



Forsuaret

Bacheloroppgave

OPG3301

Predefinert informasjon

Startdato:	26-11-2021 09:00	Termin:	2021 HØST
Sluttdato:	10-12-2021 20:00	Vurderingsform:	Norsk 6-trinns skala (A-F)
Eksamensform:	Oppgave		
Flowkode:	1627 OPG3301 1 O 2021 HØST		
Intern sensor:	Alexander Sauter		

Deltaker

Naun:	Oda Marie Strand Storholm
Kandidatnr.:	
FHS-id:	omstorholm@mil.no, ostorholm@mil.no

Gruppe

Gruppenavn:	Enmannsgruppe
Gruppenummer:	5
Andre medlemmer i gruppen:	Deltakeren har innlevert i en enkeltmannsgruppe



Sjøkrigsskolen

Bacheloroppgave

Elektrifisering av kran og trolley på oppdrettsplattformer

av

Av Oda Marie Strand Storholm

Levert som en del av kravet til graden:

BACHELOR I MILITÆRE STUDIER MED FORDYPNING I LEDELSE -
MARINEINGENIØR ELEKTRO

Antall ord: 14743

Innlevert: Desember 2021

Godkjent for offentlig publisering.

I Publiseringsavtale

En avtale om elektronisk publisering av bachelor/prosjektoppgave

Kadetten(ene) har opphavsrett til oppgaven, inkludert rettighetene til å publisere den.

Alle oppgaver som oppfyller kravene til publisering vil bli registrert og publisert i

Bibsys Brage når kadetten(ene) har godkjent publisering.

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

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

Plagiaterklæring

Jeg (Vi) erklærer herved at oppgaven er mitt eget arbeid og med bruk av riktig kildehenvisning. Jeg (Vi) har ikke nyttet annen hjelp enn det som er beskrevet i oppgaven.

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

Dato: 10 – 12- 2021

Kadett navn: Oda Storholm

Kadett, signatur : _____

II Forord

Jeg har laget et førsteutkast av ett kran og trolley konsept med fokus på det elektriske og laget en liten modell til å kunne teste noen av funksjonene vurdert i konseptet. Arbeidet ble så smått startet i August 2021 og står ferdig i Desember 2021. I arbeidet har med bacheloroppgaven har jeg vært innoen nesten alle ingeniørfagen jeg har hatt på skolen og til og med truffet nye fagfelt. Å skulle dimensjonere et kran og trolley anlegg har utfordret meg, jeg måtte vurdere ulike faktorer mot hverandre med faktorer gitt på forhånd. Kontaktpersonen min i Motus ble syk, så det ble dessverre mindre korrespondanse enn ønsket, men det gjorde at jeg måtte ta flere selvstendige vurderinger. Jeg har fått mye erfaring med å se ulike komponenter, fra batteri til trommel, i sammenheng. En tradisjonell bacheloroppgave består av å skulle utrede en problemstilling, for så å drøfte funnene. Det har vært interessant å skulle balansere dette med å lage en teknisk oppgave. I oppgaven har jeg måtte drøfte for å lage et konsept, utredet konseptet, for så å ha drøftet igjen for å se om løsningen ble god. Jo mer jeg satte meg inn i oppgaven, jo flere deltemaer ble det å undersøke. Temaet er veldig bredt og det å måtte avgrense seg var utfordrende. Oppgaven skal kunne forstås av folk med Bachelor med tekniske fag, det kan være fordel å hatt fag innen elektro. Og jeg håper den vil være interessant til både x og y.

Takk til Alexander Sauter for anskaffelse av deler, og god hjelp med programmering og kobling av modell.

Takk til Bernt Elias Sandøy for hjelp med oppgave og problemstilling fra de på Motus Technology AS.

Takk til Frode Wikne for 3D printing av deler til modellen og hjelp til å sett opp deler.

III Oppgaveformulering

Fiskeoppdrettene skal bli større. Selskapet Motus har gitt i oppgave å se på muligheten for delvis eller full-elektrifisering av trolleyene som skal kunne kjøre vedlikeholdskranene på plattformen. I tillegg skal mulighetene for å elektrifisere kranene utforskes. Nå er standarden at kran og trolley driftes av en dieselmotor og hydraulikk.

Kadetten skal sette seg inn i relevant teknologi som kan vurderes for en løsning og sette seg inn i gjeldene regelverk som skal følges for slike kraner og plattformer. Videre skal kadetten undersøke hvilke muligheter som lar seg bruke av alternative komponenter. Kadetten skal beregne forbruket til konseptet og undersøke hvilke komponenter som kan brukes. Kadetten skal lage en skalert modell med styresystem for å kunne simulere deler av den kran/trolley løsningen de velger å undersøke og vurdere om hvor god løsningen er.

IV Sammendrag

I denne oppgaven har det blitt undersøkt hvordan dagens kran- og trolley løsning kan gjøres mer miljøvennlig. Små kraner er allerede elektrisk, men store kraner slik som kranen i oppgaven som skal løfte 20 tonn er enda produsert dieseldreven. For å gjøre løsningen mer miljøvennlig har det blitt undersøkt om en hybrid eller elektrisk løsning har best potensial. Basert på drøftingen er det best å utvikle en helt elektrisk løsning.

Videre i oppgaven har det blitt beregnet effektbehov for den elektriske løsningen. Denne utregningen er første utkast og må itereres på. Vet å benytte utregningsmetodene og komponentene som er funnet i oppgaven kan neste iterasjon lages. Så kan det hende at det blir andre komponenter tredje gang. Vekten endrer seg når bæreverket blir prosjektert. Virkningsgrader endrer seg når komponenter blir byttet ut. Meningen er å kunne benytte den oppgaven til å videreutvikle en mer miljøvennlig kran og trolley løsning.

Ut i fra beregningene kan det konkluderes med at en helt elektrisk løsning kan lages. Løsningen vil være mer miljøvennlig, men til hvilken grad avhenger av hvordan strømmen batteriene opplades med blir produsert. Anbefalingen er å videreutvikle kran og trolley løsningen slik at de blir produsert framfor dieseldrevne alternativ. Denne endringen vil være et godt bidrag til det grønne skiftet.

V Innholdsfortegnelse

I Publiseringsavtale	3
II Forord	4
III Oppgaveformulering	5
IV Sammendrag	6
V Innholdsfortegnelse	7
VI Figurer	9
VII Tabeller	11
VII Nomenklatur/forkortelser/symboler	12
1 Innledning	13
1.1 Bakgrunn	16
1.2 Mål	16
1.3 Avgrensninger	17
1.4 Struktur	17
2 Teori	18
2.1 Plattformkraner	18
2.2 Elektromotorer	20
2.3 Kraftelektronikk	22
2.4 Energistyring og kraftforsyning	25
2.5 Batterier	27
3 Konseptutvikling	28
3.1 Hybrid eller elektrisk løsning?	28
3.2 Utredning av et elektrisk konsept	30
4 Skalert modell	43
4.1 Hardware	44
4.2 Software	53

5 Drøfting av konseptet som helhet	61
6 Konklusjon med anbefaling	65
Kilder	66
Vedlegg	70
Vedlegg A: Beregninger delkapittel 3.2	70
Vedlegg B: Dokumenter vedlagt i egne filer	73

VI Figurer

Figur 1a. Kommende plattformer (SalMar, 2020).	14
Figur 1b. Skisse på hvordan kran og trolley kan se ut.	15
Figur 2. Illustrasjon “Rail Cranes” av Motus, 2021.	18
Figur 3a. Diodelikeretter.	22
Figur 3b. Spenning i likeretter.	22
Figur 4. Vekselretter.	23
Figur 5. Frekvensomformer DC/AC, (Thorsen, 2000, s.146).	24
Figur 6. Frekvensomformer, trefase AC/AC.	24
Figur 7a. AC-fordeling (Geertsma, 2017).	26
Figur 7b. DC-fordeling (Geertsma, 2017).	26
Figur 8. Eksempel på 100 kW HPU, (Ace-Winches 2021).	32
Figur 9a. AC-fordeling.	35
Figur 9b. DC-fordeling.	35
Figur 10. Virkningsgrad av en vekselretter (Mark Fedkin, John A. Dutton, 2020, kap 6.5, figur 11.8).	37
Figur 11a. Batteri fordeling.	39
Figur 11b. Lagfordeling batterier.	39
Figur 11c. Volum battericelle.	39
Figur 12. Mulighet for å skyve ut batteri.	41
Figur 13. Simplifisert skjema over kranmodellen.	43
Figur 14. Bilde av kranmodellen.	44
Figur 15. Bilde av lønne trefasemotor 7AA63M02K.	46
Figur 16. Bilde av Parker AC10 serie, Frekvensomformer.	47
Figur 17a. Omkrets formel.	48
Figur 17b. Formel turtall.	48
Figur 17c. Forholdet mellom turtall og moment.	48
Figur 18. Trommelen med feste og hjullagre.	49
Figur 19. Design av trommel.	49
Figur 20. Reim og reimskiver.	49
Figur 21. Turtallsmåler.	50
Figur 22a. Stjerne trommel.	50
Figur 22b. Stjerne motor.	50

