

Mads Røvik
Sarah Liamo Tønnessen
Emilie Økvik

Elbåt og ladeinfrastruktur til transport av gjester til Kvenvær - Skårøya

Bacheloroppgave i Elektroingeniør
Veileder: Ola Furuhaug

Mai 2022

Mads Røvik
Sarah Liamo Tønnessen
Emilie Økvik

Elbåt og ladeinfrastruktur til transport av gjester til Kvenvær - Skårøya

Bacheloroppgave i Elektroingeniør
Veileder: Ola Furuhaug
Mai 2022

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for informasjonsteknologi og elektroteknikk
Institutt for elkraftteknikk



Kunnskap for en bedre verden

Tittel:	
Elbåt og ladeinfrastruktur til transport av gjester til Kvenvær - Skårøya	
Electric boat and infrastructure for charging for transport of guests between Kvenvær - Skårøya	
Forfattere:	Prosjektnummer: E2229
Røvik, Mads	Innleveringsdato: 20.05.2022
Tønnessen, Sarah L.	Gradering: [*] Åpen
Økvik, Emilie	[-] Lukket
Kontaktinfo:	Emilie Økvik: Emilieok@stud.ntnu.no, tlf. +47 473 61 330
	Sarah Tønnessen: Sarahlt@stud.ntnu.no, tlf. +47 936 35 872
	Mads Røvik: Madsrov@stud.ntnu.no, tlf. +47 975 31 284
Studium:	Elektroingeniør - BIELEKTRO
Studieretning:	Elkraft og Bærekraftig energi
Veileder Internt:	Ola Furuhaug, e-post: Ola.Furuhaug@ntnu.no
Institutt:	Institutt for Elkraftteknikk
Oppdragsgiver:	Skårøya Opplevelser AS, Hitra
Kontaktperson:	Martin Fjeldvær, e-post: Martin@Hitraleirskole.no, tlf. +47 476 46 407
Sammendrag:	
<p>Etter hvert som verdens energiforbruk øker, blir behovet for bærekraftig energi, stadig viktigere. Elektrifisering er et av de beste verktøyene for å minske klimagassutslipp og dermed bremse klimaendringene. Skårøya Opplevelser AS vil senke sine CO_2-utslipp ved å elektrifisere den nåværende løsningen for frakt av elever til Hitra leirskole. For å minske oppgavens omfang, satte gruppen egne grenser og lagde fem caser som skulle representere hver sin mulige løsning på oppgaven. Selv om det kan konkluderes med at dagens marked for elbåtteknologi ikke er tilstrekkelig nok til for å kunne presentere en klart egnet løsning, har gruppen kommet frem til to formålstjenlige alternativer.</p> <p>As the world's consumption of energy rises, the need for sustainable energy, becomes increasingly important. Electrification is one of the best tools in order to lessen greenhouse gasses and thus slow climate change. Skårøya Opplevelser AS would lower their CO_2-emissions by electifying the current solution for transportation of students to the Hitra oceancamp. To decrease the scope of the project, the group set its own limits and made five cases that would each represent their own solution to the problem. Even though it can be concluded that today's market for electric boat technology is not sufficient enough to present a clearly suitable solution, the group has found two befitting alternatives.</p>	
Stikkord norsk:	Sikkord engelsk:
Bacheloroppgave, Batteri, Bærekraftig, Båt, Båtmotor, Elektrisitet, Elbåt, Fossilfri, Klima, Ladeinfrastruktur, Skrog	Bachelor thesis, Battery, Boat, Boat engine, Charging infrastructure, Climate, Electricity, Electric boat, Fossil free, Hull, Sustainable

Sammendrag

Etter hvert som verdens energiforbruk øker, blir behovet for bærekraftig energi for å takle utfordringene rundt global oppvarming stadig viktigere. Elektrifisering av teknologi er et av de beste verktøyene for å minske klimagassutslipp og dermed bremse klimaendringene. Ved å erstatte den fossile energien brukt i dag med fornybar, ren elektrisitet, kan karbonutslippene reduseres vesentlig. FNs klimapanel har fremhevet elektrifisering av transport og industri som et sentralt element for å oppnå målet om å senke gjennomsnittstemperaturen ned til preindustrielt nivå.

Skårøya Opplevelser AS vil senke sine CO_2 -utslipp ved å blant annet elektrifisere den nåværende løsningen for frakting av elever ut til Hitra leirskole. Det blir nå brukt to bensindrevne båter som til sammen i løpet av et år bruker 2 500 l bensin. Oppgaven gitt fra oppdragsgiver gikk ut på å finne løsninger for elektriske båter og tilhørende ladeinfrastruktur som kan erstatte eller supplere dagens løsning. For å løse denne oppgaven ble det gjort litteraturstudier innenfor tema, og kontaktet fagfolk for å finne ut hvordan best å angripe problemstillingen. På grunn av friheten i oppgaven ble det satt grenser for omfanget og utviklet fem caser som skulle presentere hver sin mulige løsning på oppgaven. For hver av casene ble det gjort beregninger for energibehov og hvordan dette ville påvirke det totale forbruket på leirskolen. Videre ble det sett på hvordan skiftet til elektrisk båt ville påvirke miljøet og og kostnadene.

De ulike casene så på forskjellige varianter av elektrifisering av nåværende båter og investering i helt nye båter i to ulike størrelser. Det ble klart at en viktig faktor for gjennomføring av oppgaven var å senke båtenes hastighet. Lavere hastighet minsker energibehovet og derfor vil det lønne seg med fortrenningskrog, i motsetning til dagens planende skrog. Det ble kommet fram til at to av casene ga realistiske løsninger som kunne være egnet for leirskolens behov. Begge disse casene ser på investering i nye båter, hvor den ene er en båt med fortrenningskrog på omtrent lik størrelse som de nåværende båtene og den andre ser på muligheten for en større båt med plass til flere passasjerer. Sistnevnte tar i betraktning en lovendring i forhold til sjøfartssertifikater når det kommer til maksimalt antall passasjerer ombord i båten. Disse casene vil ha et lavere energibehov som ikke krever store batterier og dermed ikke lang ladetid. Gjennom analyse av forbruksmønsteret ble det funnet en maksimal grenseverdi på ladeeffekt. Denne grenseverdien ble for de fleste casene tilstrekkelig nok til å lade batteriet innen en gitt tid. For å se om elektrifiseringen vil lede til en miljømessig gevinst ble det gjort en livsløpsanalyse av bensinmotoren og det elektriske batteriet, der utslippene sammenlignes. I forhold til kostnader ble det sett på hvilke investeringer som måtte til og hvordan skiftet ville påvirke de årlige utgiftene.

Abstract

As the world's consumption of energy rises the need for sustainable energy, in a hope to tackle the challenges of global warming, becomes increasingly important. Electrification is one of the best tools in order to lessen greenhouse gasses and thus slow climate change. By replacing the fossil energy used today with renewable, clean energy, carbon emissions can be reduced significantly. The UN climate panel has highlighted the electrification of transport and industry as an important element in order to achieve the goal of lowering the average worldwide temperature to a preindustrial level.

Skårøya Opplevelser AS wants to lower their CO_2 -emissions by electrifying their mode of student transport to and from Hitra leirskole. Two petrol-fueled boats are currently being used, consuming together approximately 2500 l of petrol yearly. The task given by the client was to find solutions for electric boats and associated charging infrastructure that could replace or supply the current solution. To solve the task, a literature study and communication with professionals were needed in order to find the best way to attack the problem. Due to the problem's scope, a set of boundaries were set in order to restrain the task's extent. This was done through limiting the task to five separate cases, where each case represents a solution. For each case, energy calculations were made in order to see how it would affect the oceancamp's total energy consumption. Lastly, an analysis of how the conversion to electric boats would affect environmental and economic costs.

The separate cases looked at their individual variant of electrification solutions of current and new boats in different sizes. It was made clear that the most important factor for the implementation of electric boats, was to lower the speed. Lower speeds implies a lower need of energy, therefore, a displacement hull would be beneficial as opposed to today's planing boats. It was concluded that the two cases applying displacement hulls were the most realistic, since they provided a solution with a low energy necessity and thus a short charging time. The first case looked at a solution using a displacement hull, at about the same size as the current boats, while the second case looked at a larger boat, suitable for more passengers. The larger boat would require a change in laws, in relation to the number of passengers allowed with the current legislation. Through an analysis of the consumption pattern, a maximum, limiting value for the charging power was found. This limit was for most cases sufficient enough in order to charge the battery within a given time. To see whether or not the electrification would lead to a positive environmental change, a life cycle analysis of the petrol engine and the electric battery was done. In relation to the cost, it was looked at which investments were needed and how the change would affect the annual expenses.

Forord

Oppgaven Elbåt og ladeinfrastruktur til transport av gjester Kvenvær – Skårøya, ble valgt på bakgrunn av interessen gruppen har for innovasjon, bærekraftige løsninger og ønsket om å opplyse om fornybare løsninger. Formålet med oppgaven var å undersøke ulike muligheter for elektrifisering av transportmiddel mellom Kvenvær og leirskolen på Skårøya. Dette medførte en dypere undersøkelse av motor og batterisystemer, ladeinfrastruktur og skrogtyper. Dette har vært en utfordrende, spennende og lærerik prosess, der vi har jobbet med godt samarbeid, god motivasjon og stort pågangsmot gjennom semesteret. Idag kan vi med stolthet se tilbake på et semester med hardt arbeid, med vårt endelige resultatet lagt ved.

Gruppen ønsker å takke veileder Ola Furuhaug for faglig kompetanse og konstruktiv kritikk som har gitt gruppen ekstra motivasjon. En stor takk bør også rettes til oppdragsgiver, Martin Fjeldvær, som har gitt oss en spennende oppgave innen et nyskapende tema. Vi er blitt møtt med god tilgjengelighet, gode innspill og inspirerende samtaler, noe gruppen er veldig takknemlig for. Tilslutt vil vi takke teknisk leder ved Green Waves AS, Jakob Storjord Andersson, for hans hjelp og informasjonsgiving innen et tema gruppen har lite erfaring med. Uten hjelp fra disse ville ikke gjennomføringen av oppgaven vært mulig.

Trondheim, 20. Mai 2022

Emilie Ørvik

Ola Furuhaug

Sarah Tonnessen

Symbolliste

A	Areal [m ²]
d	Distanse [km]
E	Energi [kWh]
Hk	Hestekrefter [hk]
I	Strøm [A]
L	Liter [l]
l	Lengde [m]
m	Masse [kg]
P	Effekt [W]
Q	Kapasitet [Ah]
S	Effekttetthet [W/m ³]
T	Temperatur [K]
t	Tid [h]
U	Spenning [V]
V	Volum [dm ³]
v	Hastighet [km/t]
P	Effekt [W]
ϵ	Energitetthet [J/m ³]
η	Virkningsgrad [%]
ϕ	Faser

Forkortelser

AC	Vekselstrøm
AMS	Avansert måle- og styringssystem
APM	Automatic Power Management
BMS	Battery Management System
CCS	Combined Charging System
DC	Likestrøm
DTE	Det Tekniske Enhetsystemet
EVSE	Electronic Vehicle Supply Equipment
FSE	Forskrift om sikkerhet ved elektrisk anlegg
LIB	Litiumion-batteri
NEK	Norsk Elektronisk Komite
OBC	On Board Charger
SOC	State of Charge
SSB	Statistisk Sentralbyrå
TEK	Byggeteknisk Forskrift
WTT	Well to tank

Innhold

Figurer	vii
Tabeller	ix
1 Innledning	1
1.1 Motivasjon	1
1.2 Problemstilling	1
1.3 Leirskolens spesifikasjoner	1
1.4 Lovverk	1
1.5 Rapportens oppbygning	2
2 Avgrensninger	3
2.1 Rammer	3
2.2 Beskrivelse av områder	3
2.3 Lokale forhold	5
3 Teori	6
3.1 Båtmotor	6
3.1.1 Forbrenningsmotor	6
3.1.2 Effekt til energi	7
3.1.3 Induksjonsmotor	7
3.1.4 Effektivitet	8
3.2 Batteri - Effekt	9
3.2.1 Litium-ionbatteri	9
3.2.2 State of Charge	9
3.2.3 Energitetthet	10
3.2.4 Energiforbruk	10
3.2.5 Effektbehov avhengig av skrogtype	11
3.3 Ladeinfrastruktur	13
3.3.1 Overføringsnettet	13
3.3.2 Elektroinstallasjoner i lavspente fordelingsystemer	13
3.3.3 Effekt	17
3.3.4 Komponenter i kraftnettet	17
3.3.5 Avanserte måle- og styringssystemer	18
3.3.6 Effektereguleringssystem for elbåt-ladeanlegg	19

3.3.7	Lading av elektrisk framkomstmiddel	19
3.4	Miljø	22
3.4.1	Ekvivalenter	22
3.4.2	Utvinningsutslipp	22
4	Metode	25
4.1	Litteraturstudie	25
4.2	Oppgaveutvikling	25
4.2.1	Forhåndsinformasjon	25
4.2.2	Valg av båt	25
4.2.3	Analyse av nettet	26
4.3	Fase 1 - Beregninger	26
4.3.1	Effekt og energi	26
4.3.2	Batteri	27
4.3.3	Ladeinfrastruktur	27
4.4	Fase 2 - Analyse	28
4.4.1	Analyse av nettet	28
4.4.2	Miljøanalyse	29
4.4.3	Kostnadsanalyse	30
5	Resultat	31
5.1	Oppgavens definisjoner	31
5.2	Fase 1 - Beregning	32
5.2.1	Effekt og energi	32
5.2.2	Batteri	34
5.2.3	Ladeinfrastruktur ved Skårøya	35
5.3	Fase 2 - Analyse	37
5.3.1	Analyse av nettet	37
5.3.2	Opplading av elbåt	37
5.3.3	Opplading av batteri	37
5.3.4	Livsløpsanalyse	39
5.3.5	Kostnadsanalyse	41
6	Diskusjon	45
6.1	Effekt og energi	45
6.2	Ladeinfrastruktur	46

6.3	Opplading av elbåt	47
6.4	Livsløpsanalyse	49
6.5	Kostnadsanalyse	50
6.6	Feilkilder	51
6.7	Vurdering av eget arbeid	51
6.8	Videre arbeid	52
7	Konklusjon	53
8	Vedlegg	54
8.1	Plakat	54
8.2	Elektroinstallasjoner Skårøya	55
8.2.1	Detaljert kursfortegnelse Skårøya	55
8.2.2	Fordelingsskjema, Sanitetshus Skårøya inkludert nye kurs 25	59
8.2.3	Underfordelingsskjema, Sanitetshus Skårøya	62
8.2.4	Beregninger for elektroinstallasjoner ved Skårøya	63
8.3	Forbruksmønster Skårøya	64
8.3.1	Ukentlige effekttopper og forbruk i uken	64
8.3.2	Gjennomsnittsforkbruk per dag per måned	65
8.3.3	Antall effekttopper per dag i løpet av en uke gjennom hele året og ved drift	66
8.3.4	Varighetskurve og årsforbruk anlegg 1	67
8.3.5	Varighetskurve og årsforbruk anlegg 2	67
8.3.6	Case 1 - Oppladning av batteri	68
8.3.7	Case 1.2 - Oppladning av batteri	69
8.3.8	Case 2 - Oppladning av batteri	70
8.3.9	Case 3 - Oppladning av batteri	71
8.3.10	Case 3.2 - Oppladning av batteri	72
8.4	Kostnadsanalyse med investering i bensinbåt	73
	Referanser	74
Figurer		
2	Oversikt over området mellom Kvenvær og Skårøya, og reisen som tas med båt under frakt. Hentet fra Skårøya Opplevelser AS	3
3	Kaiområdet på Skårøya	4
4	Oversikt over fordelingen sett fra transformatoren til ladeuttaket	4

5	Kaiområdet på Kvenvær	4
6	Distribusjonsnettet på Kvenvær og Skårøya	5
7	Gjennomsnittstemperatur i Norge over henholdsvis sommer- og vintermåned. Hentet fra (Store Norske Leksikon, 2022i)	5
8	Hvordan en firetakts ottomotor fungerer i prinsipp. Hentet fra SNL (Store Norske Leksikon, 2022g)	6
11	Tverrsnitt av et litium-ionbatteri. (Norsirk, 2022)	9
12	Ragone plot som viser volumetrisk energitetthet mot spesifikk energitetthet for blant annet litium-ionbatteri. (DragonflyEnergy, 2022)	10
13	Illustrasjon som viser hvordan baugbølgen oppfører seg i relativt til fart	11
14	Kabelskap, hentet fra (Griug.no, 2022)	13
15	Typisk oppbygging av fordelingsnett i større norske bygg	14
16	IT-nett. (Hansen, 2021)	15
17	Ulike TN-systemer. (Hansen, 2021)	15
18	Automatsikring(Store Norske Leksikon, 2022a)	16
19	Husholdningers energiforbruk per time hentet fra SSBs publikasjoner(Ericson og Halvorsen, 2008)	17
20	Ulike transformatorer	18
21	Utnyttelse av tilgjengelig effekt, hentet fra Zaptec(Zaptec, 2022)	19
22	Illustrasjon av lading for elbil.	20
23	Illustrasjon av type 1 og type 2 ladekontakter. (Teknisk Ukeblad, 2022a)	21
24	Illustrasjon av CCS og CHAdeMO ladekontakter. (Teknisk Ukeblad, 2022a)	21
25	Et stort område som er brukt til å utvinne litium. Hentet fra (Gracht, 2022)	22
26	Bilde av utvinning av olje gjort av Norsk Hydro i tynn sione Troll gassfelt. Blå soner er vann, brune soner er gass og grønne soner er Olje. Hentet fra (Steensen, 2022)	23
27	Tankekart for de ulike stegene i lithiumbatteriets livsløp	29
28	Fremstilling av effektbehov som funksjon av hastighet.	34
29	Energiforbruk per time over et døgn	35
30	Daglige effekttopper	36
31	Antallet effekttopper per timesperiode	36
32	Totalt forbruk med batterioppladning	38
33	Sammenlignet utslipp over 15 år	41
34	Kostnadsanalyse for Case 1 og Case 1.2	42
35	Kostnadsanalyse for Case 2	43
36	Kostnadsanalyse for Case 3 og 3.2	44
37	Høyest forbruk per uke	64
38	Høyest ukentlig forbruk	64

39	Gjennomsnittsförbruk per dag per måned	65
40	Antall effekttopper per dag i løpet av en uke gjennom hele året	66
41	Antall effekttopper per dag i løpet av en uke gjennom hele driftsperioden	66
42	Gjennomsnittlig døgn	68
43	Gjennomsnittlig døgn under drift	68
44	Døgnet med høyest forbruk	68
45	Gjennomsnittlig døgn	69
46	Gjennomsnittlig døgn under drift	69
47	Døgnet med høyest forbruk	69
48	Gjennomsnittlig døgn	70
49	Gjennomsnittlig døgn under drift	70
50	Døgnet med høyest forbruk	70
51	Gjennomsnittlig døgn	71
52	Gjennomsnittlig døgn under drift	71
53	Døgnet med høyest forbruk	71
54	Gjennomsnittlig døgn	72
55	Gjennomsnittlig døgn under drift	72
56	Døgnet med høyest forbruk	72
57	Kostnadsanalyse ved 500 000 kroner i investering for ny bensinbåt	73
58	Kostnadsanalyse ved 800 000 kroner i investering for ny bensinbåt	73

Tabeller

1	Konstant for ulike båttyper	12
2	Omtrentlig ladetid for forskjellige ladetyper. (Ladestasjoner, 2022b)	21
3	Fremstilling av hvordan tallverdiene for strømforbruk ble lagt inn i Excel	27
4	Oppsett av Excel for å sortere daglige, ukentlige, månedlige og årlige effekttopper	27
5	Oppsett av Excel for å finne effekttoppenes tidspunkt	28
6	Tall for tidsbruk, avstander og bensinforbruk gitt av oppdragsgiver.	31
7	Estimatverdier utregnet fra oppdragsgivers informasjon	31
8	Videre estimat gjort ut i fra oppdragsgivers informasjon og hovedcaser	32
9	Energibehov ved bruk av dagens bensindrevne motor	32
10	Energibehov ved elektrisk motor på dagens båter, Case 1	32
11	Effekt- og energibehov for Case 2	33
12	Effekt- og energibehov for Case 3	33

13	Effekt- og energibehov ved elektrifisering av dagens båter for Case 1.2	34
14	Effekt- og energibehov for Case 3.2	34
15	Batteristørrelse for hver case	35
16	Opplading av batterier ved hver case	37
17	Mengden CO_2 -ekvivalenter under produksjon for høyeste nødvendig kWh for Case 1	40
18	Mengden CO_2 -ekvivalenter under produksjon for høyeste nødvendig energibehov for Case 2	40
19	Mengden CO_2 -ekvivalenter under produksjon for høyeste nødvendig energibehov for Case 3	40
20	Mengden CO_2 -ekvivalenter under produksjon for høyeste nødvendig energibehov for Case 1.2	40
21	Mengden CO_2 -ekvivalenter under produksjon for høyeste nødvendig energibehov for Case 3.2	40
22	Mengden CO_2 -ekvivalenter under produksjon for høyeste energibehov	41
23	Oversikt over kostnader for en dags bruk og et års bruk for de forskjellige casene. .	42
24	Årlige kostnader for Case 1 og Case 1.2	42
25	Årlige kostnader for Case 2	43
26	Årlige kostnader for Case 3 og Case 3.2	43

1 Innledning

1.1 Motivasjon

Bakgrunnen for denne oppgaven ligger i en oppgavetekst gitt av Skårøya Opplevelser AS. Bedriften driver en havleirskole på Skårøya utenfor Kvenvær i Hitra kommune. Oppgaven uttrykker et ønske om å bli en leirskole med tilnærmet null utslipp og å være et miljømessig forbilde og ta vare på naturen rundt seg. For å oppnå dette er ett av hovedtiltakene å anskaffe utslippsfrie båter som kan frakte passasjerene med redusert støy, redusert drivstoffbudsjett og ikke minst redusert CO_2 -utslipp. Overgangen fra bensin til elektrisk vil kunne hjelpe leirskolen økonomisk, både ved å slippe drivstoffutgifter og å motta eventuell økonomisk støtte for klimainnsats, hjelpe på et positivt bilde utad og gi et lite forsprang på en mer og mer tydelig trend med elektrifiserte båter. Miljøsertifiseringen 'Grønt Flagg' og Enovatilskudd er også blant motivasjonene.

Det Skårøya Opplevelser AS håper å få ut av dette prosjektet er et innblikk i hvilke teknologier som er på markedet for elektrifisering av båt-reiser under de begrensningene som er gitt i problemstillingen. Dette innebærer en undersøkelse av om det er mulig å gjennomføre en reise slik som er ønsket med fullstendig eller delvis elektrifisering og om nettet tåler den ekstra belastningen.

1.2 Problemstilling

Oppgaven stiller flere krav til løsningene slik at den løses på best mulig måte i forhold til Skårøya Opplevelser AS behov. Dette er noe som må tas hensyn til når oppgaven gjennomføres.

Hvilke løsninger for elektrisk båt og tilhørende ladeinfrastruktur egner seg best for frakt av passasjerer under den gitte tidsrammen, samt gi en bærekraftig og økonomisk lønnsom effekt?

1.3 Leirskolens spesifikasjoner

Skårøya Opplevelser AS har i sammenheng med denne oppgaven gitt noen spesifikasjoner som det er ønsket at gruppen holder seg innenfor hvis det er mulig.

- 70 passasjerer, med bagasje, skal fraktes til Skårøya fra Kvenvær på ca. 2 timer
- Det kan fraktes maks 12 passasjerer per tur for å holde regler gitt av Sjøfartsdirektoratet
- Antallet båter skal ikke overskride 3

Selv om det er ønsket at det dimensjoneres for 70 elever, er det gitt informasjon om at gjennomsnittlig besøkende elever ligger på rundt 40-50.

1.4 Lovverk

Reglene som blir sett på og diskutert herunder er fortsatt gyldige i løpet av mai, 2022.

På grunnlag av at båtene i eierskap av Skårøya Opplevelser AS brukes til leirskole, vil de måtte følge forskrift 'RSR 01-2020' og '24. nov. 2009 nr. 1400 om drift av fartøy som fører 12 eller færre passasjerer'. (Sjøfartsdirektoratet, 2022c) 'RSR 01-2020' konstaterer ifølge Sjøfartsdirektoratet at båter som anvendes av leirskoler, skoler eller barnehager til sjøvettaktiviteter kan anvendes etter reglene som gjelder for fritidsbåter, mens 'nr.1400' konstaterer at båter under 24 meter ikke kan borde mer enn 12 passasjerer. I tillegg er båtene 6.09 meter lange, så de faller videre under forskrifter for fritidsfartøy på ≤ 10 meter. I disse to forskriftene er det ikke alt som må tas hensyn til i forhold til oppgaven, og det er kun de konstateringene som på noen måte påvirker oppgaven som er nevnt.

I følge Sjøfartsdirektoratets forskrifter for fritidsfartøy må føreren av et slikt fartøy ha bestått båtførerprøven og fått utstedt båtførerbevis. (Sjøfartsdirektoratet, 2022a) Dette gir føreren tillatelse til å anvende et fartøy på opp til 15 meter med ingen begrensninger på motorstørrelse. Ønsker føreren å anvende båt større enn 15 meter må det anskaffes nytt fritidskippersertifikat. (Sjøfartsdirektoratet, 2022b) For å overstige 12 passasjerer på en tur kreves et passasjersertifikat som er sertifisert av Sjøfartsdirektoratet.

Forskrift '24. nov. 2009 nr. 1400 om drift av fartøy som fører 12 eller færre passasjerer' er tatt opp til diskusjon av Sjøfartsdirektoratet i følge Norsk Leirskoleforening. Denne diskusjonen er tatt opp for å avgjøre om det skal være mulighet til å frakte flere passasjerer enn 12 uten å måtte innehave passasjersertifikat. Det er snakk om å tillate opp til 30 passasjerer. (Leirskoleforening, 2022) Hvis denne forskriftsendringen blir godkjent, kan det bety at Skårøya AS kan frakte mer enn de 12 passasjerene de har lov til å frakte per tur i dag. Dette vil da også bety at helt andre løsninger og idéer for oppgaven kan være aktuelle.

1.5 Rapportens oppbygning

I rapportens startfase etter innledningen vil først avgrensningene avklares før teorien som er relevant for oppgaven forklares i nærmere detalj. Denne teoridelen diskuterer motorteknologi for både forbrenningsmotorer og elektriske motorer, batteriteknologi og effektbehov, og ladeinfrastruktur og ladeforhold på Skårøya og Kvenvær. Deretter skal metoden og fremgangsmåten for kildekritikk, utvalg av motorer, båter og ladestruktur forklares. Her er det viktig at fremgangsmåten for bestemmelsene forklares med bakgrunn i faglig kompetanse. Metoden etterfølges av resultater som baserer seg på de valgene som ble tatt og mer generelt hva som kan påvirke fremdrift, fart og økonomi. Til slutt kommer det en diskusjonsdel og en konklusjon hvor alle tall og verdier skal diskuteres, løsningene skal vurderes etter hvor godt de løste oppgaven og hvordan resultater eventuelt kunne vært forbedret.

2 Avgrensninger

2.1 Rammer

Ut i fra oppgaveteksten som er blitt utgitt av Skårøya Opplevelser AS er oppgaven helt åpen for egen tolkning og idéer. Løsningsmulighetene er kun begrenset av de ytteligere spesifikasjonene i Avsnitt 1.3. Oppdragsgiver ser helst at budsjettet skal være økonomisk realistisk, men har ikke noe imot at det ses på dyrere løsninger. På grunn av dette har gruppen bestemt seg for å begrense oppgaven ned til tre ulike hovedløsninger og presentere disse i teksten.

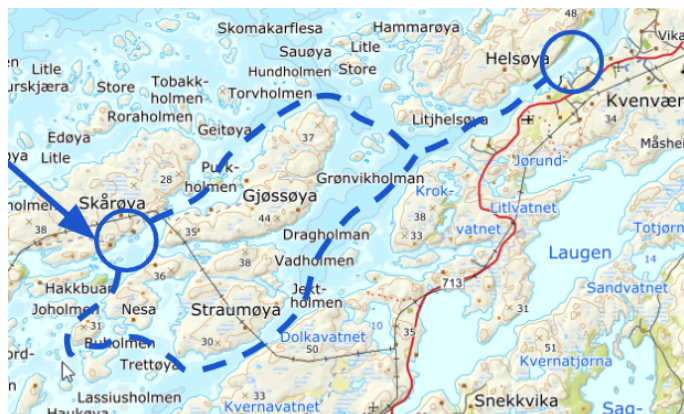
- Case 1: Elektrifisering av den gjeldende løsningen. Utbytte av bensindrevne motorer og bensintank med elektrisk motor og batteri
- Case 2: Anskaffelse av én ny elektrisk båt i tillegg til å beholde to av de eksisterende bensinbåtene
- Case 3: En fremtidsrettet plan om investering i en større elektrisk båt som kan romme flere passasjerer, hvis mulige endringer i forskrift nevnt i Avsnitt 1.4 trer i kraft

Selv om oppgaven er begrenset av gruppen til tre ulike utredninger, er det fortsatt mange måter å fullføre oppgaven på og mange faktorer å ta i betraktning. Dette gjelder da spesielt med tanke på båter, motorer, batteri og økonomi. Oppgaveteksten ønsker faglige vurderinger av elektriske motorer, båttypen, ladesystemer og batterisystemer, derfor er det viktig at gruppen ikke begrenser seg til én enkelt løsning for hver case, men heller opplyser oppdragsgiver om at det er flere valgmuligheter og kombinasjoner. Det er i sammenheng med ladetyper, satt en maksimal ladetid på 24 timer for å begrense antall valg av ladere.

Hvis det ikke finnes løsninger som holder spesifikasjonene, vil gruppen fortsatt være nødt til å presentere noe som vil være så nært de opprinnelige spesifikasjonene som mulig. Løsninger som faller langt utenfor vil ses bort fra og samme med løsninger som krever nye sjøfartssertifikater. Det kommer heller ikke til å bli sett på løsninger som krever selvbygd eller skreddersydd motor, batteri eller båt.

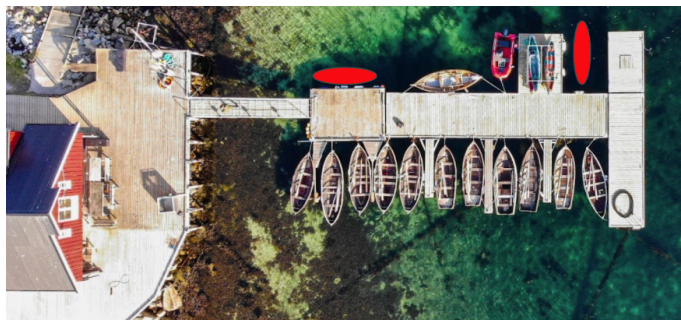
2.2 Beskrivelse av områder

Skårøya Opplevelser AS driver en leirskole som befinner seg på en skjærgårdsøy i et område i Hitra kommunes vestlige del, kalt Kvenvær. Området er i stor grad preget værmessig av å ligge i nærheten av det åpne havet, og opplever derfor mye kraftig vind og regn. Skjærgårdsøyen som leirskolen ligger på heter Skårøya, og ligger omtrent 10 minutter med båt fra kaiområdet på Kvenvær.



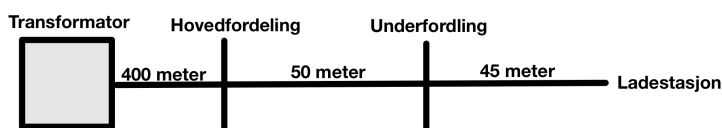
Figur 2: Oversikt over området mellom Kvenvær og Skårøya, og reisen som tas med båt under frakt. Hentet fra Skårøya Opplevelser AS

I Figur 2 kan båtturen som gjøres mellom Kvenvær og Skårøya med leirskoleelever om bord ses på den blå stiplede linjen. Det fremstilles to ulike ruter som kan tas mellom fastlandet og leirskolen, og hvilken som tas i bruk avhenger av værforholdene og om det er flo eller fjære. For frakting av elever anvendes den korteste ruten, om mulig. Hvert sted har hver sin kai, med ledig båt plass til leirskolen.



Figur 3: Kaiområdet på Skårøya

Figur 3 viser hvordan kaiområdet på Skårøya er lagt opp. De nåværende båt plassene som brukes av Skårøya Opplevelser AS når leirskoleområdet er aktivt er markert i rødt, men hele kaien tilhører leirskolen og kan brukes etter ønske. Helt til venstre i dette bildet ligger Skårøyas naust. Her inne ligger underfordelingen som er høyst relevant for oppgaven når det kommer til oppsett av ladestasjon. Avstanden mellom hovedfordelingen, i hovedhuset, og underfordelingen er 50 meter og fra underfordelingen til midten av brygga er det omtrent 45 meter.



Figur 4: Oversikt over fordelingen sett fra transformatoren til ladeuttaket

Dette vises i Figur 4. Fordelingsskjema over det elektriske anlegget til Sanitetshuset på Skårøya kan finnes i Vedlegg 8.2.2, denne har noen små endringer i forhold til dagens anlegg som vil bli diskutert senere i oppgaven.



Figur 5: Kaiområdet på Kvenvær

Over i Figur 5 er det en oversikt over kaiområdet på Kvenvær. På samme måte som i Figur 3 er de nåværende båt plassene til Skårøya Opplevelser AS markert i rødt.

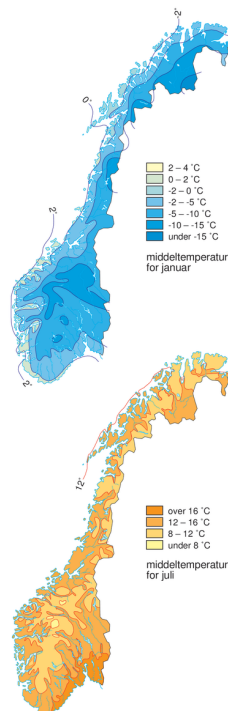


Figur 6: Distribusjonsnett på Kvenvær og Skårøya

Det aktuelle distribusjonsnett på Hitra består av 5 transformatorstasjoner hovedsaklig plassert østlig på øya. Det er disse fem som mater distribusjonsnett som er satt opp rundt områdene på Kvenvær og Skårøya.

