LOP og maskin kontroll rom. På den andre siden kan det være nyttig individuelle forskjeller som er optimalisert for henholdsvis LOP og maskin kontroll rom. Eksempler her er bruk av større knapper eller andre kontrollere og mindre ekstra informasjon slik som alarmer og strøm på LOP.

Likevel falt valget på at likhet ville gi flest fordeler for brukeren av systemet. Figur 48 illustrerer likheten mellom de to fanene.



Figur 48. Ved sammenlikning av LOP og Maskin Kontroll Rom sees likheten på de ulike kategoriene som er benyttet i begge fanene.

For å kunne avgjøre om brukeren av systemet får et økt beslutningsgrunnlag som følge av brukergrensesnittet må man se på kvaliteten på informasjonen brukeren presenteres for. For eksempel er estimert gjenværende brukstid kritisk informasjon for brukeren av systemet. Her er informasjonen enkelt presentert uten for mye tilleggsinformasjon, noe som gjør sannsynligheten for å misforstå svært liten. I kategorien «Current and Voltage» får brukeren en oversikt over strømflyten i systemet. For å gjøre dette mer iøynefallende kunne det vært lagt til endrede farger på tekstboksen dersom en strøm eller spenningsmåling var unormalt høy eller lav. Dette kunne gjort det enklere for brukeren å oppdage hvis det var noen unormale endringer. Videre hadde det vært mulig å gi «Alarm» kategorien større plass, slik at man der kunne gitt mer informasjon om alarmene. Likevel vises det som mer hensiktsmessig å heller inkludere en egen fane, der det er dedikert til informasjon om disse alarmene. Dermed kan brukeren navigere seg til den fanen vitende om at det er alarmene som vil være i fokus. En mulig forbedring på alarm kategorien kunne vært og gjort de enda lettere å oppdage gjennom å legge til varsellamper, blinking eller lydsignaler. I tillegg kunne det vært nyttig å bli presentert med informasjon om hvilke effekttrekk de ulike lasttilstandene har. Slik informasjonen blir presentert nå må man gå ut ifra at dette er kjent informasjon for brukeren.

Utladetestene gjennomføres ned til 1,8Vpc, og det hadde vært positivt om brukeren hadde hatt en mulighet for å utlade batteriet helt ned til denne spenningen dersom man virkelig trengte litt ekstra energi. Dette er ikke lagt opp til slik som det er nå. Det er derimot enkelt

å legge til, om ønskelig. Man kunne enkelt ha gjort det ved å benytte en reserveknapp som tillot denne siste utladningen før man eventuelt koblet over på en av de andre energikildene. Ulempene med dette er at man kan risikere en for høy utladning av batteriet, og dermed kan risikere å redusere batterikapasiteten ytterligere. Dessuten er estimeringen av resttiden ikke lenger nøyaktig når man lader ut til under det lineære området i spenningskurven.

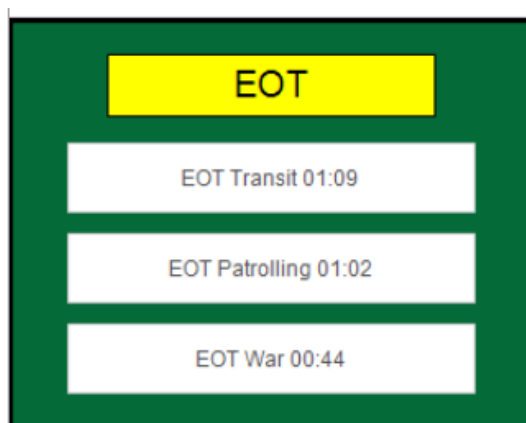
Når man bruker et system over lengre tid vil det være nyttig å ha overvåkning og kontroll over flere parametere. I modellen er det lagt opp til overvåkning av spenning, strøm, watt-timer på batteriet og estimerte gjenværende brukstider. Videre hadde det vært svært ønskelig dersom man kunne lagre informasjonen om systemet. Dette gjelder spesielt totale driftstider på komponenter som batteriet og aggregat. I tillegg ville det vært nyttig med lagring av hvor ofte en alarm utløses og hvor lenge den varer. Ved å kunne lagre slik informasjon kunne man oppnådd en bedre kontroll over hvor i modellen det oftest oppstår problemer, og hvor lenge driftstiden på komponenter er før de burde byttes ut.