Figur 23. Spole til vekselstrøm måling.	51
Figur 24. Induktiv sensor til kranmodell.	51
Figur 25a. Variabler Kran_Kontroll.	53
Figur 25b. Kran_kontroll, kontroll av motor.	54
Figur 25c. Kran_kontroll, overvåkning av batteri.	54
Figur 26a Variabler Posisjon_krok.	57
Figur 26b Kode Posisjon_krok.	57
Figur 27 strøm_RMS kode.	58
Figur 28 Vekselstrøm vs I_rms.	59
Figur 29 Formel for I_rms.	59
Figur 30. Brukerpanel.	60

VII Tabeller

Tabell 1, AC-motor spesifikasjoner (VEM ,2021)	21
Tabell 2, Egenskaper S11H 280 S10 (VEM, 2021)	31
Tabell 3, Forbruk bachelor	45
Tabell 4, Komponenter i PLS	52

VIII Nomenklatur/ Forkortelser / Symboler

A	Ampere
AC/DC	Alternating Current/Direct Current
AI	Analog Input
DI	Digital Input
DO	Digital Output
EMS	Energy Management System/energistyringssystem
g	tyngdeakselerasjon=9.81 m/s ²
HMI	Human Machine Interface
HPU	Hydraulic power unit
I/O	Input/Output
m	meter
n	turtall
P	effekt, måles i watt [W]
PLS	Programmerbar Logisk Styring
PMS	Power Management System
RMS	Root Mean Square
T	moment [Nm]
t	tonn
U	Spenning, måles i Volt [V]
V	Volum, måles i kubikkmeter [m ³]
v	hastighet
VAC	Volt Alternating Current
VDC	Volt Direct Current
Wh	Watt Hours/wattimer
Ω	Ohm
Pa	Pascal SI-enhet for trykk
r	radius
ρ	massetetthet

1 Innledning

Selskapet Motus produserer ulike typer kraner og lifter fra konseptutvikling og planlegging til ferdig produkt. Motus sendte et forslag til en bacheloroppgave som innebærer å utbedre nåværende dieselhydraulisk kran og trolley løsning på oppdrettsplattformene, som skal bygges utover de neste årene. Dieselkraner produserer et høyt utslipp. For å spare miljøet skal det undersøkes om kran og trolley systemet kan bli hybrid-dieselektrisk eller helelektrisk. Begge muligheter kan potensielt spare miljøet. En hybrid løsning innebærer at anlegget driftes av en elektrisk motor som mates av batterier, batteriene kan opplades eksternt eller av en dieselgenerator i trolleyen. En helelektrisk løsning har en elektrisk motor og batterier, men ingen dieselgenerator. En rent elektrisk driftet kran og trolley må derfor opplades eksternt. Pris er ikke en stor del av prioriteringen ettersom at disse kranene blir en liten del av budsjettet til oppdrettsplattformene. For å sitere SalMar, potensielle kunder for disse kranene:

“SalMars fundamentale prinsipp er å etterlate minimale fotavtrykk i områdene vi opererer i. Oppdrett av laks er en av de mest miljøvennlige måtene å produsere mat på, men totalt står matproduksjon for en stor del av verdens klimautslipp. SalMar skal ligge foran i utviklingen av en mer bærekraftig oppdrettsnæring.” (SalMar,2020)

Over de neste årene har SalMar planlagt å bygge store oppdrettsplattformer lengre ut fra kysten. Prioriteten til SalMar ligger i å spare miljøet (SalMar, 2020). Plattformene er store i skala (se figur 1a).

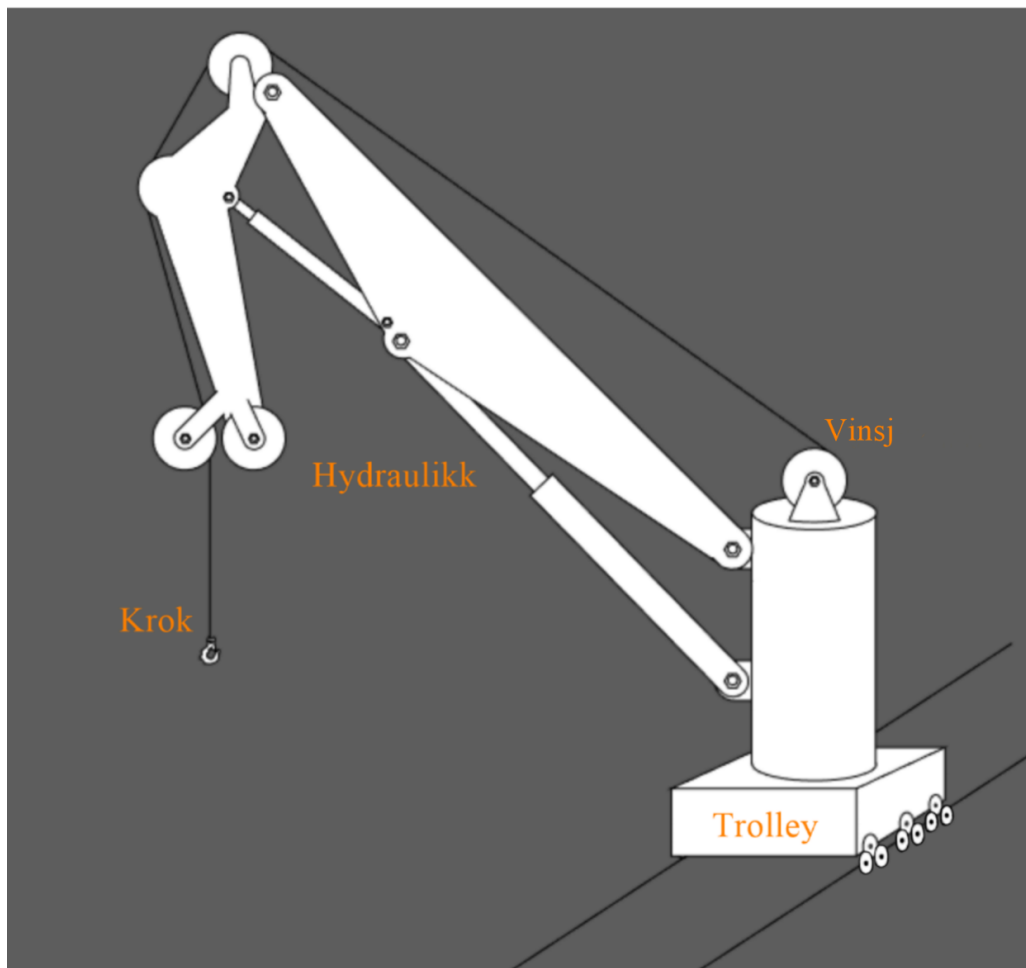


Figur 1a. Kommende plattformer (SalMar, 2020).

Det finnes mange små elektriske kraner på markedet, men i stor skala er dieselhydraulisk kran og trolley fortsatt standard. Den nye kran og trolley løsningen skal oppnå kravene under. Disse er krav satt av Motus:

- Max bærekapasitet : 20 tonn på max armlengde.
- Skal ha energikapasitet til å bære 6 tonn i 2 min 15 ganger.
- Løfte 20 meter, horisontalt og vertikalt.
- Kranen skal kunne nødkjøres med eget aggregat, under full last. Men hastighet kan være redusert til en kryphastighet.
 - Kan realiseres med egen el.drevet 100kW HPU.
- Forventet maks avstand fra lader er 100 meter på railen.
- 400V Trefase opplading er tilgjengelig fra plattform.
- Max volum for oppbevaring av batterier skal være på 1m*1m*3m.
- Kranen skal kunne løfte personer.
 - Innebærer ekstra krav i regelverket.

I figur 1b synes de fleste hovedkomponentene til en kran og trolley. Vinsjen har sin egen motor. Hydraulikken driftes av en "hydraulic power unit" som står i trolleyen. Trolleyen har sin egen motor som den kan kjøre med. På figur 1a vises rammeverket til en oppdretts plattform, langs toppen vil trolleyen kjøre på spor. Inne i trolleyen skal det oppbevares styresystem og batterier, i en dieseldrevet løsning ville det vært diesel i stedet.