2.3 Lokale forhold

Denne prosjektoppgaven ser på ulike løsninger for båtturen over fra fastland til en øy langs norskekysten. Båtturen går fra sognet Kvenvær til øya Skårøya, og reisen rute kan ses i Figur 2. På grunn av områdets plassering langs kysten kan det forventes at området utsettes for mye vind og regn, og noen kalde netter i løpet av vintermånedene. Disse tre faktorene kan påvirke batterikapasitet, tidsbruk og effektivitet. I følge nettsiden 'Bestetidareise' ligger Kvenværs gjennomsnittstemperatur på omtrent 9°C og opplever 125 dager med oppholdsvær. (Bestetidareise, 2022) For utsatte områder langs norskekysten er gjennomsnittlig vindstyrke liten kuling, og står for cirka 20 - 25% av vinden. (Store Norske Leksikon, 2022i) Selv om Kvenvær/Skårøya ikke ansees som av de mest utsatte områdene langs kysten, kan det allikevel antas at de utsettes for noe av de samme vindforholdene.



Figur 7: Gjennomsnittstemperatur i Norge over henholdsvis sommer- og vintermåned. Hentet fra (Store Norske Leksikon, 2022i)

3 Teori

Teoriseksjonen vil inneholde nødvendig bakgrunnsteori rundt temaene denne rapporten begir seg ut på. Disse temaene er motor, batteri, ladeinfrastruktur og miljø.

3.1 Båtmotor

For å få en båt til å bevege seg i en ønsket retning må det settes i gang en kraft som arbeider mot arbeidet til vannet. For å oppnå dette har det i de siste tiårene hovedsaklig vært snakk om å bruke en forbrenningsmotor for å utføre dette arbeidet heller enn menneskelig kraft, men nå i nyere tid er det blitt mer og mer snakk om å heller ta i bruk en elektrisk motor som erstatning. Disse ulike typene motorer har hver sine fordeler og ulemper under bruk.

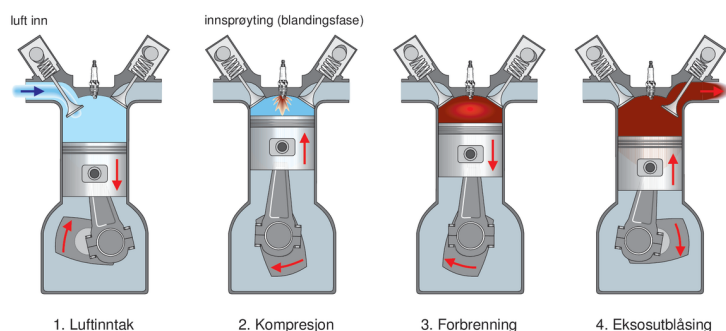
3.1.1 Forbrenningsmotor

Forbrenningsmotorer er en form for varmekraftmaskin. Dette er en maskin som gjør den termiske energien, altså varme, om til mekanisk energi, arbeid. Omsetningen skjer ved at energien som er kjemisk bundet i det fossile brensel som tilføres, slik som olje, kull eller gass, frigjøres under en forbrenningsprosess og omdannes til et arbeidsmedium, som for eksempel eksos eller vanddamp. Arbeidsmediet oppvarmes i denne prosessen ved det høyeste trykket og bruker arbeidet som måte å minske trykket på ved å bevege på for eksempel et stempel. I følge termodynamikkens andre lov vil denne omgjøringen av termisk energi bety at det også skjer energitap i varmekraftmaskiner og dermed vil den ha en virkningsgrad. Den maksimale virkningsgraden som kan oppnås kalles for Carnot-virkningsgraden, η_c . Jo høyere denne virkningsgraden er jo større blir reduksjonen av brenselforbruket. (Store Norske Leksikon, 2022o)

Bensinmotor

Bensinmotorer finnes som regel på båt i form av innenbordsmotor eller som påhengsmotor. For denne oppgaven er det påhengsmotoren som er mest relevant. Denne motoren er en to- eller firetakts ottomotor med en horisontal sylinder og en vertikal aksel forlenget til et vinkeldrev, men kan variere både i hestekrefter og vekt, og mellom én til åtte sylindre. Nå i nyere tid er det blitt mer populært med firetakts ettersom denne tilfredsstiller utslippskravene til myndighetene bedre. (Store Norske Leksikon, 2022n) Motoren brukt på leirskolen er en firetakts bensinmotor.

I ottomotorer skjer det en ottoprosess som er en idealprosess i motorer hvor det skjer en såpass rask forbrenningsprosess slik at det oppstår en trykkøkning uten noen særlig endring i volum. (Store Norske Leksikon, 2022j) En antennelig blanding av brennstoff og luft føres inn i et luftinntak hvor volumet komprimeres av et stempel. Deretter blir blandingen påtent ved hjelp av en elektrisk gnist og temperaturen øker kraftig ved nærmest uendret volum. Temperaturøkningen dytter stempelet som komprimerte luftblanding nedover slik at volumet øker og overfører bevegelsen til en roterende kraft, og blandingen kan forlate ventilen som eksos. (Store Norske Leksikon, 2022g)



Figur 8: Hvordan en firetakts ottomotor fungerer i prinsipp. Hentet fra SNL (Store Norske Leksikon, 2022g)

Fordeler og ulemper med bensinmotor

En bensinmotor har fordeler og ulemper som bør tas i betraktning når det kommer til fritidsbruk, økonomi og miljø. Den største ulempen er at bensinmotoren avhenger av fossilt drivstoff. Dette fossile drivstoffet består som regel av 95% råolje, med kun 5% etanol, som består av sukkerrør og mais, or dermed er fornybart. (NAF, 2022) Denne blandingen er kalt E5 og er blandingen som brukes av Skårøya Leirskole. Når det kommer til investering og vedlikehold er en bensinmotor relativt billig, enkel å holde ved like og har stor tilgang på deler. Den går stille enn andre valg, avgir lite lukt og har god akselerasjon.

3.1.2 Effekt til energi

Hestekrefter, med symbolet hk på norsk, er en enhet for effekt i det franske enhetssystemet *Det Tekniske Enhetssystemet*. DTE ansees å være et lite hensiktsmessig enhetssystem av ulike årsaker, men hovedsaklig fordi de termodynamiske, elektriske og magnetiske enhetene utgår, og er derfor ikke i noen internasjonal standard. Effekt defineres som arbeid utført per tidsenhet. (Store Norske Leksikon, 2022h) SI-enheten for effekt er watt, W . Dette gjør at én hestekraft kan uttrykkes som

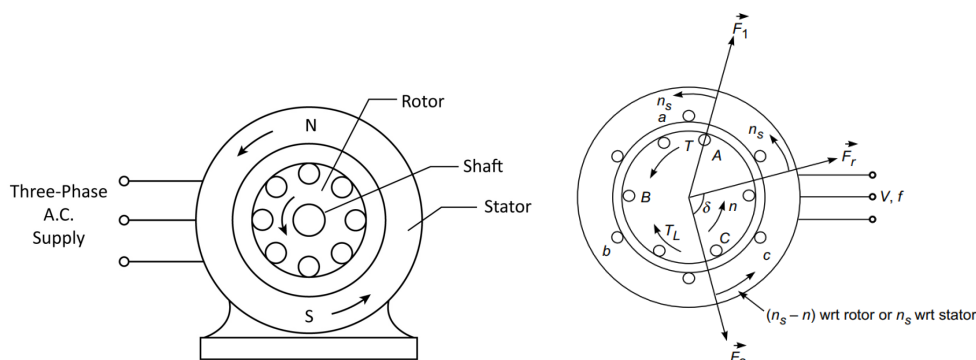
$$1 \text{ hk} = 75 \frac{\text{kpm}}{\text{s}} \quad (\text{kilopondmeter per sekund}) \approx 735.5 \text{ W} \quad (1)$$

og gir en enhet som er enklere å jobbe med. Kilowattimer, kWh , er en enhet som brukes for å uttrykke energi og sier noe om hvor mye energi en effekt utvikler på én time. Denne enheten er heller ingen SI-enhet, men brukes allikevel for kjøp og salg av energi. Disse to enhetene kan da brukes for å representere hverandre, ved å anvende hestekrafttimer, som er cirka arbeid en hest kan prestere på én time.

$$1 \text{ hkh} = 0.7355 \text{ kWh} \quad (2)$$

3.1.3 Induksjonsmotor

I en elektrisk påhengsmotor er det innebygd en induksjonsmotor i stedet for en forbrenningsmotor. En induksjonsmotor er flerfaset, oftest trefaset, og fungerer asynkront. Den består av en sylindrisk rotor med en stator rundt, hvor både rotoren og statoren er viklet for den trefasede matende spenningen som kommer inn på statoren. De har like mange poler som hverandre. Rotoren er delen av maskinen som roterer mens statoren er stillestående. Magnetene i statoren vil, når de påsettes spenning, skape et roterende magnetfelt i gapet mellom statoren og rotoren i bevegelse. (Kothari og Nagrath, 2006) Dette gjør at skapes en elektromotorisk kraft i statorviklingene som stabiliserer den trefasede inngangsspenningen. Siden disse to ikke berører hverandre vil det skje minimalt med slitasje.



(a) Tversnitt av en trefaset induksjonsmotor med magnetfelt. (b) Tversnitt av trefaset induksjonsmotor med poler. Hentet fra Hentet fra (Bartleby, 2022) (Kothari og Nagrath, 2006)

I en elektrisk motor vil induksjonsmotoren omsette den elektriske energien til mekanisk energi. Elmotoren baserer seg på elektromagnetisk induksjon, altså produksjon av en elektrisk strøm ved bruk av magnetfelt, slik at den elektromotoriske spenningen som oppstår skaper strøm. (Store Norske Leksikon, 2022d) Hvordan en induksjonsmotor gjør dette er forklart i avsnittet over og hvordan den er bygd opp kan ses i Figur 9a og 9b respektivt.

Elektrisk utenbords- eller innenbordsmotor

For forbrenningsmotorer vil ikke diskusjonen hvorvidt innenbords- eller utenbordsmotor er best være aktuell siden leirskolen allerede besitter båter med utenbords bensinmotorer som ikke skal endres med mindre det er om til elektrisk. I oppgaven fokuseres det på utbytte av elektriske motorer eller båter, derfor vil drøfting rundt hvilket motor-design som skal benyttes bli relevant. Selv om motorene er elektriske kan teorien fra forbrenningsmotorer brukes.

Det er ulike fordeler og ulemper med elektriske innenbords- og utenbordsmotorer og hvilken som er best varierer ut i fra bruksforhold og behov. Innenbordsmotorer er oftest brukt av større båter som ligger på rundt 40 fot, men fins også i varianter som bedre passer en mindre båt og kan til disse tilby bedre manøvrering, mindre vibrasjoner og mindre støy, men vil i gjengjeld kreve større plass og vanskeligere installasjon. En utenbordsmotor vil kunne tilby enkel installasjon, enkelt vedlikehold og høyere fart, men har flere mekaniske faktorer, som for eksempel vinkelgir som fører til effekttap og flere feilkilder. (Hamnes, 2022)



(a) Hvordan en elektrisk innenbordsmotor fra Torqueedo ser ut uten propellsystem. Hentet fra (Torqueedo, 2022) (b) Hvordan en elektrisk utenbordsmotor ser ut fra Torqueedo. Hentet fra (Torqueedo, 2022)

Selv om disse har sine fordeler og ulemper, er det i stor grad bruksområde og behov som avgjør hva som lønner seg. For denne oppgaven vil det i hovedsak være utenbordsmotorer som er relevante, men det er fint å kunne gi et innblikk i hva en innenbordsmotor kan tilby, spesielt for caser hvor det ses på ny båt.

3.1.4 Effektivitet

Det er stor forskjell på effektiviteten mellom en forbrenningsmotor og en induksjonsmotor. Effektiviteten måles med virkningsgraden og er forholdet mellom tilført effekt og det som omgjøres til utnyttbar effekt. Symbolet for effektivitet er eta, η , og kan regnes ut med høyeste temperatur, T_H , og kaldeste temperatur, T_C , som

$$\eta = \frac{P_{nyttbar}}{P_{tilført}} \quad \text{eller} \quad \eta = \frac{T_H - T_C}{T_H} = 1 - \frac{T_C}{T_H} \quad (3)$$

Selv om virkningsgraden kan regnes slik som ideell virkningsgrad, er dette ofte langt fra den faktiske verdien som kalles nyttevirkningsgraden.

For en bensinmotor ligger effektiviteten på omtrent 35%, men faller til rundt 20% ved last. (Valmot, 2022a) En elektrisk motor har en nominell virkningsgrad på over 90% og i noen tilfeller opp til 99%, men alltid under 100%. Selv om dette virker imponerende vil hele systemprosessen gjøre at utnyttbar effekt faller ned på en nyttevirkningsgrad på mellom 60 - 75%, på grunn av flere ledd der det oppstår tap. (Valmot, 2022b) Det er verdt å merke seg at prosentene oppgitt over er verdier

for bruk i bilmotorer, men det kan antas at verdiene er omtrent like. De største utenbordsmotorene til båtmotorprodusenten Torqeedo har for eksempel oppgitt effektivitet på 54%. (Torqeedo, 2022)

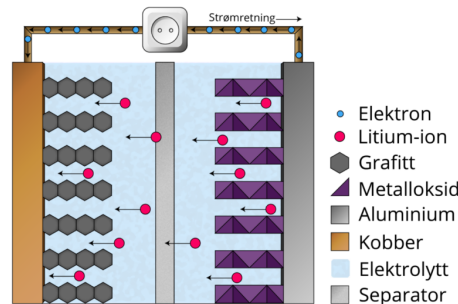
3.2 Batteri - Effekt

Lagring av energi er spesielt aktuelt når det kommer til utnyttelse av fornybare energikilder. Disse energikildene kan som regel ikke kontrolleres da de er avhengige av for eksempel vind, sol, nedbør og tidevann. Energitetthet, kort oppladningstid og lite energitap ved opp- og utladning er gode egenskaper for et energilager. Batterier omformer kjemisk energi til elektrisk energi, og i sekundærbatterier er denne energiomformingen reversibel, noe som betyr at batteriet kan lades opp flere ganger etter utladning. (Store Norske Leksikon, 2022e)

3.2.1 Litium-ionbatteri

Litium-ionbatteri, LIB, er ladbare batterier laget av karbon- og oksidelektroder, som er henholdsvis negativ og positiv. Når batteriet brukes og utlades vil litiumionene bevege seg fra den negative elektroden til den positive, og motsatt når det lades. På grunn av sin høye energitetthet, lave selvutladning, fravær av minneeffekt og lange batterilevetid er litiumbatteriet mye brukt. Fravær av minneeffekt gjør at batteriet ikke blir skadet av å bli ladet opp i kortere intervaller.

Litiumbatteriet består som regel av en anode, en katode og en separator, hvor anoden er laget av grafitt og katoden består av et aktivt materiale kalt NMC111. NMC111 er et materiale av lik mengde nikkel, mangan og kobolt, og har strukturformelen



Figur 11: Tverrsnitt av et litium-ionbatteri. (Norsirk, 2022)

3.2.2 State of Charge

State of Charge, SOC, tilsier hvor mye kapasitet som er ledig relativt til nominell kapasitet. SOC måles i %, hvor 100% betyr fulladet og 0% betyr utladet. Likning (5) viser hvordan SOC beregnes ved hjelp av batterikapasitet, Q , og nominell batterikapasitet, Q_{rated} .

$$SOC = \left(1 - \frac{Q}{Q_{rated}}\right) \cdot 100\% \quad (5)$$

Et batteri lever lengst og har minst tap dersom det ligger mest mulig mellom 20-80% SOC. Dersom batteriet har SOC over 80% kan tapene bli doblet. (SienceDirect, 2022b)

3.2.3 Energitetthet

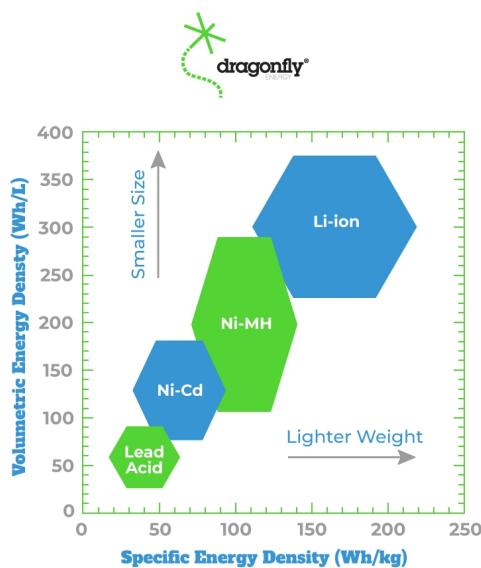
Energitetthet er mengden energi som kan lagres i et gitt system, stoff eller område i rommet og måles i energi per volum eller masse. Høyere energitetthet betyr større mengde av energi lagret. Energitetthet kan bli uttrykt på to måter, hvor den første er den mest vanlige:

- Volumetrisk energitetthet - hvor mye energi systemet inneholder i forhold til volum, gjerne uttrykt i wattimer per liter [Wh/L] eller megajoules per liter [MJ/L]
- Gravimetrisk energitetthet – hvor mye energi systemet inneholder i forhold til masse, gjerne uttrykt i wattimer per kilogram [Wh/kg] eller megajoules per kilogram [MJ/kg]. Gravimetrisk energitetthet kalles også spesifikk energi.

Energitettheten sier ikke noe om hvor fort energien kan frigjøres og brukes, bare noe om hvor mye ett gitt system kan oppbevare. (ScienceDirect, 2022a)

$$\epsilon = \frac{P \cdot t}{V} \quad \epsilon = \frac{P \cdot t}{m} \quad (6)$$

I et litium-ionbatteri, som brukes i både elektriske biler og elektriske båter, ligger den spesifikke energitettheten mellom 100 og 265 Wh/kg og den volumetriske energitettheten på 250-670 Wh/L. I motsetning ligger lead-acidbatteri på rundt 50-100 Wh/kg. (DragonflyEnergy, 2022) Ved å bruke energitettheten sammen med energibehovet vil det være mulig å finne et estimat på hvor stort et batteri med et gitt energibehov må være.



Figur 12: Ragone plot som viser volumetrisk energitetthet mot spesifikk energitetthet for blant annet litium-ionbatteri. (DragonflyEnergy, 2022)

3.2.4 Energiforbruk

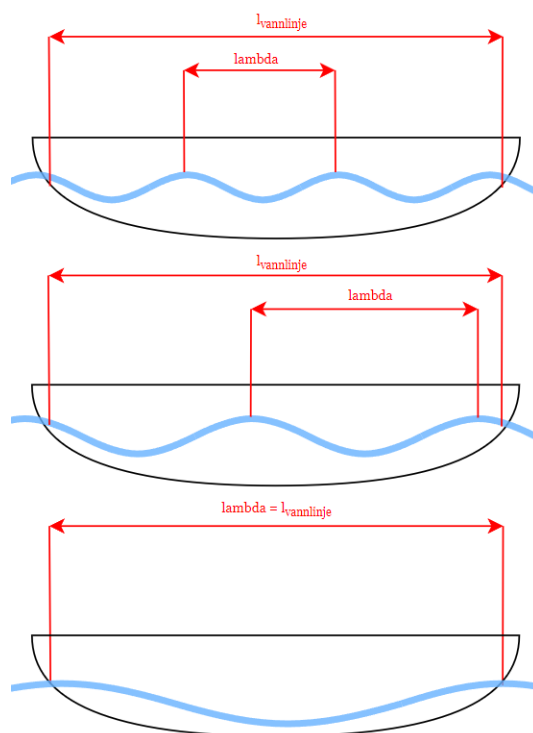
En liter bensin har et energiinnhold på 9,1 kilowattimer. Hvis man skal sammenligne dette med en elektrisk motor til bil, som er mest utbredt, så er energiforbruket mye lavere. En elbil har et energiforbruk på omtrent 1-2,5 kilowattimer per mil, noe som tilsvarer det samme som omtrent 0,17 liter bensin. (Teknisk Ukeblad, 2022b)

3.2.5 Effektbehov avhengig av skrogtype

Teorien for skrogforms påvirkning på effektbehov vil bestå av forenklete regnemetoder. Når man skal beregne effektbehovet til en båt er skrogformen avgjørende for å minske vannmotstanden. Her er det også avgjørende å se på om båten bør ha et planende skrog eller om det er fortrenningskrog som er det mest ideelle.

Fortrenningskrog

Et fortrenningskrog går gjennom vannet og flytter på vannet etter som det beveger seg, i motsetning til en planende båt som vil ligge mer oppå vannet. Når et fortrenningskrog går gjennom vannet vil det oppstå en bølge langs sidene, kalt baugbølge. Lengden på bølgen avgjøres av hastigheten. Når baugbølgen er like lang som vannlinjen kjører båten i skroghastighet. Figur 13 viser en illustrasjon av vannlinje, $l_{vannlinje}$, og lengde på baugbølge, λ , relativt til fart.



Figur 13: Illustrasjon som viser hvordan baugbølgen oppfører seg i relativt til fart

En båts skroghastighet er den høyeste hastigheten en båt med fortrenningskrog kan kjøre og fortsatt bli ansett som effektiv. Det oppstår i denne hastigheten en synkronitet mellom baugbølgen og hekkbølgen som gir konstruktive forstyrrelser som videre gjør at båten kan bevege seg svært effektivt. Hekkbølgen er en bølge som dannes i bakkant av fartøyet. Øker man farten over skroghastighet vil fronten av båten begynne å bevege seg oppover for å prøve å bestige baugbølgen, altså prøve å plane, noe som koster mye energi. Å kjøre over skroghastighet vil altså kreve mer kraft og resultere i mindre fartsøkning ettersom mye energi vil gå til spille for å holde vinkelen til båten oppover. Dersom man velger et fortrenningskrog vil det være mulig å gjøre forenklete beregninger for effektbehov uten å vite hva bensinforbruket for en gitt båt er. (OmniCalculator, 2022b)

For å regne skroghastigheten, v_{skrog} trenger man altså bare vannlinjelengden, $l_{vannlinje}$ og konstanten 1.34. Den kan regnes slik

$$v_{skrog} = 1.34 \cdot \sqrt{l_{vannlinje}} \quad (7)$$

Er lengden på vannlinjen, tyngden av båten, m , og hvor fort den skal kjøre i knop, v_{knop} , kjent, vil

det være mulig å finne hvor mange hestekrefter som er nødvendig for å opprettholde ønsket fart. (Kiwiprops, 2022)

$$Speed - length - ratio = \frac{v_{knop}}{(l_{vannlinje})^{0.5}} \quad (8)$$

$$Hk = \frac{m}{\left(\frac{10.665}{Speed - length - ratio}\right)^3} \quad (9)$$

Når antall hestekrefter som er nødvendig er kjent, kan dette gjøres om til effekt, slik som forklart i Seksjon 3.1.2.

Planende skrog

Dersom man ser på planende skrog vil det være mulig å gjøre lignende utregninger. På samme måte som for fortrenningsskrog vil disse beregningene være veldig forenklet da alle skrog vil oppføre seg forskjellig. I motsetning til fortrenningsskrog vil et planende skrog være mest effektivt ved høy hastighet. Ved lavere fart vil det oppstå en baugbølge som krever mye energi å overvinne for å komme opp i planende stilling. Disse båtene krever derfor ganske stor motor og høy hastighet. Forklaringen bak planingen er horisontal energi, skapt av motor, som gir en løftende effekt. Først vil kun baugen løftes, før resten av skroget også legger seg på vannflaten. Når en båt har oppnådd plan vil vannmotstanden være svært redusert og motoreffekten kan dermed senkes. (Store Norske Leksikon, 2022m)

For å beregne effektbehovet for en planende båt brukes Crouchs konstant, som er en konstant avhengig av type båt.

Båttype	Konstant
Cruisere, liten motorbåt og passasjerfartøy	150
Lette høyhastighets cruisere og høyhastighets motorbåter	190
Racer båter	210
Hydroplanes	220
Katamaraner	230

Tabell 1: Konstant for ulike båttyper

Ved å bruke Crouchs formel kan man ved hjelp av hestekrefter, masse, og Crouchs konstant, C , finne farten en båt vil kunne kjøre. (OmniCalculator, 2022a)

$$v_{knop} = \sqrt{\frac{Hk}{m}} \cdot C \quad (10)$$

Ved omskrivning vil denne formelen kunne gi nødvendig effekt, i hestekrefter, ved ønsket hastighet.

$$Hk = \left(\frac{v_{knop}}{C}\right)^2 \cdot m \quad (11)$$

Disse likningene for planende skrog tar dog ikke i betraktning den effekten som vil være nødvendig for å komme opp i planende hastighet.

3.3 Ladeinfrastruktur

Da det er lite eller ingen informasjon å finne om elbåters påvirkning på strømnettet, er det heller valgt å fokusere på elbilers påvirkning fordi det er mer utbredt informasjon om dette. Sammenligningen kan gjøres på grunn av at lading av elbil og lading av elbåt er relativt lik per syklus.

3.3.1 Overføringsnettet

Overføringsnettet brukes til overføring av elektrisk energi. Energien føres i kabler og linjer fra energiprodusentene til forbrukere. I Norge er overføringsnettet delt opp i tre nivåer. Transmisjonsnettet, driftet av Statnett, er nettet med høyest driftsspenning. Her består nettet av kraftledninger med spenninger opptil 420 kV. Nettet forbinder ulike deler av landet og går gjerne over større distanser. Regionalnettet er nettet som binder sammen transmisjonsnettet og distribusjonsnettet. Dette nettet består av driftsspenninger mellom 66 kV og 132 kV, og er driftet av for eksempel nettselskapet Tensio i Trøndelag. Distribusjonsnettet er nettet som brukes lokalt, dette nettet distribuerer kraft til forbrukerne. Spenningen for det lokale nettet ligger normalt rundt 22 kV, som videre blir transformert ned til 230 V og 400 V, som er spenningen i veggen. Nettet driftes av lokale nettleverandører. (Store Norske Leksikon, 2022k)

3.3.2 Elektroinstallasjoner i lavspente fordelingssystemer

Konfigurering av elektroinstallasjoner i bygninger

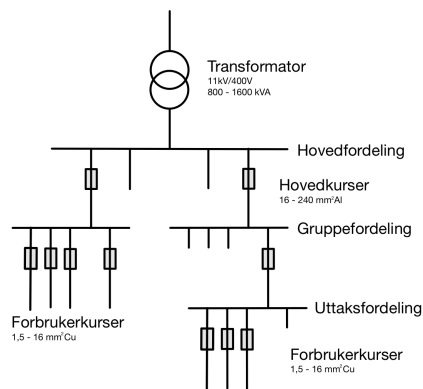
Ved konfigurering av elektroinstallasjoner kreves det kartlegging av både område og bygg før installasjon. Det kreves klarlegging av forholdene, vurdering og valg av det elektriske utstyret, koblingsanlegget, fordelingstransformatorene, ledertverrsnitt og vern. Det lavspente fordelingssystemet forsyner de små elektroinstallasjonene til det lokale nettselskapet.



Figur 14: Kabelskap, hentet fra (Griug.no, 2022)

I Figur 14 vises et kabelskap. Disse mottar forsyning fra et nettselskap. I kabelskapene er det montert kortslutningsvern for de kablene som går ut. I luftnett utenfor byområder var det tidligere vanlig med transformatorer oppe i stolper. Under planlegging av slike anlegg er det flere forhold å ta hensyn til som for eksempel type bygg, bruksområde og byggets form, forholdene på stedet og de lokale spesifikasjonene og reguleringene fra de lokale bygningsmyndighetene.

Ved å bygge opp elektriske kraftforsyningsnett i bygg må man ta for seg flere faktorer. Som for eksempel lastens størrelse, eventuelle interne kraftkilder, byggets utforming og utstrekning, og spenningsnivå og matepunkt til ekstern krafttilførsel. Vanligvis bygges nettene opp i et hierarkisk system der de elektriske fordelingene er plassert på ulike nivå. Denne nettstrukturen kalles topologi.



Figur 15: Typisk oppbygging av fordelingsnett i større norske bygg

Figur 15 viser en typisk oppbygging av en radiell nettstruktur i et større norsk bygg, der transformatoren mater hovedfordelingen med spenning. I en slik nettstruktur vil det fra hovedfordelingen gå hovedkurser videre til gruppefordelinger. Så fremt det lar seg gjøre er det teknisk-økonomisk ønskelig å utnytte de fordelene som kommer med trefasesystemet i fordelingssystemet. Videre fra gruppefordelingene er det normalt å sikre kursledningene med sikringer og brytere. (Hansen, 2021)

Nettsystemer, systemjording og kjenningsbokstaver

Lavspente fordelingsystemer er brukt for å lede elektrisk energi fra en delingstransformator til den aktuelle lasten, det vil si apparatet som skal brukes. Disse systemene er definert ved hjelp av spenningen, jording og antall ledere. Spenningen er gitt i effektivverdi, altså virkningen av den varierende vekselstrømmen. Nettsystemer og anleggenes jordingsforhold blir beskrevet av de internasjonale normene ved hjelp av kjenningsbokstaver. (Hansen, 2021) Nettsystemets forhold til jord blir beskrevet av første bokstav:

- **T** vil si at det er en direkte forbindelse mellom jord og et punkt på strømsystemet. Dette er vanligvis fra nøytralt punktet til sekundærviklingen på transformatoren.
- **I** betyr at de spenningsførende delene er isolert fra jord.

Jordingsforholdet til de utsatte delene blir beskrevet av andre bokstav:

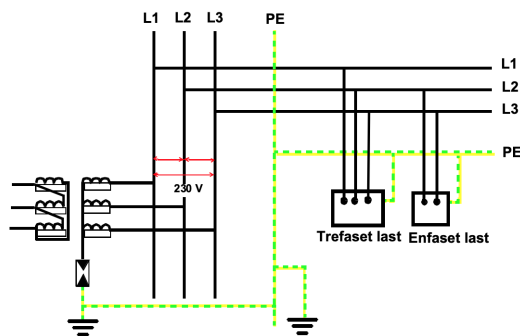
- **T** vil si at de utsatte delene er jordet direkte fra utsatt del til jord, uavhengig om de er jordet på andre steder i systemet.
- **N** viser til at de utsatte ledende delene bruker en beskyttelsesleder til å sikre en direkte forbindelse til jordingspunktet.

Nettsystemene kan under noen forhold kreve en eller flere ekstra bokstaver for å beskrive bruk av N-leder, PE-leder eller en kombinasjon av disse, PEN-leder i TN-nett.

- **S** vil si at N-lederen og PE-lederen er koblet som separate ledere.
- **C** vil si at N-lederen og PE-lederen er koblet som en felles leder.

IT-system

Et IT-system er definert av de to bokstavene I og T, slik det er beskrevet i avsnittet over vil det si at det er et isolert nett, der alle spenningsførende deler er isolert fra jord, eller jordet gjennom en høy impedans, samtidig som at de utsatte delene i nettet er jordet uavhengig av systemjorden. I Norge brukes IT-nett opp til en nominell spenning på 230 V, men for spesielle formål kan spenningen være på 400, 690 og 1000 V. Dette kan være på for eksempel industrianlegg.

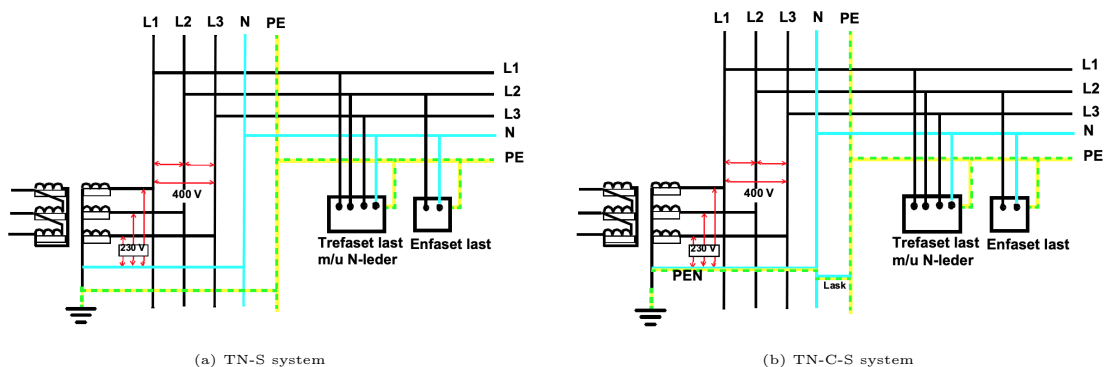


Figur 16: IT-nett. (Hansen, 2021)

I 230V-nettet i Norge brukes en nøytralpunktsavleder på sekundærsiden av transformatoren til å isolere nøytralpunktet fra jord. Oppgaven til nøytralpunktsavlederen er å unngå for høye spenninger på den siden på transformatoren med lav spenning. Dette prinsippet er vist i figur 16.

TN-system

TN-systemet har noen likheter med IT-systemet, men skiller seg ut med at systemet bruker PE-ledere for lage en forbindelse med de utsatte delene og nøytralpunktets jord. TN-systemet blir ofte delt opp i tre forskjellige nett der den tredje bokstaven karakteriserer nettet.



Figur 17: Ulike TN-systemer. (Hansen, 2021)

Figur 17a viser TN-S systemet, med atskilte N- og PE-ledere. Figur 17b viser TN-C-S systemet, med kombinerte N- og PE-ledere i deler av nettet. TN-systemet brukes i systemer på 230/400V, der linjespenningen er 400V og fasespenningen 230V. TN-C brukes kun i nettselskapenes forsyningsanlegg frem til bygningens første fordeling. TN-S brukes i de fleste formål opp til 230/400V.

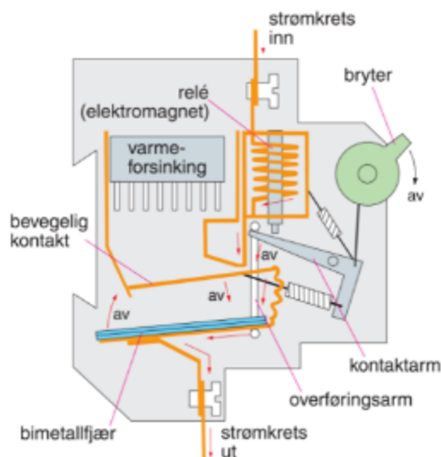
Sammenlagring

Når én strømtilførsel blir brukt for å forsyne flere typer utstyr vil utstyret sjelden trekke den totale forsynte effekten. Dette gjør at det kan tas i bruk en lavere effekt enn det utstyret er dimensjonert for.

I sammenheng med sammenlagring brukes sammenlagringsfaktoren, α , denne faktoren omtales også som reduksjonsfaktoren. Den blir definert ut ifra de tilknyttede effektene koblet til en samleskinne summert. Den tar hensyn til at flere av komponentene koblet til systemet ikke trekker sin maksimale effekt. Altså hvor stor samtidighet det er mellom de ulike komponentene.