For å øke brukervennligheten til systemet er det ønskelig at muligheten for mistolkninger og menneskelige feil skal være minimal. En nøkkelkomponent her er tydelige knapper med tilhørende lys som viser både driftstilstand og energikilden systemet benytter. Dersom man hadde inkludert to lys til hver tilstand, ett hvitt lys som representerer «klar for tilkobling» og ett grønt lys som viser gjeldende tilstand, kunne man ytterligere redusert muligheten for mistolkning. En annen kilde til feil er at det ikke er mulig å stoppe systemet fra brukergrensesnittet. Dette er fordi sikringene ikke styres av PLS, og man er nødt til å skru disse av for å stanse systemet. En god løsning kunne vært å inkludere en nøds-topp knapp i systemet som stenger alt. Videre så kan det skje feil ved oppstart av systemet. Dersom brukeren velger feil batteri vil man ikke ha muligheten til å endre dette, og verdiene i systemet vil være feil. Brukeren er da nødt til å skru av systemet og starte opp på nytt. En mulig løsning kunne vært å legge til en bekreftelsesknapp ved valg av batteriet, eller mulighet i brukergrensesnittet for å kunne endre batteri underveis.

5.5 **Kravspesifikasjon 5: Koden til modellen skal justeres slik at modellen blir mer autonom og mer nøyaktig.**

Koden struktureres i hovedsak ved bruk av funksjonsblokker som oppdateres kontinuerlig utenfor en tilstands-struktur. Tilstandsstrukturen er endret fra å omhandle energikildene til å omhandle forbrukerne. Dette gjør at modellen kan fungere mer automatisert basert på innspill fra brukeren om hvilken last man ønsker å gå for. Videre hadde det her vært hensiktsmessig å organisere koden ytterligere ved bruk av nye funksjonsblokker. Dersom dette hadde vært gjennomført kunne hovedprogrammet vært mer oversiktlig for brukere som ikke har skrevet det selv. For å kompensere for denne svakheten har det vært et stort fokus på å inkludere tydelige kommentarer som forklarer hva funksjonen til hver linje i programmet er. Ved bruk av disse kommentarene er det enkelt både å bygge på koden, men også å endre strukturen helt og likevel få med seg viktige komponenter.

En utfordring slik som modellen er satt opp nå angår estimatene av gjenværende brukstid (EOT). Estimaten av EOT samsvarer med de forventede tidene fra utladetestene, dersom man er i den tilsvarende lasttilstanden. Med andre ord, dersom man er i lav lasttilstand kan man kun ta hensyn til den tilhørende EOT. For å kunne se en realistisk EOT for høy lasttilstand er man nødt til å bytte over til høy last. Grunnen til dette er at EOT baseres på kapasitetsestimatet som igjen baseres på det aktuelle spenningsnivået over batteriet. Når man skifter til en høyere lasttilstand vil dette redusere spenningsnivået med en gang, og dermed endre EOT. En løsning på dette problemet kunne vært å kun vise EOT for den driftstilstanden man er i. Fordelen med dette er at man ikke deler misvisende informasjon som kan føre til dårlige beslutninger. Ulempen er at man er nødt til å fysisk bytte lasttilstand før man vet hvor lang brukstid man vil ha på batteriet. Den største konsekvensen slik som det er nå er når man går fra lav til høy last, da den reelle tiden vil være lavere enn den viste tiden. Dersom man går fra høy til lav last vil tiden være lenger enn vist, og dermed ikke være en like stor risiko. En annen forbedring til EOT som kunne hjulpet som et beslutningsgrunnlag er å erstatte EOT i batteri/landstrømsdrift med informasjon om oppladning av batteriet. Dette kan anses som viktig informasjon som kan støtte beslutningstaking om bord. Figur 49 viser et utsnitt fra brukergrensesnittet.



Figur 49. Utklipp fra EOT tidene når modellen er i lasttilstand «transit».