Figur 1b. Skisse på hvordan kran og trolley kan se ut.

1.1 Bakgrunn

Denne oppgaven er spesifikt rettet mot å bidra til å utvikle et kran og trolley konsept som skal benyttes på oppdrettsplattformer og være mer miljøvennlig. Grunnen til å gjøre kran og trolley løsningen elektrisk eller hybrid er på grunn av miljøendringene utslippet en dieseldrevet kran bidrar til. For å ha en bærekraftig og fremtidsrettet oppdrettsindustri er det viktig å være med på den teknologiske utviklingen som er rettet mot å begrense menneskeskapte klimaendringer. Klimaendringene er en av de største utfordringene menneskeheten står overfor (FN, 2019).

1.2 Mål

Dieselkranen produserer utslipp som er skadelig for miljøet. En vellykket kran og trolley løsning skal klare å oppnå kravene satt av Motus, men likevel være mer miljøvennlig enn en dieselhydraulisk kran. Selskapet Motus har vurdert en hybrid løsning. Men i denne oppgaven skal både hybrid løsning og elektrisk løsning undersøkes. Hovedfokuset ligger i det elektriske tilførselssystemet. Første del av oppgaven består av å sette seg inn i relevant teknologi. Det skal estimeres et effektbehov for anlegget, og type komponenter som kan brukes skal vurderes. Det skal lages en del-modell av den beste løsningen.

1.3 Avgrensninger

Det viktig å ha rammer som gjør at målbildet kan oppnås. Her er de begrensningene som ble satt før oppgave arbeidet gikk i gang for fullt:

1. Pris er ikke avgjørende, men vil bli nevnt.
2. Målet er å planlegge energitilførselen til systemet til kranen og komponenter som hører til det.
3. Modellen skal bare demonstrere og teste prinsipper fra enkelte deler av løsningen. Det vil ikke bli laget en skalert modell av løsningen som skal brukes i praksis.
4. Det blir bare sett på hybride og elektriske løsninger. Ingen andre alternative energikilder som for eksempel biodiesel eller hydrogen.
5. Brukergrensesnittet skal være funksjonelt, men er ellers ikke del av utredningen her. For videre utvikling kunne det vært lagt mer fokus på brukervennlighet, en viktig sikkerhetsfaktor.

1.4 Struktur

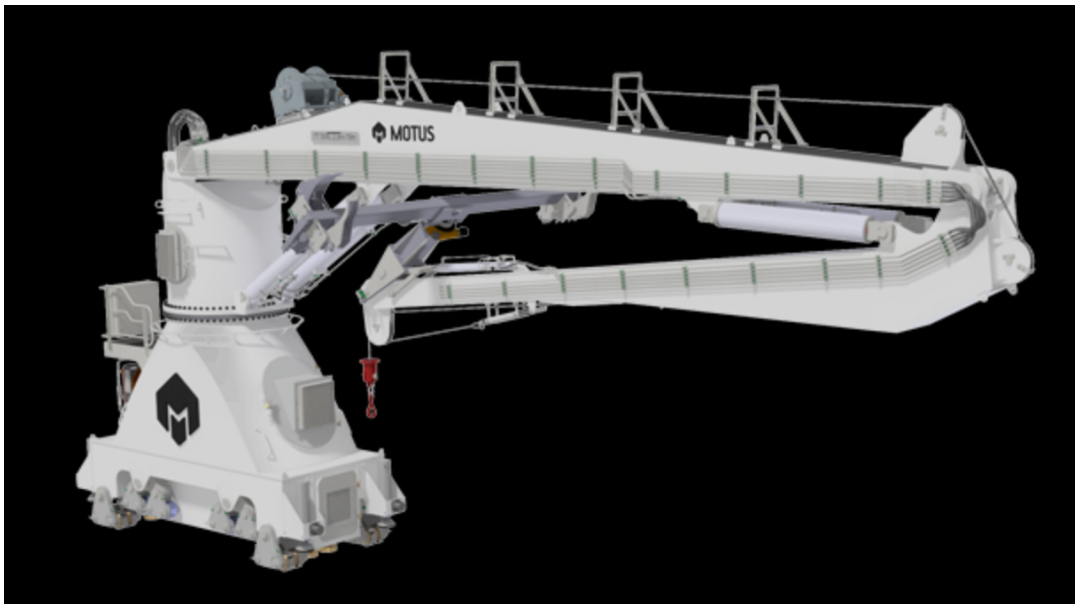
Oppgaven tar først for seg teorien bak teknologi og normer som kan brukes i planleggingen til en løsning i kapittel 2. I kapittel 3 er det konseptutvikling. Dette innebærer hvilke løsninger som er mulig og best, med tanke på strømforbruk og miljø og det skal beregnes på om det hadde latt seg gjøre i stor skala og se på forskjellige komponenter som for eksempel kunne blitt brukt. I kapittel 4 skal det konstrueres en modell av løsningen som er mest lovende. Ikke hele konseptet, men en del av løsningen. Modellen fokuserer på sikkerhet. Det programmeres et styresystem som skal styre modellen. Deretter skal modellen kjøres og kontrolleres for å se etter feil og svakheter. Oppgaven avsluttes med sammensatt drøfting i kapittel 5, av teorien og modellen for å se om løsningen er en god løsning. I kapittel 6 kommer en konklusjon.

2 Teori

For å kunne lage en kran og trolley løsning er det en del grunnleggende teori som kreves. I dette kapitlet skal det gjennomgås teknologi og konsepter som kreves for å kunne lage løsninger og drøfte om løsningen hjelper miljøet og samtidig kan utføres i virkeligheten.

2.1 Plattformkraner

Kraner er brukt overalt i offshore næringen. På fartøyer, til kai og på olje- eller oppdrettsplattformer. For konstruksjon av kraner er relevante forskrifter “Forskrift om kran og løft på flyttbare innretninger” (FOR-2017-12-21-2381) utgitt av Sjøfartsdirektoratet og “Standard for offshore and platform lifting appliances” (DNVGL-ST-0378) utgitt av DNV GL, de byttet navn i 2021 til DNV, Det Norske Veritas. Forskriftene legger grunnlaget for hvordan kraner skal lages og er implementert, sikker konstruksjon og drift. I kapittel 7 i “Standard for offshore and platform lifting appliances” står det beskrevet hva som gjelder for plattformkraner. Kapittel 7.4 handler om, sikkerhetskrav som er påbudt for slike kraner, blant annet mekaniske bremsere på alle bevegelige deler og mulighet for å nødsenke last med kranen. Figur 2 er en illustrasjon av en kran med trolley laget av Motus, med alle komponenter.



Figur 2. Illustrasjon “Rail Cranes” av Motus, 2021.

Plattformkraner skiller seg fra kraner på land med at de skal tåle hardt vær og hav. I cranes today sin artikkel står det at kranene får senket tillatt bærekapasitet avhengig av bølgehøyde. I konstruksjonen av en offshorekran tas det ikke bare ta hensyn til den statiske lasten, men også de dynamiske kreftene som oppstår av at det som løftes er i bevegelse på grunn av havgang. Det kan føre til at lasten svinger og at kranen må kunne holde lasten til den svinger mindre så flytting foregår forsvarlig. Det er ulike kategorier kraner. Kranen i denne oppgaven er definert som en plattform lift. Det innebærer at den skal benyttes for løft på plattformen, ikke mellom skip. For å regne ut høyeste tillatte last må det derfor tas med i beregningen: dynamisk faktor for sjøtilstand, heisehastighet, lastens hastighet, hastigheten på krankroken, hvor stiv kranen er og trygg arbeidslast. (cranestoday, 2003). I denne oppgaven, som er første iterasjon, vil det ikke blitt tatt hensyn til disse faktorene ennå. Max last er gitt som 20 tonn. Generelt betyr det at for første iterasjon må det overdimensjoneres på alle måter. Derfor vil det i kapittel 3.2 alltid rundes opp og gjøres overslag for effektberegningene.

2.2 Elektromotorer

Ulike typer elektromotorer har ulike ulemper og fordeler. Både en hybrid- og en elektro-løsning vil kreve en elektromotor for å kunne løfte last. Først står det mellom en AC- eller DC-motor. Generelt er en DC-motor lettere å installere. Det trengs mindre kraftelektronikk, minimum må det være en fullbro DC/DC-omformer slik at spenningen kan justeres opp og ned for å styre løfthastigheten (Raines,2019). Ulemper med DC-motorer er at de trenger en høy start torque og effekt, det passer ikke med en kran som skal tåle høy belastning fra starten av et løft. AC-motorer har lavere starteffekt og bedre kontroll over startstrøm og akselerasjon, og de tåler mer slitasje og har lengre livstid (Raines, 2019). På kraner må motoren tåle høy belastning i form av moment. Momentet motoren må lever øker med vekten som skal løftes.