Overstrømsvern

I elektriske anlegg brukes overstrømsvern for å hindre for høy strømstyrke ved feil eller overbelastning. Eksempel på overstrømsvern kan være sikringer, spesielt for lavspent-anlegg, og releer for høyspent-anlegg. Sikringer kan deles opp i flere kategorier. Smeltesikringer, automatsikringer og effektbrytere. (Store Norske Leksikon, 2022l)



Figur 18: Automatsikring (Store Norske Leksikon, 2022a)

Automatsikringen vises i Figur 18, i disse sikringene brukes det et relé, som har den egenskapen at de er gjenbrukbare. Etter at sikringen har gått kan dette reléet kobles inn igjen ved hjelp av en trykknapp.

NEK400

NEK 400 Elektriske lavspenningsinstallasjoner er en samling av normer som omhandler prosjektering og utførelse av elektrisk lavspenningsinstallasjoner, og er utarbeidet av NK64 i Norsk Elektroteknisk Komite (NEK). Formålet med NEK 400 er å legge til rette for tilfredsstillende sikkerhet og funksjon for lavspenningsinstallasjoner både ved prosjektering og utførelse. NEK 400 er en norsk utgave av de internasjonale standardene IEC 60364-serien og CENELEC HD 60364-serien, sammen med noen nasjonale normer.

NEK 400-7-709 er forskriften som beskriver forsyning av elektrisk utstyr i marinaer, havner og lignende. Forskrift 709.512.2.1 med underkapittel 101 til 104 sier at ved tilstedeværelse av bølger skal utstyret være installert med kapslingsgrad IPX6, og for å beskytte mot inntrengning av små gjenstander skal minst kapslingsgrad IPX4 brukes. Alt av elektrisk utstyr skal være beskyttet mot mekanisk skade ved enten å velge plassering av elektrisk utstyr for å unngå alle rimelige påvirkninger, eller ved å installere utstyret slik at minimumskravene, mot mekanisk skade, er tilfredsstillt.

Diverse ledningssystemer for marinaer er nevnt i forskrift 709.521.101, der blant annet kabler med kobberledere, beskyttelseskappe av PVC, kabler forlagt i bakken eller isolert i luft er anvendbare.

Under forskrift 400-7-722 er forskriften for forsyning av elektrisk kjøretøy. Her antas det lik standard for elektrisk fartøy, i samhold med NEK 400-7-709. I avsnitt 722.302 beskrives bruk av maksimal last og samtidighet. Tilkoblingspunkt skal antas belastet med sin merkestrøm ved normal bruk. Dermed vil ved lading av elektrisk kjøretøy/fartøy ha en samtidighetsfaktor satt til 1.

FEBDOK

FEBDOK er et program som brukes for beregning, dimensjonering og dokumentering av elektriske anlegg i henhold til FEL (Forskrift om elektriske lavspenningsanlegg) og NEK 400. Programmet brukes av installatører, rådgivere, ingeniører og skoler. FEBDOK kontrollerer vernets bryteevne og utkoblingstid, selektivitet og backup og med bakgrunn i nettforhold beregner FEBDOK kortslut-

ningsstrømmer, berøringsspenninger, strømføringssevne, spenningsfall og maks lengde for momentan utkobling.

3.3.3 Effekt

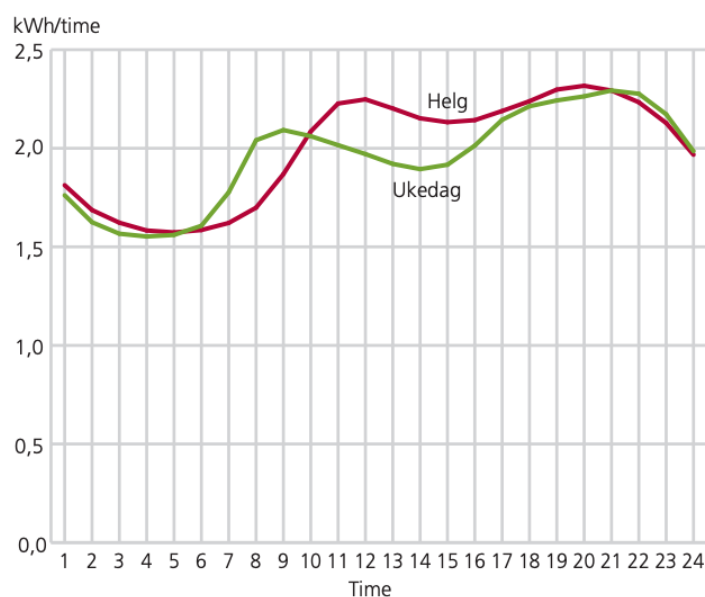
Effekt er den fysiske størrelsen på omsatt energi per enhet tid, målt i enheten watt. Det er hastigheten på utført arbeid som definerer forbruket av energi. (Store Norske Leksikon, 2022c)

$$P = \sqrt{\phi} \cdot U \cdot I \quad (12)$$

Ved hjelp av Formel (12), kan man regne ut effekten der strømmen, I , multipliseres med spenningen, U , og kvadratroten av antall faser, ϕ . I elkraft brukes ofte begreper som kilowattimer, kWh , eller kilowattimer per time, kwh/h , som er målene for energi og energi per tidsenhet. Én kilowattime tilsvarer en energimengde der et arbeid på en kilowatt brukes på en time. Kilowattimer brukes som enhet for energiforbruk, måles og leses av på kilowattimeteller eller strømmåler vanligvis plassert i husstandens sikringskap.

Effekttopper

En effekttopp er en periode innen en gitt tid der det forbrukes mest energi. Dette oppstår når mange bruker strøm samtidig. Disse toppene er med på å påvirke nettet og strømprisene. Effekttoppene er forskjellige i ulike situasjoner.



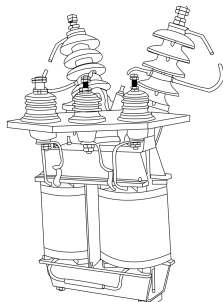
Figur 19: Husholdningers energiforbruk per time hentet fra SSBs publikasjoner (Ericson og Halvorsen, 2008)

Det er for husholdninger vanlig med et effektforbruk slik Figur 19 viser. Effekten er høy om morgenen, før den synker i løpet av dagen, til den stiger igjen på kvelden, før den igjen synker på natten. Dette mønsteret går igjen dag for dag, og handler om hvordan strømmen brukes. I overføringsnettet er det flere komponenter som har en maksimal belastning, det betyr at de ikke tåler høyere belastning enn det de er dimensjonert for. Derfor må disse komponentene være dimensjonert for en høyere effekt enn det de eventuelle effekttoppene vil være på.

3.3.4 Komponenter i kraftnettet

Transformator

En transformator er en enhet bestående av spoler koblet gjennom et magnetisk ledende material, som forbinder forskjellige spenningsnivåer i et elektrisk system, slik at elektrisk energi kan føres mellom de to terminalene ved hjelp av det magnetiske feltet. I de fleste elektriske kretser er transformatoren en av de viktigste komponentene. Dens viktigste oppgaver er å endre spennings- og strømnivå i elektriske kraftsystemer, koble kilde- og lastimpedanser sammen for maksimal krafttransport i elektronikk- og kontrollkretser, samt å fungere som elektrisk isolasjon mellom for eksempel vekselspanning og likespenning. (Kothari og Nagrath, 2006)



(a) Stolpetransformator i strømnettet, hentet fra (Kothari og Nagrath, 2006)



(b) Reell transformator i nettet på Skårøya

Figur 20: Ulike transformatorer

Oppbyggingen av transformatorer avhenger sterkt av hva den skal brukes til, enten det er spenningsnivå, strømgrad eller driftsfrekvens. Konstruksjonen må sørge for en effektiv måte å kjøle ned generatoren mellom de to kildene til varme. En typisk stolpetransformator som brukes i strømnettet vises i Figur 20

Kabel og linje

For å føre elektrisk energi benyttes det kabler og linjer. NEK445 sier at luftledninger skal være i stand til å tåle sin høyeste driftfrekvente systemspenning, temporære driftfrekvente overspenning, koblingsoverspenning og lynspenninger. Ved prosjektering av ledningene skal det regnes på kortslutning ved en-, to- og trefase mot jord og tofase mot jordkortslutning. Den termiske belastningen kablene har er begrenset av temperaturen som utvikles i kablene. Belastningsgraden kablene har baseres på andelen strøm som går gjennom ledningskomponenten sammenlignet med den maksimale merkestrømmen ved 20°C. Med andre ord vil det være et større spenningsfall og mer effekttap i ledningsnettet når belastningsgraden er høy. Når dette skjer er det mye effekt som leveres ut i nettet men som aldri når frem til kunden, som gir et økonomisk tap til leverandøren.

I forskriften om leveringskvalitet i kraftsystemet står det at den spenningen som leveres skal være på mer eller mindre enn 10% av hovedspenningen gjennomsnittlig over ett minutt. Med andre ord vil det si at en spenning på 230 V vil tillate variasjoner på $\pm 10\%$. Forskriftsmessig er det ingen begrensninger rundt det maksimale spenningsfallet i høyspenningsnettet. På grunn av at spenningsvariasjoner i høyspenningsnettet vil gi variasjoner i lavspenningsnettet vil det være ugunstig for nettselskapene å ha for store spenningsfall. For å motvirke dette brukes det en trinnfunksjon i transformatorer for å justere spenningen på sekundærsiden. Dette kan gjøres både manuelt og automatisk. (Sivertsen, 2020)

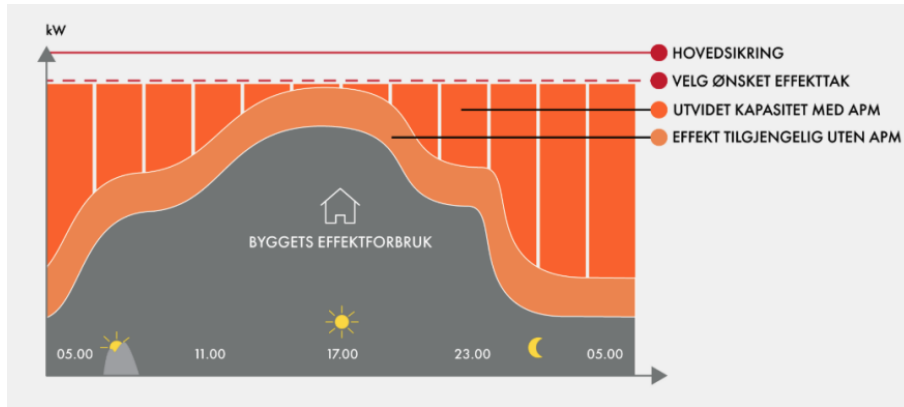
3.3.5 Avanserte måle- og styringssystemer

Smarte strømmålere, AMS, er en lovpålagt måler som alle strømkunder skal ha installert. Disse målerne er installert og driftet av nettselskapene og er et ledd i den moderniseringen som foregår av strømnettet vårt. Målerne er et verktøy som registrerer det timesvise strømforbruket i et anlegg, automatiserer avlesning av målerne, gir riktig avregning og hjelper ved bytte av kraftleverandør.

AMS-målerne åpner for en helt ny måte å kommunisere med smarthus på, noe som kan føre til økt bevissthet rundt strømbruk. Dermed kan strømbruken bli kuttet ned på eller bli fordelt utover hele døgnet slik at strømkostnadene går ned.

3.3.6 Effektreguleringsystem for elbåt-ladeanlegg

Et effektreguleringsystem brukes for å utnytte det elektriske anlegget bedre, og får å effektivisere strømforbruket. Oversikten over effektforbruket kan dermed brukes til å se hvordan den tilgjengelige effekten kan bli utnyttet av et elektrisk ladeanlegg. AMS-målerne kommuniserer med ladeboksen kontinuerlig, slik at effekten kan reguleres og tilgjengelig effekt kan brukes. Dersom flere enheter lades samtidig vil den tilgjengelige effekten fordeles mellom disse. Mer enn dette kan effekttoppene begrenses ved at det settes en maksgrense på effektuttaket.



Figur 21: Utnyttelse av tilgjengelig effekt, hentet fra Zaptec(Zaptec, 2022)

Figur 21 fremstiller et scenario rundt det daglige effektforbruket for et bygg. Det oransje området med effekt tilgjengelig uten Automatic Power Management, APM, viser at effekten ladestasjonen bruker er en fast verdi over døgnet, og som ikke kan overstiges. Området utvidet med APM fremstiller hvor mye effekt ladeanlegget har tilgjengelig ved ulike strømbelastninger i løpet av et døgn. Hovedsikringen viser det maksimale uttaket som er mulig, mens det ønskede effekttaket er en satt grenseverdi for å gi en sikkerhetsmargin mellom forbruk og hovedsikring.

$$P_N = \sqrt{\phi} \cdot U_N \cdot I_{sikring} \quad (13)$$

Den installerte effekten regnes ut ved hjelp av nettspenningen, U_N , multiplisert med størrelsen på hovedsikringen, $I_{sikring}$, og kvadratroten av antall faser, ϕ .

3.3.7 Lading av elektrisk framkomstmiddel

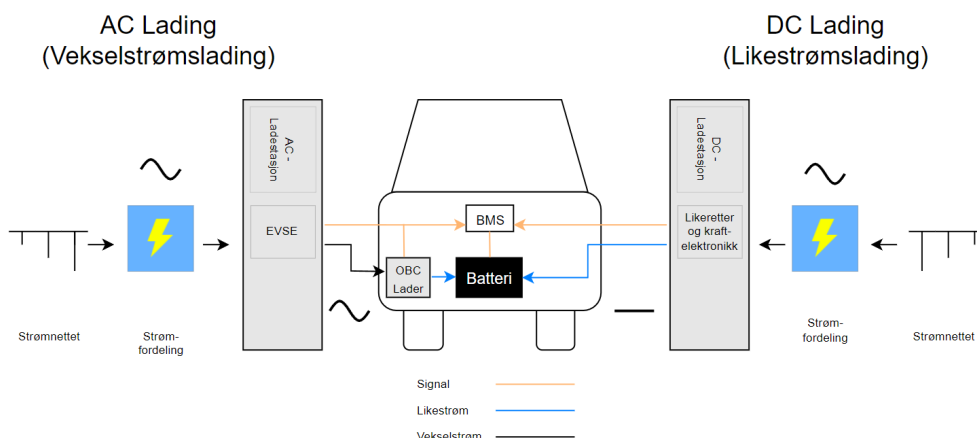
I denne delen av teoriseksjonen vil det tas utgangspunkt i hvordan ladeteknologien er for lading av elbil da det er mye mer utbredt, og antas å være tilnærmet likt som for elbåt, både med tanke på lademodus og ladekontakt.

Når en elbil skal lades fra et AC-nett trengs det en lader, kalt inverter, som omformer vekselstrømmen til likestrøm med riktig ampere. Hva som er riktig likestrøm, kommer fra batterikontrollsystemet, BMS, inne i bilen. På utsiden av bilen ligger forsyningsutstyret, EVSE, som passer på at det ikke blir satt spenning på bilen før bilen er klar for å ta det imot, samt å sørge for at bilen ikke trekker mer strøm enn det som er tilgjengelig. BMS og EVSE kommuniserer for å sikre trygg lading.

Når bilen skal lades finnes det to former for lading, vekselstrømslading, AC, og likestrømslading, DC. Ved AC-lading, ofte kalt normallading, går vekselstrømmen fra nettet gjennom en fordeling, til en AC-ladestasjon og deretter inn i bilen hvor det ligger en On Board Charger. OBC-laderen omgjør vekselstrømmen til likestrøm for så å sende det videre til batteriet. Denne typen lading fungerer best ved lavere ladefart, altså ved «hjemmelading».

Den andre typen lading er DC-lading, hurtiglading, hvor omformerer ligger inne i ladestasjonen.

Det er fortsatt BMSen som forteller hva slags likestrøm bilen skal ha. Denne typen gir muligheter for høyere effekt, og dermed kortere ladetid.



Figur 22: Illustrasjon av lading for elbil.

Lademoduser

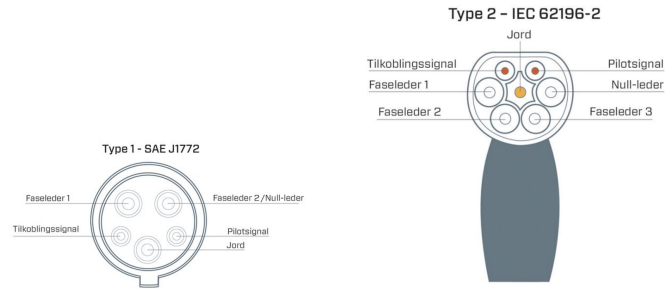
Det defineres fire moduser ved lading av elbiler

- Lading direkte fra stikkontakt uten overvåkning (denne er ikke brukt på nyere biler)
- Lading direkte fra stikkontakt med overvåkning. Overvåkningen skjer i en kontrollboks mellom nettet og bilen
- Ladestasjon med opptil 44kW vekselstrøm
- Hurtiglading med likestrøm

Mode 1 er sakte-/normallading som skjer i vanlige stikkontakter, og bilen kobles til nettet ved en passiv kabel uten innebygde sikkerhetsfunksjoner. Dette omfatter, i Norge, lading på 230 V 1-fase og 400 V 3-fase kontakt med inntil 16 A ladestrøm. Mode 2 er også lading i ordinær stikkontakt, men her er det innebygde sikkerhetsfunksjoner i ladekabelen. Denne ladekabelen er semi-aktiv, noe som betyr at den delvis håndterer de risikoene som kan oppstå. Denne løsningen kalles ofte nød-lading og er tenkt å bruke når bedre alternativ ikke er tilgjengelig, men kan også brukes regelmessig dersom det benyttes en kontakt som oppfyller kravene i NEK400. Normallading med fastmontert ladestasjon er mode 3, og brukes til saktelading og noe hurtigere lading. Her ligger sikkerhetsfunksjonene i ladestasjonen, og det foregår kommunikasjon mellom bil og ladestasjon som sikrer at det ikke blir satt spenning før alt er klart i tillegg til å sikre at det ikke blir trukket for mye strøm. Denne typen lading er den som er mest vanlig å ha i privat husholdning og gir mulighet for smarthusløsninger som for eksempel at lading skal foregå når det ikke brukes mye strøm ellers i husholdningen. Den siste modusen er mode 4 og dette er en hurtigladeløsning. Her benyttes DC-lading med Combined Charging System, CCS, eller CHAdeMO-løsning hvor laderen sitter i ladestasjonen og har en likeretter som lager likestrøm. (Ladestasjoner, 2022a)

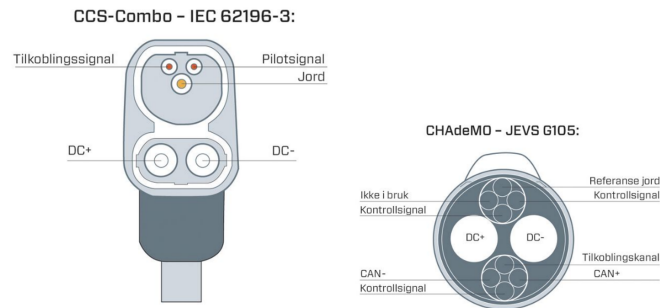
Ladekontakter

Ladekontaktene deles inn i type 1, type 2, CCS og CHAdeMO. Type 1-kontakten brukes til normal-lading ved enfase vekselstrøm med effekter opp til 19 kW, og kan brukes sammen med type 2-uttak. Type 2-kontakten støtter både enfase og trefase, og likestrøm og vekselstrøm. Type 2-kontakten leverer opptil 500 V vekselstrøm og 63 A trefase, eller 70 A enfase.



Figur 23: Illustrasjon av type 1 og type 2 ladekontakter. (Teknisk Ukeblad, 2022a)

CCS og CHAdeMO er de to standard ladekontaktene som finnes. CCS, også kalt Combo, er brukt i de fleste bilene på markedet, og kan brukes til både AC-lading og DC-hurtiglading. Denne kan gi en effekt på 100 kW, men i praksis leveres den med 50 kW. I CCS ladekontakten er den øverste delen lik en type 2 ladekontakt, mens det på nederste del er to pinner som brukes for hurtiglading. (Teknisk Ukeblad, 2022a)



Figur 24: Illustrasjon av CCS og CHAdeMO ladekontakter. (Teknisk Ukeblad, 2022a)

Ladetid

Ladetid er avhengig av temperatur og ladeegenskaper, og oppgis gjerne for 20kWh på grunn av varierende batteristørrelse og varierende egenskaper. 20 kWh tilsvarer en rekkevidde på 100-200 km, avhengig av bil og kjørestil. (Ladestasjoner, 2022b)

Type	Teknisk	Effekt	Ladetid 20 kWh
Type 1 - Nødlading på husholdningskontakt	230V/9A/1-fase	2.07 kW	Ca 10 t
Type 2 - 3,6 kW	230V/16A/1-fase	3.68 kW	5-6 t
Type 2 - 7,3, kW	230V/32A/1-fase	7.36 kW	3 t
Type 2 - 11 kW	400V/16A/3-fase	11.08 kW	Ca 2 t
Type 2 - 11 kW (Semihurtiglading)	400V/32A/3-fase	22.17 kW	Ca 1 t
Type 3 - Hurtigladingepunkt AC	400V/63A/3-fase	43.65 kW	Ca 30 min
Type 4 - Semihurtiglading DC	-	20 kW	Ca 1 t
Type 4 - Hurtigladingepunkt DC	-	50 kW	Ca 30 min
Type 4 - Hurtigladingepunkt DC Tesla	-	90 kW	Ca 15 min
Type 4 - Ultrahurtiglading DC	-	150 kW	Ca 10 min

Tabell 2: Omtrentlig ladetid for forskjellige ladetyper. (Ladestasjoner, 2022b)

Effekt, målt i kW, er funksjonen av spenningen, U , multiplisert med strømstyrken, I , og kvadratroten av antall faser, ϕ .

$$P = \sqrt{\phi} \cdot U \cdot I \quad (14)$$

Dette betyr at desto høyere spenningen er desto høyere effekt kan ladningen gi, og tiden det tar å lade opp batteriet går ned. I Norge er det to ulike spenningsnivåer, 230 V og 400 V. Disse spenningsnivåene avhenger av hvilket nett det er, er det IT-nett eller TT-nett er spenningen 230 V, med TN-nett kan spenningen være 400 V. På grunn av dette kan ikke ladere av type 3, bortsett fra ved noen unntak, brukes i IT- eller TT-nett.

Strømmen, i Formel (14), viser til størrelsen på hovedsikringen. Denne hovedsikringen er merket med den maksimale strømstyrken som kan mates inn i det elektriske anlegget. Denne verdien er en maksimal verdi, altså vil strømstyrken ofte være lavere enn dette. Dette kan være på grunn av begrensninger gjort av batteriet, laderen i bilen eller ladestasjonens likeretter.

3.4 Miljø

3.4.1 Ekvivalenter

Når det kommer til global oppvarming er det flere klimagasser som påvirker den økende temperaturen. Terminologien 'klimagass' omhandler som oftest karbondioksid (CO_2), lystgass (N_2O), metan (CH_4) og fluorgasser (SF_6 , HFK), som alle oppfører seg forskjellig med tanke på levetid og oppvarming i atmosfæren. Derfor må statistikkberegninger kunne ta hensyn til alle disse ulike gassene på en spesiell måte. For å gjøre dette er omregnes verdiene av gassene om til CO_2 -verdier av samme enhet som CO_2 -gassene, ved å bruke en omregningsfaktor som er deres globale oppvarmingspotensial, som oftest sett på over et århundre. Disse verdiene kalles for CO_2 -ekvivalenter. Mengden kan forkortes til CO_2 -ekv. (Store Norske Leksikon, 2022b)

3.4.2 Utvinningsutslipp

Ofte når forbrenningsmotorer og elektriske motorer sammenlignes miljømessig kan det oppleves at det ved første øyekast antas at den elektriske motoren naturligvis er den mest miljøvennlige av de to. Problemet som vanligvis ligger i denne antagelsen er at det ofte kun tas i betraktning det CO_2 -utslippet som finner sted under bruk og ikke ved produksjon eller avfallshåndtering. I tillegg vil også den aktuelle delen i noen tilfeller påvirke andre faktorer indirekte og på den måten øke utslippet, men at det regnes med som utslipp fra en annen sektor.

Litiumion-batteri

Litiumbatterier er oppbygd av flere ulike råmaterialer som blant annet kobolt, nikkel, mangan og litium slik som nevnt i Avsnitt 3.2.1. Batteriene er ekstremt materialkrevende, mer så enn forbrenningsmotorer, og opplever stadig økende etterspørsel. (ClimatePortal, 2022) Utvinningen skjer fra land over hele verden, og i prosessen forvinner store naturområder, samtidig som det kommer store CO_2 -utslipp fra utstyret som tas i bruk.



Figur 25: Et stort område som er brukt til å utvinne litium. Hentet fra (Gracht, 2022)

I de fleste områdene som utvinner mineralene, tas det i bruk store mengder med ikke-fornybare

energikilder. Dette øker fotavtrykket ytterligere. I arbeidsområder slik som vist i Figur 25 er det estimert et utslipp på rundt hele 15 tonn CO_2 per tonn litium som blir utvunnet. (ClimatePortal, 2022)

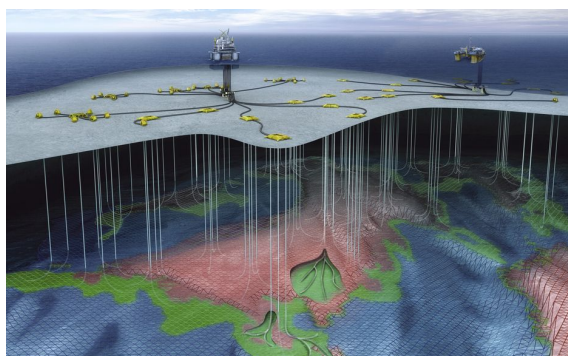
Når råmaterialene er hentet ut fra jorda må de bearbeides slik at de kan tas i bruk i et litiumion-batteri. Bearbeidingen skjer ved høye temperaturer på rundt 800 - 1000°C. For å nå så høye temperaturer kreves det mye energi, som sjeldent kommer fra fornybare energikilder, for å spare bedriftene kostnadmessig. Mengden CO_2 -utslipp varierer kraftig ut fra hvor mineralene er utvunnet, hvilket land batteriene bearbeides i og hvilken energikilde de benytter seg av. For eksempel vil batteri produsert i land som benytter seg av kulldrift og har lite driftsregulering ha høyere utslipp ved ferdig produksjon, enn batteri fra land hvor det benyttes fornybare energikilder, som atomkraft. Et 80 kWh batteri fra Tesla vil kunne variere i tonn utslipp på mellom 3 - 16 tonn. (ClimatePortal, 2022) Etter bearbeiding må batteriene fraktes til land som skal ta dem i bruk, noe som også fører til utslipp.

Ved bruk av elektrisk motor vil det ikke oppleves utslipp, og batteriet påvirker derfor ikke miljøet i denne fasen. Her vil kun utbytte av eventuelt ødelagt eller redusert batteri være påvirkende. Gjennomsnittlig levetid på et litiumion-batteri er estimert til å være mellom 10 - 20 år, som påvirkes av bruk og miljø. (EDFenergy, 2022)

Når et litiumion-batteri opplever kraftig redusert effekt eller batteridød, må det sendes til avfall. Hvordan det er sortert nevnes i 3.2.1. Siden teknologien er såpass ny som den er har det ikke vært alt for stor pågang av døde elbilbatteri, men den fremtidige forventede økningen i kastede batterier er bekymringsverdig. Det er ikke et stort marked for resirkulering av litiumion-batteri. Grunnen til dette er at de ofte er store og tunge, består av mange små celler som også har stor sannsynlighet for å eksplodere ved feil demontering og håndtering. (BBC, 2022). Derimot bli det stadig større fokus på resirkulering av batteriene og det er allerede i gang prosjekter for å øke resirkuleringsgraden.

Bensinmotor

Bensinmotoren krever i sin levetid store mengder drivstoff for forbrenning. I tillegg til at forbrenningen bidrar til hyppig CO_2 -utslipp, er det også store utslipp tilknyttet utvinningen av oljen. I Norge utvinnes oljen og gassen i all hovedsak fra under havoverflaten fra oljeplattformer ved at det bores lange flergrensbrønner både vertikalt og horisontalt. Den horisontale teknologien gjør det mulig å danne brønnbaner som er flere mil lange. Disse brønnene utvinner olje og gass, og sender det deretter til land i Europa. (Steensen, 2022)



Figur 26: Bilde av utvinning av olje gjort av Norsk Hydro i tynn sione Troll gassfelt. Blå soner er vann, brune soner er gass og grønne soner er Olje. Hentet fra (Steensen, 2022)

I Norge er 27% av det totale klimagassutslippet fra petroleumsutvinning alene. Størsteparten av dette kommer fra fakling, som er en prosess med etterforbrenning for å bli kvitt overskudd av olje og gass, og gassturbiner som sørger for å produsere energi til prosessering og transport av gass, og selve utvinningen. Fakling fører til ressurstap, men er en sikkerhet i tilfelle det skulle oppstå feil. (Store Norske Leksikon, 2022f) Sektoren for olje- og gassutvikling sto for 13.2 millioner tonn CO_2 -ekvivalenter i 2020, hvor av fakling og gassturbiner sto for henholdsvis 0.83 og 11.49 millioner tonn. (Miljødirektoratet, 2022) I tillegg til det store klimagassutslippet er det slik at utvinningsgraden kun ligger på rundt 50% for oljen, slik at mye går tapt. (Steensen, 2022) Fra Well-to-tank, altså

prosessen fra oljen blir utvunnet til den når fyllbart stadiet i bensinpumpen antas å ha et utslipp på 720 g CO_2 -ekvivalenter for én liter. I følge båtmagasinet kan det antas at for hver 1000 l drivstoff forbrent, er det sluppet ut 2.9 tonn med CO_2 -ekvivalenter. (Nissen-Lie, 2021)

4 Metode

For å gjøre det enklere for gruppen å legge frem rapporten på en oversiktlig måte, bestemte gruppen seg for at det ville være gunstig å dele opp gjøremålene i to ulike faser, respektivt for beregninger og analyser.

4.1 Litteraturstudie

Når gruppen har søkt etter informasjon og tall på blant annet elektriske motorer, batterier, ladeinfrastruktur og båtfasong har det vært sterkt i fokus å passe på at informasjonen er utgitt av offisielle kilder eller av kompetente fagfolk. Derfor er det i stor grad sett på ulike vitenskaplige artikler og gamle bachelor- og masteroppgaver. I tillegg er det sett på Teknisk Ukeblad (TU), og Store Norske Leksikon (SNL), som er skrevet med bakgrunn i vitenskaplig fakta. Ved tilfeller hvor dette ikke har vært mulig har gruppen vært nøye med å finne flere kilder som kan bekrefte hverandres informasjon. Informasjon angående dagens leirskole og de nåværende båtene er gitt av oppdragsgiver, og er realistiske gjennomsnittsverdier per årsdrift brukt for å fremstille forholdene.

Temaet oppgaven omhandler er enda i en fase hvor teknologien og informasjonen er noe begrenset når det kommer til elektrisk motor og batteri i sammenheng med sjøfart. Spesielt i forhold til de ønskede spesifikasjonene gitt i oppgaveteksten. Dette betyr at mye informasjon er usikker på grunn av at teknologien ikke har vært utviklet eller testet over tid. For å få best mulig innsikt i den informasjonen som finnes er det blitt gjennomført samtaler med kompetente fagfolk.

4.2 Oppgaveutvikling

4.2.1 Forhåndsinformasjon

Gruppen ble tidlig enig om at oppgaven i stor grad måtte begrenses videre fra oppdragsgivers spesifikasjoner slik at den ikke endte opp med å bli altomfattende og umulig å konkludere. For å begrense på mest oversiktlig måte ble det bestemt at oppgaven skulle fordeles inn i tre ulike caser som ble forklart nærmere i Avsnitt 2.1.

Etter å ha begrenset oppgaven til noe som ble mer overkommelig ble neste steg å se på å analysere informasjonen som hadde blitt gitt til gruppen under og etter møte med oppdragsgiver og veileder. Denne informasjonen inneholdt tall på tidligere års gjennomsnittlige forbruk, reisetid og kostnader, og la et grunnlag for videre estimater for ulike scenarier. Med disse tallene ble det blant annet utviklet en tabell ganske tidlig i arbeidsløpet hvor det ble gjort omtrentlige beregninger for hver av casene som kan ses i Tabell 7 i Avsnitt 5.1. Det ble anslått hvor mange båter, passasjerer, tid for av- og påstigning som var nødvendig for optimalisert gjennomføring.

Underveis i beregningene og oppgavejobbingen ble gruppen klar over at de originale casene hadde begrensninger og antagelser som forhindrer optimal utnyttelse av ressurser. Det ble derfor bestemt at det var nødvendig å skape 'undercaser' som skulle kunne gi et bedre resultat, men ikke nødvendigvis etter spesifikasjonene og dermed gi større rom for å vise til manglene i originalcasene.

4.2.2 Valg av båt

Når båt eller båtskrog skulle velges, måtte både størrelse og fasong tas i betraktning. Til å begynne med ble det sett etter helelektriske båter på markedet som kunne være relevante hvis de kunne romme riktig antall passasjerer og gå i passende fart. Gruppen kom raskt fram til at det ikke ville være mulig å finne en eksisterende båt som passet. Det ble derfor besluttet å dele størrelse og fasong på båtskrog. Gjennom samtaler med Green Waves AS tekniske leder ble det kommet frem til at den mest passende skrogformen for gruppen i forhold til elektrisk båt ville bli et fortrengningsskrog. Derfor ble det bestemt at hovedberegningene rundt effekt skulle bli gjort for fortrengningsskrog. Når skrogform var bestemt, var det viktig å finne nødvendig størrelse på båten i forhold til hvor

mange elever som skulle reise i hver case. I tillegg til at det er viktig å finne riktig størrelse på båt ble det også opplyst av Green Waves AS om at det ville være fordelaktig med tanke på effekt å anvende lengre båt. Det ble gjort beregninger for nødvendig båtvekt, båt lengde i forhold til passasjerer, beregninger på vannlinjelengde og skrog, for å komme frem til realistiske effektbehov.