I oppgaven fra 2021 ble det gjennomført en innsats for å automatisere generatoren opp mot modellen. Likevel har det vært en utfordring at startbatteriet til generatoren utlades, og må dermed ha manuell hjelp for å starte. Her er det gjort et forsøk på å lade opp batteriet ved bruk av generatoren, som fungerer til en viss grad. Uten en automatisert generator fungerer ikke modellen på en ideell måte. Av denne grunn er det anbefalt at generator med startbatteri erstattes. En annen enkel løsning på problemet hadde vært å koble startbatteriet opp til PLSen, for å kunne overvåke batterispenningen på brukergrensesnittet. I tillegg anbefales det at dersom man inkluderer en ny generator bør man også gå til anskaffelse av et flowmeter som kan gjenkjenne hvor mye drivstoff det er på tanken. Dette er relevant informasjon til brukeren som gjerne kan vises på brukergrensesnittet. Videre er det en utfordring i modellen at estimering av batterikapasitet er begrenset til fire lasttilfeller. Om bord er dette ikke realistisk, da man bør kunne endre hastighet med små marginer og likevel kunne ha et korrekt batteriestimat. Videre anbefales det å lage en funksjon som benytter resultatene fra utladetestene og kan ved interpolering finne faktisk batterikapasitet basert på aktuell strømmåling og last.

5.6 Oppsummering

For å svare på hvordan et Energy Management System kan benyttes som et beslutningsverktøy om bord på et fartøy er man nødt til å anse hvordan modellen fungerer i de bestemte scenarioene. Modellen har et høyt fokus på brukervennlighet, for å redusere risiko for usikkerhet eller menneskelige feil. Oppstartsmenyen på brukergrensesnittet vil gjøre det lett for enhver å benytte seg av modellen, og vil virke som en påminnelse for å kontrollere omgivelsene før man benytter modellen. Videre vises det tydelig på

brukergrensesnittet hva som er kun for visualisering og hva som er en knapp som kan benyttes til å gjøre en endring. Ved å gjøre dette så intuitivt som mulig krever bruk av modellen lite tankekapasitet fra brukeren, og vil gjøre det lettere å fokusere på jobben. Brukergrensesnittet for maskin kontroll rom viser nødvendig informasjon en bruker skal trenge for å ta en beslutning. Informasjonen er tydelig kategorisert og dermed enkel å finne frem til. Ved en endring i systemet vil man raskt få informasjon om gjenværende brukstid og aktuelle strømtrekk. Dermed kan EMS spare mye tid i motsetning til å måtte finne denne informasjonen i en tabell. I tillegg er det tydelig for brukeren dersom det skjer en uønsket endring i systemet, ved at en alarm vil vises. Når en alarm dukker opp vil brukerens oppmerksomhet naturligvis trekkes mot denne inndelingen, og dermed raskt kunne løse oppstående feil. Dessuten er modellen mer automatisert enn tidligere, som igjen vil redusere muligheten for menneskelige feil. Ved at modellen vet hvilke endringer som skal skje når, kan man benytte batteriet som energikilde så lenge som mulig, og dermed også øke brukstiden til modellen. Fordelen er at brukeren fremdeles kan gjøre manuelle endringer som modellen vil tilpasse seg etter. Alle disse faktorene gjør det enklere for brukeren av systemet å ta en beslutning om hvor lenge fartøyet kan gå i nåværende lasttilstand, eller hvor mye drivstoff man kan spare ved å benytte batteri som elektrisk buffer.

På den andre siden er det noen faktorer som tilsier at modellen ikke er tilpasset beslutningstaking. For det første mangler en logg for lagring av alarmer, noe som over tid vil gjøre det utfordrende å identifisere og utbedre gjentakende feilkilder. Videre så viser modellen den informasjonen som finnes, men mengden sensorer er en begrensende faktor. For at modellen skal anses som autonom bør man ha flere strømtransformatorer som kan måle strømmen på hver enkelt forbruker. Dette vil øke graden av kontroll, og dermed redusere usikkerheten for brukeren. Aggregatet bør også suppleres med en flow sensor, for å ha en verdi på hvor mye drivstoff som er igjen i tanken. Dette er viktig informasjon som bør være med på beslutningstakningsprosessen.

6 Konklusjon med videre anbefaling

Oppgaven har tatt for seg videreutviklingen av en Energy Management System modell for å illustrere hvordan et EMS kan benyttes som et beslutningsverktøy om bord på et fartøy.

Gjennom utladetester av batteri, kalibrering av sensorer og sammenlikning med fabrikk-data har modellen oppnådd en høy grad av nøyaktighet når det gjelder estimat av batterikapasitet. Modellens økte grad av nøyaktighet gjør at man kan benytte den i mer realistiske scenarioer, og få et innblikk i hvordan et EMS kan påvirke et fartøy. I oppgaven har brukergrensesnitt hatt høyt fokus, da interaksjonen mellom brukeren og maskinen er kritisk for å få godt utbytte av modellen. For å gjøre modellen så realistisk som mulig var det et mål å gjøre modellen mer automatisert. I utgangspunktet så trenger modellen kun å vite hvilket batteri brukeren benytter, og hvilken last brukeren ønsker å gå med. Alt annet kan modellen finne ut basert på informasjon fra sensorer og programkode. Dette vil igjen bidra til å redusere menneskelige feil. For å øke graden av styring har brukeren fortsatt mulighet til å gjøre manuelle endringer på hvilken energikilde som forsyner modellen.