Det er ulike typer AC motorer. Det som kjennetegner motorene er at de består av en stator og en rotor. Det er ulike varianter AC-motorer:

- Induksjonsmotor
- Synkronmotor
- Enfasemotor
- Trefasemotor
- kotsluttningsmotor (squirrel cage motor)
- Sleperingsmotor

Den vanligste typen motorer i bruk for kraner er en sleperingsmotor eller en kortsluttningsmotor (Saif, 2020). Sleperingsmotor motoren krever mer vedlikehold. Særlig på grunn av at de bruker børster for overføring av spenning til rotor. Direkte kontakt skaper friksjon som sliter på børstene. Siden kraner kjøres sporadisk er det ikke like mye slitasje på børstene relativt til en skipsmotor som går kontinuerlig i drift. Sleperingsmotorer tåler høyt startmoment. Det er viktig å ha, skal motoren starte fra null omdreininger med høy last. En kortsluttningsmotor krever mindre vedlikehold. Den er mer effektiv i drift, men den tåler ikke like høyt moment fra start.

Når man skal dimensjonere for å kunne velge en sleperingsmotor er det mange faktorer å hensyn til. Tabell 1 viser eksempelvis ulike typer sleperingsmotorer som kunne blitt brukt, hentet fra en katalog fra VEM (VEM, 2021). Økes antallet poler vil turtallet synke. For en kran er dette veldig bra siden turtallet må gires ned enda mer etter motoren over til vinsjen.

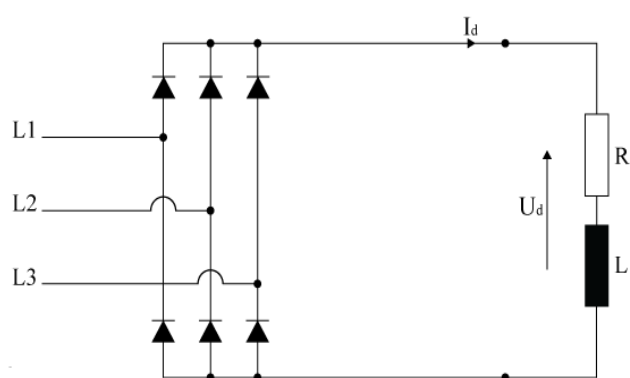
Formelen effekt = kraft * hastighet viser sammenhengen om at hvis motoren leverer samme effekt, men bruker lavere hastighet er det mer kraft som brukes. Sammenlignet får motoren høyere moment for samme effekt med færre poler. 800W-radene i tabell 1, viser at en motor med 16-poler får 20670 Nm og en med 4-poler lever 5155 Nm. Ulempen er en lavere virkningsgrad i den 16-polte motoren og den har et høyere strømforbruk som krever en større dimensjonering av blant annet sikringer og ledninger. Grunnen til at det blir lavere virkningsgrad med økt antall poler er blant annet høyere virvelstrøm og økte hysteresetap. (Celera Motion, 2021). Den 16-polt motoren trenger en lavere effekt for å levere samme moment. Så motoren blir mindre og lettere. Det innebærer at selv om virkningsgraden er lavere, brukes det mindre effekt totalt, og strømmen vil bli lavere.

Tabell 1, AC-motor spesifikasjoner (VEM ,2021)

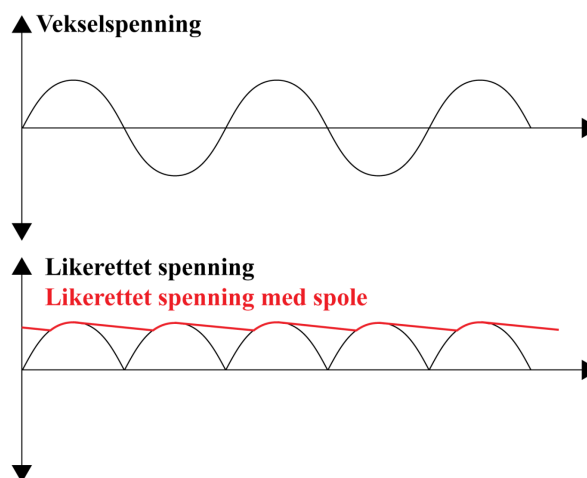
Synkront turtall 375 rpm 16-poler										
P	M	n	η	cosφ	I	Mk/Mn	I2	U2	J	m
[kW]	[Nm]	[rpm]	[%]	[-]	[A]	[-]	[A]	[V]	[kgm2]	[kg]
710	18475	367	93,3	0,75	98	2,1	406	1090	422	11300
800	20760	368	93,7	0,74	111	2,1	390	1280	472	12400
900	23355	368	94	0,73	126	2,3	368	1520	538	14000
1000	25880	369	94,1	0,74	138	2,3	362	1690	640	16500
Synkront turtall: 1500 rpm 4-poler										
630	4065	1480	93,8	0,88	73	2,5	476	830	32	3600
800	5155	1482	94,5	0,89	92	2,5	490	1010	38	4000
2450	15700	1490	95,8	0,89	277	2,4	1044	1440	240	11300
5600	35820	1493	97	0,88	631	2,3	1350	2530	540	20000

2.3 Kraftelektronikk

Både en elektrisk og en hybrid løsning vil kreve batterier og elektrisk fordeling. For å kunne lage en løsning med batterier er det viktig med kraftelektronikk. For opplading av batterier trengs det en likeretter som gjør AC-spenning til DC-spenning. En AC-motor trenger en vekselretter eller DC/AC-omformer som gjør DC-spenning til AC-spenning. For å kontrollerte turtallet til en AC-motor trengs det en frekvensomformer, som kan endre AC-spenningen etter behov. For å forstå nærmere kommer en utredning av hva likeretter, vekselretter og frekvensomformer er.

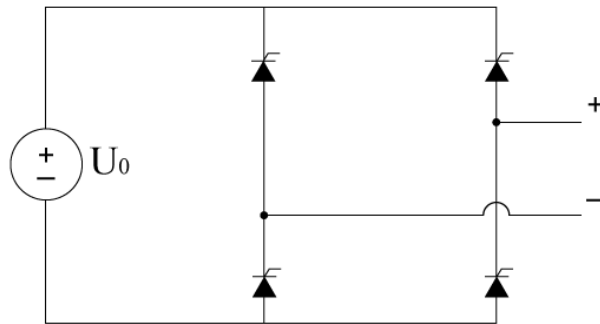


Figur 3a. Diodelikeretter.



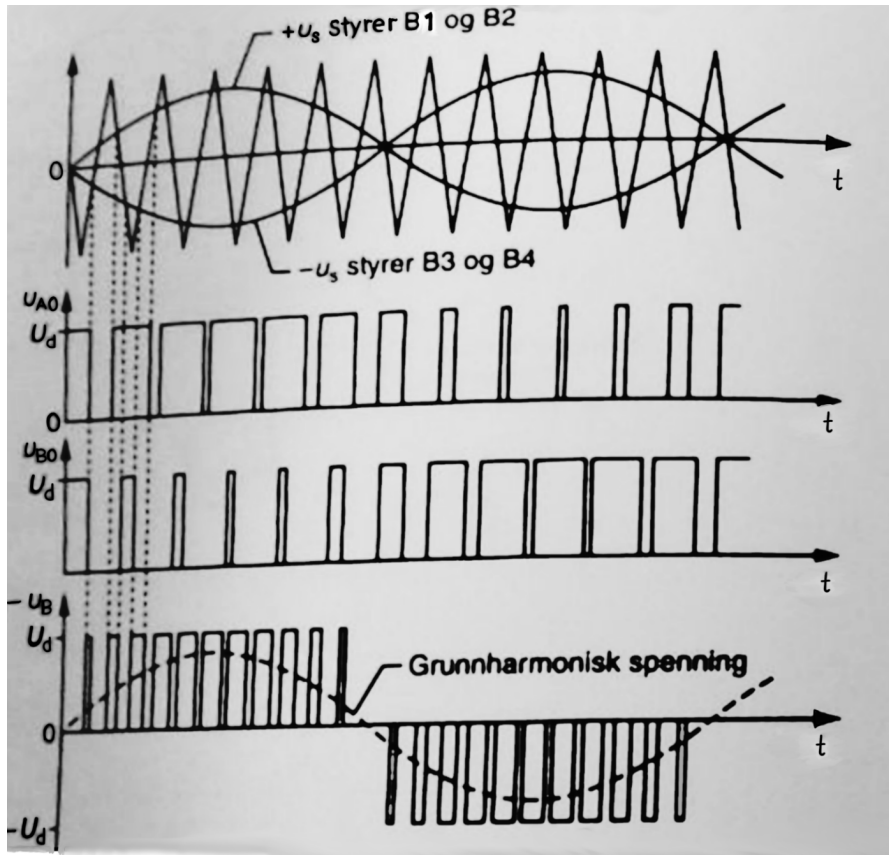
Figur 3b. Spenning i likeretter.