4.2.3 Analyse av nettet

Ved analyse av nettet var det viktig å legge til grunn hvorvidt det var nok ledig kapasitet i anlegget for å tåle den ekstra påkjenningen de elektriske båtene ville påføre strømmettet. For å vite hvor stor effekt som allerede ble påført nettet i gjennomsnitt og toppunktet, etterspurte gruppen strømverdier målt på Skårøya det foregående året. Verdiene fra de to AMS-målerene som befinner seg på leirskolen ble tilsendt av oppdragsgiver i flere pakker sortert etter timer og dato, som deretter ble pakket ut og samlet i en Excel-fil. Fra dette ble det utviklet en modell som kunne brukes til å analysere og skrive ut grafer av informasjonen.

4.3 Fase 1 - Beregninger

I første fase jobbet gruppen med å finne informasjon og å gjennomføre beregninger for energi- og effektbehov for batteri og båt, samt å studere strømforbruket for bruk til videre analyser.

4.3.1 Effekt og energi

For å beregne effektbehovet hver av casene krevde for å fullføre frakt slik som ønsket, ble det brukt ulike metoder. For Case 1 benyttet gruppen seg av informasjonen om bensinforbruk, distanse og tidsforbruk, som allerede hadde blitt gitt av oppdragsgiver når oppgaveskrivingen startet. Ut fra denne informasjonen kunne det for Case 1 bli gjort beregninger på energibehov med utgangspunkt i bensinforbruk. For Case 2 og 3, og de to undercasene, var ikke tilsvarende informasjon tilgjengelig, slik at teorien fra Seksjon 3.2.5 måtte tas i bruk for å gjøre beregninger for disse.

Informasjonen som omhandler gjennomsnittlig årlig bensinforbruk og bensinforbruk per tur ble anvendt sammen med teorien fra Seksjon 3.2.4 for å beregne energiforbruket for én tur. Denne beregningen ble deretter brukt for å finne energibehovet som kreves ved elektrifisering av leirskolens båter, altså for Case 1. Det årlige energiforbruket ble multiplisert med forholdet mellom de respektive effektene for de to ulike motortypene, henholdsvis bensin og elektrisk. Det ble beregnet at det krevdes fire turer for å frakte alle elevene til leirskolen, og energibehovet ble beregnet for dette. Verdiene ble deretter lagt inn i en tabell for å få bedre oversikt i sammenligning med de andre casene.

For Case 2 og Case 3 ble det først gjennomført beregninger ut i fra estimat rundt optimal vekt og vannlinjelengde for gunstig båtstørrelse. Dette ble deretter brukt for å beregne effektbehovet hver enkelt case måtte trenge, basert på teorien som er skrevet i Avsnitt 3.2.5. Effektbehovene ble funnet både for skroghastighet og for nødvendig kjørehastighet, og ble multiplisert med kjøretiden til hver respektive case slik at batterienes energibehov ble kjent. For å gjøre noen forenklinger og heller overestimere, ble kjøretiden for hver case rundet opp til nærmeste time. De utregnede verdiene ble så lagt inn i en tabell, slik som resultatene fra Case 1.

For de to undercasene, Case 1.2 og Case 3.2, ble det benyttet samme beregningsmetoder som for Case 2 og Case 3, altså effektbehov multiplisert med nødvendig kjøretid. I beregningen av effektbehovet for alle disse fire casene ble det brukt en båtvekt som er summen av båtvekten og gjennomsnittsvekten av de forventede passasjerene. Slik som ved de andre casene ble de utregnede verdiene for Case 1.2 og 3.2 lagt inn i tabeller for enklere sammenligning.

4.3.2 Batteri

Etter det nødvendige effektbehovet for hver case hadde blitt beregnet, ble disse verdiene videre brukt til å estimere størrelsen som de tilsvarende batteriene må ha. Ved å benytte teorien fra Seksjon 3.2.3 ble batteriets masse og volum funnet ved å dividere effektbehovet på den spesifikke og volumetriske energitettheten til et litium-ionbatteri.

4.3.3 Ladeinfrastruktur

Under dette delkapittelet ble det gjort beregninger for å kunne analysere strømmettet, det elektriske anlegget og undersøke de ulike aspektene rundt ladeinfrastruktur.

Tallverdiene fra de to AMS-målerne på Skårøya ble tilsendt av oppdragsgiver. AMS-verdiene ble mottatt som en CSV-fil delt inn i timer og datoer, men ble deretter konvertert til en Microsoft Excel-fil slik at gruppen fikk tilgang på flere funksjoner. Timene ble lagt inn i kolonne A, med sitt respektive forbruk i kolonne B. For å ha bedre oversikt ble det utviklet en tabell som fremstiller oppsettet.

	A	B
1	Starttid	Forbruk
2	01.01.2021 00:00	x kWh
3	01.01.2021 01:00	x kWh
4	01.01.2021 02:00	x kWh

Tabell 3: Fremstilling av hvordan tallverdiene for strømforbruk ble lagt inn i Excel

For å få det totale effektforbruket per time ble strømverdiene for anlegg 1 og anlegg 2 summert. Denne summen ble sortert etter størrelsen på forbruket, og deretter visualisert gjennom to ulike kurver, én forbrukskurve og én varighetskurve. For å finne det gjennomsnittlige dagsforbruket ble forbruket i hver respektive time i hvert døgn summert, før det ble dividert på antallet dager i året. Dette ble deretter visualisert grafisk for oversiktens skyld.

Effekttopper

For videre bearbeiding av informasjonen hentet fra AMS-målerne ble de sortert inn i fire tidsperioder; daglig, ukentlig, månedlig og årlig. Med dette var formålet å få hentet ut effekttoppene for hver periode, slik at det kunne dimensjoneres deretter. Når grafer med oversikt over effekttopper skulle hentes ut ble formelen = *STØRST* brukt i Excel.

Når de daglige effekttoppene skulle hentes ut ble det ved å bruke = *STØRST*-formelen hentet ut det største forbruket i kolonne B for hver 24 time. For de ukentlige effekttoppene ble det samme gjort, men ved å kalle det største forbruket som ligger i kolonne C hver 7. dag. Det samme gjelder for de månedlige verdiene, bare at effekttoppene ble kallet for den respektive lengden av hver måned, mens for den aller største effekttoppen ble funnet ved å kalle største verdi fra kolonne B.

	A	B	C	D	E
1	Dato	Forbruk	Dag	Uke	År
2	01.01.21 00	x kWh	= <i>STØRST</i> (B2:B26)	= <i>STØRST</i> (C2:C8)	= <i>STØRST</i> (B:B)
3	01.01.21 01	x kWh	= <i>STØRST</i> (B27:B51)	= <i>STØRST</i> (C9:C15)	-
4	01.01.21 02	x kWh	= <i>STØRST</i> (...)	= <i>STØRST</i> (...)	-

Tabell 4: Oppsett av Excel for å sortere daglige, ukentlige, månedlige og årlige effekttopper

Tidspunkt for effekttopper

Antallet ganger en tidsperiode hadde høyest forbruk på en dag i løpet av et år, ble funnet ved å dele opp forbruket i kolonne B inn i bolker på 24. I kolonne C, fikk hver time i døgnet sin rang,

og ble lagt inn etter hvor stort forbruket var den timen sammenlignet med resten av døgnet. Når simuleringen hadde blitt gjennomført og hadde gitt de ønskede verdiene, ble hver time i døgnet sortert etter antallet ganger timen ble rangert som nummer én i celle E4. Antallet ganger verdien 1 blir registrert i E4 ble deretter summert i kolonne E2 for hver respektive time.

	A	B	C	D	E	F
1	Dato	Forbruk	Rang	Time	0	1
2	01.01.21 00	x kWh	=RANG()	Topp	=ANTALL.HVIS()	=ANTALL.HVIS()
3	01.01.21 01	x kWh	=RANG()	-	Plasseringer	-
4	01.01.21 02	x kWh	=RANG()	-	=SORTER()	=SORTER()

Tabell 5: Oppsett av Excel for å finne effekttoppenes tidspunkt

På samme måte som ved utregning av effekttoppene per dag, ble tidspunktet for effekttoppene i uka utregnet både for driftsperioden mellom mars og oktober, og for et helt år. For å finne antallet ganger effekttoppen oppsto ukentlig på én respektive dag, for eksempel mandag, ble det brukt en lignende metode som forklart i Tabell 5, også ved bruk av Microsoft Excel. Timesverdiene ble rangert etter hvor høyt forbruk de hadde i løpet av en uke, hvor den høyeste verdien vil havne i plass én. Dette ble også sortert og summert.

Installert effekt i forhold til hovedsikring

For å kunne analysere det totale effektforbruket hver case krevde, måtte det ses på i forhold til den effekten som kunne tas i bruk i det elektriske anlegget uten å oppleve at sikringen slår ut. Ved å regne ut den installerte effektkapasiteten ved bruk av Formel (13), ble den øvre effektgrensen kjent. Verdiene for nettspenning, antallet faser og størrelsen på hovedsikringen på Skårøya ble funnet i Vedlegg 8.2.1.

4.4 Fase 2 - Analyse

For å gjennomføre analysene i Fase 2 brukte gruppen verdiene som ble kommet frem til i Fase 1 for å kunne se hvordan dette ville påvirke strømmett, miljø og kostnader.

4.4.1 Analyse av nettet

I dette delkapittelet gjorde gruppen en analyse av det nåværende forbruksmønsteret og det elektriske anlegget ved Skårøya, samt en dimensjonering av ladestruktur for elektrisk båt.

Opplading av båt

For å finne ut hvor stor effekt som ville måtte gå ut til ladekontaktene, var det viktig at gruppen hadde en oversikt over energibehovet som hver type båt og løsning ville kreve, ettersom de må kunne levere høy nok effekt for å kunne lade batteriet innen et døgn. Fra Fase 1 er dette behovet kjent, og deretter kunne effekten til ladekontaktene bli beregnet ved hjelp av teorien som ble beskrevet i Seksjon 3.3.7. Ved å deretter dele disse effektverdiene på energibehovet til de respektive casene kunne gruppen finne tiden det ville ta å lade opp hvert av batteriene. Den maksimale effekten båtladerne kunne yte ble funnet ved å trekke den høyeste effekttoppen fra den installerte effekten. Deretter ble ladeeffekten lagt til effektforbruket på et døgn utenfor drift, gjennomsnittlig døgn ved drift og det døgnet med det største effekttoppen i løpet av året. Alle disse verdiene for ladetid og effekt tilhørende hver case ble lag til i de tre døgnscenariene nevnt over, med utgangspunkt i klokken 00:00.

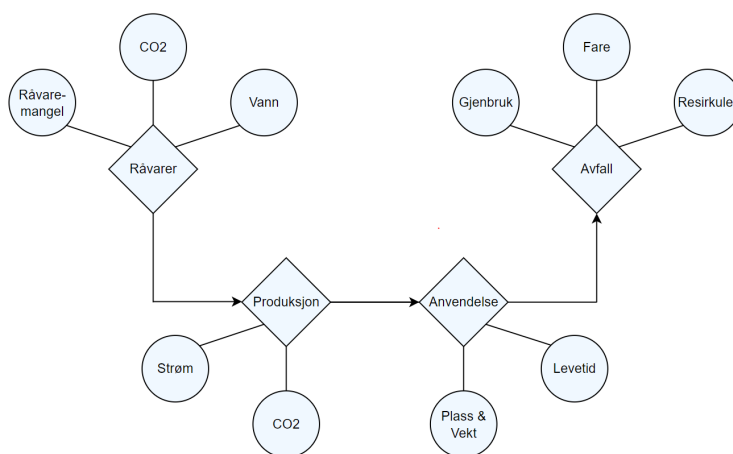
Dimensjonering av ladekurs

Dimensjoneringen av ladekursen som ville være nødvendig i ladeinfrastrukturen ble gjennomført ved å bruke størrelsen på lasten funnet under Seksjon 4.3.1 for å dimensjonere kabler, sikringer og brytere i henhold til normsamlingen NEK400. Først ble den dimensjonerende strømmen funnet ved

å løse Formel 14 med hensyn på strømmen, I , og velge størrelse på kursen ut ifra dette ettersom størrelsen sier noe om kabelens ledeevne. Gjennom en befaring til Skårøya hvor lengden mellom sikringsskap og midten av brygga ble målt, hadde gruppen informasjon om hvor minimumslengden kursen var nødt til å være for å nå båtlader fra forsyningen. Det ble det slått opp i NEK400, tabell 52A-2 for å finne installasjonsmetoder. På bakgrunn av denne informasjonen ble kabelverrsnittet dimensjonert ved bruk av tabell 52B-4 og tabell 52B-11. Henholdsvis referanseinstallasjonsmetode G for kabel i luft, fra hovedfordelingen i huset til naustet, og referanseinstallasjonsmetode C, fra nøstet til midten av brygga. For å riktig benytte verdiene fra NEK400 måtte det tas i bruk en korreksjonsfaktor for de parallellførte kablene, og en korreksjonsfaktor for omgivelsestemperaturen. Deretter ble strømføringsevnen funnet ved å dividere den dimensjonerte strømmen for valgt tverrsnitt på korreksjonsfaktorene.

Ved videre dimensjonering av kursene ble det tatt i bruk programmet FEBDOK som er utviklet for beregning av elektriske anlegg. FEBDOK ble tatt i bruk både for å sikre korrekt dimensjonering ved riktige tall og for å minimere sjansene for menneskelige feil. Det nåværende anleggets dokumentasjon var tilsendt til gruppen av oppdragsgiver tidlig i oppgaveforløpet, og siden elektroinstallatøren, EL-konsult, hadde tatt i bruk programmet FEBDOK ble jobben noe enklere ettersom filer med original struktur ble tilsendt. Fra denne tilsendte FEBDOK-filen kunne gruppen legge på den ekstra kursen som ble dimensjonert.

4.4.2 Miljøanalyse



Figur 27: Tankekart for de ulike stegene i lithiumbatteriets livsløp

En viktig del av denne prosjektoppgaven ble å undersøke hvorvidt konverteringen fra drivstoffdrevne båter til elektriske båter vil være miljømessig gunstig, enten på kort eller lang sikt. For å gjennomføre dette ble det viktig å se på hvilke påvirkninger hver av de to har på miljøet fra utvinning av råvarene og helt frem til de ble kastet som avfall, spesielt siden mye av CO_2 -utslippet skjer utenfor vanlig anvendelse for elektriske motorer. Derfor ble det til å begynne med satt sammen tankekart, slik som i Figur 27 for litium-ionbatterier, LIB, og bensinmotorer for å få en enkel oversikt over de viktigste stadiene i livsløpet, spesielt der hvor utslippet kanskje ellers er 'usynlig' for brukeren.

Siden det er mange ulike faktorer å se på utslippsmessig og noe manglende informasjon ble det gjort en forenkling for å gjøre analysen mer oversiktlig. Denne forenklingen gjorde at det hovedsaklig ble sett på livsløpet til lithiumbatteriet fra utvinning til anvendelse og livsløpet til bensinmotoren fra utvinning til anvendelse. Det beregnede CO_2 -utslippet inkluderer da ikke investering i propeller, båtskrog eller ladeinfrastruktur. Utslipp ved resirkulering og gjenbruk ble tatt opp til diskusjon.

Resultatene for bensinmotoren ble utregnet ved hjelp av informasjonen gitt av oppdragsgiver og informasjon fra artikler. Stort sett var tall gitt og grupa måtte kun sette sammen ligningene, for å få riktig benevning på tallene. For LIBer derimot var det ikke noen informasjon å få fra

oppdragsgiver så det ble stort sett undersøkt tall i vitenskaplige artikler. Disse ble så regnet sammen med kilowattimene som gruppen på egen hånd hadde regnet ut tidligere. De aktuelle delene for undersøkelse, altså produksjon og anvendelse, ble undersøkt i hvert sitt stadiet for så å bli summert etterpå. For å bedre fremstille hvilken påvirkning på utslippet investering og anvendelse ville ha, ble det utviklet grafer som sammenligner utslippet for Skårøya Opplevelser AS' bensinbåter og utslippet for hver av casene.

4.4.3 Kostnadsanalyse

I kostnadsanalysen ble det sett på hvor stor investeringen ville blitt dersom Skårøya Opplevelser AS skulle velge å gjennomføre elektrifiseringen samt hvordan økonomien rundt strømforbruket ville blitt i forhold til drivstofforbruket. Her ble det også sett på hvordan denne investeringen ville utarte seg i løpet av de kommende årene. Fra oppdragsgiver ble gruppen gitt tall for forbruket av drivstoff fra kalenderåret 2021, mens tallene for de elektriske alternativene er utredet ved hjelp av fremgangsmåten vist i Seksjon 4.3.1.

Det ble regnet ut hvor mye bensin som ble brukt for en båt slik som det er i dag, og hvor mye de bruker på en båt i løpet av et helt år. For de elektriske båtene ble det antatt at en runde med frakting av elever, altså 2-4 turer fram og tilbake avhengig av de forskjellige casene, ville tappe batteriet helt. Slik at hver dag med frakting av besøkende ville kreve full opplading. Ut fra tallene gitt for bensinforbruk ble det regnet ut omtrent hvor mange runder med frakting av elever fram og tilbake fra øya det vil være i løpet av et år.

Faktumet er at for de fleste av casene vil være en blanding av bruk av elektrisk båt og bensindrevet båt. Det ble derfor gjort noen antakelser i forhold til hvor mye de forskjellige båtene ble brukt. Dette ble gjort for å gi muligheten til å lage et estimat på hvor store utgifter de forskjellige casene vil ha. Det ble for de casene med behov regnet med både maksimalt antall elever og derfor maksimalt mengde effektbehov, med opptil 40-45 elever og dermed lavere effektbehov og med at halvparten av turene hadde opptil 40-45 elever og den andre halvparten hadde maksimalt antall elever.

5 Resultat

I følgende seksjon vil resultatene av arbeidet fremstilles i sekvensiell rekkefølge. Metod delen vil være beskrivende for hvordan de første resultatene har vært med på å bygge opp de påfølgende. Seksjonen innledes med oppgavens definisjon, deretter presenteres resultatene fra Fase 1 og Fase 2. Resultatene er opparbeidet med henhold i teori og informasjon fra diverse aktører, henholdsvis fra oppdragsgiver, Tensio og El-Konsult.

5.1 Oppgavens definisjoner

Fra oppdragsgiver ble det gitt tall for tidsbruk, avstander og bensinforbruk. Disse verdiene kan ses i tabellen nedenfor.

Tid per strekning	10 min
Avstand per strekning	2.8 nmi
Avstand tur/retur	5.6 nmi
Bensinforbruk tur/retur	6 l
Totalt bensinforbruk på ett år	2 500 l

Tabell 6: Tall for tidsbruk, avstander og bensinforbruk gitt av oppdragsgiver.

Estimater gjort i henhold til metoden i Avsnitt 4.2.1 for casene definert i Seksjon 2.1, er fremstilt på tabellform.

Case	Case 1	Case 2	Case 3
Elektriske båter	2	1	1
Bensindrevne båter	-	2	1
Passasjerer per båt	9	12	20
Turer per båt	4	2	2
Nmi per båt	24	12	12
Km per båt	44	22	22
Av-/påstigning [tt:mm]	00:40	00:20	00:20
Kjøretid [tt:mm]	01:20	01:40	01:40
Tur/retur [tt:mm]	00:20	00:50	00:50
Min. hastighet [knop]	18	7.2	7.2

Tabell 7: Estimatverdier utregnet fra oppdragsgivers informasjon

Reisetid, antall passasjerer, antall nautiske mil og minimum hastighet i knop, er brukt for å beregne videre effekt- og energibehov. Ved å øke antallet passasjerer i hver båt eller øke antallet båter, kan farten senkes betraktelig å fortsatt nå målet om å frakte 70 elever på 2 timer. Distansen hver båt må reise vil også reduseres. For Case 3 vil den ene elektriske båten kunne frakte elevene på egen hånd hvis det er opp til 40 elever. Ved mer enn 40 elever vil den måtte suppleres med én av de eksisterende båtene. Det er regnet med distansen for tur/retur, slik at det skal være rom for å returnere til Kvenvær om nødvendig, etter fullført frakt. Dette betyr at det er ekstra tid å gå på.

I tillegg til hovedcasene har gruppen sett det som nødvendig å supplere hovedcasene med et par undercaser. Dette er blitt gjort for å legge et grunnlag til hvorfor enkelte antagelser ble gjort.

- Case 1.2 - Dersom det går 12 personer i båtene som brukes i dag eller at det kun er 55 elever som skal fraktes, kan hver båt kjøre tre turer.
- Case 3.2 - Bruker kun én stor båt til all frakt. De eksisterende båtene vil ikke være i bruk.

Grunnen til at det blir sett på som nødvendig å definere de ekstra casene, kommer av forskjellen mellom det maksimale antallet elever og hvor mange elever det er i gjennomsnitt. Oppgaveteksten

oppgir et mål om å frakte 70 elever i løpet av den gitte tidsrammen, men antallet gjennomsnittsbesøkende ligger mellom 40 og 50 elever.

Case 1.2 skiller seg fra Case 1 ved å frakte det maksimale, lovlige, antallet elever i båten, heller enn de 9 som fraktes i dag. Ved frakt av 12 elever, kan farten senkes. Case 3.2 er satt opp som et alternativ hvis oppdragsgiver ønsker å kvitte seg med de nåværende båtene for å investere i en større elektrisk båt, med plass til 20 passasjerer. Ved fravær av bensinbåtene og flere enn 40 elever, vil den større båten måtte øke farten.

Case	Case 1.2	Case 3.2
Elektriske båter	2	1
Bensindrevne båter	-	-
Passasjerer per båt	12	20
Turer per båt	3	4
Nmi per båt	24	24
Km per båt	44	44
Av-/pålessing [tt:mm]	00:30	00:40
Kjøretid [tt:mm]	01:30	01:20
Tur/retur [tt:mm]	00:30	00:20
Min. hastighet [knop]	12	18

Tabell 8: Videre estimat gjort ut i fra oppdragsgivers informasjon og hovedcaser

5.2 Fase 1 - Beregning

5.2.1 Effekt og energi

Case 1

Energibehovet for de nåværende båtene ble beregnet ved å multiplisere energien i én liter bensin med antall liter som forbrennes på én reise tur/retur.

$$E_{bensinmotor} = E_{bensin} \cdot L = 9.1 \text{ kWh} \cdot 6 \text{ l} = 54.6 \text{ kWh} \quad (15)$$

Antall turer	1	2	3	4
Bensin [l]	6	12	18	24
Energibehov [kWh]	54.6	109.2	163.8	218.4

Tabell 9: Energibehov ved bruk av dagens bensindrevne motor

Tabell 14 fremstiller energibehovet til en forbrenningsmotor med antatt 30% effektivitet. Dette kan brukes til å finne energibehovet for en elektrisk motor med høyere effektivitet. På grunn av teorien lagt frem i Seksjon 3.1.4, er det beregnet energibehov for en elektrisk motor med både 90% og 60% effektivitet.

$$E_{elektrisitet} = \frac{\eta_{bensin}}{\eta_{elektrisk}} \cdot E_{bensinmotor} \quad (16)$$

Antall turer	1	2	3	4
Energibehov 90% [kWh]	18.2	36.4	51.3	72.8
Energibehov 60% [kWh]	27.3	54.6	81.9	109.2

Tabell 10: Energibehov ved elektrisk motor på dagens båter, Case 1

Her kan det ses at det vil være nødvendig med et energibehov på 109.2 kWh. Effekten som kreves for å opprettholde denne farten finnes å ved dividere energibehovet på kjøretiden.

$$P_{elektrisitet} = \frac{E_{elektrisitet}}{t} = \frac{109.2 \text{ kWh}}{2 \text{ h}} = 54.6 \text{ kW} \quad (17)$$

Dette resulterer i et effektbehov lik 54.6 kW.

Case 2

For dette tilfellet vil det være nødvendig med en båt på lik størrelse med dagens båter, som er beregnet for 6 voksne. Gruppen har sett det som praktisk å gå opp noe i båt lengde for å redusere hastigheten og antallet turer. Samme produsent som for de eksisterende båtene har en modell som er omtrent 1.5 meter lengre og som er beregnet for 10 personer. Målene for denne båten ble derfor brukt til beregningene av effektbehov for denne casen. Båten har en lengde på 7.4 meter og en vekt på 1 530 kg, uten passasjerer og motor. En båt lengde på 7.4 meter er estimert å gi en vannlinjelengde på omtrent 6.4 meter og antatt vekt er 2 000 kg.

Med disse målene ble skroghastigheten regnet ut til å være 6.1 knop. Hvis fraktingen skal kunne skje innen tidsrammen må båten kunne kjøre i 7.2 knop. Derfor er effektbehovet regnet for både skroghastighet og nødvendig hastighet.

	Effektbehov	0.5 timer	1.0 timer	1.5 timer	2 timer
6.1 knop	6.39 [kW]	3.20 [kWh]	6.39 [kWh]	9.59 [kWh]	12.78 [kWh]
7.2 knop	10.51 [kW]	5.26 [kWh]	10.51 [kWh]	15.77 [kWh]	21.02 [kWh]

Tabell 11: Effekt- og energibehov for Case 2

Case 3

For Case 3 ble det antatt at en båt på 30 fot måtte til for frakte 20 personer. Det er få slike båter på markedet, noe som kan være et resultat av lovverket om anskaffelse av passasjersertifikat ved frakting av over 12 passasjerer. Se Seksjon 1.4. Etter å ha sett på ulike typer båter, på rundt 30 fot, er det antatt at en slik båt vil veie omtrent 2 500 kg uten motor og passasjerer. Det er regnet med en vannlinjelengde på 8 meter og en vekt på 3 500 kg.

Skroghastigheten er beregnet til å være 6.9 knop, noe som er nært den nødvendige hastigheten på 7.2 knop. Slik som for Case 2, ble det beregnet effekt- og energibehov ved skroghastighet og nødvendig hastighet.

	Effektbehov	0.5 timer	1.0 timer	1.5 timer	2 timer
6.9 knop	11.59 [kW]	5.80 [kWh]	11.59 [kWh]	17.39 [kWh]	23.18 [kWh]
7.2 knop	13.17 [kW]	6.59 [kWh]	13.17 [kWh]	19.76 [kWh]	26.34 [kWh]

Tabell 12: Effekt- og energibehov for Case 3

Case 1.2

Case 1.2 er på mange måter lik Case 1, men har ulikt forbruk. Case 1.2 åpner for å senke farten til 12 knop. På grunn av at hastigheten er lavere, vil ikke samme regnemetode som ved Case 1 kunne brukes. Dermed ble samme regnemetode som for Case 2 og 3 benyttet. Båtene som skal elektrifiseres på Skårøya er 800 kg og 20 fot uten last. Beregningene for Case 1.2 er gjort med total vekt lik 1 500 kg og en vannlinjelengde på 5 meter.

En vannlinjelengde på 5 meter vil med et fortrenningssskrog gi en skroghastighet på 3 knop. Effekt- og energibehovet er dermed beregnet for både den nødvendige hastigheten på 12 knop og skroghastigheten på 3 knop.

	Effektbehov	0.5 timer	1.0 timer	1.5 timer	2 timer
3 knop	0.83 [kW]	0.42 [kWh]	0.83 [kWh]	1.25 [kWh]	1.66 [kWh]
12 knop	52.87 [kW]	26.44 [kWh]	52.87 [kWh]	79.31 [kWh]	105.74 [kWh]

Tabell 13: Effekt- og energibehov ved elektrifisering av dagens båter for Case 1.2

Det kommer tydelig fram hvor urealistiske verdiene er for planende skrog, da regnemethodene er ment for fortrenningsskrog. Selv om hastigheten er redusert med 6 knop er energibehovet omtrent likt som for Case 1.

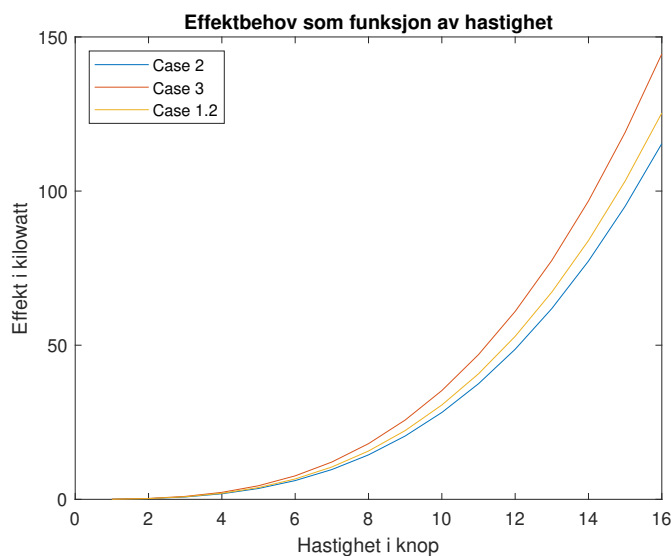
Case 3.2

For Case 3.2 vil det være nødvendig å øke hastigheten betraktelig i tilfellene hvor det er over 40 elever på leirskolen. Dersom det er 40-60 elever vil det være nødvendig å kjøre i 12 knop, og dersom det er 60-70 elever vil det være nødvendig å kjøre i 18 knop.

	Effektbehov	0.5 timer	1.0 timer	1.5 timer	2 timer
12 knop	60.96 [kW]	30.48 [kWh]	60.96 [kWh]	91.44 [kWh]	121.92 [kWh]
18 knop	205.73 [kW]	102.87 [kWh]	205.73 [kWh]	308.60 [kWh]	411.46 [kWh]

Tabell 14: Effekt- og energibehov for Case 3.2

Figur 28 viser hvordan effektbehovet påvirkes av hastigheten for både Case 2, 3 og 1.2. Figuren viser at effektbehovet vil stige eksponentielt ved økt hastighet, og at det å redusere farten fra for eksempel 15 knop til 7 knop vil utgjøre stor forskjell.



Figur 28: Fremstilling av effektbehov som funksjon av hastighet.

For videre beregninger er verdiene for fire reiser tur/retur brukt for Case 1, verdiene for en hastighet på 7.2 knop brukt for Case 2 og Case 3, og for Case 3.2 er verdiene for 18 knop brukt.

5.2.2 Batteri

I Tabell 15 er den nødvendige størrelsen på batteriene for de ulike casene presentert. Størrelsen vil være avhengig av batteriets energitetthet, og er derfor oppgitt i intervaller.

	Masse [kg]	Volum [dm ³]
Case 1	412 - 1092	163 - 437
Case 2	79 - 210	31 - 84
Case 3	99 - 263	39 - 105
Case 1.2	400 - 1057	158 - 423
Case 3.2	1553 - 4115	614 - 1646

Tabell 15: Batteristørrelse for hver case

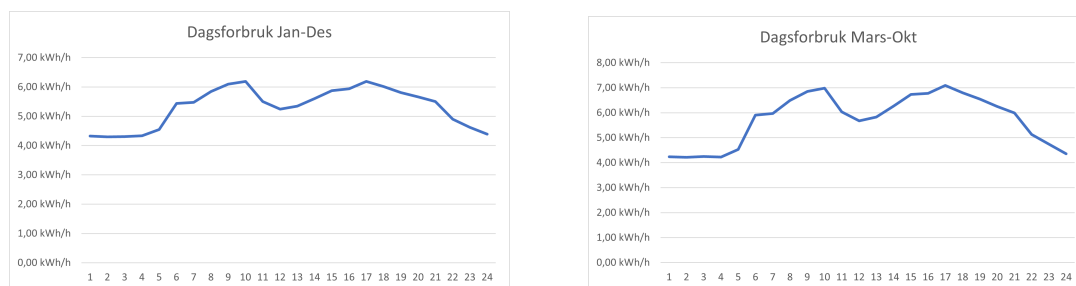
5.2.3 Ladeinfrastruktur ved Skårøya

Det elektriske anlegget på Skårøya er fordelt på to anlegg med separate strømmålere. Dette gjør at det er to ulike sett med verdier over energiforbruket per time. Kildedata ble gitt av oppdragsgiver, og er verdier for perioden 1. januar til 31. desember, 2021.

Forbruksmønster

Energiforbruket per time og varighetsdiagram for anlegg 1 og 2 er vist i Vedlegg 8.3.4 og 8.3.5. Effektforbruket er høyere i anlegg 1, men i anlegg 2 er forbruket mer varierende. Grunnet beliggenhet blir anlegg 1 brukt for videre beregninger.

Leirskolen bruker mest effekt i løpet av driftsmånedene, altså fra midten av mars til midten av oktober. Likevel oppstår perioder med høy effekt utenfor driftsperioden. Til tross for dette, er det perioden under drift som er blitt fokusert mest på. Selv om det oppstår perioder med høyt forbruk, viser varighetsdiagrammet at fåtallet ligger 10 kWh/h. I anlegg 1 var det 614 timer med et forbruk høyere enn 10 kWh/h, og 26 timer med et forbruk høyere enn 15 kWh/h. Hovedandelen av timene ligger innenfor $\pm 15\%$ av 5 kWh/h.



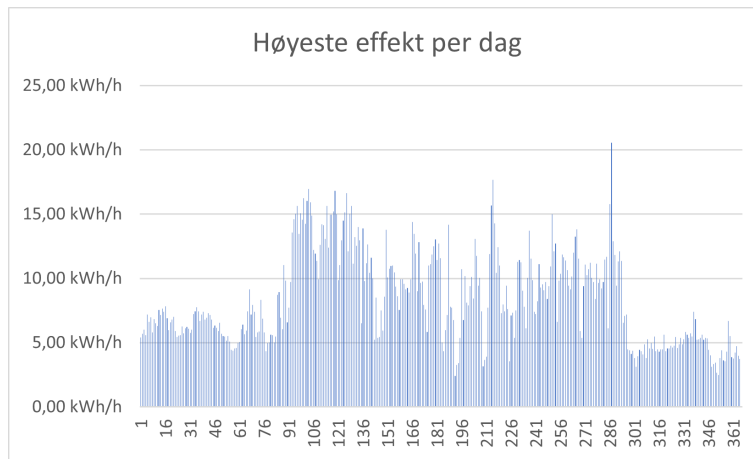
(a) Energiforbruk per time over et døgn, perioden januar til desember (b) Energiforbruk per time over et døgn, perioden mars til oktober

Figur 29: Energiforbruk per time over et døgn

Figur 29a viser forbruket for et gjennomsnittlig døgn i løpet av året 2021, mens Figur 29b viser forbruket for et gjennomsnittlig døgn under driftsperioden. For det totale forbruket vil effekttoppene være lavere og grafen flatere. I perioden mars til oktober er forbruket mer varierende, med høyere topper og enkelte lave bunner. Det er større variasjon fra dag til dag, noe som påvirker det gjennomsnittlige dagsforbruket.

Effekttopper ved Skårøya

Effekttoppene for Skårøya ble funnet ved hjelp av metodene i Seksjon 4.3.3. De daglige effekttoppene varierer.