Som et resultat av oppgaven anser vi modellen som et godt eksempel på hvordan et Energy Management System kan benyttes som et beslutningsverktøy om bord på et fartøy. Modellen viser at å benytte seg av batteri som energilagring kan fungere godt som en buffer i et system. Batteriet vil ta til seg den energien det trenger for å lades opp, samtidig som forbrukerne får det de trenger for å drive lastene. Ved å oppfylle kravspesifikasjonen satt i planleggingsprosessen er nivået av EMS modellen løftet og kan brukes som en realistisk sammenlikning til et oppsett om bord. Modellen har et høyt fokus på brukervennlighet, og informasjonen brukeren får fra modellen kan være med på å frigjøre ressurser fra å overvåke og estimere driftstider manuelt. Oppgaven har vist hvilke komponenter som er nødvendige å inkludere i et Energy Management System, samspillet mellom disse, og hvilke utfordringer dette medfører.

Det anbefales videre å benytte funnene fra denne oppgaven til å gjennomføre en prosjektering av et Energy Management System basert på et utvalgt marinefartøy. Prosjekteringen bør ta for seg størrelser på komponenter som batteri, aggregat, sensorer o.l. i tillegg til et prisestimat for modellen.

7 Referanseliste

Andersson-Ulseth, P. (2015). *Elenergi*. Elforlaget.

Department Of Defense. (2019). *Design Criteria Standard Human Engineering: MIL-STD-1472G*. Department Of Defense.

Field, A. (2019). *ISO 50001: a strategic guide to establishing an energy management system*. IT Governance Publishing.

GNB Industrial Power. (u.å.). *Industrial Batteries Marathon L/XL*. Hentet 24. oktober 2022 fra [GNB NP Marathon L/XL \(conrad.com\)](https://conrad.com).

Hyttetorget. (u.å.(a)). *Oppkobling solcelleregulator* [Bilde] Hentet 24. oktober 2022 fra [Solcelleregulator PWM 20A | Hyttetorget](#)

Hyttetorget. (u.å.(b)). *Solcellepanel* [Bilde] Hentet 24. oktober 2022 fra [Solcellepanel 200W \(hyttetorget.no\)](#).

Hyttetorget. (u.å.(c)). *Solcelleregulator* [Bilde]. Hentet 24. oktober 2022 fra [Solcelleregulator PWM 20A | Hyttetorget](#)

International Energy Agency. (2017). *World Energy Outlook 2017*. IEA Publications. [World Energy Outlook-2017 \(windows.net\)](#)

International Organization for Standardization. (2018). *ISO50001 – Energy Management System* [Brosjyre]. [ISO 50001 - Energy Management system](#)

Jumo. (u.å.). *Motstandstermometer PT 1000* [Bilde]. Hentet 20. oktober 2022 fra [Jumo Motstandstermometer -70 °C 550 °C Pt1000](#)

Kismul, M. & Wallem, E. (2021). *Energy Management System*. [Bacheloroppgave, Forsvarets Høgskole]. [Randal og Laukvik.pdf \(unit.no\)](#)

Kongsberg. (2018). *Energy Management* [Brosjyre]. [01.automation-4p-03.09.18.pdf \(kongsberg.com\)](#)

Lee, J., Wickens, C., Liu, Y. & Boyle, L. N. (2017). *Designing for people. An introduction to human factors engineering* (3. Utg.). Createspace Independent Publishing Platform.

Linden, D. & Reddy, T.B. (2011). *Linden's handbook of batteries* (4. utg.). McGraw-Hill.