En fullbro trefase-likeretter (figur 3a) virker ved å sende spenningen gjennom dioder. Dioder kan bare lede en vei og slik blir spenningen likerettet. Figur 3b. viser hvordan spenningen er fortsatt ikke jevn, derfor har kresten en spole som glatter ut spenningskurven. Det er en sperregrense på dioden som betyr at for høy strøm kan ødelegge dioden, og gjør at de leder begge veier. Så det er viktig å dimensjonere likeretteren riktig.



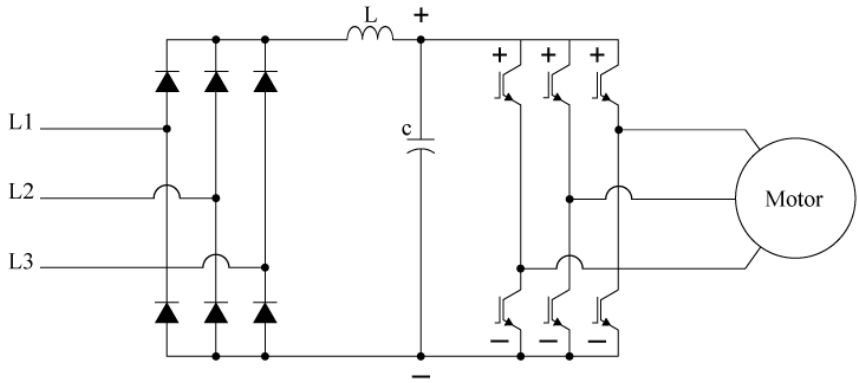
Figur 4. Vekselretter.

For en vekselretter (Figur 4) kreves det tyristorer. Det kan styres når de skal åpnes. Det gjør at om det brukes fire tyristor dioder som åpner i et mønster lages det vekselspanning på output siden. Måten de styres på er likt slik det styres i en PWM-omformer, men spenning ut fastsatt på vekselrettere, mens på frekvensomformere kan spenning ut justeres i et brukerpanel. Når det konverteres fra DC til AC kalles det en DC/AC-omformer (Thorsen,2000, s.141-148) eller “variable frequency drive”, VFD. (Kilowatt classroom, 2003). Måten frekvens og spenning omformes på skjer ved at det er en styrespenning som kan velges i brukerpanelet og en trekantpuls som er et resultat av input spenningen. Når styrespenningen er høyere enn trekantspenningen slippes det ut en puls. Summen av disse pulsene utgjør sinuskurven til linjespenningen som går videre til motoren, se figur 5. Dette er kjent som puls bredde modulasjon (Pulse width modulation, PWM). Hvis spenningen ut til motor stilles til en spenning som er høyere enn nettet leverer, vil sinuskurven bli til en kvasifirkantpuls, og tilslutt blir det en ren firkantpuls. Derfor er det viktig å ikke trekke mer spenning enn det nettet leverer. Frekvensomformere kan ikke levere mer enn spenningen den får inn.



Figur 5. Frekvensomformer, (Thorsen,2000, s.146).

AC/AC-frekvensomformeren (Figur 6) er en slags kombinasjon av en likeretter og en DC/AC-omformer. Før spenningen kan frekvensomformes må strømmen likerettes. Etter at strømmen er likerettet omformes spenningen med PWM på samme måte som i DC/AC-omformeren, se figur 5.



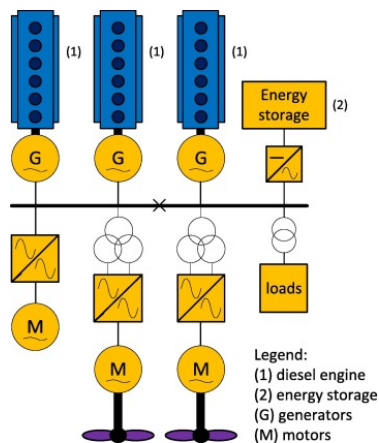
Figur 6. Frekvensomformer AC/AC, trefase.

2.4 Energistyring og kraftforsyning

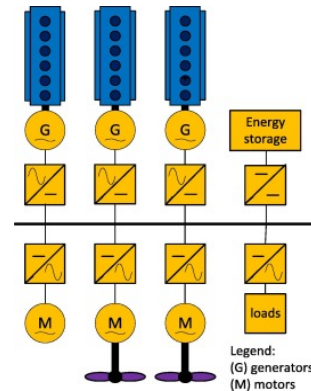
For anlegg med batteri kan “Battery management system” (BMS) benyttes til å gjøre drift sikrere. BMS passer på at batteriene får optimal opplading, og at de holder riktig temperatur, at alle battericellene er i orden og hvor mye kapasitet som er igjen (Stockley, Thanapalan, Bowkett, Williams, 2014). For å forbedre det elektriske anlegget kan det benyttes et “energy management system” (EMS), de kan brukes i både hybride og rent elektriske anlegg. Ved hjelp av automasjon og overvåking er målet å kunne lagre og distribuere energi så optimalt at anlegget blir mer energibesparende og komponentene varer lengre.

Energifordeling handler om måten spenning distribueres i et anlegg. Det kan benyttes DC-fordeling eller en AC-fordeling. Energifordeling er typisk diskutert i kontekst av fartøy. AC-fordeling (Figur 7a), er veldig vanlig på skip og teknologien er godt prøvd. Da sendes det ut vekselspenning rett ut fra generatoren ut til fordelingsstasjon. Deretter brukes det en transformatorer og frekvensomformere for å variere spenningen slik at motorene styres etter ønske. Motorens hastighet kan ikke justeres om kun transformator brukes. Fordeler med denne metoden innebærer at det kan sendes strøm over lengre strekninger med mindre tap, og det er mindre tap ved transformasjon av lavere strømmer. I mindre systemer kan AC-spenning transformers fra generator til riktig spenning inn på nettspenningen eller fra nettspenningen direkte til forbruker uten kraftelektronikk. Det være billigere siden det trengs mindre kraftelektronikk, og at det er masseprodusert teknologi som gjør komponentene billigere. Ulemper innebærer at alle generatorer må fases inn og at transformatorer er store og tunge(Geertsma, Negenborn, Visser og Hopman. 2017, kapittel 5).

Ved DC-fordelinger (figur 7b) konverteres spenningen direkte til likespenning fra generatoren, så kan spenningen omformes til riktig spenning før komponenten den skal til. DC-fordelinger er lettere og mindre å installere og lar deg endre frekvensen på alt som kobles til. Ulemper innebærer at det er stort effekttap om det er lav spenning på overføring. I tillegg betyr det at det må benyttes en omformer for å veksekrette spenningen til hver av AC-forbrukere (Geertsma et. al. 2017, kapittel 7).



Figur 7a. AC-fordeling (Geertsma, 2017).



Figur 7b. DC-fordeling (Geertsma, 2017).

2.5 Batterier

Batterier lagrer energi. De kan bestå av ulike materialer med ulike egenskaper. Typiske varianter er bly-syre og litium-ion. Batterier leverer spenning ved å konvertere kjemisk energi til elektrisk energi, det gjør de kun når de er i en elektrisk krets. Utfordringene med batteri er både vekt og volum. De mest optimale batteriene har fortsatt 1/10 av energitettheten (W/m^3) til diesel. Det gjør at batteriene enten tar mye plass, eller at de må lades ofte. Det finnes mange ulike typer batterier. Ulike batterier har ulike kondisjoner som gjør dem farlig. For eksempel bly-syrebatterier slipper ut gass når de er i bruk, som skaper en eksplosjonsfare. Litium-ion batterier har veldig høy energitetthet som gjør at det er større fare for overopphetelse og brann når energien frigjøres ukontrollert. Nye batterier kommer stadig på markedet og blir tryggere og har høyere energitetthet (Stockley et. al., 2014).