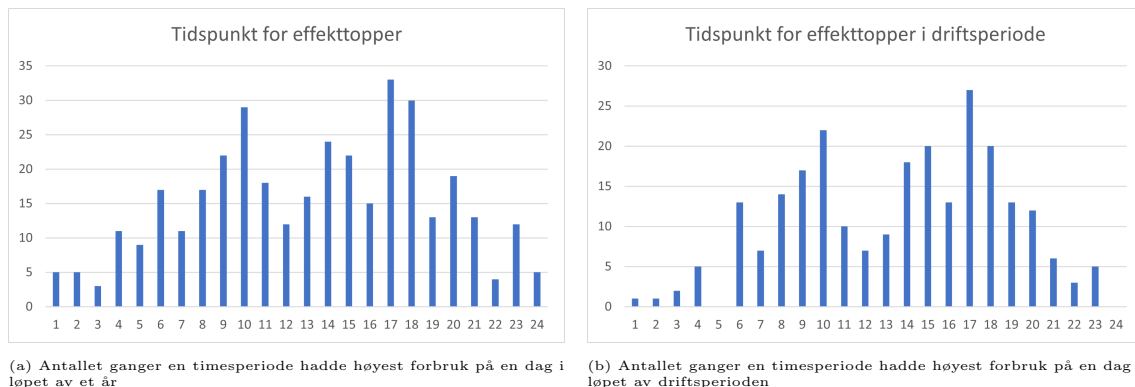


Figur 30: Daglige effekttopper

Effekttoppene vises i Figur 30. I driftsperioden er en stor andel av effekttoppene over 10 kW. Lavest er effekttoppene på slutten av året. De ukentlige effekttoppene sammen med det totale forbruket i uken vises i Vedlegg 8.3.1. I driftsperioden forekommer det hver måned effekttopper på over 10 kW, og i alle med unntak av juni og juli oppstår det effekttopper på over 15 kW. Det høyeste timesforbruket i 2021 var på 20.55 kW, og fant sted den 14. oktober klokken 17:00, uke 41.

Tidspunkt for effekttopper

Tidspunktet for effekttoppene varierer mye over året. De store toppene på morgen og på ettermiddagen faller sammen med frokost- og middagstid. Det er da de store lastene fra kjøkkenet tas i bruk.



(a) Antallet ganger en timesperiode hadde høyest forbruk på en dag i løpet av et år (b) Antallet ganger en timesperiode hadde høyest forbruk på en dag i løpet av driftsperioden

Figur 31: Antallet effekttopper per timesperiode

Både i Figur 31a og 31b er det flest effekttopper i timen fra klokken 16:00 til 17:00. Nest flest effekttopper er i begge tilfellene i tidspunktet rundt time 17, med unntak av topper fra 09:00 til 10:00. De fleste effekttoppene i uken for hele året oppstår i tidsrommet tirsdag til torsdag, med noen tilfeller som oppstår på søndag. Også i drift oppstår de fleste effekttoppene på dagene midt i uken og på søndag. Vedlegg 8.3.3 viser hvor mange ganger en ukedag hadde høyest forbruk på en uke i løpet av et år og under drift. For hver måned vises det i Vedlegg 8.3.2 at gjennomsnittlig dagsforbruk er høyest i april, etterfulgt av mai, september og oktober.

Installert effekt i forhold til hovedsikring

Den installerte effekten er beregnet med Formel (13), der merkespenningen er lik 230 V, størrelsen på hovedsikringen er lik 80 A og har tre faser.

$$P_N = \sqrt{3} \cdot 230 \text{ V} \cdot 80 \text{ A} \approx 31.87 \text{ kW} \quad (18)$$

5.3 Fase 2 - Analyse

I denne seksjonen vil resultatene fra Fase 1 og deres påvirkning på strømmettet, utslipp og kostnader analyseres.

5.3.1 Analyse av nettet

I følgende del vil det bli presentert en oversikt over tiden det vil å ta å lade opp batteriet for hver enkelt case med verst mulig forutsetning. Videre vil dette resultatet brukes sammen med forbruket på en gjennomsnittlig dag, en gjennomsnittlig dag under perioden med drift og det døgnet den høyeste effekttoppen ble registrert, altså den 14. oktober 2021.

5.3.2 Opplading av elbåt

Ladetiden hver case trenger er regnet ut med verdiene funnet i Seksjon 5.2.1. Effekten hver lader kan gi er oppgitt i Tabell 2.

Case	Case 1	Case 2	Case 3	Case 1.2	Case 3.2
Energibehov [<i>kWh</i>]	109.2	21.02	26.34	105.74	411.46
Type 1 - 2.07 kW	52.8t	10.2t	12.7 t	51.1t	198.8t
Type 2 - 3.68 kW	29.7t	5.7t	7.2t	28.7t	111.8t
Type 2 - 7.36 kW	14.8t	2.9t	3.6t	14.4t	55.9t
Type 2 - 11.09 kW	9.9t	1.9t	2.4t	9.5t	37.1t
Type 2 - 22.17 kW	4.9t	0.9t	1.2t	4.8t	18.6t
Type 3 - 43.65 kW	2.5t	0.5t	0.6t	2.4t	9.4t
Type 4 - 20 kW	5.5t	1.1t	1.3t	5.3t	20.6t
Type 4 - 50 kW	2.2t	0.4t	0.5t	2.1t	8.2t
Type 4 - 90 kW	1.2t	0.2t	0.3t	1.2t	4.6t
Type 4 - 150 kW	0.7t	0.1t	0.2t	0.7t	2.7t

Tabell 16: Opplading av batterier ved hver case

Alle ladetyperne nevnt i Avsnitt 3.3.7 er tatt i betraktning, selv om flere av disse overstiger grenseverdien til den installerte effekten på 31.87 kW.

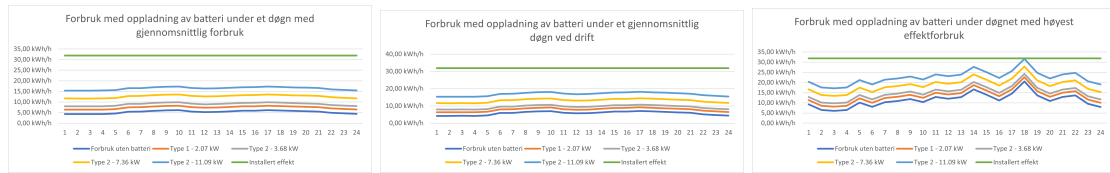
5.3.3 Opplading av batteri

Verdiene i Tabell 16 er brukt som utgangspunkt for å legge ved ladetypernes effekt til forbruket funnet under Seksjon 5.2.3. Effekten til laderen er lagt til det originale forbruket fra klokken 00:00 til antall hele timer det tar å lade opp energibehovet.

Den installerte effekten på 31.87 kW vil være grensen til forbruket. Dermed kan den høyeste effekttoppen 20.55 kW trekkes fra grenseverdien, for å finne den høyeste effekten batteriene kan lades med.

$$P_{lading} = P_N - P_p = 31.87 \text{ kW} - 20.55 \text{ kW} = 11.32 \text{ kW} \quad (19)$$

Den høyeste effekten vi kan lade batteriene med er 11.32 kW, som betyr at kun ladere av type 1 og 2 kan brukes for å lade batteriene uten å måtte bytte ut dagens elektriske anlegg. Siden type 3 og type 4 har høyere effekt enn 11.32 kW vil de sammen med forbruket overstige grenseverdien.



(a) Gjennomsnittlig døgn med opplading av batteri (b) Gjennomsnittlig døgn under drift med opplading av batteri (c) Døgnet med høyest forbruk med opplading av batteri

Figur 32: Totalt forbruk med batterioppladning

I Figur 32 fremstilles det ekstra forbruket som ladere av type 1 og type 2 vil påføre et gjennomsnittlig dagsforbruk, gjennomsnittlig dagsforbruk under drift og døgnet med den høyeste effekttoppen.

Case 1

Ved opplading av batteriet til Case 1, der det er to båter med et separat energibehov på 109.2 kWh, vil de bli ladet opp med en samtidighet lik 1. Begge batteriene vil dermed tilføre en energimengde lik 218.4 kWh til dagens forbruk. På grunn av den høye energimengden vil det kreves en lader med høy effekt for å klare å lade opp batteriene på et døgn. Dermed vil ikke ladere av type 1 med effekt 2.09 kW og type 2 med effekt 3.68 kW være tilstrekkelig. Med type 2 med effekt 7.36 kW vil oppladingen ta i underkant av 15 timer. Ved start av lading klokken 00:00 vil lading av begge batteriene være ferdig klokken 14:00. Dette vil derimot tilføre en effekt på 14.72 kW som overstiger grenseverdien på 11.32 kW.

Vedlegg 8.3.6 viser at ladere av type 2 med effekt 11.09 kW og 7.36 kW, vil for et gjennomsnittlig døgn i året og gjennomsnittlig døgn under drift klare å lade opp batteriene uten å overstige den installerte effekten. Under døgnet med den høyeste effekttoppen vil derimot disse laderne ha for høy effekt, slik at hovedsikringen kan ryke.

Case 1.2

Opplading av batteriene til Case 1.2, vil foregå likt som for Case 1 foruten at det er et energibehov på 105.74 kWh per båt. Batteriene vil bli ladet opp med en samtidighet lik 1. Begge batteriene vil dermed tilføre en energimengde lik 211.48 kWh til dagens forbruk. Vedlegg 8.3.7 viser også i dette tilfellet at laderen har for høy effekt for hovedsikringen, ved døgnet med størst effekttopp.

Case 2

Ved opplading av batteriet til Case 2, er det én båt med energibehov på 21.02 kWh. Dette er en relativt lav energimengde og alle ladetyperne kan lade opp dette batteriet på under et døgn. Vedlegg 8.3.8 viser at alle laderne kan brukes for å lade batteriet uten at det totale forbruket overstiger den installerte effekten, ved alle de tre ulike dagsforbrukene.

Case 3

For Case 3 er det et energibehov på 26.34 kWh. Vedlegg 8.3.9 viser at alle laderne kan brukes for å lade batteriet under et døgn, uten at det totale forbruket overstiger den installerte effekten. Forskjellen fra Case 2 er den tiden det tar å lade opp batteriet.

Case 3.2

Opplading av batteriet til Case 3.2, skjer likt som for Case 3. Her er det et batteri med et energibehov på 411.46 kWh. Denne energimengden krever derimot en lader med veldig høy effekt for å lades opp innen et døgn. Vedlegg 8.3.10 viser at ingen ladere under 22 kW kan lade batteriet på under et døgn.

Dimensjonering av ladekurs

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_b \implies I_b = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{7360 \text{ kW}}{\sqrt{3} \cdot 230 \text{ V}} = 32 \text{ A} \quad (20)$$

Kurs 25 er en 50 meter lang horisontal hengeledning som krever et kabelverrsnitt på 25 mm²

ved en laststrøm på 32 A. Strømføringsevnen, I_z , for aluminiumskabel er da lik 112 A. Det kreves ingen korreksjonsfaktor ved en omgivelsestemperatur på 30°C og ingen parallelle ledninger. Kurs 1 fra koblingspunkt til leder, bruker en ledning på 45 meter som ligger åpen på vegg. Den krever et kabelverrsnitt på 10 mm² ved en laststrøm på 32 A. Det ble valgt en kobberkabel med tverrsnitt 25 mm² og strømføringsevne lik 88 A. Verdier for andre beregninger kan hentes fra FEBDOK og er gitt i Vedlegg 8.2.4.

Fordelingsskjema for den komplette ladekursen er kurs 25 i Vedlegg 8.2.2, og kurs 1 fra koblingspunkt til leder i Vedlegg 8.2.3.

5.3.4 Livsløpsanalyse

I denne seksjonen er det fint å ha i baktanke at livsløpsanalysen ikke er blitt gjennomført for hver enkelt case, men for hver viktige komponent. Analysen ønsker å sette fokus på hvordan de ulike investeringene av motor og batteri vil kunne påvirke CO₂-utslippet. Det er sett på utslippstall for elektrisk bilbatteri heller enn for båt-batteri, ettersom prinsippet er det samme.

Bensinmotor

Ut i fra informasjonen gitt av leirskolen kan det beregnes at drivstoffbruket ligger på omtrent 1.07 l per nautiske mil.

$$\text{Drivstoff} = \frac{\text{Liter per distanse}}{\text{Distanse}} = \frac{6 \text{ l}}{5.6 \text{ nmi}} = 1.07 \text{ l/nmi} \quad (21)$$

Drivstoffbruket i løpet av et år vil variere med antallet elever, vekten på båten og hvor mange ekstra turer som må gjennomføres, men det er blitt gitt et estimert bensinforbruk av oppdragsgiver på cirka 2 500 l.

Utvinning av drivstoff står for store deler av utslippet av drivhusgasser i Norge, som forklart i Avsnitt 3.4.2. Det kan estimeres at én liter bensin, fra well-to-tank, står for 720 g CO₂-ekvivalenter. Med informasjon om både CO₂-utslipp ved utvinning per liter bensin og årsforbruket bensin som Skårøya Opplevelser AS har, kan utslippet på bensinforbruket beregnes. Merk at dette ikke inkluderer forbrenning av drivstoff.

$$\text{Utslipp}_{\text{wtt}} = 2500 \cdot 720 \text{ g CO}_2 - \text{ekv.} = 2500 \cdot 0.72 \text{ kg CO}_2 - \text{ekv.} = 1800 \text{ kg CO}_2 - \text{ekv.} \quad (22)$$

Dette betyr at i løpet av et år vil leirskolen ha bidratt med 1800 kg CO₂-ekvivalenter, kun ved å fylle tanken med den nødvendige mengden drivstoff. I tillegg til CO₂-utslippet fra well-to-tank, må drivhusgassutslippet under forbrenning beregnes. Med bakgrunn i teorien i Avsnitt 3.4.2 betyr det at leirskolens utslipp under bruk ligger på

$$\text{CO}_2 - \text{ekvivalenter} = \text{Bensinforbruk}_{1000\text{l}} \cdot 2.9 \text{ tonn} = 2.5 \cdot 2.9 \text{ tonn} = 7.25 \text{ tonn} \quad (23)$$

Hvis det ses bort i fra produksjonsutslippene til bensinmotoren betyr dette at motorbåtene som brukes av Skårøya Opplevelser AS sammenlagt fra Formel (22) og Formel (23) har et årlig CO₂-ekv. utslipp på

$$\text{Utslipp} = 1.8 \text{ tonn} + 7.25 \text{ tonn} = 9.05 \text{ tonn} \quad (24)$$

Det totale utslippet for en bensinmotor brukt på leirskolen vil da ligge på

$$\text{Totalt utslipp} = 7.25 \text{ tonn} + 9.05 \text{ tonn} = 16.3 \text{ tonn} \quad (25)$$

Resultatet for livsløpsanalysen innebærer ikke utslippene som følger av kast, sortering og resirkulering av motoren etter den byttes ut eller blir ødelagt. Det er begrenset med informasjon på nøyaktig hva dette vil bidra, derfor er det bedre å utelate denne informasjonen for å unngå videre usikkerhet.

Litium-ionbatteri

Ifølge en undersøkelse fra IVL Swedish Research Institute i 2019 kan det estimeres omtrentlige utslipp for hver del av produksjonsfasen til litium-ionbatterier ved å anta en energimiks mellom fornybare og ikke-fornybare energikilder. Det er da kommet frem til at materialet som trengs for batteriet står for 59 kg CO_2 -ekv. per kWh og at produksjon og montering står for 0 - 60 kg CO_2 -ekv. per kWh avhengig av energikilde. Dette gir en sum på mellom 59 - 119 CO_2 -ekv. per kWh. (Erik Emilsson, 2019) I Avsnitt 5.2.1 er energibehovene for hver case oppgitt i tabeller for ulike hastigheter og tidsrom. Med dette er det mulig å estimere et fremtidig 'worst-case' CO_2 -utslipp ved å bruke summen på 119 CO_2 -ekv. per kWh.

	Effektbehov 90%	Effektbehov 60%
Case 1	$72.8 \cdot 119 = 8663 \text{ kg } CO_2 - \text{ekv.}$	$109.2 \cdot 119 = 12994 \text{ kg } CO_2 - \text{ekv.}$

Tabell 17: Mengden CO_2 -ekvivalenter under produksjon for høyeste nødvendig kWh for Case 1

	6.1 knop	7.2 knop
Case 2	$12.78 \cdot 119 = 1520 \text{ kg } CO_2 - \text{ekv.}$	$21.02 \cdot 119 = 2501 \text{ kg } CO_2 - \text{ekv.}$

Tabell 18: Mengden CO_2 -ekvivalenter under produksjon for høyeste nødvendig energibehov for Case 2

	6.9 knop	7.2 knop
Case 3	$23.18 \cdot 119 = 2758 \text{ kg } CO_2 - \text{ekv.}$	$26.34 \cdot 119 = 3134 \text{ kg } CO_2 - \text{ekv.}$

Tabell 19: Mengden CO_2 -ekvivalenter under produksjon for høyeste nødvendig energibehov for Case 3

	3 knop	12 knop
Case 1.2	$1.66 \cdot 119 = 197 \text{ kg } CO_2 - \text{ekv.}$	$105.74 \cdot 119 = 12583 \text{ kg } CO_2 - \text{ekv.}$

Tabell 20: Mengden CO_2 -ekvivalenter under produksjon for høyeste nødvendig energibehov for Case 1.2

	12 knop	18 knop
Case 3.2	$121.92 \cdot 119 = 14508 \text{ kg } CO_2 - \text{ekv.}$	$411.46 \cdot 119 = 48963 \text{ kg } CO_2 - \text{ekv.}$

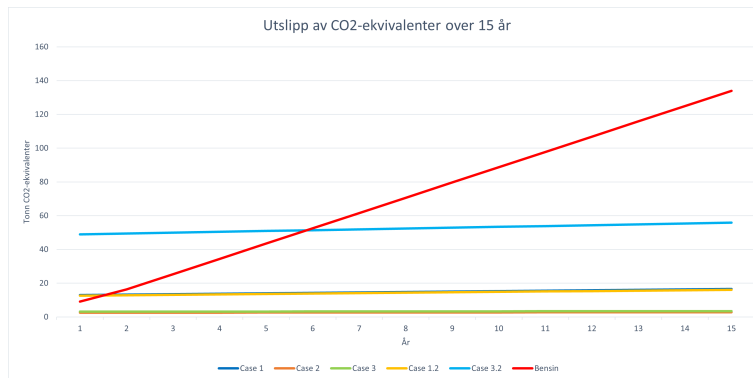
Tabell 21: Mengden CO_2 -ekvivalenter under produksjon for høyeste nødvendig energibehov for Case 3.2

Verdiene ovenfor tilsvarer klimagassutslippene som er forbundet med utvinning og produksjon, ikke den videre forurensningen fra strømforbruket. Strømforbrukets fotavtrykk avhenger av hvor strømmen som brukes er produsert. Er strømmen utviklet med 100% fornybar energi vil det ikke være videre CO_2 -utslipp, men om det kommer fra en miks eller en fullstendig ikke-fornybar energikilde vil utslippene øke. I følge NVE ble hele 94% av strømforbruket i Norge dekket av fornybare strømkilder. Gjennomsnittlig CO_2 -ekv. utslipp knyttet til norsk strøm ble da 17 g CO_2 -ekv. per kWh. I forhold til resten av Europa er dette ganske lavt. (NVE, 2021) I Tabell 23 er det beregnet energi per år i kWh. Med denne informasjonen kan utslippet av CO_2 -ekvivalenter som følge av batterilading, beregnes.

	CO_2 -ekvivalenter per kWh	kWh per år	Ladning CO_2 -utslipp per år
Case 1	17 g	15 288	259.9 kg
Case 2	17 g	1 471	25 kg
Case 3	17 g	1 844	31.3 kg
Case 1.2	17 g	14 803	251.7 kg
Case 3.2	17 g	28 802	489.6 kg

Tabell 22: Mengden CO_2 -ekvivalenter under produksjon for høyeste energibehov

Når CO_2 -utslippene for hver case er funnet, kan disse sammenlignes med utslippet til bensinmotorene. Dette ble gjort for 15 år slik at det enkelt kan ses hvor lang tid det tar før det lønner seg miljømessig.



Figur 33: Sammenlignet utslipp over 15 år

5.3.5 Kostnadsanalyse

Kostnadsanalysen er gjort helt uavhengig av om casen er gjennomførbar i forhold til effektbehov, batteristørrelse og ladeinfrastruktur. Her blir det kun sett på de teoretiske verdiene og hva de vil utgjøre for det økonomiske regnskapet til Skårøya. Det er heller ikke sett på kostnader i sammenheng med vedlikehold av de forskjellige båtene og motorene, kun investering og årlige utgifter for bensin og strøm.

Som nevnt tidligere brukes det cirka 6 liter bensin på en reise tur/retur, og til sammen i 2021 brukte Skårøya Opplevelser AS 50 000 kr på bensin på de to båtene de har. Det blir gått ut i fra en bensinpris på 20 kr/l.

Tall for tidsbruk, avstander og bensinforbruk er gitt i Tabell 6. Det er antatt at hver av de to nåværende båtene kjører 3 runder tur/retur for hver gang det skal fraktes elever. Altså, bruker hver båt 18 liter bensin på en dag med frakting av elever. For å finne hvor mange ganger hver båt kjører tre runder tur/retur per år, må halvparten av det årlige bensinforbruket deles på antallet liter per tur.

$$\frac{2500 \text{ l}}{2} = 1250 \text{ l} \quad \frac{1250 \text{ l}}{18 \text{ l}} \approx 70 \quad (26)$$

En båt kjører altså omtrent 70 runder med elever i løpet av et år. Dermed er det forventet at hver elektriske båt vil trenge omtrent 70 oppladninger per år. Case 1 og Case 1.2 bruker begge 2 elektriske båter, og derfor vil det totale energibehovet være det dobbelte av beregningene i Seksjon 5.2.1. I perioden april 2021 - mars 2022 var den gjennomsnittlige strømprisen 46.89 øre/kWh. (NorgesEnergi, 2022) Denne strømprisen ble beregnet ved å bruke gjennomsnittsprisen per måned i den gitte perioden.

	Energi per dag [kWh]	Kostnad per dag	Energi per år [kWh]	Kostnad per år
Bensin	-	720 kr	-	50 000 kr
Case 1	218.4	102 kr	15 288	7 168 kr
Case 2	21.02	10 kr	1 471	690 kr
Case 3	26.34	12 kr	1 844	865 kr
Case 1.2	211.5	99 kr	14 803	6 941 kr
Case 3.2	411.5	207 kr	28 802	13 505 kr

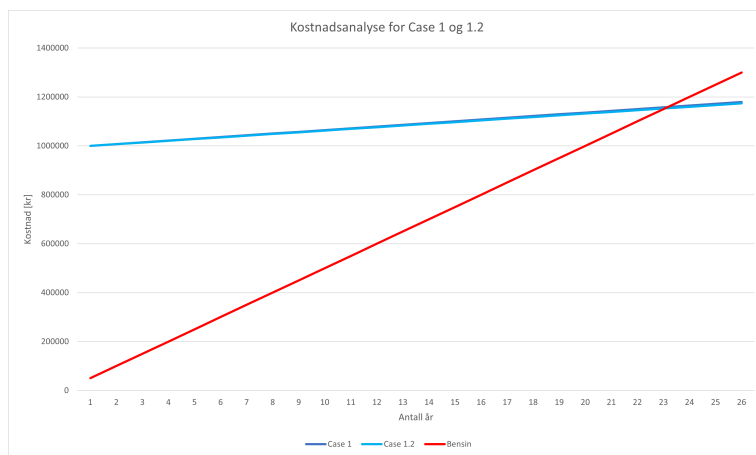
Tabell 23: Oversikt over kostnader for en dags bruk og et års bruk for de forskjellige casene.

I tillegg til de løpende kostnadene, må investeringen for å gå over til en helt eller delvis elektrisk løsning tas i betraktning. For Case 1 og 1.2 ble det antatt en investering på 500 000 kroner per båt, altså 1 000 000 kroner totalt. For Case 2 ble det i beregningene brukt en investering på 800 000 kroner. Dette er beregnet ut i fra tall på Green Waves AS sine nettsider, hvor de presenterer en båt som er noe mindre enn det som er brukt i dette tilfellet. Som nevnt tidligere er det vanskelig å finne egnet båt for Case 3, men det er forventet at investeringen må ligge på minst 1 300 000 kroner. Det er ikke tatt i betraktning noen investering for bensinbåtene da disse båtene allerede er i eie av leirskolen.

Både Case 1 og Case 1.2 er helelektriske løsninger. Altså vil de eneste kostnadene som må tas i betraktning være investeringen og strømprisene. På grunn av at effektberegningene for disse to casene viste seg å bli like, vil også kostnadene bli like. Som en kan se i Figur 34 vil det ta omtrent 23 år før denne investeringen er lønnsom. Tabellen nedenfor viser de forventede årlige utgiftene for Case 1 og Case 1.2.

Årlige kostnader	Bensin	Strøm	Totalt
Case 1	-	7 168 kr	7 168 kr
Case 1.2	-	6 941 kr	6 941 kr

Tabell 24: Årlige kostnader for Case 1 og Case 1.2

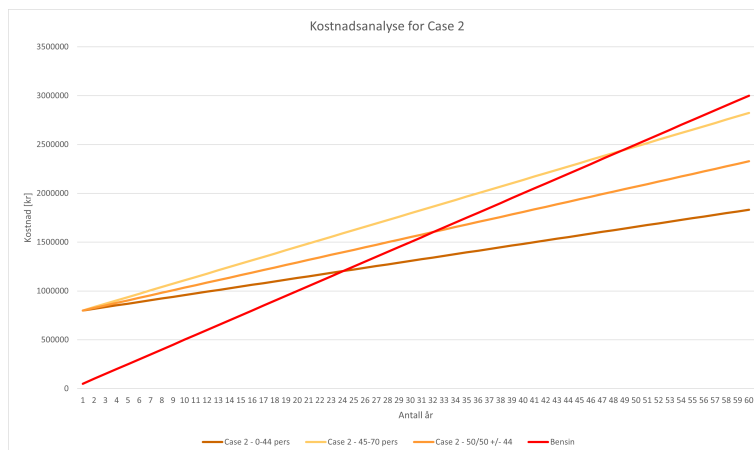


Figur 34: Kostnadsanalyse for Case 1 og Case 1.2

De gangene det er mindre enn 45 elever vil det for Case 2 være mulig å mer enn halvere dagens bensinforbruk. For denne casen vil hver av båtene kun kjøre to runder istedet for tre, I tillegg til å kunne kjøre saktere, som senker bensinforbruket. For tilfellet hvor det alltid er under 45 elever vil det ta 25 år å tjene inn investeringen. For tilfellet hvor det alltid er over 45 elever, vil det ta 50 år. I et tilfelle der halvparten vil være under 45 elever og den andre over 45 elever vil det ta 30 år å tjene inn investeringen.

Årlige kostnader	Bensin	Strøm	Totalt
Case 2 - 0-45 pers	16 800 kr	690 kr	17 490 kr
Case 2 - 45-70 pers	33 600 kr	690 kr	34 290 kr
Case 2 - 50/50 ± 45 pers	25 200 kr	690 kr	25 890 kr

Tabell 25: Årlige kostnader for Case 2



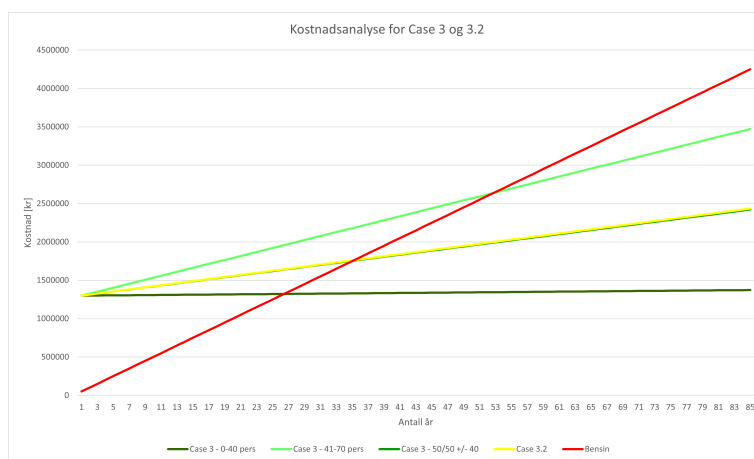
Figur 35: Kostnadsanalyse for Case 2

I Case 3 vil løsningen være helelektrisk for opp til 40 elever, men for tilfellene ved mer enn 40 elever, vil det være nødvendig å bruke én bensindrevet båt i tillegg. På samme måte som for Case 2 vil det også her være store besparelser på bensin, både på grunn av at det tidvis ikke vil være behov for bensinbåtene, men også fordi det vil være tilfeller hvor farten kan senkes. Case 3.2 er enda en løsning som er helelektrisk. Her blir det tatt utgangspunkt i at de nåværende båtene ikke vil være tilgjengelig, altså vil det kun være den elektriske båten som frakter passasjerer. På grunn av det store energibehovet Case 3.2 har, vil den ha en like bratt kurve som Case 3 når halvparten av turene har 0-40 elever og halvparten har 40-70 elever.

For Case 3 vil det ved behov for kun en elektrisk båt, ta 25 år å tjene inn. For tilfellet i Case 3 med halvt om halvt 0-40 og 40-70 elever, og for tilfellet i Case 3.2 vil ta 35 år. I tilfellet hvor en bensindrevet båt må brukes i tillegg til den elektriske vil det ta 55 år å tjene inn investeringen for Case 3.

Årlige kostnader	Bensin	Strøm	Totalt
Case 3 - 0-40 pers	-	865 kr	865 kr
Case 3 - 40-70 pers	25 000 kr	865 kr	25 865 kr
Case 3 - 50/50 ± 40 pers	12 500 kr	865 kr	13 365 kr
Case 3.2	-	13 505 kr	13 505 kr

Tabell 26: Årlige kostnader for Case 3 og Case 3.2



Figur 36: Kostnadsanalyse for Case 3 og 3.2

For å undersøke hva det ville utgjort dersom Skårøya Opplevelser AS sto mellom å kjøpe nye bensindrevne båter eller et elektrisk alternativ, ble det gjort en kostnadsanalyse med investering i bensinbåt. Disse grafene kan finnes i Vedlegg 8.4. Det ble sett på tilfeller hvor investeringen på bensinbåt var på respektivt 500 000 kroner og på 800 000 kroner. For Case 2 og Case 3 vil dette utgjøre en forskjell på henholdsvis 18 år og 13 år med en investering på 500 000 kroner. Dersom investeringen ville vært på 800 000 kroner ville Case 2 være mer lønnsom allerede fra dagen én, og Case 3 ville vært lønnsom etter omtrent 15 år.

6 Diskusjon

I denne seksjonen vil det diskuteres rundt valg av båt og effektbehov, samt ladeinfrastruktur, miljøpåvirkning og kostnader for skiftet.

6.1 Effekt og energi

Alle effektberegningene i denne rapporten er gjennomført med forenklete regnemetoder på grunn av skrogets innvirkning på effektbehovet. Dette er gjort grunnet manglende kunnskap innenfor skrogdesign ettersom dette faller utenfor gruppens studiekompetanse, og gruppen valgte å heller vie tiden til mer faglig relevante aspekter. Altså vil disse beregningene kun være et estimat. Informasjon om hvordan disse regnemetodene kan brukes har gruppen mottatt fra folk med god kompetanse innen skrogdesign. Dette gjør at gruppen velger å stole på at effektberegningene er gode nok til å gjøre de nødvendige estimatene for den gitte oppgaven.

I tillegg er alle beregningene gjennomført her basert på minstekravet av effekt nødvendig for å gjennomføre fraktingen av elever. Det vil si at energibehovet med fordel kan økes slik at fraktingen ikke skjer med minimal margin. Det vil være fordelaktig å ha litt ekstra å gå på i tilfeller hvor det kan skje noe uforutsigbart som gjør at man for eksempel må kjøre en omvei eller en ekstra tur. I tillegg lever et litium-ionbatteri lengst, dersom det ligger mellom 20-80% SOC.

Case 1

For Case 1 vil effektbehovet bli mye større enn for enkelte av de andre casene. Dette kommer av at det er beregnet at båtene må holde høy hastighet, noe som krever mye energi. For denne casen kommer det best fram i utregningen av batteristørrelse hva dette effektbehovet vil utgjøre og hvorfor dette blir sett på som urealistisk. Båtene de bruker i dag har en egenvekt på 840 kg og tåler en maksimal last på 800 kg. (KværnøBoats, 2022) Batteristørrelsen er beregnet til å ligge mellom 400-1 000 kg. Med en maksimal last i båten på 800 kg vil det være for tungt å ha det nødvendige batteriet om bord, samtidig som det skal være omtrent 10 personer i båten.

Dersom noe av tankegangen fra Case 1 kunne blitt brukt i forhold til elektrifisering av gjeldende båter, kunne det vært interessant å se hvordan dette ville ha fungert dersom hastigheten hadde blitt senket til omtrent samme hastighet som for Case 2 og Case 3. Problemet som oppstår da er at disse båtene har planende skrog, noe som vil gjøre at de vil bruke høyere effekt enn fortrenningskroget i lav hastighet. Dette fordi de alltid vil prøve å bekjempe baugbølgen, og derfor har en vinkel i vannet som gjør det tyngre å bevege seg framover.

Case 2

For Case 2 er energibehovet betydelig senket i forhold til Case 1, noe som hjelper i forhold til batteristørrelse. Dette vil være et mye mer gjennomførbart tilfelle, som kommer av lav fart. I denne casen kan farten senkes på grunn av at det alltid vil være tre båter tilgjengelig for å gjennomføre fraktingen av elever, i motsetning til Case 1 hvor det kun vil være to båter.

Case 3

I likhet med Case 2, har Case 3 et lavere effektbehov som resultat av en lavere fart. For dette tilfellet vil den nødvendige hastigheten også være veldig lik skroghastigheten, noe som hjelper i forhold til nødvendig effekt. Som nevnt i Seksjon 3.2.5 vil effektbehovet øke betraktelig ved hastigheter over skroghastighet. For Case 3 vil derfor dette være mindre avgjørende på grunn av at skroghastigheten kun ligger 0.3 knop under nødvendig hastighet.

Case 1.2

For Case 1.2 er det noe vanskelig å si hvor egnet eller ikke egnet denne løsningen vil være. Dette kommer av at beregningsmetodene som er brukt, ikke er ment for båten som brukes i casen. Det er uten tvil feil i beregningene og effektbehovet vil nok være mye lavere enn det som er beregnet, men gruppen har vurdert det slik at denne løsningen krever så høy hastighet at det likevel ikke vil

være et godt alternativ.