Mean Well. (u.å.). *50W Single Output DC-DC Converter*. Hentet 24. Oktober 2022 fra [SD-50.cdr \(elfadistrelec.no\)](#)

-
- Mitsubishi Electric. (u.å.). *Frekvensomformer FR-D700 Series* [Bilde]. Hentet 24. oktober 2022 fra [Mitsubishi Electric Frekvensomformer, FR-D700 Series](#).
- Mitsubishi Electric. (u.å.). *FR- Family Frequency Inverters*. Hentet 24. oktober 2022 fra [The DatasheetArchive - Datasheet Search Engine \(elfadistelec.no\)](#)
- Mo, O. (u.å.). *Elektriske og hybride kraftsystemer for skip*. SINTEF. Hentet 15. oktober 2022 fra [Elektriske og hybride kraftsystemer for skip - SINTEF](#).
- Norsk Elektronisk Komité. (2014). *Norsk elektroteknisk norm: Elektriske lavspenningsinstallasjoner* (5. utg.). NEK.
- Power Star (u.å.). *Bruksanvisning Ren Sinus Kombi Inverter og Lader* [Bilde].
- Prochazka, W. (2015). *Battery technology 2015: Development, applications, differences*. [Lysarkpresentasjon]. AVL.
- Randal, V. & Laukvik, S. (2019). *Energistyrings- og kraftforsyningsystem*. [Bacheloroppgave, Forsvarets Høgskole]. [Randal og Laukvik.pdf \(unit.no\)](#)
- Ritar. (u.å.). *DC12-100S (12V 100Ah)*. Hentet 24. oktober 2022 fra [E-DC-DC12-100S-V17B-0 \(cloudinary.com\)](#)
- Rossing, N., Storli, P.T., Vøller, S. & Fagerli, T. (2020). *Fornybar energi*. NTNU. Hentet 20. oktober 2022 fra [fornybar energi \(ntnu.no\)](#)
- Rossing, N. (u.å.). *Solenergi og solceller- teori*. UngEnergi. Hentet 20. oktober 2022 fra [Solenergi og solceller rettet \(Nils Kristian Rossing 1\).docx \(ungenergi.no\)](#).
- Rossing, N. (2014). *Praktisk solcelleteknologi for skolen*. [Bilde]. NTNU. Hentet 20. oktober 2022 fra [Solceller 3.2 SL.fm \(ntnu.no\)](#)
- Seneca. (u.å.(a)). *T series- Field converters: T201DCH50-LP*. Hentet 20. oktober 2022 fra [MI004431-E.cdr \(elfadistelec.no\)](#)
- Seneca. (u.å.(b)). *T series- Field converters: T201DCH100LP-T201DCH300-LP*. Hentet 20. oktober 2022 fra [Senza titolo-1 \(seneca.it\)](#)
- Seneca. (u.å.(c)). *T201 Series AC/DC Current Transducers*. Hentet 20. oktober 2022 fra [flyer t201 eng mag 2021.pdf \(seneca.it\)](#).
- Sivertsen, L. (2019). *Elektriske Maskiner (oppbygning, virkemåte og drift)*. Fagbokforlaget.

Wikse, K.A. (2022, 17. oktober). Bilbatteri. I *Store norskeleksikon*. Hentet 15. oktober 2022 fra [bilbatteri – Store norske leksikon \(snl.no\)](https://snl.no/bilbatteri).

Zed. (2018, 8. november). What battery is best for off-grid solar? *Medium.com*. [What battery is best for off-grid solar? | by Zed | Medium](#)

8 Vedlegg

Vedlegg A – Prosedyre for utladetest

Vedlegg B – Resultater fra utladetester

Vedlegg C – Resultater fra kalibrering av sensorer

Vedlegg D – Programdokumentasjon

Vedlegg E – Systemskisser

Vedlegg F – Brukerinstruks for EMS modell

Vedlegg G – Anskaffelser

Vedlegg H – HMI bilder

9 Dokumentasjon vedlagt i egen fil

- 1 Bruksanvisning Ren Sinus Kombi Inverter og Lader
- 2 DC12-100S Datablad
- 3 FR-D720S Frekvensomformer
- 4 GNB Marathon L12V24 Datablad
- 5 Jumo PT1000
- 6 Mean Well DC/DC SD-50 Omformer
- 7 Modul 750-1504 16-kanals digital utgang
- 8 Modul 750-450 4AI RTD
- 9 Modul 750-483 0-30VDC differensialmåler
- 10 Modul 750-496 Analog input
- 11 Modul 750-600 Endemodul
- 12 Modul 750-8101 Kontroller PFC
- 13 Radox Sort 35 mm² kabel
- 14 Seneca T201 AC/DC Strømtransformator
- 15 Seneca T201DCH300-LP Manual
- 16 Seneca T201DCH50-LP Manual
- 17 Solcellepanel PERC 200W
- 18 Solcelleregulator PWM 20A