Flere batterier kan kobles i serie for å oppnå høyere spenning. Det vil si at to batterier med 12 V i serie summeres opp til totalt 24 V. Strømmen forblir den samme. Kobles batteriene i parallell summeres strømmen opp, mens spenningen forblir den samme. Dette gjør at flere batterier kan brukes til å lage en batteripakke.

Kapasiteten til batterier måles i wattimer [kW]. "State of Charge" (SoC) refererer til hvor mye kapasitet som gjenstår på batteriet, gjerne representert i form av en prosent hvor 100% er fullt og 0% er tomt batteri. Det er ulike metoder for å overvåke dette med ulik grad av nøyaktighet, for eksempel ved å måle spenningen på batteriet. Etter hvert som batteriet utlades vil også spenningen batteriet leverer synke. Ut ifra det kan det estimeres hvor stor kapasitet som gjenstår på batteriet. Grunner til å overvåke dette er blant annet at batterier mister kapasitet om de blir utladet for mye. For å opprettholde kapasiteten til batteriet må det holdes igjen en viss prosent av kapasiteten til det fulladete batteriet. Det er også viktig å passe på at batteriene ikke blir overladet som er brannfarlig.

3 Konseptutvikling

I dette kapitlet skal konseptet utvikles. I delkapittel 3.1 blir det drøftet hva som er den beste løsningen å undersøke videre, hybrid eller elektrisk løsning. Delkapittel 3.2 handler om å utvikle en konkret løsning. Kravene som Motus har satt blir brukt for å estimere energibehov for kran og trolley løsningen. Ut i fra beregningene vil det bli funnet mulige komponenter. Ulike løsninger for energifordeling og oppbygging blir vurdert. Komponentene er eksempler på hva som kan brukes til neste iterasjon. Tilslutt i kapitlet blir sikkerhetstiltak vurdert.

3.1 Hybrid eller elektrisk løsning?

Med et mål om å redusere utslipp som fokus i denne oppgaven, må det kunne begrunnes at tiltakene faktisk utgjør en reduksjon i utslipp. I tillegg må det drøftes hvorvidt tiltakene som iverksettes utgjør en stor nok forskjell til at de er verdt å gjennomføres.

Ved hybrid dieselelektrisk drift vil det være bedre redundans, hvis batteriene går tomme er det fortsatt en mulig å slå på dieselgeneratoren for å lade opp batteriene. Det er redundans om plattformens energiforsyning svikter i større grad enn ved en helelektrisk løsning. Det er fordi hybrid løsning både har batteri og generator tilgjengelig, og ikke bare batteri. Kranen er ikke avhengig av å lade på plattformen. Skulle for eksempel batteriet eller elektrisk tilførsel svikte kan dieselmotoren kobles til akslingen til vinsjen og dieselmotorens energi omformes direkte til mekanisk energi. Når dieselmotor er koblet direkte til akslingen betyr at motoren ikke alltid går i optimalt turtall og energi går tapt, men slik drift er unntaket og ikke standarden i et hybrid system. Den største bekymringen er vekt og kompleksitet av systemet. Er det like miljøbesparende som elektrisk, som er hovedmålet med å gå vekk ifra en dieselhydraulisk løsning? Hybride løsninger har en god virkningsgrad. Løsningen gjør at all energien dieselgeneratoren produserer utnyttes ved å levere effekten til et batteri før strømmen går inn på en AC-motor. En dieselgenerator i et hybrid system kan levere en fast effekt, med optimalt turtall. Effekten lagres på batteriene, og når batteriene har tilstrekkelig med strøm til å kjøre anlegget kan generatoren være avslått. Generatoren kan brukes lite, siden batteriene alternativt kan lades opp på plattformen. Kraner brukes kun unntaksvis over lengre tid, hvor batterikapasiteten brukes opp og generatoren må slås på.

Elektrisk drift vil være et billigere og lettere konsept enn hybriddrift. Det krever færre deler som forenkler vedlikeholdet, og færre deler betyr også at det er billigere å produsere løsningen. Bekymringen rundt elektrisk drift er nøddrift og utfordringer rundt sikkerhet og kapasitet. Elektromotorer har bedre virkningsgrad fordi de er mer termodynamiske. Det trengs ingen dieselgenerator, færre ledd i systemet gir mindre tap av effekt. Elektromotorer er lettere å regulere ved hjelp av kraftelektronikk. Elektromotorer har større fleksibilitet enn en dieselmotor, som taper mye effekt om den må kjøres sakte. Elektrisk løsning krever mindre vedlikehold enn en hybridløsning fordi de har færre komponenter. Med en ren elektrisk løsning er det en utfordring at batteriet skal ha god levetid som leverer tilstrekkelig effekt. Det som er heldig med disse kranene er at de som regel ikke holder på i flere timer i strekk, og derfor kan batteriene hyppig lades opp i perioder der de ikke brukes. Ladeteknologien blir bedre takket være elbilindustrien som forsker mye på dette.

En elektrisk løsning er en fremtidsrettet løsning som forhåpentligvis vil redusere miljøfiendtlige utslipp, som CO₂. Elektriske kraner og trolleyer er mindre avansert enn hybridløsningen som krever både dieselmotor og batteri, som vil gjøre løsningen mer tungvint. Målet i fremtiden er å kraftig redusere utslipp. Forskjellen på hybridbiler sammenlignet med dieselbilens utslipp (Lykiardopoulou, 2021), er ikke stort nok til å rettferdiggjøre miljøutslippet som følger med å produsere alle de ekstra komponentene en hybridløsning krever. Derfor skal det videre undersøkes om en elektrisk løsning er gjennomførbart med teknologien som finnes i dag.

3.2 Utredning av et elektrisk konsept

Nå skal det undersøkes hvordan en elektrisk kran og trolley løsning skal bli i stor skala. Målet er å lage et konsept som er mer miljøvennlig enn en dieseldrevet kran og trolley. For å lage konseptet vil det blir regnet ut hvilke effekt behov de ulike komponenter krever for se om det finnes noe passende på markedet. Alle beregninger som blir gjort i dette kapittelet ligger i vedlegg A: Beregninger delkapittel 3.2.

Figur 1b i delkapittel 1.1 demonstrerer en enkel skisse over hvordan dette systemet kan se ut. For å kunne finne ut hvilke komponenter som kan brukes til kranen må effektbehov beregnes. Behovet til kran og trolley løsningen beregnes med overslag. Denne oppgaven ser på et førsteutkast av hvordan denne kran og trolley løsningen skal bli.

For videre utvikling og implementering i virkeligheten kan det nærmere anslås hvordan løsningen skal bli tilslutt ved å bruke iterasjon. Det vil si at metoden brukt i oppgaven blir gjentatt og videreutviklet, men med et nærmere anslag av ulike faktorer som for eksempel hva anlegget veier og en nærmere viten om hva virkningsgraden til de ulike komponentene er. Det kan også tas nærmere hensyn til verdier som i første omgang blir neglisjert, som for eksempel ytre faktorer som vindpåvirkning. I første omgang blir det tatt hensyn til de største forbrukerne og det blir brukt generelle verdier for friksjon og virkningsgrader. Komponentene som undersøkes er:

- Motoren til vinsjen
- HPU
- Motoren til trolley
- Kraftelektronikk og kraftforsyning.
- Batteri

Motoren til vinsjen

Den elektriske motoren til vinsjens forbruk avhenger av forholdet mellom turtallet på motoren og turtallet på vinsjen. Det er to krav til motoren som skal drifte vinsjen. Motoren skal kunne løfte 6 tonn i 2 min 15 ganger og max vekt den skal klare er 20 tonn. Uten at det er spesifisert fra Motus bør heisehastigheten ligge mellom kunne justeres fra 0- 1 m/s og for beregningen brukes høyeste hastighet. For å kunne korrigere turtallet til vinsjen vil det kunne brukes en girboks. Girutvekslingen er lineært med turtall, sett bort ifra tap. Det betyr også at momentet er lineært endret i forhold til girutvekslingen. Endres turtallet fra høyt til lavt blir løftemoment høyere. Det betyr motoren tar en høyere max last, men da må også girboksen tåle belastningen. Det finnes gir bokser som kan gi en utveksling på over 100 og fortsatt tåler et løftemoment på over 100 kNm. Så girbokser med høy nok toleranse til å brukes i anlegget finnes på markedet. (SewEurodrive, 2019). Det bør vurderes å finne trinnløs

De laveste turtallene i katalogen til VEM (VEM, 2021) er 600 rpm. Optimal virkningsgrad ligger på ca. 75% last av merkelasten, det vil si effekten som brukes (U.S. Department of Energy, 2014). For å beregne momentet motoren må levere brukes max last på 20t, skal motoren bære noe lettere vil dette medføre at effekten som trekkes blir enda lavere. Det hadde vært interessant å redusere diameteren til vinsjen, da ville turtallet måtte motoren vært høyere, men blir vinsjen for liten blir tauet liggende for trangt på vinsjen, og vinsjen tåler ikke bærekapasiteten til kranen (Zokecrane, 2021). Derfor benyttes det gir. Ut ifra dette ble momentet motoren må lever estimert til å være 3.18kNm. For dette momentet og turtallet kan motoren S11H 315 MX10 brukes, for egenskaper se tabell 2.