I forhold til de beregningene som ble gjort for Case 1.2 er det mye som kan diskuteres. Var det rett valg av gruppen å gå for regnemetoder ment for et annet type skrog? Hadde det vært bedre å benytte regnemetoder for planende skrog, og sett bort i fra effektbehovet som ville kreves for å overkomme baugbølgen? Finnes det bedre regnemetoder som gruppen kunne brukt, men som ikke ble funnet under innhenting av teori? Generelt kan det sies at det ikke var egnede regnemetoder som ble brukt, men at sannsynligheten for at regnemetoder for planende skrog ville gitt et mer realistisk resultat er liten. Det er uansett forventet at dette ikke ville blitt et godt alternativ.

Case 3.2

Som nevnt er Case 3.2 tatt med for å videre underbygge det som er antatt i Case 3, nemlig at de beholder minst én av de nåværende båtene. Det vil være helt umulig å gjennomføre fraktingen av elevene med kun én båt, selv om den er større og har plass til flere passasjerer. Hver gang det er over 40 elever som kommer til leirskolen vil båten ha behov for å kjøre i et så høyt tempo at energibehovet vil øke kraftig.

Ettertanker rundt effektberegninger

Med dagens teknologi og marked er det få alternativer for elektriske motorer til bruk i båt. Batteriteknologien er heller ikke kommet langt nok til å lage et batteri med mye kapasitet uten at størrelse og vekt blir for stor. Som nevnt tidligere for planende båter vil det kreve mye effekt å komme opp i plan, noe som er grunnen til at det valgt å se på fortrenningskrog og lavere hastighet. I tillegg til energien som kreves, vil vekten av det tilhørende batteriet tyngde ned båten og svekke dens evne til å oppnå plan.

Batteriet og båtens vekt er et gjennomgående problem for alle casene sett på i oppgaven. Likningene for effektbehov er avhengig av tyngde. Batteriene for de forskjellige casene vil utgjøre en vesentlig forskjell på båtens vekt og dermed øke energibehovet som er nødvendig. Dette vil kreve itererte beregninger om det skal bli helt eksakt. Når energibehovet og tilhørende batterivekt blir beregnet, må det deretter beregnes effekt- og energibehov på nytt med den ekstra vekten på batteriet. Dette bygger opp under årsaken til hvorfor Case 2 og 3 er de mest realistiske og gjennomførbare casene med tanke på energibehov, da disse har lavere batterivekt. Alt i alt bygger dette videre på det faktum at de beregningene som er gjort kun er estimater for hva som vil være nødvendig, og at det vil være fordelaktig å gå for et større batteri.

6.2 Ladeinfrastruktur

En stor del av oppgaven var å undersøke eksisterende ladeteknologi og om kapasiteten i nettet vil tåle den ekstra belastningen opplading av batterier vil påføre. Undersøkelsen av ladeinfrastruktur består av flere parametre. Det er blitt lagt vekt på elektriske installasjoner, valg av elbåtlader med fokus på både type ladekontakt og lademodus, og til slutt en analyse av om nåværende hovedsikring vil tåle den ekstra belastningen fra de ulike casenes forskjellige energibehov.

Analysen av nettet ble utført med bakgrunn i teori og med bruk av dataene fra AMS-måleren ved hovedfordelingen på Skårøya. IT-anlegget er begrenset med en hovedsikring med størrelse på 80 A og en nettspenning på maksimalt 230 V. Ved høyere spenning kan elbåten lades raskere og effekten som kan hentes fra strømmettet vil være større.

Forbruksmønster

Ved å se på forbruksmønsteret er det mulig å finne ut hvor mye effekt som brukes, hvor store toppene er, hvor ofte toppene forekommer og hvor stabilt forbruket er. Det er hovedsaklig de geografiske aspektene som avgjør valget om å bruke anlegg 1 for kurs til elbåtladeren, men at det er et mer robust anlegg uten store svingninger, samtidig som at hovedsikringen er større, taler anleggets sak.

Leirskolen har besøkende fra uke 16-41. I denne perioden har begge anleggene et mye høyere forbruk enn for resten av året. Forbruket utenfor driftsperioden vil ikke ligge på null. Dette kommer av

effekt brukt til å opprettholde jevn temperatur og vedlikehold, når husene ikke tas i bruk. Som vist i Vedlegg 8.3.4 er det stort sett jevnt forbruk under drift. Det kan antas at forbruket ikke er høyt ved en tilfeldig tid på døgnet, på grunn av fåtallet timer hvor energiforbruket er over 10 kWh/h. Den høyeste gjennomsnittlige dagstoppen over et år er i overkant av 6 kWh/h, og i overkant av 7 kWh/h i driftsperioden. Med tanke på antallet verdier som analyseres er dette en stor forskjell. På grunn av at det er så mange timer der forbruket er lavt i perioden utenfor drift, er det ikke overraskende at gjennomsnittsforkbruket over hele året er lavt sammenlignet med driftsperioden.

Effekttopper

De fleste toppene ligger rundt 10 kWh/h. De største toppene forekommer i april og oktober, noe som kan komme av at det er generelt lavere temperatur og det kreves mer energi til oppvarming av bygg. Toppene ligger mellom 15-20 kWh/h. Det kan derfor antas at effekttoppene som forekommer oppstår på grunn av uforutsette tilfeller der temperaturen stuper eller at andre laster brukes aktivt dette døgnet.

I Vedlegg 8.3.1 kan det ses at det ikke nødvendigvis er en sammenheng mellom det totale forbruket og effekttoppene. Det vil si at toppene kan forekomme når som helst. I snitt er derimot toppene lavere i sommerukene og høyere ved driftsperiodens start og slutt. Det høyeste timesforbruket for 2021 ble målt til 20.55 kWh/h noe som er svært høyt hvis det sammenlignes med den gjennomsnittlige energien som brukes. Sammenlignet med andre topper er fortsatt 20.55 kWh/h høyt, da neste topp er rundt 3 kWh/h lavere.

Tidspunkt for effekttopper

For å vite når det er gunstig å lade, er det viktig å vite tidspunktene for effekttoppene. Det er en sammenheng mellom Figur 29 og Figur 31. De fleste toppene kommer enten på morgenen rundt klokken 09:00 eller rundt klokken 17:00 på ettermiddagen. Dette er et forventet resultat og bygger videre på det som er nevnt over. Det oppstår flere effekttopper på natten, slik vist i Figur 31a, enn det gjør i Figur 31b. Dette bekrefter den tanken om å hovedsaklig fokusere på driftsperioden alene, da det er her bruken er størst og elbåtene vil brukes mest. På grunn av at toppene ikke forekommer i perioden utenfor drift er det dermed ikke grunn til å tro at effekten vil overstige den installerte effekten.

Kapasitet i transformatorer

Fra Tensio ble det informert om en restkapasitet på 50 kW i den matende transformatoren på Skårøya. Ved å holde ladeeffekten under grenseverdien til den installerte effekten er det liten sannsynlighet for at transformatorene må byttes ut. Ved Kvenvær ble restkapasiteten oppgitt til å være 300 kW noe som er betraktelig mer enn det er ved Skårøya. Derfor antas det at så lenge anlegget på Skårøya tåler belastningen, vil anlegget på Kvenvær også det.

6.3 Opplading av elbåt

Ved opplading av elektrisk båt er det flere faktorer som spiller en rolle: energibehov, lademodus og ladetype. Energiforbruket er blitt diskutert grundigere i Seksjon 6.1, men vil i sammenheng med opplading av elbåt være en av faktorene som bestemmer hvor lang tid det vil ta å lade opp batteriet sammen med ladetype.

Tabell 16 viser en tydelig sammenheng; desto større energibehovet er, desto lengre tid tar det å lade opp batteriet. Ønsket om at batteriene skal lades opp på kortest mulig tid vil kreve en lader med høyere effekt. Dette er på den ene siden bra på grunn av at ladetiden går ned og nettet blir belastet over en kortere periode, men på den andre siden vil dette belaste nettet med en høyere effekt. Ved høyere effekt er det større risiko for at det totale forbruket er høyere enn den installerte effekten. Slik Formel (19) viser, vil en grenseverdi lik 11.32 kW begrense valget av ladetype. De eneste ladetyperne tilgjengelig uten å gjøre investering i nettet, vil være de fire med lavest effekt i Tabell 2.

En lader med høy effekt vil kreve ekstra sikkerhet ved opplading. Ved å overføre større mengder energi vil det være større konsekvenser ved feil. Med ladetype 3 eller 2, med en effekt på 11 kW

og over, kreves det et TN-system med nettspenning på 400 V. Dette betyr at det kreves en større investering i det elektriske anlegget, da det er et IT-system med nettspenning lik 230 V.

Det er trolig mulig å bruke en lader med høy effekt på grunn av at den høyeste toppen i 2021 forekommer klokken 19:00 på en torsdag. Dette er et tidspunkt hvor det statistisk sett vil være uaktuelt å lade, grunnet høy strømpris og høyt strømforbruk. Det er omtrent 7% sjanse for at forbruket er høyere enn 10 kWh/h og 0.3% sjanse for at forbruket er høyere enn 15 kWh/h. Fra dette kan det antas at de høyeste toppene forekommer svært sjeldent, noe som betyr at det er liten sannsynlighet for å overstige den installerte effekten med type 2 og høyere effekt. Med ladetype 2 og effekt på 22 kW mellom klokken 23:00 og 05:00 da forbruket er lavt, se Figur 29b, er det grunn til å tro at det er forsvarlig å lade batteriene. Derimot, som nevnt ovenfor vil det uansett kreves et TN-system med en høyere nettspenning for å kunne bruke en ladetype med høyere effekt enn 7.36 kW. Det er også usikkerheter ved beregning av energibehov, noe som betyr at det muligens kreves enten høyere eller lavere overføring av energi.

I Seksjon 3.3.7 er det skrevet om fire lademoduser. I tilfellet for denne prosjektoppgaven vil det hovedsaklig være interessant å se på mode 3, men også mode 2, i forbindelse med lading av batteri. Grunnen til at mode 1 ikke vil være aktuell er på grunn av det faktum at den er uten overvåkning og innebygde sikkerhetsfunksjoner, og brukes lite. Mode 4 er hurtiglading og krever installasjoner og inngrep som er unødvendig for den gitte oppgaven. Dersom det hadde vært en del av oppgaven å se på et større ladeanlegg på Kvenvær, med hurtiglading tilgjengelig for både oppdragsgiver og besøkende ved kaia, kunne det vært interessant.

Mode 2 er lading fra stikkontakt på lik måte som mode 1, men forskjellen er at det for mode 2 er overvåkning og sikkerhetsfunksjoner i ladekabelen. Denne lademodusen brukes ofte som nødlading når tryggere alternativ ikke er tilgjengelig. Årsaken til at denne modusen kunne blitt vurdert for denne oppgaven er at den ved oppfyllelse av kravene i NEK400, kan brukes som regelmessig ladeløsning. Ladekabelen for mode 2 er som nevnt i Avsnitt 3.3.7, kun semi-aktiv og vil ikke alltid kunne håndtere alle risikoene.

Lademodusen som anses som mest gunstig er mode 3. Denne løsningen er en ladekontakt med sikkerhetsfunksjoner, og er montert på vegg eller kai. Mode 3 regnes som saktelading, men kan være noe raskere enn mode 1 og 2. I ladekontakten ligger sikkerhetsfunksjonene som tillater kommunikasjon mellom båt og ladestasjon før det blir satt spenning på systemet. Mode 3 er altså den sikreste av de to modusene som blir ansett som egnet.

Case 1 og Case 1.2

Ved opplading av batteriene til Case 1 og 1.2 er det to båter som har hvert sitt batteri. Batteriene har energibehov på 109.2 kWh og 105.74 kWh. Dette skaper problemer i forhold til den installerte effekten, da den kombinerte effekten av to ladere på over 7.36 kW overstiger grenseverdien på 11.32 kW. Det er trolig mulig å lade med høyere effekt i tidsrom når det er lavt forbruk. Ved å bruke type 2 lader med effekt på 7.36 kW, vil batteriene henholdsvis lades opp på 14.8 timer for Case 1 og 14.4 timer for Case 1.2. Dette betyr at effekten laderne gir, ofte vil treffe effekttoppen enten på formiddagen, på ettermiddagen eller begge to. Siden det er høyere strømpris rundt effekttoppene og større risiko for å kortslutte hovedsikringen er dette ugunstig. Ettersom ladetypen er begrenset av nettspenningen på 230 V, vil ikke ladere med en effekt på 11 kW eller høyere være mulig å bruke. Dermed vil kun type 2 med 7.36 kW med en form for effektregulering være aktuell.

Case 2 og Case 3

Case 2 og Case 3 har hvert sitt batteri med energibehov på henholdsvis 21.02 kWh og 26.34 kWh, noe som betyr at alle ladetyper vil rekke å lade batteriene på under et døgn. Ved ladetype 2 med en effekt på 7.36 kW, vil oppladningen ta 3-4 timer for hver case. Den korte ladetiden er gunstig, samtidig som at effekten i dette tilfellet vil være under grenseverdien.

Case 3.2

Batteriet til Case 3.2 har et energibehov på 411.46 kWh. På grunn av den høye verdien skaper dette problemer ved opplading. For å lade batteriet på under et døgn må det brukes en type 2 lader, med effekt på 22 kW. Dette er en effekt over grenseverdien, og selv da vil oppladingen ta

hele 19 timer. Som forventet er Case 3.2 ikke gjennomførbar, og fungerer hensiktsmessig ved at den beviser at farten må ned.

Kvenvær

Det var vanskelig å finne forbruksmønsteret ved bryggen på Kvenvær da grunneier ikke kunne dele fullstendig data om effektforbruk og det elektriske anlegget. Det totale årsforbruket ble oppgitt til å være 300 000 kWh. Dette er omtrent 6 ganger så mye som for Skårøya, i tillegg til at den matende transformatoren på Kvenvær har høyere restkapasitet. Så selv om det er gitt lite informasjon om forbruket, er det antatt at det er nok kapasitet også ved Kvenvær.

Effektreguleringssystem

Det er mulig å implementere et effektreguleringssystem i ladeanlegget. Ved bruk av for eksempel en lader fra Zaptec og med strømselskapet Tibber, kan dette enkelt implementeres. Zaptec laderen vil kunne begrense effekten når AMS-målerene registrerer en effekt høyere enn satt grenseverdi, som for eksempel er noen kilowatt lavere enn den installerte effekten. Dette går hånd i hånd med bruk av Tibber som kan regulere ladingen når strømprisen er høy.

Dimensjonering av det elektriske anlegget

Ved dimensjonering av ladekurs ble FEBDOK-filen for det originale anlegget, gitt av EL-konsult, bearbeidet og videreutviklet for å tilpasses oppgavens formål. På denne måten kunne ladekursen legges til uten å måtte dimensjonere det elektriske anlegget på nytt. Det nye fordelingsskjemaet til det elektriske anlegget vises i Vedlegg 8.2.2, hvor den eneste forskjellen fra det originale elektriske anlegget er kurs 25. Det ble valgt å dimensjonere for ladetypen med den høyeste effekten anlegget kunne tåle på 7.36 kW. Å dimensjonere ladetyper med lavere effekt ble sett på som unødvendig.

Dimensjoneringene gjort er i henhold til NEK 400, men er noe overdimensjonert. Det ble valgt å bruke samme type kabel og sikring fra hovedfordelingen til naustet, likt som kurs 18 - Sjøhus, siden denne hadde samme kursstørrelse og samme installasjonsmetode. Fra naustet til brygga ble det brukt en annen installasjonsmetode. På grunn av forskriften for forsyning av elektrisk utstyr i marinaer, havner og lignende, ble det valgt å bruke kobberkabel.

6.4 Livsløpsanalyse

Av livsløpsanalysen gjort i Avsnitt 5.3.4 kan det ses at det lønner seg å gå over til å bruke elektriske motorer for hver case for å redusere leirskolens CO_2 -utslipp. Livsløpsanalysen er derimot ikke altomfattende og heller ikke presis når det kommer til å differensiere mellom elbil- og elbåt-batteri, selv om grunnlaget er det samme. Ved å konstatere at analysen ikke er altomfattende menes det at det ikke er sett på utslipp fra bygging av motorer, endring av skrog og båt, ombygging av båt, og at det i stor grad mangler tall på hvordan et litiumbatteri vil håndtere forbruket på sjøen over flere år.

Resultatene fra analysen er ikke nødvendigvis presise estimat ettersom det er store forskjeller i klimagassutslipp basert på hvor mineralene er utvunnet, hvor materialene er bearbeidet, hvilken type energikilde som brukes i produksjonen og hvilke midler som brukes for frakt. Dette gjør at det er vanskelig å komme med et nøyaktig svar, fordi oppdragsgivers avgjørelse rundt strømabonnement, hva som handles og hvem det handles av vil kunne variere CO_2 -utslippet drastisk. På grunn av dette er det gjort et forsøk på å ta hensyn til det mest sannsynlige, verst mulige CO_2 -ekvivalent utslippet for produksjon og anvendelse. Selv om resultatene er en pekepinn i riktig retning, vil det kunne hende at leirskolen opplever hurtigere utslippoppgjør enn det analysen forutser. Hvis det skulle være nødvendig med større investeringer enn det casene tilsier, vil det derimot kunne ta lengre tid.

Ved økt miljøbevissthet i fremtiden vil resultatene kunne bli utdaterte på grunn av grønnere produksjon. Hvis land som driver med utvinning og produksjon av litium-ionbatteri går fra eventuelle ikke-fornybare energikilder til en miks med større prosentandel fornybar energi, eller i beste tilfelle 100% fornybar energi, vil utslippene i forbindelse med den elektriske motoren reduseres betraktelig.

Noe som er viktig å tenke på er at en livsløpsanalyse skal se på utslippene fra materialutvinning til resirkulering eller gjenbruk. Livsløpsanalysen gjort i denne oppgaven ser på gjennomsnittlig utslipp for utvinning og produksjon, og på utslippet for strøm og forbrenning av drivstoff. Analysen utelater deler, slik som nevnt over, men overser også hva som skjer etter kast. Her vil resirkulering og gjenvinning kreve noe ekstra utslipp.

Utrekningene er basert på omtrentlig og opprundet informasjon gitt av oppdragsgiver, og tall og prosenter som er funnet i vitenskaplige artikler. Det er mange faktorer som vil kunne påvirke tallene. Ved hyppigere båtjøring med bensinmotor, ekstra dårlig vær, flere leirskoleelever vil tallene på distanse og bensinforbruk øke. Dette gjelder da også for strømforbruket ved bruk av båt med elektrisk motor. Tallene hentet fra vitenskaplige artikler kan heller ikke stoles blindt på. De kan ta i betraktning deler av livsløp som ikke er relevante for denne oppgaven, som for eksempel helhetlige tall på utslipp fra fabrikker som bearbeider mer enn bare litium-ionbatterier, eller utvinningstall på bensin som ikke er forenelig med utslippet norsk utvinning har.

I tillegg er det vanskelig å vite om tallene for elektrisk bilbatteri vil ha de samme tallene som for båt-batteri. Det var lett å se at det var stor talluenighet mellom undersøkelser, nyhetssaker og oppgaver. Det er uendelig mange faktorer som spiller inn i hvilke prosenter, tall og hensyn som må tas når det skal beregnes utslipp. Derfor er det viktig å huske at de er omtrentlige.

6.5 Kostnadsanalyse

Det gjelder for alle caser at investeringen vil ta lang tid å spare inn, på grunn av at det ikke vil være noen investering i dagens bensinbåter. Det kan derimot diskuteres at vedlikeholdsutgiftene mest sannsynlig vil være høyere for eldre båter enn for nye, og at det på grunn av dette vil ta kortere tid å spare inn investeringen. I tillegg har en elektrisk motor færre bevegelige deler, noe som gjør at en elektrisk motor ofte trenger mindre vedlikehold enn en bensindrevet motor.

I forhold til opplading av båtene og hvor mye dette vil koste har gruppen fått beskjed av oppdragsgiver at det hovedsaklig skal bli sett på behovet i forbindelse med frakt av elever, selv om leirskolen har andre aktiviteter hvor båten kan bli brukt. En klasse med elever er som regel på leirskolen fra mandag til fredag, og i løpet av disse dagene er det aktiviteter som krever båtbruk. Her vil det også være kostnadsmessig gunstig å ta i bruk en elektrisk båt framfor bensindrevet båt. Dette vil gjøre at båtene vil trenge flere oppladninger i løpet av én sesong. Dette vil dog ikke utgjøre store forskjeller i kostnadene, da de alternativene ansett som mest realistisk i forhold til energibehov ligger 10-12 kroner per opplading.

En faktor som er sett bort i fra i kostnadsanalysen er eventuell støtte fra statsforetak som Enova, som er en støtteordning som arbeider for et lavutslippssamfunn. For små og mellomstore virksomheter, som Skårøya Opplevelser AS, vil det være mulig å søke om støtte på opp til 40% av kostnadene. Støtten vil redusere antallet år det vil ta å tjene inn investeringen, i tillegg til å gjøre det enklere for leirskolen å foreta investeringen.

Det gir lite mening i forhold til helheten å se på kostnadsanalysen for seg, ettersom de mest lønnsomme casene kostnadsmessig, generelt er de casene med størst energibehov.

Case 1 og 1.2

Case 1 og Case 1.2 er de alternativene hvor investeringen blir spart inn raskest. Dette kommer av at disse løsningene er helelektriske og dermed kan kutte bensinutgiftene totalt. Som nevnt har disse casene et veldig høyt energibehov, noe som også vises på strømkostnadene som ligger på rundt 7 000 kroner i året.

Case 2

Dersom det blir sett på tilfellet for Case 2 hvor det er halvt om halvt med 0-45 og 45-70 elever, vil det være mulig å nesten halvere de årlige utgiftene i forhold til slik det nå. Det vil med en investering på 800 000 kroner tilsi at det tar omtrent 30 år å tjene inn.

Case 3

For Case 3 vil det med halvt om halvt med 0-40 og 40-70 besøkende, være mulig å redusere kostnadene ned til én fjerdedel av dagens kostnader, og dermed tjene inn investeringen i løpet av omtrent 35 år. Disse tallene, og tallene diskutert for Case 2, er derimot usikre på grunn av at det er ukjent hvor mange besøkende det vil være på leirskolen til enhver tid.

Case 3.2

Den siste casen, Case 3.2, vil ha strømpriser på over 13 000 kroner per år, noe som er langt høyere enn for de andre casene. Denne er derimot helelektrisk og vil derfor ikke ha utgifter på bensin.

6.6 Feilkilder

Når en oppgave skal løses vil det alltid oppstå ulike feilkilder både kildemessig, informasjonsmessig og regnemessig, og denne oppgaven er intet unntak. En feilkilde som vil påvirke alle videre beregninger er valgene gjort i forhold til båt. På grunn av at det ikke er funnet eller vil bli presentert spesifikke båtløsninger til arbeidsgiver, vil størrelsen og utformingen på båtene mest sannsynlig vike fra de tallene som er brukt i beregningene. Dette vil da ha innvirkning på effektbehovet. I tillegg er det usikkerheter rundt størrelse på båt i forhold til hva som vil være nødvendig, da spesielt for Case 3. For dette tilfellet er det ikke funnet noen spesifikk båt å gå ut i fra når det kommer til størrelse og tyngde, men heller et estimat fra andre båter. Dette gjør at beregningene for Case 3 kanskje vil være noe under- eller overdimensjonert.

Utrekningene for effektbehov er gjort ved bruk av forenklete metoder. Dette er svært sannsynlig den største feilkilden i rapporten, både på grunn av at effektbehovet kan vike noe fra det som er beregnet, men også på grunn av at beregningene er brukt i alle videre utregninger, altså både for ladeinfrastruktur, livsløpsanalyse og kostnadsanalyse. En annen feilkilde for beregning av effektbehov er at det ble regnet med en vekt som var summen av båtens vekt og forventet vekt på passasjerer, og ikke båtens vekt alene.

Feilkilder for analyse av ladeinfrastruktur kan oppstå av flere faktorer. Er det gjort feil i utregningene i Microsoft Excel? Er det blitt gjort andre regnefeil som videre har ført til feil senere i oppgaven? Dette er alle feilkilder som er vanskelige å oppdage da det er mange verdier som er håndtert. For sikkerhets skyld er det gjort stikkprøver ved for eksempel sjekk av effekttopper, for å unngå dette. Det er også mulige feil som kan ha oppstått ved dimensjonering av ladekurs, der er gjort feilberegninger eller feil valg.

Livsløpsanalysen som ble gjort baserer seg i stor grad på omtrentlige verdier og presenterer på hvor stor mengde CO_2 -ekvivalenter som blir sluppet ut. De er reelle verdier, men er i stor grad et estimat på den mest sannsynlige utslippsmengden et batteri eller én liter olje vil ha fordi dette kan variere. Dette betyr at verdiene i analysen brukt for å anta utslipp, ikke nødvendigvis stemmer over ens med det faktiske verdiene. Som nevnt over vil en feil i tidligere beregninger også påvirke svarene kommet frem til i livsløpsanalysen, i tillegg til at endringer i case eller investering vil påvirke verdiene videre.

I denne rapporten har det ikke blitt tatt hensyn til kostnader i forbindelse med vedlikehold av motor, batteri og båt generelt. En bensindrevet motor vil kreve mer vedlikehold enn en elektrisk motor på grunn av flere bevegelige deler. I tillegg er det vanskelig å vite eksakte tall på hvor ofte de forskjellige båtene vil bli brukt og dermed hvor mye det vil koste å fylle på bensin eller lade opp batteri. Tallene for investering i båter vil også være en feilkilde i forhold til kostnadsanalysen. Disse tallene er estimater gjort av gruppen ut i fra hva som er av lignende båter på markedet og derfor ikke konkrete tall.

6.7 Vurdering av eget arbeid

Timene lagt ned i prosjektrapporten er noe færre enn det antatt ved oppstart, men gruppen mener at det likevel er lagt ned nok tid for å få et godt nok innsyn i oppgaven til å komme med en god besvarelse til oppdragsgiver.

Det har vært strukturert jobbing fra alle gruppemedlemmene gjennom hele perioden, samarbeidet har vært fint og gruppen kommuniserer godt. Det har vært aspekter som har vært vanskeligere å finne informasjon på enn andre, noe som har gjort at det tidvis føltes som hele oppgaven stoppet opp. I disse periodene har det blitt forsøkt å innhente informasjon fra folk i bransjen. Bortsett fra enkelte hindre følte gruppen på god kontroll over oppgaven.

I sammenheng med aspektene av oppgaven hvor det var vanskelig å finne god informasjon, var det også en del som det lå utenfor gruppens faglige kompetanse. I disse tilfellene er det også blitt tatt kontakt med relevante fagfolk, og det har ut i fra deres hjelp blitt funnet regnemåter som kan brukes for gode estimater.

6.8 Videre arbeid

Med tanke på diskusjonen nevnt ovenfor og de begrensningene satt av gruppen, er det grunn til å tro at det enda kan gjøres mye innenfor oppgavens rammer, spesielt i fremtiden. Blant annet kan det ses på:

- Simulering av båt i hav
- Båt med solcellepanel
- Hybridløsning for båt
- Produsere egen båt
- Batteribank ved ladeanlegget på Skårøya
- Oppgradering av det elektriske anlegget
- Ladeanlegg for både båt og elbil ved Kvenvær
- Hurtigladere på hver kai

7 Konklusjon

Motivasjonen bak oppgaven kommer av et ønske om å redusere leirskolens miljøfotavtrykk og å kunne fremstå som et miljøvennlig forbilde for sine elever. På bakgrunn av dette er det kommet frem til ulike løsninger for frakt av passasjerer, ved bruk av elektriske båter. For å undersøke gjennomførbarheten til løsningene har energibehov, ladeinfrastruktur, miljøpåvirkning og kostnader blitt analysert.

Ut fra beregningene av energibehov er det blitt konkludert med at det mest avgjørende for en passende løsning er å senke farten. Det er bakgrunn i dette at ingen løsninger med planende eller halvplanende skrog blir sett på som egnet. Disse skrogtypene krever for høy effekt for å komme opp i plan, noe som vil resultere i store, tunge og kostbare batterier. Slike batterier vil kreve ladeteknologi av så høy effekt at det elektriske anlegget vil måtte oppgraderes. Det er kommet frem til at et fortreningskrog ved lav fart, vil redusere effektbehovet og derfor være den mest gunstige løsningen i forhold til båt og ladeteknologi. Løsninger med utgangspunkt i fortreningskrog gir kortere ladetid og påfører strømmettet mindre belastning. Alle løsninger behandlet i rapporten har et utslipp av CO_2 -ekvivalenter som vil inntjenes i løpet av 10 år. For å videre redusere tiden for utslippsoppgjøret vil det være fordelaktig med så lavt energibehov som mulig. Det sistnevnte gjelder også for de årlige kostnadene.

Til slutt sitter gruppen igjen med at det er sammenhengen mellom lav hastighet og lavt forbruk som vil være den aller viktigste faktoren å sette fokus på med teknologien som er tilgjengelig på markedet i dag. Oppgaven bærer preg av at regelverket ikke er fullstendig og at batteri- og ladeteknologi for elektriske båter ikke er kommet langt nok til at den kan løses uten at man enten ender opp med for store økonomiske påkjenninger, for stort effektbehov eller en halv-elektrisk løsning. Derimot er det grunn til å tro at det i årene framover vil komme mye ny teknologi fra denne sektoren, og sannsynligvis i et høyt tempo, på samme måte som med utvikling av den elektriske bilen.

BAKGRUNN

Skårøya Oppløvelser AS er en leirskole med store utgifter på bensin og har sitt høyeste CO₂-utslipp fra båtreise som skjer under frakt av elever. Etter som fokuset på å være klimavennlig er i stadig økning og elektrifisert teknologi blir mer og mer aktuelt, ønsker leirskolen i denne sammenheng å se på hvilke løsninger for elektrifisering av båtreise som er tilgjengelig på markedet.

En slik elektrifisering av båtreise vil kunne bespare miljøet utslippsmessige belastninger og kunne minske utgifter.

OPPGAVEN

Formålet med oppgaven var å legge til rette for løsninger for elektrifisering av båtene leirskolen bruker til frakt. Dette skal gjennomføres med både batteri, båtmotor, skrogdesign og ladeinfrastruktur i bakkanke når det foretas undersøkelser.

METODE

Oppgaven ble fordelt inn i fem caser som tar for seg ulike mulige løsninger. For hver case ble det foretatt beregninger i Fase 1 og analyser i Fase 2.

Emilie Økvik
Mads Røvik
Sarah Liamo Tønnessen

Elbåt og ladeinfrastruktur til transport av gjester til Kvenvær - Skårøya

CASENE

- 1 Elektrifisering av gjeldende løsning. Uthytte av bensinmotor til elektrisk motor
- 2 Anskaffelse av én ny elektrisk båt. Beholder to eksisterende bensinbåter
- 3 Fremdriftsrettet plan for investering av større elektrisk båt, ved løvverksemdring
- 1.2 Lik Case 1, men antall 12 passasjerer i hver båt noe som tillater færre turer
- 3.2 Bruker kun én stor båt, de eksisterende båtene vil ikke være tilgjengelige

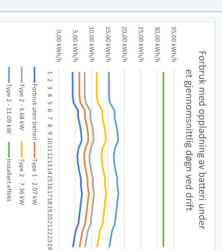
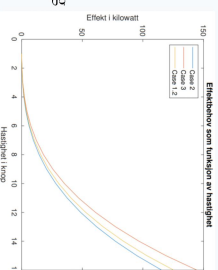
RESULTAT - Effekt, energi og lading

Tallene som kom frem fra ulike beregninger er presentert her. Del inn i Fase 1 og Fase 2 er resultatene fra effekt- og energibehov, og analysen av ladeinfrastruktur.

Caser	Hastighet i knop	Energibehov [kWh]	Ladetid - 7.36 kW [t]	Miljø [kgCO ₂ -ekv]	Kostnader per år [kr]
Case 1	18	109,2	14,8	12 994	7 168
Case 2	7,2	21,02	2,9	2 501	25 890
Case 3	7,2	26,34	3,6	3 134	13 365
Case 1.2	12	105,74	14,4	12 583	6 941
Case 3.2	18	411,46	55,9	48 963	13 505

Fase 1 – Beregninger

- Fortrenningskrog og lav hastighet er best egnet
- Lavere fart vil resultere i lavere energibehov
- Forbruker er høyere ved drift og har typisk forbruksmønstre med effekttopper morgen og ettermiddag
- Grenseverdi på forbruk er 31,87 kW



Fase 2 – Analyse

- Laddtiden er avhengig av energibehovet. For alle casene foruten 3.2, vil en ladeføkt på 7,36 kW være tilstrekkelig
- Utslippet til et batteri henger sammen med antallet kWh batteriet krever.
- De årlige kostnadene senkes betraktelig ved elektrifisering

DISKUSJON

På grunn av manglende kunnskap innen skrogdesign, da dette faller utenfor gruppens studiekompetanse og gruppen valgte å vie tiden til mer faglig relevante aspekter, ble effektberegningene gjort med forenklete regnemoder. Dette tilsier at beregningene er estimater heller enn konkrete verdier, spesielt på grunn av mulige varierende faktorer.

Estimatverdiene blir anvendt videre, noe som også gjør at disse er anslag. Fordi det ikke er presentert spesifikke båtløsninger, vil tallene som er beregnet sannsynligvis vike fra tall beregnet for faktisk båt.

KONKLUSJON

Oppgaven bærer preg av at regelverket og teknologien for elektriske båter ikke er tilstrekkelig nok slik at den kan løses på en måte som ikke ender opp med enten store økonomiske påkjenninger, for stort effektbehov eller en halv-elektrisk løsning. Den er konkludert med at den viktigste faktoren for å løse oppgaven vil være å senke hastigheten på frakten. Til tross for dette har gruppen kommet frem til et formålstjenlig alternativ.