Tabell 2, Egenskaper S11H 315 MX10 (VEM, 2021)

Jext [kgm ²]	P [kW]	M [Nm]	n [rpm]	η [%]	cosφ [-]	I [A]	I2 [A]	U2 [V]	R2 [Ohm]	J [kgm ²]	m [kg]
13,6	58	937	591	90,33	0,52	178	133	270	0,00991	6,8	1290
	70	1135	589	91	0,6	185	160				
	45	725	593	89	0,44	166	103				

For å finne energiforbruket må dataene fra motor S11H 315 MX10 brukes. For å løfte 6t i 2 min 15 ganger kreves det 60 kW, men det tar ikke hensyn til tap av effekt i systemet, derfor er det lagt på 20% mer effekt for å kompensere for tapet som gir 72kW. Da blir kapasiteten batteriet trenger for drifte motoren til vinsjen 36 kWh, mellom hver opplading.

Hydraulic power unit



Figur 8. Eksempel på 100 kW HPU (Ace-Winches 2021).

Motus skrev at det kan benyttes en 100 kW HPU for å drifte armen. Figur 8 viser hvordan en 100 kW HPU kan se ut. Grunnlaget for kravet om at løsningen skal kunne nødkjøres med ett aggregat er for sikkerhet. Likevel er det verdt å undersøke om det er andre løsninger som krever færre komponenter og gir mindre utslipp. Skal løsningen ha et eget aggregat for nøddrift er det flere deler som må produseres. Flere komponenter er dårlig for miljøet, på grunn av utslippet og avfallet under produksjon. Det kan også realiseres med en “Hydraulic power unit”(HPU). En HPU drifter hydraulikken og kan kjøres med en AC-motor (Worldwide Hydraulic Professionals, 2020). HPU kan driftes med batteri, men de trekker mer strøm enn en AC-motor løsning, med flere motorer pr. ledd. Det er fordi hydraulikk er ikke energieffektivt, som er viktig når det skal driftes med batteri (GCC Marketing, 2018). Batteriene har en begrenset energikapasitet som gjør at det er viktig å utnytte energien effektivt. Likevel er HPUer gode fordi de tar mindre plass enn det elektromotorer ville gjort. Med riktig ventiler er de veldig fleksible på å variere moment og hastighet. HPUer er gode i nød ettersom at de kan lagre trykk slik at de alltid har et ekstra løft etter at strømmen går, f.eks. om batteriene svikter (GCC Marketing, 2018). For å erstatte hydraulikken måtte det vært minst to elektromotorer til med ekstra strømtilførsel. De har kanskje bedre

energiutnyttelse, men de holder ikke igjen uten strømmen på, så da må det installeres ekstra mekaniske bremsere, som gjør systemet mer avansert igjen og tyngre. Derfor kan det være gunstig å beholde hydraulikken, selv om det med bedre elektro teknologi kan tenkes at det snart blir bedre og tryggere uten hydraulikk. En HPU er nyttig særlig med tanke på at armen til kranen skal kunne løfte 20 tonn opp i vertikal stilling med max utstrekning på armen som hydraulikk er spesielt egnet til (GCC Marketing, 2018).

En HPU som i figur 8 veier 6t. Hydraulikken skal rekke 20 m og veier mye. HPU må kunne operere like lenge som vinsjen kan, derfor vil HPU kreve batteri kapasitet på 50 kWh. Virkningsgraden på mellomstor AC-elektromotor ligger på mellom 80-95%. For effektbehovs estimat brukes en virkningsgrad på 85%. Før motor er valgt har man ingen virkningsgrad å bruke. Når motor er valgt kan selskapet som produserer motoren kontaktes for de spesifikasjonene. Dette ville hjulpet på runde to med iterasjon. Med hensyn til tap må HPU ha 58.8kWh mellom hver opplading for å bestå kravene.

HPUer varierer litt i areal og egenskaper. Enten velges det en HPU med høy massestrømmning [liter/min] på oljen, eller en med høyt trykk. Med andre ord kan det velges styrke på bekostning av hastighet og motsatt. For kranen er begrensende faktor styrke, den hydrauliske kranen skal bære egenvekt pluss max last på 20 tonn. For å finne ut hvor høyt trykk som trengs for å nå maximum krav må søylene til selve hydraulikken vurderes. Det er ikke gitt noen mål på hvordan de skal se ut. Men de skal ha minst mulig areal over rørene fordi da kan HPUn levere lavere trykk. Det er fordi trykk er krefter delt på areal. Utfordringen der kommer på ett statikk nivå, rørene må tåle egenvekt pluss lasten på 20 tonn. Her måtte man ha regnet på materialets evne til å tåle rotasjon og hvor det var fare for at det knekker i stillstand og i bevegelse, og med tanke på ytre faktorer som vind og sjøgang. Det er for å finne ut hvor store de minst må være for å opprettholde sikkerheten og stabilitet.

Trolley med motor

Effektbehovet til motoren til trolleyen er et resultat av hvor tungt hele anlegget blir. Det er derfor motor og HPU er funnet først. Total vekt vil avhenge av hvor store de enkelte komponentene er og hvor mye stål det er i strukturen som holder alt sammen. Det er ikke lett å estimere hvor tungt dette blir uten å konstruere rammeverket. Ved veiledning fra Motus estimeres vekten til rammevekt og hydraulikken til ca. 31.24 tonn. Hvor tykke platene er og hvor lang den hydrauliske armen er har mye å si for total vekt. Batterienes vekt er basert på panasonics 2170 batteri fordi de blir brukt senere i dette kapittelet. Totalt estimeres egenvekten pluss max last til være ca. 63.6 tonn.

For å estimere hvor mange kWh trolleyen trenger er det en del faktorer som spiller inn:

- Hvor ofte det forventes at trolleyen skal starte fra stillstand.
- Hvor høyt moment er det trolleyen må overvinne for å starte å kjøre.
- Hvilken hastighet det forventes at trolleyen skal kjøre i.
- Skal trolleyen kunne bære vekt når den kjører.
- Hvor langt det forventes at trolleyen skal kunne kjøre mellom hver opplading. Selv om det er maks 200 m til og fra ladepunkt kan det hende den skal kjøre mye fram og tilbake.

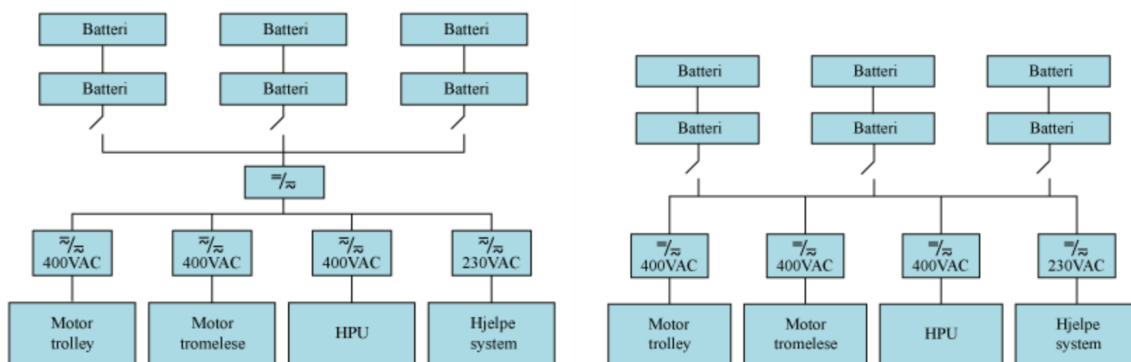
Alle disse faktorene er ikke gitt fra Motus. Så i denne likningen er det mange ukjente.

Trolleyen bærer tungt, men rullefriksjonskoeffisienten er lav på 0.0002 (Tribology-abc) for stålhjul på rail. For å gjøre det enkelt blir det dedikert 18 kWh til trolley-motoren, halvparten vinsj-motoren, siden trolleyen har mye mindre motstand enn vinsjen. Den har mindre motstand fordi vinsjen skal overvinne tyngdekraften horisontalt, mens for trolleyen utgjør tyngdekraften rullefriksjon.