8.2 Elektroinstallasjoner Skårøya

8.2.1 Detaljert kursfortegnelse Skårøya

Detaljert kursfortegnelse

Fordeling for sakkynndig beplening		Maksimalte feltestrømmer og impedanser i				Fordeling				Minimalte feltestrømmer og impedanser i				Fordeling			
Fordelingstype:	IT	I_{kmax} [kA]: 0.628	$\cos \phi$: 0.02	$R + [Q]$: 0.0036	$R + [Q]$: 0.0036	I_{kmin} [kA]: 0.477	$\cos \phi$: 0.99	$R + [Q]$: 0.2619	$R + [Q]$: 0.2619	I_{kmax} [kA]: 0.477	$\cos \phi$: 0.99	$R + [Q]$: 0.0036	$R + [Q]$: 0.0036	I_{kmin} [kA]: 0.413	$\cos \phi$: 0.99	$R + [Q]$: 0.0372	$R + [Q]$: 0.0372
Jordledetråde:	Båndtråd	I_{kmax} [kA]: 0.544	$\cos \phi$: 0.02	$X + [Q]$: 0.2219	$X + [Q]$: 0.2219	I_{kmin} [kA]: 0.413	$\cos \phi$: 0.99	$X + [Q]$: 0.0372	$X + [Q]$: 0.0372	I_{kmin} [kA]: 0.413	$\cos \phi$: 0.99	$X + [Q]$: 0.0372	$X + [Q]$: 0.0372	I_{kmin} [kA]: 0.413	$\cos \phi$: 0.99	$X + [Q]$: 0.0372	$X + [Q]$: 0.0372
Ujevningstforbindelser																	
Sammenlagret strøm [A]:	L1: 196,39 A L3: 201,61 A																
	L2: 201,61 A																
1	Stikk storsal nord	Varriabel last	PR 2x2,5 CU	19	1,00	27,00	Vern 30,0 [mA]	0,544	SCHNEIDER	16	16	1,00	27,00	Vern 30,0 [mA]	0,544	SCHNEIDER	16
2	Stikk storsal sør	Varriabel last	PR 2x2,5 CU	20	1,00	16,00	Vern 30,0 [mA]	0,544	SCHNEIDER	16	16	1,00	16,00	Vern 30,0 [mA]	0,544	SCHNEIDER	16
3	Stikk kjøkken og kjølerom	Varriabel last	PR 2x2,5 CU	14	1,00	27,00	Vern 30,0 [mA]	0,544	SCHNEIDER	16	16	1,00	27,00	Vern 30,0 [mA]	0,544	SCHNEIDER	16
4	Stikk og vifte kjøkken	Varriabel last	PR 2x2,5 CU	15	1,00	16,00	Vern 30,0 [mA]	0,275	SCHNEIDER	7,5	7,5	1,00	16,00	Vern 30,0 [mA]	0,275	SCHNEIDER	7,5
5	Hylbel, bad, WC og sovesal 2 eieg	Varriabel last	PN 3G2,5 CU	15	1,00	19,50	Vern 30,0 [mA]	0,544	SCHNEIDER	16	16	1,00	19,50	Vern 30,0 [mA]	0,544	SCHNEIDER	16
6	Minikjøkken hylbel	Varriabel last	PN 3G2,5 CU	8	1,00	19,50	Vern 30,0 [mA]	0,544	SCHNEIDER	16	16	1,00	19,50	Vern 30,0 [mA]	0,544	SCHNEIDER	16
Elkonsult Vikstrøm 7250 MELANDSLØJ Tel: 95 25 15 00		Antegnets adresse: Skårøya 7243 KVENNER		Antegnet: Skårøya Leitskole, Sanitetshus		Antegnet: Skårøya Leitskole, Sanitetshus		Antegnet: Skårøya Leitskole, Sanitetshus		Antegnet: Skårøya Leitskole, Sanitetshus		Antegnet: Skårøya Leitskole, Sanitetshus		Antegnet: Skårøya Leitskole, Sanitetshus		Antegnet: Skårøya Leitskole, Sanitetshus	
Kunde, eier: Skårøya Leitskole Skårøya 7243 KVENNER		Antegningsadresse: Skårøya 7243 KVENNER		Antegnet: Skårøya Leitskole, Sanitetshus		Antegnet: Skårøya Leitskole, Sanitetshus		Antegnet: Skårøya Leitskole, Sanitetshus		Antegnet: Skårøya Leitskole, Sanitetshus		Antegnet: Skårøya Leitskole, Sanitetshus		Antegnet: Skårøya Leitskole, Sanitetshus		Antegnet: Skårøya Leitskole, Sanitetshus	
Febdok Vs. 6.0.223 Date: 01.03.2021		Antegnet: Skårøya Leitskole, Sanitetshus		Antegnet: Skårøya Leitskole, Sanitetshus		Antegnet: Skårøya Leitskole, Sanitetshus		Antegnet: Skårøya Leitskole, Sanitetshus		Antegnet: Skårøya Leitskole, Sanitetshus		Antegnet: Skårøya Leitskole, Sanitetshus		Antegnet: Skårøya Leitskole, Sanitetshus		Antegnet: Skårøya Leitskole, Sanitetshus	

Detaljert kursfortegnelse


Foredeling for sakkynndig bejling		Maksimalt feltestrømmer og impedanser i				Foredeling				Minimalt feltestrømmer og impedanser i			
Foredelingsstype:	IT	I_{kmax} [kA]	$\cos \phi$	$R + [Q]$	$X + [Q]$	I_{kmin} [kA]	$\cos \phi$	$R + [Q]$	$X + [Q]$	I_{kmax} [kA]	$\cos \phi$	$R + [Q]$	$X + [Q]$
		I_{k2max} [kA]	$\cos \phi$										
Jordelektrode:	Bånd/tråd												
Ujevningssforbindelser													
Sammenlagret strøm [A]:	L1: 196,39 A L2: 201,61 A L3: 201,61 A									I_{k2min} [kA]: 0,413	$\cos \phi$: 0,99		
Kurs nr.	Identifikasjon Beskrivelse Jording/utjevning	Lasttype Fasekoding Foredelingsstype	Kabelidentifikasjon Kabeltype/-ledertøsnng Ref.inst. net.	Lengde [m]	k_1 k_2 k_3	I_z [A] I_b [A] ΔU [%]	Ustyr	I_{kmax} [kA] I_{kmin} [kA]	Veridentifikasjon Fabrikat Type	I_n [A] I_c [kA] I_{lm} [m]			
7	Soverom og trapp 2 eig	Variabel last L1-L2	PR 2X1,5 CU C	8	1,00 1,00 1,00	19,50 10,00 1,16	Vern 30,0 [mA]	0,544 0,298 0,221	SCHNEIDER C60H-JFA C 10 A	10 7,5 57,3			
8	VVB	Variabel last L1-L3	PR 2X1,5 CU C	15	1,00 1,00 1,00	19,50 10,00 1,95	Vern 30,0 [mA]	0,544 0,227 0,157	SCHNEIDER C60H-JFA C 10 A	10 7,5 57,3			
9	Lys og stikk kontor og gang 1 eig	Variabel last L2-L3	PR 2X1,5 CU C	14	1,00 1,00 1,00	19,50 10,00 1,84	Vern 30,0 [mA]	0,544 0,234 0,163	SCHNEIDER C60H-JFA C 10 A	10 7,5 57,3			
10	Stikk og varme kjeller	Variabel last L1-L2	PR 2X1,5 CU C	18	1,00 1,00 1,00	19,50 10,00 2,29	Vern 30,0 [mA]	0,544 0,209 0,139	SCHNEIDER C60H-JFA C 10 A	10 7,5 57,3			
11	Lys kjeller	Variabel last L1-L3	PR 2X1,5 CU C	18	1,00 1,00 1,00	19,50 10,00 2,29	Vern 30,0 [mA]	0,544 0,209 0,139	SCHNEIDER C60H-JFA C 10 A	10 7,5 57,3			
12	Lys og stikk kjøkken	Variabel last L2-L3	PR 2X1,5 CU C	15	1,00 1,00 1,00	19,50 10,00 1,95	Vern 30,0 [mA]	0,544 0,227 0,157	SCHNEIDER C60H-JFA C 10 A	10 7,5 57,3			
Etkonsult Vikstrøm 7250 MELANDSLØ Tel: 95 25 15 00		Anleggs adresse: Sikarøya 7243 KJENVER		Anlegg: Sikarøya Leirskole, Samletshus		Dato: 01.02.2022 14:51:51							
Kunde, eier: Sikarøya Leirskole Sikarøya 7243 KJENVER		Foredeling HOVEDTAVLE		NEK 400:2010 280 V IT		Side 2 av 4							
 Vs: 6.6.223 Dato: 01.03.2021													

Detaljert kursfortegnelse

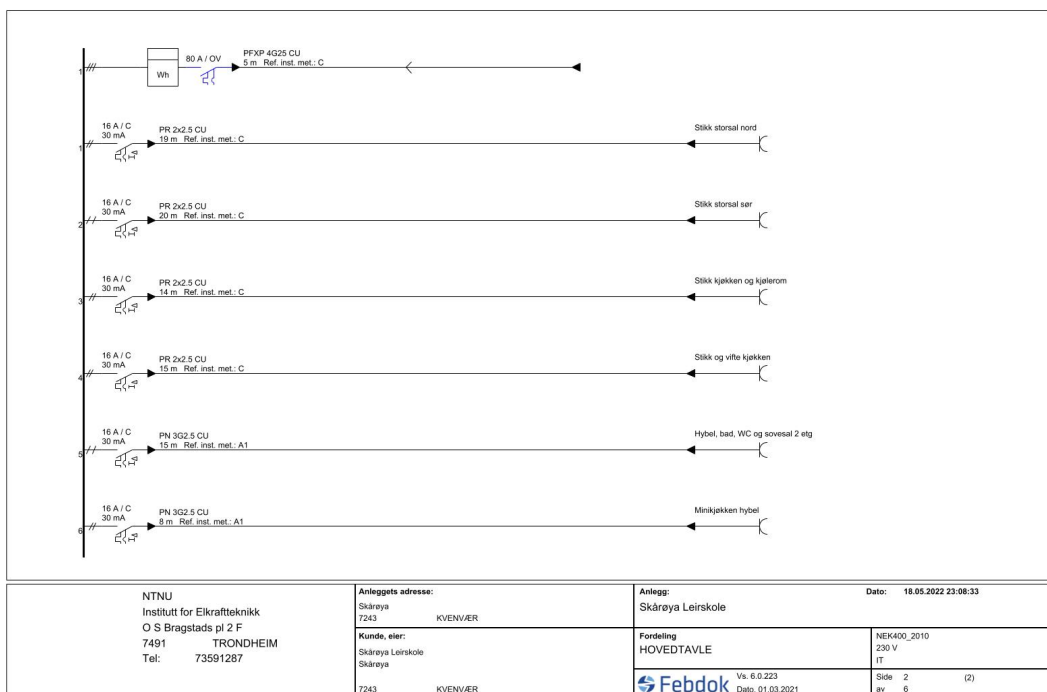
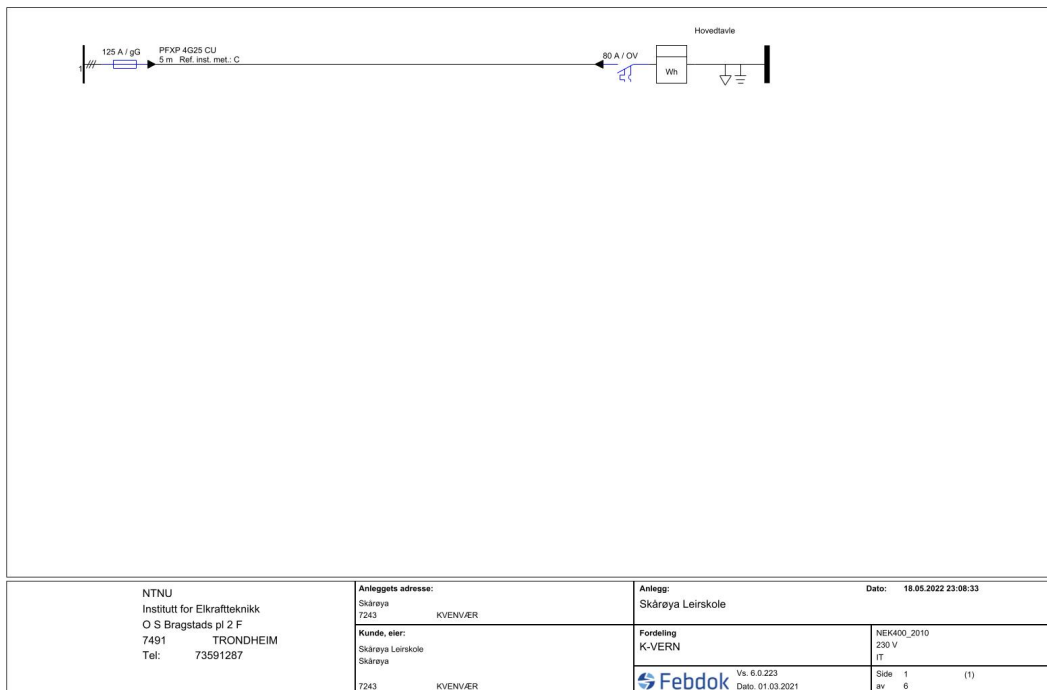
Fordeling for sakkynndig betjening		Maksimalte feltestrømmer og impedanser i				Fordeling				Minimalte feltestrømmer og impedanser i				Fordeling			
Fordelingstype:	IT	I_{kmax} [kA]	$\cos \phi$: 0,02	R+ [Ω]: 0,0038	I_{kmin} [kA]	$\cos \phi$: 0,99	R+ [Ω]: 0,2619	I_{kmax} [kA]	$\cos \phi$: 0,99	R+ [Ω]: 0,0372	I_{kmin} [kA]	$\cos \phi$: 0,99	R+ [Ω]: 0,0372	I_{kmax} [kA]	$\cos \phi$: 0,99	R+ [Ω]: 0,0372	
Jordelektrode:	Bånd/tråd	I_{k2max} [kA]	$\cos \phi$: 0,02	X+ [Ω]: 0,2219	I_{k2min} [kA]			I_{k2max} [kA]			I_{k2min} [kA]			I_{k2max} [kA]			
Ujevningsforbindelser																	
Sammenlagret strøm [A]:	L1: 196,39 A L2: 201,61 A L3: 201,61 A																
Ujevningstypen																	
Fordelingstype:																	
Ujevningstypen																	
Sammenlagret strøm [A]:																	
Ujevningstypen																	
Sammenlagret strøm [A]:																	
13	Lys storsal	Variabel last	PR 2X1,5 CU	20	1,00	1,00	19,50 Vern 30,0 [mA]	0,544	0,198	SCHNEIDER	0,130	C60H-JFA C 10 A	10	10	7,5	1cs	
14	Lys og varme kjeller	Variabel last	PR 2X1,5 CU	18	1,00	1,00	19,50 Vern 30,0 [mA]	0,544	0,209	SCHNEIDER	0,139	C60H-JFA C 10 A	10	10	7,5	1cs	
15	Stikk kjeller	Variabel last	PR 2X2,5 CU	15	1,00	1,00	27,00 Vern 30,0 [mA]	0,544	0,275	SCHNEIDER	0,206	C60H-JFA C 16 A	16	16	7,5	1cs	
16	Oppvaskmaskin og komfyr	Variabel last	PFXP 3G6 CU	9	1,00	1,00	41,00 Vern 30,0 [mA]	0,628	0,413	SCHNEIDER	0,331	C60H-JFA C 25 A	25	25	7,5	1cs	
17	Kornblendemper	Variabel last	PFXP 4G6 CU	10	1,00	1,00	41,00 Vern 30,0 [mA]	0,628	0,363	SCHNEIDER	0,323	C60H-JFA C 32 A	32	32	7,5	1cs	
18	Sjøhus	Variabel last	EX 4G25 AL	50	1,00	1,00	112,00 Vern 30,0 [mA]	0,628	0,324	SCHNEIDER	0,267	C60H-JFA C 32 A	32	32	7,5	1cs	
Etkonsult Vikstrøm 7250 MELANDSJØ Tel: 95 25 15 00		Anleggs adresse: Sikarøya 7243 KVENVER		Anlegg: Sikarøya Leirskole, Samletshus		Dato: 01.02.2022 14:51:51		Fordeling HOVEDTAVLE		NEK 400:2010 280 V IT		Side 3 av 4					
Kunde, eier: Sikarøya Leirskole Sikarøya		Kunde, eier: Sikarøya Leirskole Sikarøya		Fordeling HOVEDTAVLE		NEK 400:2010 280 V IT		NEK 400:2010 280 V IT		NEK 400:2010 280 V IT		NEK 400:2010 280 V IT					
7243 KVENVER		7243 KVENVER		7243 KVENVER		7243 KVENVER		7243 KVENVER		7243 KVENVER		7243 KVENVER					

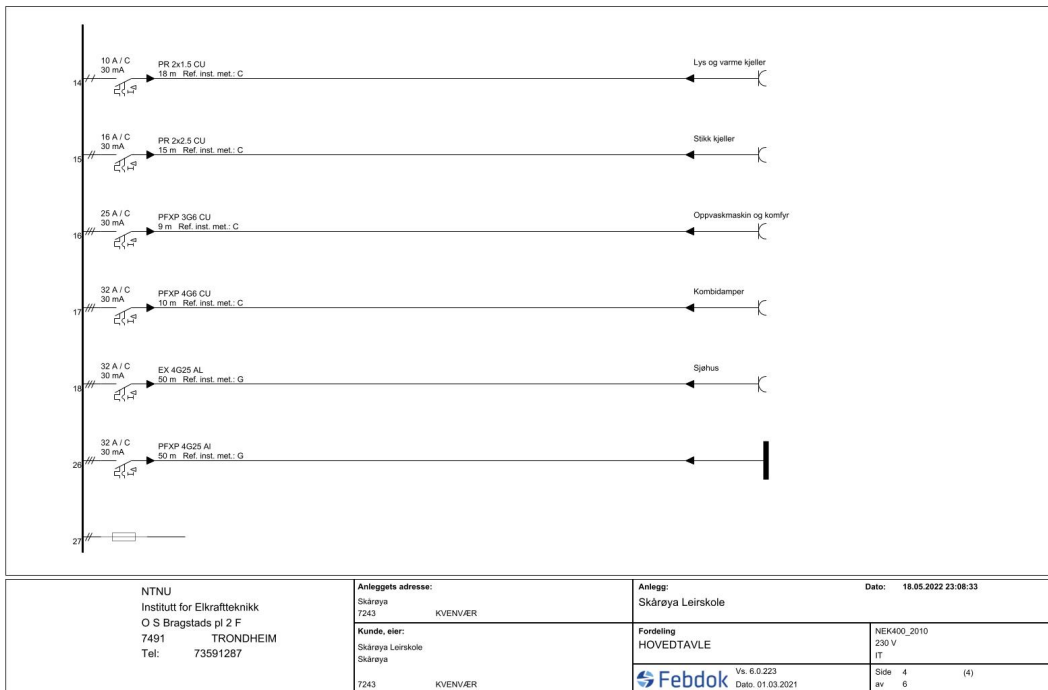
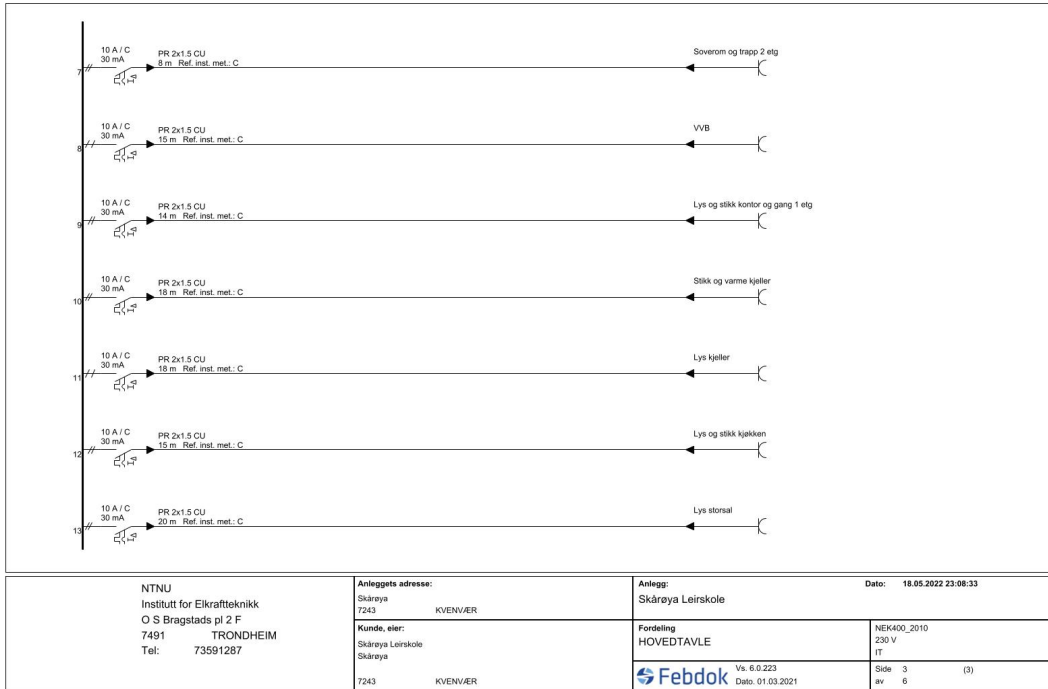
Detaljert kursfortegnelse

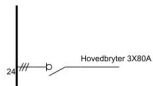
Fordeling for sakkyndig betjening		Maksimalte feltestrømmer og impedanser i				Fordeling				Minimalte feltestrømmer og impedanser i				Fordeling			
Fordelingstype:	IT	I_{kmax} [kA] : 0.628	$\cos \phi$: 0.02	R+ [Ω] : 0.0038		I_{kmax} [kA] : 0.477	$\cos \phi$: 0.99	R+ [Ω] : 0.2619		I_{kmin} [kA] : 0.413	$\cos \phi$: 0.99	X+ [Ω] : 0.0372		I_{kmax} [kA]	$\cos \phi$: 0.99		I_{kmin} [kA]
Jordelektrode:	Bånd/tråd	I_{k2max} [kA] : 0.544	$\cos \phi$: 0.02	X+ [Ω] : 0.2219		I_{k2min} [kA] : 0.413				I_{k2min} [kA] : 0.413							
Ujevnsforbindelser																	
Sammenlagret strøm [A]:		L1: 196.39 A	L2: 201.61 A														
		L3: 201.61 A															
Kurs nr.	Identifikasjon Beskrivelse Jording/utjevning	Lasttype Fassekobling Fordelingstype	Kabelidentifikasjon Kabeltype-/ledertøsning Ref.inst. net.	Lengde [m]	k_1 k_2 k_3	I_z [A] I_b [A] ΔU [%]	Uststyr	I_{kmax} [kA] I_{kmin} [kA]	Veridentifikasjon Fabrikat Type	I_n [A] I_c [kA] I_{lm} [m]							
19	Ledig	Reservekurs L1-L2-L3						0.628 0.413									
20	Ledig	Reservekurs L1-L2-L3						0.628 0.413									
24	Hovedbryter 3X80A	Reservekurs L1-L2-L3															


EHKonsult Vikstrøm 7250 MELANDSLØ Tlf: 95 25 15 00		Anleggs adresse: Sikårøya 7243 KVENVER		Anlegg: Sikårøya Leirskole, Samletshus		Dato: 01.02.2022 14:51:51	
Kunde, eier: Sikårøya Leirskole Sikårøya 7243 KVENVER		Fordeling HOVEDTAVLE		NEK 400:2010 230 V IT		Side 4 av 4	
Vs: 6.6223 Dato: 01.03.2021							

8.2.2 Fordelingsskjema, Sanitetshus Skårøya inkludert nye kurs 25

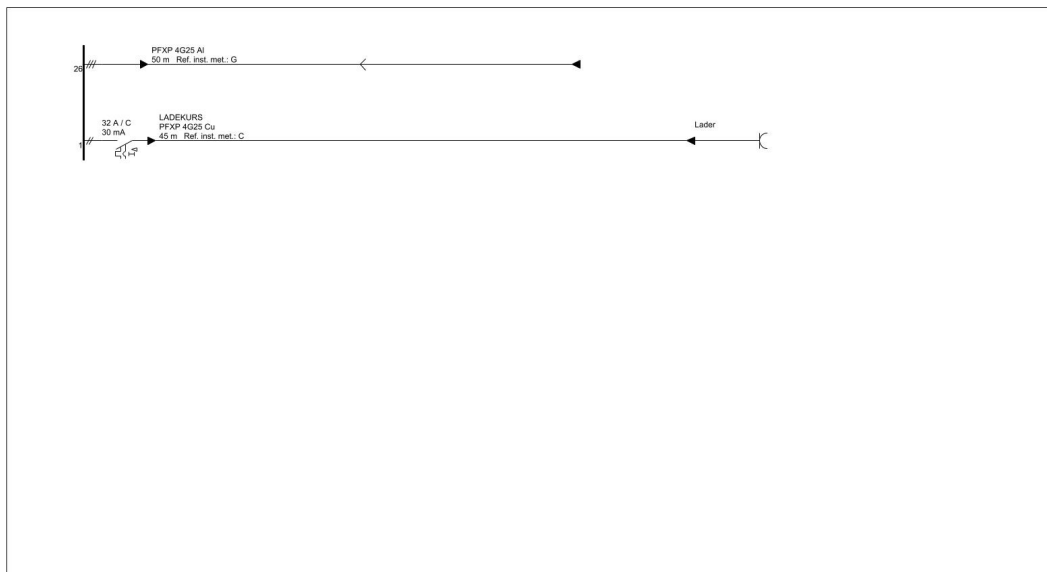






NTNU Institutt for Elkraftteknikk O S Bragstads pl 2 F 7491 TRONDHEIM Tel: 73591287	Anleggets adresse: Skårøya 7243 KVENVÆR	Anlegg: Skårøya Leirskole	Dato: 18.05.2022 23:08:33
	Kunde, eier: Skårøya Leirskole Skårøya 7243 KVENVÆR	Fordeling HOVEDTAVLE  Vs. 6.0.223 Dato: 01.03.2021	NEK400_2010 230 V IT Side 5 (5) av 6

8.2.3 Underfordelingsskjema, Sanitetshus Skårøya



NTNU Institutt for Elkraftteknikk O S Bragstads pl 2 F 7491 TRONDHEIM Tel: 73591287	Anleggets adresse: Skårøya 7243 KVENVÆR	Anlegg: Skårøya Leirskole	Dato: 18.05.2022 23:06:33	
	Kunde, eier: Skårøya Leirskole Skårøya 7243 KVENVÆR	Fordeling KOBLINGSPUNKT TIL LEADER	NEK400_2010 230 V IT	
		Vs. 6.0.223 Dato: 01.03.2021	Side 6 av 6 (6)	Febdok

8.2.4 Beregninger for elektroinstallasjoner ved Skårøya

Beregningsresultater

Kurs nr. 1

Det er angitt at kursen skal være beskyttet av et strømstyrt jordfeilvern

Variabel last	:	:		
Beskrivelse	:	Lader		
Merkespenning	:	230 V	Antall faser	: 2
Laststrøm	:	32,00 A	Fasekobling	: L1-L2
Cos phi	:	0.9		
Merkeeffekt, Pn	:	6,6 kW	Utnyttelsegrad	: 1
Merkeytelse, Sn	:	7,4 kVA	Samtidighetsfaktor	: 1

Spenningsfall totalt	:	3,0 V	1,29 %	Klemmespenning	: 227,0 V
...til siste fordeling	:	0,6 V	0,25 %		
...over Kabel	:	2,5 V	1,10 %	Maksimal lengde	: 162,8 m

Kabel	:	LADEKURS		
Kabeltype/-lederløsning	:	PFXP 4G25 Cu		
Ref. inst. met.	:	C		
Omgivelsestemperatur	:	30,0 °C	Ingen parallelle kurser	
Kabellengde	:	45,0 m	Annen korreksjonsfaktor	1
Tap i kabel	:	80,17 W	1,78 W/m	
Strømføringsevne	:	88,00 A	Laststrøm i kabel	32,00 A

Kombinert vern, merking	:			
Fabrikkat	:	SCHNEIDER	Artikkel nummer	: 21838
Bryterenhet	:	C60H-JFA C	EAN-nummer	:
Utløserenhet	:	JFA C KURVE	Bryteevne	: 7,50 kA Ics
Merkestrøm	:	32,00 A	I2-verdi	: 46,40 A
			I5-(Im-) verdi	: 320,00 A
Kabel, største lengde som vil gi elektromagnetisk utkobling av alle feilstrømmer				: 5,4 m

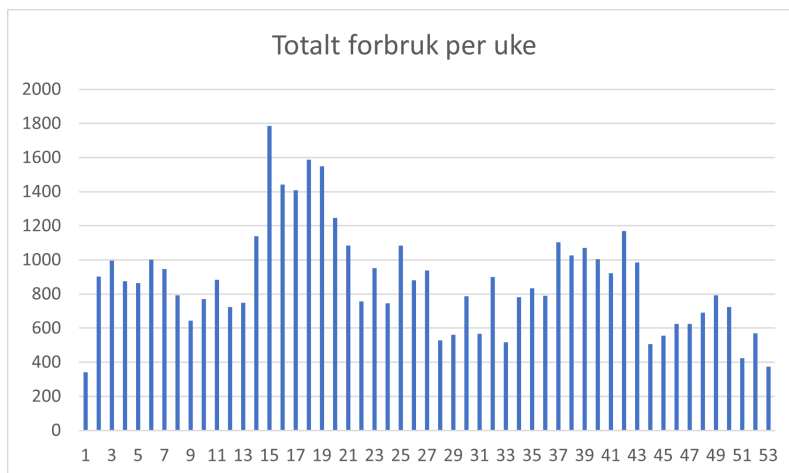
Kombinert vern					
	Ik [kA]	cos phi	i [kA]	Kabel t=k²S²/I² [s]	t utkobling [s]
Ik2p max	0,512	0,27	0,512	31,531	0,018
Ik2p max ende	0,481	0,38	0,481	35,726	0,018
Ik2p min	0,290	0,99	0,290	98,283	3,701

@ = Vernet tilfredsstiller ikke alle krav i forskrift/norm
= Ikke forskriftsstridig, men vær oppmerksom på løsningen

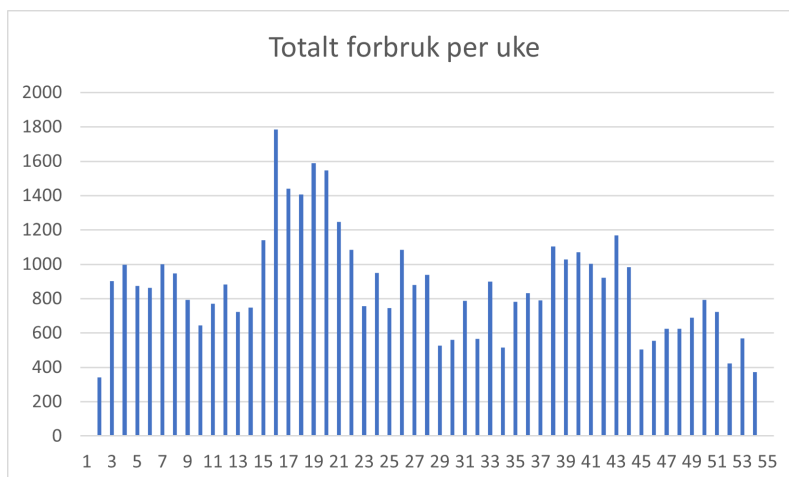
Anleggets adresse: Skårøya 7243 KVENVÆR	Beregningsresultater for anlegget: Skårøya Leirskole	Dato: 18.05.2022 23:08:33
NTNU Institutt for Elkraftteknikk O S Bragstads pl 2 F 7491 TRONDHEIM Tel: 73591287	Fordeling KOBLINGSPUNKT TIL LEDER	NEK 400:2010 230 V IT
	 Ver. 6.0.223 Dato. 01.03.2021	Side 1 (7) av 1

8.3 Forbruksmønster Skårøya

8.3.1 Ukentlige effekttopper og forbruk i uken

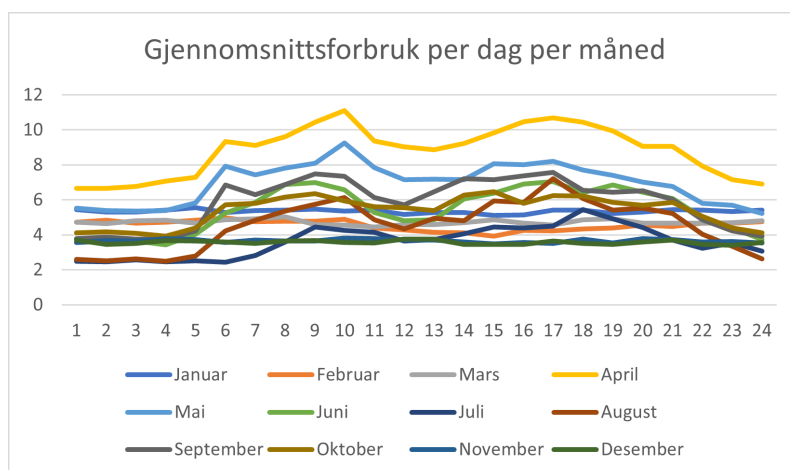


Figur 37: Høyest forbruk per uke



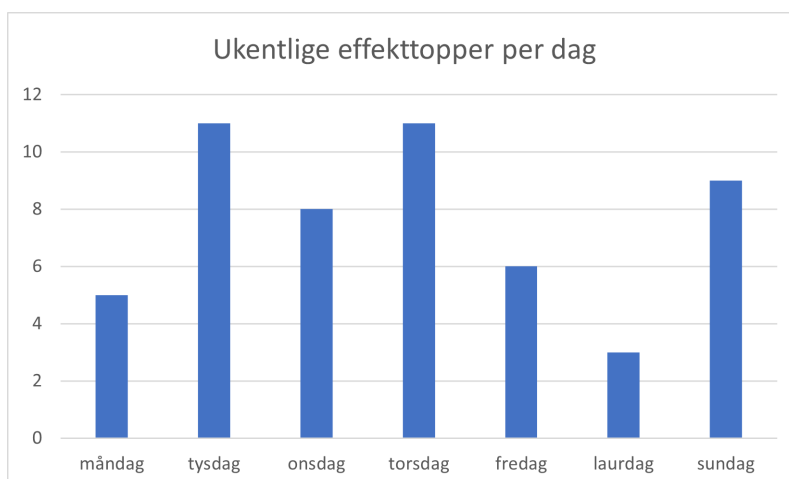
Figur 38: Høyest ukentlig forbruk

8.3.2 Gjennomsnittsförbruk per dag per måned

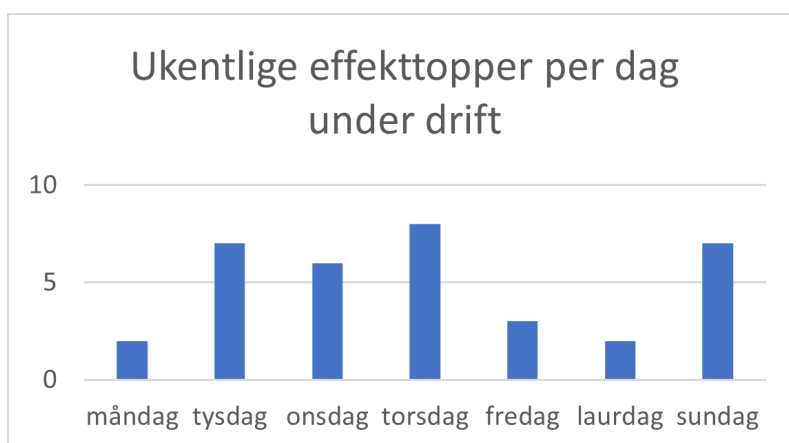


Figur 39: Gjennomsnittsförbruk per dag per måned

8.3.3 Antall effekttopper per dag i løpet av en uke gjennom hele året og ved drift

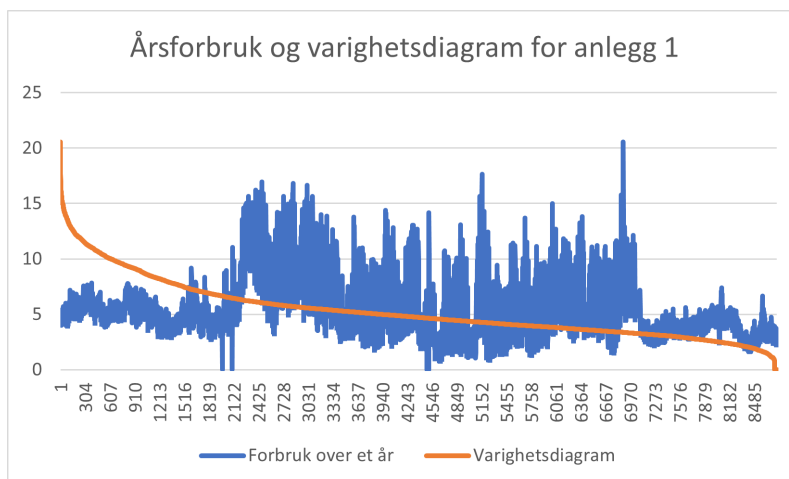


Figur 40: Antall effekttopper per dag i løpet av en uke gjennom hele året

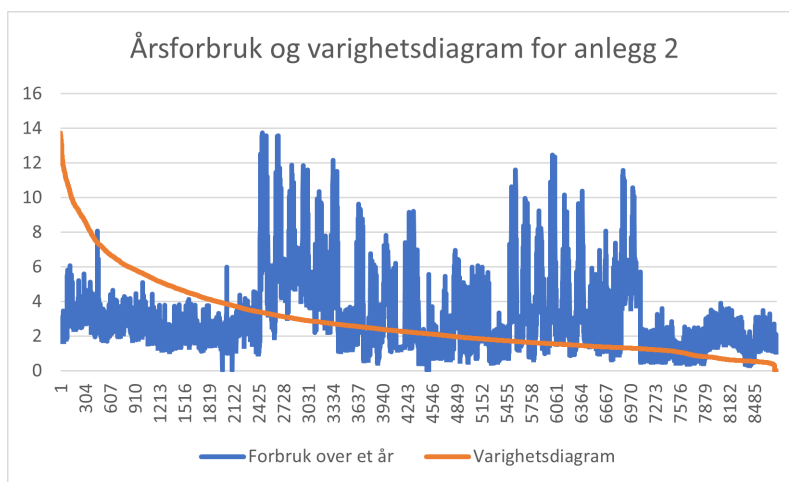


Figur 41: Antall effekttopper per dag i løpet av en uke gjennom hele driftsperioden

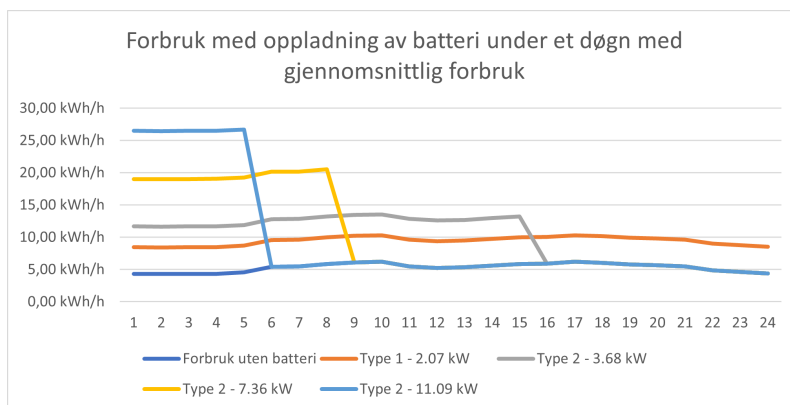
8.3.4 Varighetskurve og årsforbruk anlegg 1



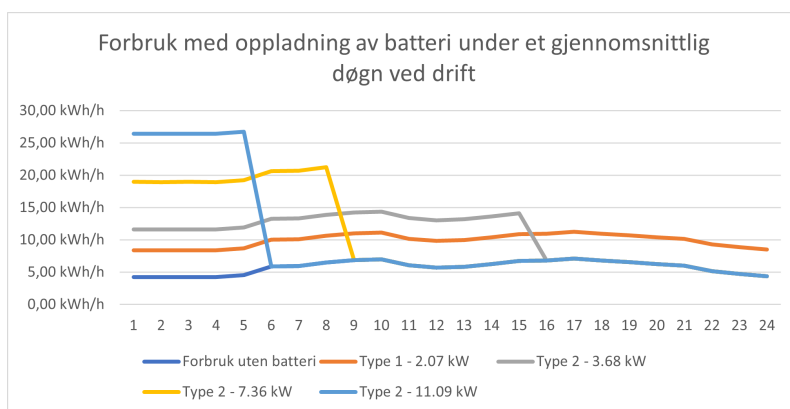
8.3.5 Varighetskurve og årsforbruk anlegg 2



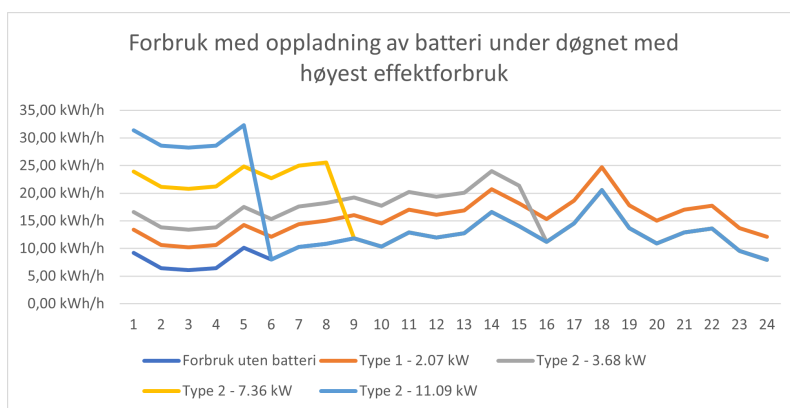
8.3.6 Case 1 - Oppladning av batteri



Figur 42: Gjennomsnittlig døgn

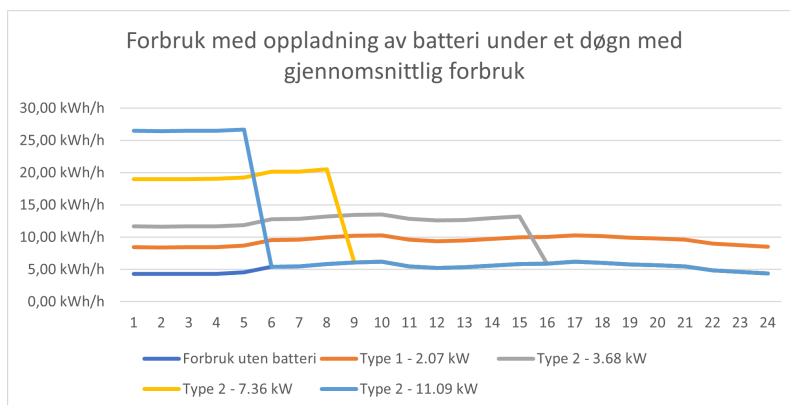


Figur 43: Gjennomsnittlig døgn under drift

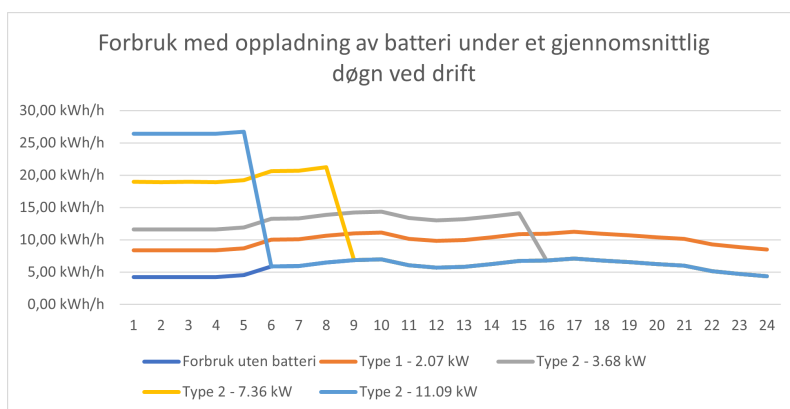


Figur 44: Døgnet med høyest forbruk

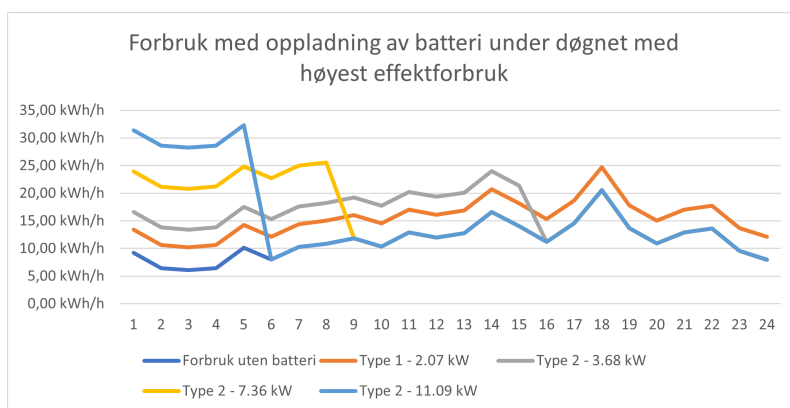
8.3.7 Case 1.2 - Oppladning av batteri



Figur 45: Gjennomsnittlig døgn

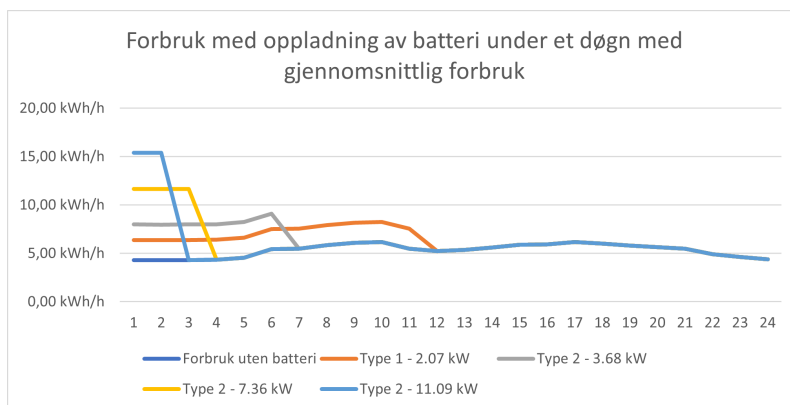


Figur 46: Gjennomsnittlig døgn under drift

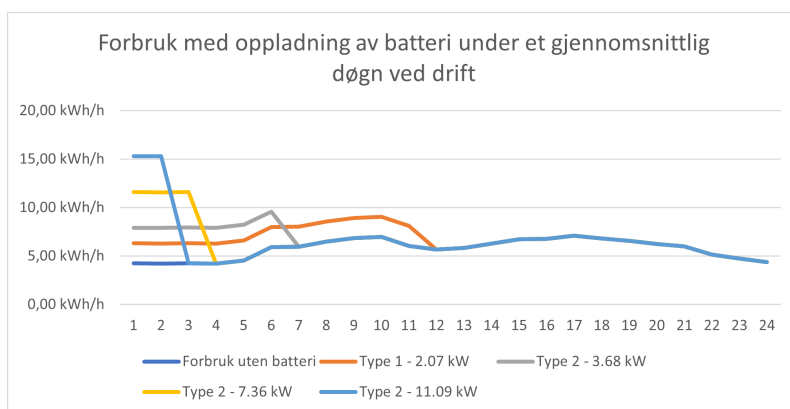


Figur 47: Døgnet med høyest forbruk

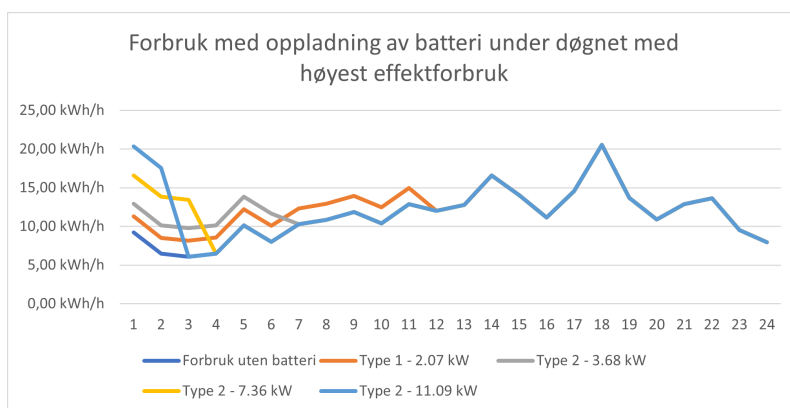
8.3.8 Case 2 - Oppladning av batteri



Figur 48: Gjennomsnittlig døgn

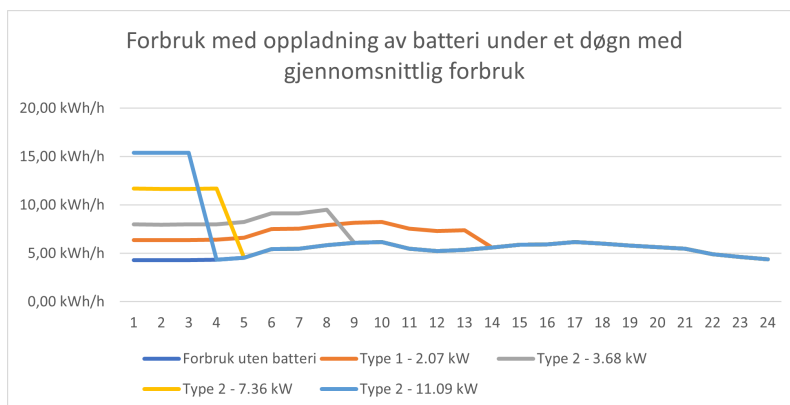


Figur 49: Gjennomsnittlig døgn under drift

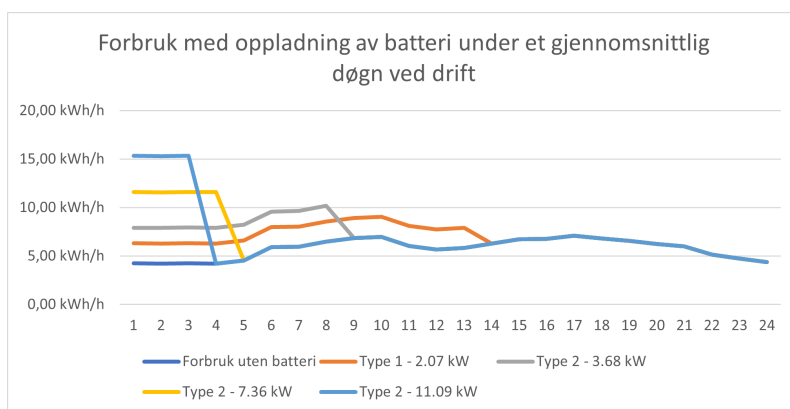


Figur 50: Døgnet med høyest forbruk

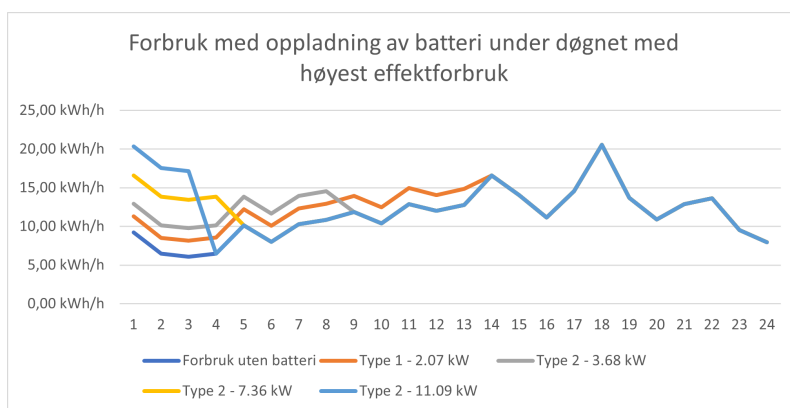
8.3.9 Case 3 - Oppladning av batteri



Figur 51: Gjennomsnittlig døgn

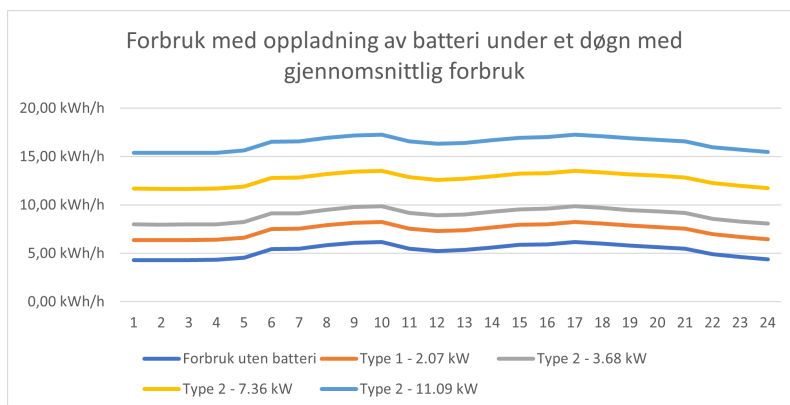


Figur 52: Gjennomsnittlig døgn under drift

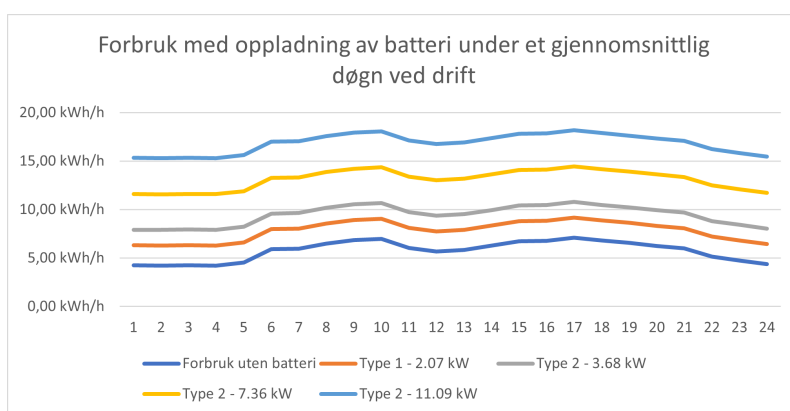


Figur 53: Døgnet med høyest forbruk

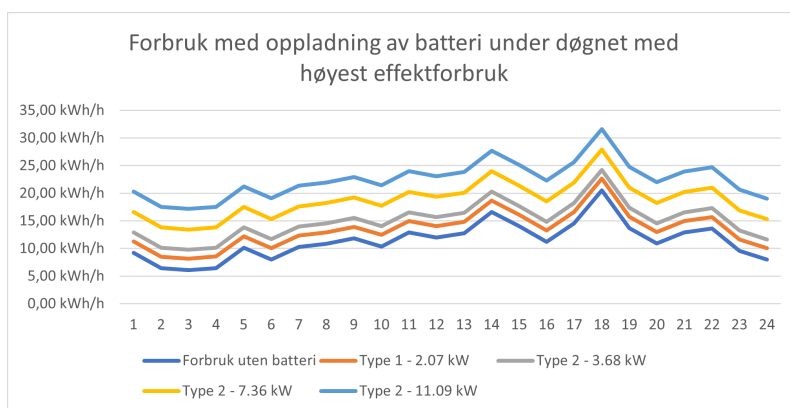
8.3.10 Case 3.2 - Oppladning av batteri



Figur 54: Gjennomsnittlig døgn

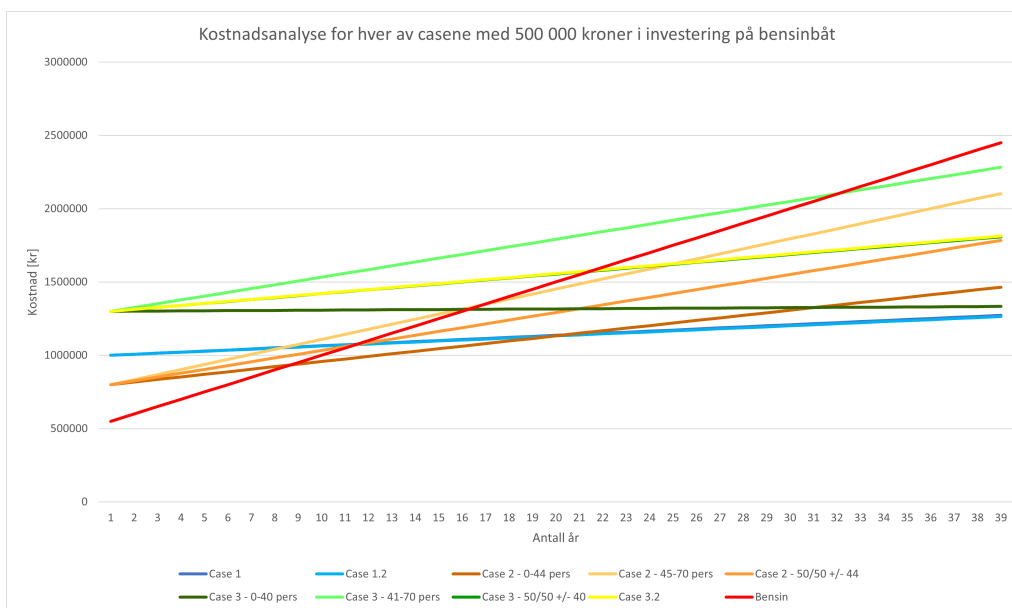


Figur 55: Gjennomsnittlig døgn under drift

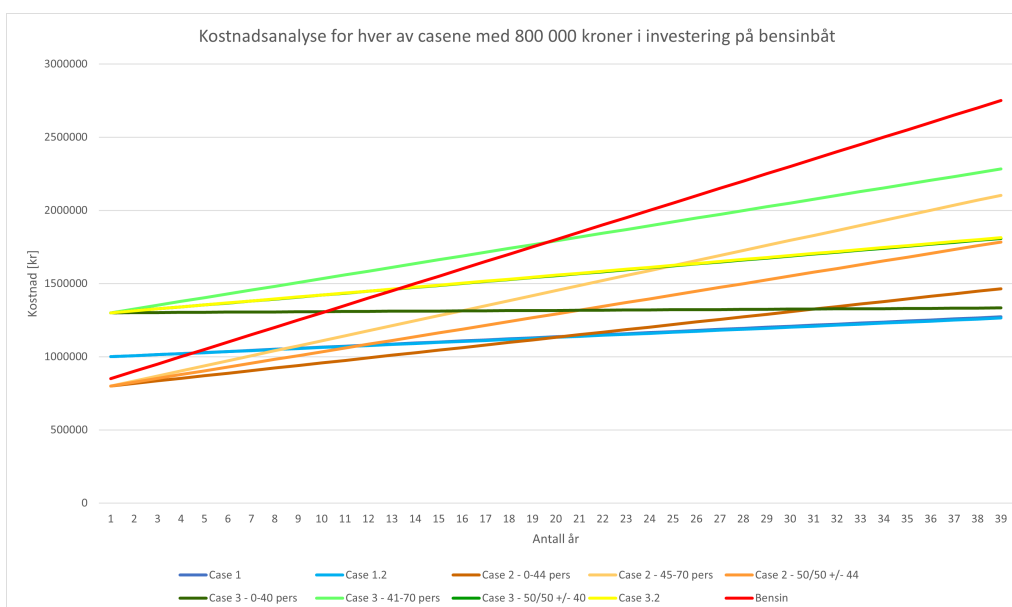


Figur 56: Døgnet med høyest forbruk

8.4 Kostnadsanalyse med investering i bensinbåt



Figur 57: Kostnadsanalyse ved 500 000 kroner i investering for ny bensinbåt



Figur 58: Kostnadsanalyse ved 800 000 kroner i investering for ny bensinbåt

Referanser

- Bartleby (2022). *Three phase induction motor*. URL: <https://www.bartleby.com/subject/engineering/electrical-engineering/concepts/three-phase-induction-motor> (sjekket 12. apr. 2022).
- BBC (2022). *Electric Cars: What will happen to all the dead batteries?* URL: <https://www.bbc.com/news/business-56574779> (sjekket 5. mai 2022).
- Bestetidareise (2022). *Beste tid å reise Kvenvær*. URL: <https://www.bestetidareise.no/norge/kvenvaer-2941272/> (sjekket 15. apr. 2022).
- ClimatePortal (2022). *How much CO₂ is emitted by manufacturing batteries*. URL: <https://climate.mit.edu/ask-mit/how-much-co2-emitted-manufacturing-batteries> (sjekket 4. mai 2022).
- DragonflyEnergy (2022). *Why does energy density matter in batteries?* URL: <https://dragonflyenergy.com/why-does-energy-density-matter-in-batteries/> (sjekket 20. apr. 2022).
- EDFenergy (2022). *Electric car battery life, cost of replacement, recycling and leasing*. URL: <https://www.edfenergy.com/electric-cars/batteries> (sjekket 5. mai 2022).
- Ericson, T. og B. Halvorsen (2008). «Hvordan varierer timeforbruket av strøm i ulike sektorer?» I: *Økonomiske analyser* 6, s. 46–51.
- Erik Emilsson, Lisbeth Dahllöf (2019). «Lithium-Ion Vehicle Battery Production». I: *IVL Swedish Environmental Research Institute*, s. 23–24.
- Gracht, Carlos Rosado van der (2022). *Could Yucatán be sitting on billions worth of lithium*. URL: <https://yucatanmagazine.com/could-yucatan-be-sitting-on-billions-worth-of-lithium/> (sjekket 10. mai 2022).
- Griug.no (2022). *Generell teknisk informasjon*. URL: <https://www.griug.no/nett-tjenester/teknisk-informasjon/> (sjekket 29. mar. 2022).
- Hammes, Kjetil (2022). *Innenbordsmotor eller utenbordsmotor – hva er best?* URL: <https://www.santanderconsumer.no/magasinet/ferie-og-fritid/batliv/innenbordsmotor-eller-utenbordsmotor/> (sjekket 26. apr. 2022).
- Hansen, Eilif Hugp (2021). *Elektroinstallasjoner*. Classica Forlag 2021.
- Kiwiprops (2022). *Calculate horsepower / kW required*. URL: <https://www.kiwiprops.co.nz/cms/index.php/resources-general/vesselspeedcalc> (sjekket 24. apr. 2022).
- Kothari, D.P og I.J Nagrath (2006). *Electric Machines*. 4th. The McGraw-Hill Companies. ISBN: 0070616663, 9780070616660.
- KværnøBoats (2022). *Våre båter*. URL: <https://www.kvernoboats.no/vare-bater/> (sjekket 6. mai 2022).
- Ladestasjoner (2022a). *Hva er Mode 1, 2, 3 og 4?* URL: <https://www.ladestasjoner.no/lading/kode-mode/> (sjekket 6. apr. 2022).
- (2022b). *Ladetyper og ladetid*. URL: <https://www.ladestasjoner.no/hurtiglading/Ladetyper-og-ladetid> (sjekket 6. apr. 2022).
- Leirskoleforening, Norsk (2022). «Høringsuttalelse fra Norsk Leirskoleforening». I: *Norsk Leirskoleforening*, s. 1–5.
- Miljødirektoratet (2022). *Klimagassutslipp fra olje- og gassutvinning i Norge*. URL: <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/klima/norske-utslipp-av-klimagasser/klimagassutslipp-fra-olje--og-gassutvinning/> (sjekket 10. mai 2022).
- NAF (2022). *Alt du må vite om drivstoff*. URL: <https://nye.naf.no/bilhold/kostnader/alt-du-ma-vite-om-drivstoff> (sjekket 8. apr. 2022).
- Nissen-Lie, Axel (2021). *Fritidsbåter forurenser mindre enn tidligere antatt*. URL: <https://www.batmagasinet.no/batmotorer-miljo-toppsak/fritidsbater-forurenser-mindre-enn-tidligere-antatt/724457> (sjekket 21. mai 2021).
- NorgesEnergi (2022). *Historiske strømpriser*. URL: <https://norgesenergi.no/hjelp/strompriser/historiske-strompriser/> (sjekket 4. mai 2022).
- Norsirk (2022). *Fremtidens batterier*. URL: <https://norsirk.no/blog/2018/12/04/fremtidens-batterier/> (sjekket 9. mai 2022).
- NVE (2021). *Strømforbruk i Norge har lavt klimagassutslipp*. URL: <https://www.nve.no/nytt-fra-nve/nyheter-energi/stromforbruk-i-norge-har-lavt-klimagassutslipp/> (sjekket 23. feb. 2021).
- OmniCalculator (2022a). *Boat Speed Calculator*. URL: <https://www.omnicalculator.com/everyday-life/boat-speed> (sjekket 24. apr. 2022).
- (2022b). *Hull Speed Calculator*. URL: <https://www.omnicalculator.com/sports/hull-speed> (sjekket 7. apr. 2022).

-
- ScienceDirect (2022a). *Low Energy Density*. URL: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/low-energy-density> (sjekket 22. feb. 2022).
- (2022b). *Real-world study for the optimal charging of electric vehicles*. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484719310911> (sjekket 12. mai 2022).
- Sivertsen, Lasse (2020). *Høyspenningssystemer*. Fagboksforlaget 2020.
- Sjøfartsdirektoratet (2022a). *12 passasjerer eller færre - spørsmål og svar*. URL: <https://www.sdir.no/veiledninger/12-passasjerer-eller-farre-sporsmal-og-svar/> (sjekket 27. apr. 2022).
- (2022b). *Fritidsskippercertifikat*. URL: <https://www.sdir.no/fritidsbat/sertifikater/fritidsskippercertifikat/> (sjekket 27. apr. 2022).
- (2022c). *Ny forskrift om fartøy under 24 m som fører 12 eller færre passasjerer*. URL: <https://www.sdir.no/contentassets/6e5146f562b642eba04fe3c98749cdc3/ny-forskrift-om-fartoy-under-24-m-som-forer-12-eller-farre-passasjerer-002.pdf?t=1651075619054> (sjekket 27. apr. 2022).
- Stensen, Anders (2022). *Slik produseres oljen*. URL: <https://www.tu.no/artikler/slik-produseres-oljen/259363> (sjekket 10. mai 2022).
- Store Norske Leksikon, SNL (2022a). *Automatsikring*. URL: <https://snl.no/automatsikring> (sjekket 20. mar. 2022).
- (2022b). *CO2-ekvivalenter*. URL: <https://snl.no/CO2-ekvivalenter> (sjekket 9. mai 2022).
- (2022c). *Effekt(energi)*. URL: <https://snl.no/effekt.-energi> (sjekket 20. mar. 2022).
- (2022d). *Elektrisk maskin*. URL: https://snl.no/elektrisk_maskin (sjekket 12. apr. 2022).
- (2022e). *energilagring*. URL: <https://snl.no/energilagring> (sjekket 22. feb. 2022).
- (2022f). *Fakling (petroleumsvirksomhet)*. URL: https://snl.no/fakling.-_petroleumsvirksomhet (sjekket 10. mai 2022).
- (2022g). *Forbrenningsmotor*. URL: <https://snl.no/forbrenningsmotor> (sjekket 5. apr. 2022).
- (2022h). *Hestekrefter*. URL: <https://snl.no/hestekraft> (sjekket 12. apr. 2022).
- (2022i). *Klima i Norge*. URL: https://snl.no/klima_i_Norge (sjekket 15. apr. 2022).
- (2022j). *Ottoprosess*. URL: <https://snl.no/ottoprosess> (sjekket 7. apr. 2022).
- (2022k). *Overføringsnett*. URL: <https://snl.no/overf%C3%B8ringsnett> (sjekket 20. mar. 2022).
- (2022l). *Overspenningsvern*. URL: <https://snl.no/overspenningsvern> (sjekket 20. mar. 2022).
- (2022m). *Plane*. URL: <https://snl.no/plane> (sjekket 7. apr. 2022).
- (2022n). *Påhengsmotor*. URL: <https://snl.no/p%C3%A5hengsmotor> (sjekket 5. apr. 2022).
- (2022o). *Varmekraft*. URL: <https://snl.no/varmekraftmaskin> (sjekket 7. apr. 2022).
- Teknisk Ukeblad, TU (2022a). *Slik fungerer de forskjellige ladepluggene til elbil*. URL: <https://www.tu.no/artikler/slik-fungerer-de-forskjellige-ladepluggene-til-elbil/223939> (sjekket 6. apr. 2022).
- (2022b). *Så mye energi brukte fossilbilene*. URL: <https://www.tu.no/artikler/sa-mye-energi-brukte-fossilbilene/507345> (sjekket 25. feb. 2022).
- Torqueedo (2022). *Deep Blue 50 RLX System*. URL: <https://www.torqueedo.com/en/products/outboards/deep-blue/deep-blue-50-r/M-3201-00.html> (sjekket 26. apr. 2022).
- Torqueedo (2022). *Deep Blue 100i 2500*. URL: <https://www.torqueedo.com/en/products/inboards/deep-blue-100i-2500/000-01054.html> (sjekket 26. apr. 2022).
- Valmot, Odd Richard (2022a). *Derfor er forbrenningsmotoren en kompromissmaskin*. URL: <https://www.tu.no/artikler/derfor-er-forbrenningsmotoren-en-kompromissmaskin/350758> (sjekket 28. apr. 2022).
- (2022b). *Elbilen er langt mindre effektiv enn mange tror*. URL: <https://www.tu.no/artikler/elbilen-er-langt-mindre-effektiv-enn-mange-tror/224002> (sjekket 28. apr. 2022).
- Zaptec (2022). *Få mer strøm til lading ved å måle forbruket og styre strømmen*. URL: <https://zaptec.com/zaptec-apm/> (sjekket 26. mar. 2022).
-