Kraftelektronikk og kraftforsyning

Virkningsgraden i anlegget blir dårligere av kraftelektronikk, for å kunne bruke batterier til å drifte en AC-motor må på ett sted strømmen vekslerettes, for så å omforme den til riktig spenning og frekvens i en frekvensomformer. Denne prosessen har blitt testet i liten skala i et tidligere emne på skolen. Resultatet var at effekt går tapt under konverteringen.

Ser man på hvordan frekvensomformere virker kan det hende at det kun hadde trengtes en DC/AC-omformer. Det er fordi en AC/AC-frekvensomformer av typen PMW først konverterer vekselstrøm til likestrøm også endrer den tilbake til vekselstrøm. Om dette lønner seg kommer an på strømfordelingen. Skal det brukes et AC-nett eller ett DC-nett. Strømmen fra batteriene skal fordeles til motoren til vinsjen, HPU, motoren til trolleyen og til hjelpeutstyret. Hjelpesystemet skal ha enfase, mens resten skal ha trefase.



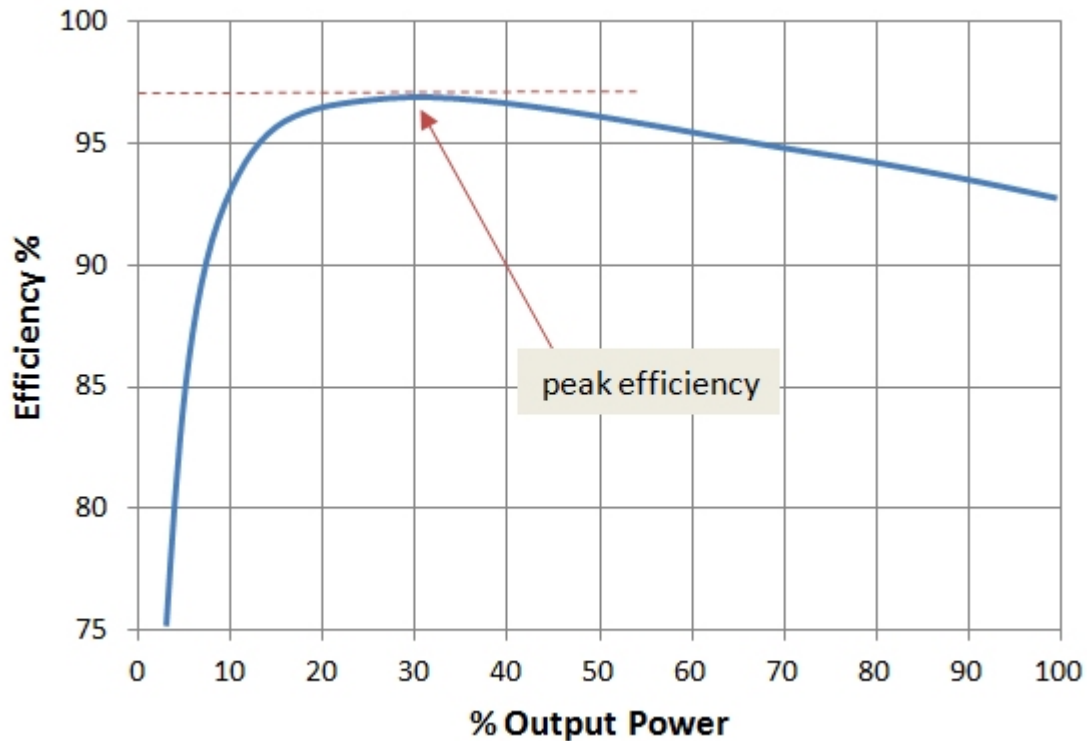
Figur 9a. AC-fordeling.

Figur 9b. DC-fordeling.

I delkapittel 2.4 ser forklares kraftfordeling i kontekst av et fartøy. Der er det ofte flere generatorer og batterier som jobber sammen om å fordele spenning ut til de ulike forbrukerne. For dette anlegget er det bare ulike batterier koblet opp i parallell og serie. De i serie er koblet opp for å få tilstrekkelig spenning. De som er koblet i parallell er både for å få tilstrekkelig kWh. For fartøyer er det kanskje gunstigere å bruke en AC-fordelinger, siden de har generatorer som leverer AC og de skal fordele kraft over lengre strekninger. Kran og trolley løsningen er ikke lengre enn kanskje 5 meter, så tapet der er ikke så stort at det kreves AC-spenning for å unngå tap. I tillegg skal fartøysgeneratoren levere spenning til alle slags ulike forbrukere. For trolley og kranen er det generelt bare snakk om 4 hoved forbrukere.

Motoren til vinsjen, motoren til HPU, motoren til trolleyen og hjelpesystemene. Tre av disse skal muligens ha opp til 400V trefase. De kommer an på last og effektbehov. Brukes motorer med høyere spenning hjelper det med å redusere strømmen som er nødvendig, men det kommer an på hva som er tilgjengelig på markedet. Hjelpesystemene skal ha 230V enfase vekselspenning, men de er også den minste forbrukeren. Så selv om det er større tap av effekt med lavere omformere, er forbruket til hjelpesystemene lavt i forhold til forbruket til motoren. Siden det er kun er levert en forutsigbar spenning fra batteriene og at det er nødvendig å benytte kraftelektronikk kan det være til fordel å benytte en DC-fordeling. Da trengs det mindre kraftelektronikk, og alle motorene styres uavhengig og fleksibelt.

Vekselretter teknologien har blitt bedre og tapene i konverteringen har blitt lavere. Figur 10 viser at så lenge output effekten på ett nivå over 10% av det vekselretteren er laget for vil virkningsgrad være på over 93%. Det vil si at om vekselretteren har en merkespenning på 400V, men motoren blir kjørt på 40V som er 10% av merkespenningen, vil 7% ekstra spenning gå til tap. Å kjøre motoren på 10% av merkespenning er ikke noe som er sannsynlig at skal være nødvendig. Målet er å kjøre motoren nærmest merketurtall også heller bruke gir og girboks eller reim til å gjøre den største konverteringen av turtallet. Kranen skal ha fleksibilitet i hastigheten den løfter med, men det er ikke kun på bekostning av turtallet til motoren.



Figur 10. Virkningsgrad av en vekselretter (Mark Fedkin, John A. Dutton, 2020, kap 6.5, figur 11.8).

Batteri må kunne lades opp med trefase-strøm. Batterier kan kun lades opp med likestrøm, derfor må strømmen likerettes. Her er det to alternativer, enten kan det være en likeretter i trolleyen, eller så kan likeretteren være på ladestasjonen. Det kan være bedre å ha likeretteren på ladestasjonen ettersom at plattformen står stille og kan holde mer vekt. Når likeretteren er på ladestasjonen kan likeretteren være større, som gjør at batteriene kan lades opp raskere. Dette er teknologi som allerede har begynt å utvikles i elbil industrien for å få hurtiglading (Wallbox chargers, 2021). Hastigheten på oppladingen er også begrenset av hva batteriene tåler. (Stone, 2021). Færre komponenter på trolleyen betyr at det er mer plass til batterier i trolleyen evt. at total vekt blir lettere.

Batteri

Totalt estimert forbruk for kran og trolley er: 148.8 kWh mellom hver opplading. Batteriene må levere denne mengden wattimer for å drifte i henhold til kravene fra Motus.

Komponenten med høyest merkespenning bestemmer likespenningen batteriet bør levere.

Vekselretterne må tilpasses etter spenningen levert fra batteriet og det systemet videre krever.

Det er lettere å justere spenningen ned i DC/AC-omformeren enn å ikke ha tilstrekkelig

spenning levert til komponenten som krever høyest spenning. For første utkast benyttes 400V

trefase vekselspenning som max spenning en komponent trenger. Dette er enkelt å justere i

neste iterasjon. Hvis det viser seg å være gunstig å bruke for eksempel en motor med enda

høyere spenning kan batteriene kobles opp annerledes. Det er fordi når anlegget skal ha så

mange wattimer har det ikke et stort batteri, men flere batteripakker som består av mange små

batterier koblet sammen. Batteriene skal derfor bestå to krav, levere riktig spenning og ha

tilstrekkelig mengde kilowattimer.

Type batteri har mye å si for sikkerheten, volumet og vekten til batteripakkene. Litium-ion

batterier er interessante å undersøke om kan benyttes. Lithium-ion batterier har høy

energitetthet relativt til andre batterityper (DNK Power, 2019). Lithium-ion batteri er

annerledes andre batterier som for eksempel sink-karbon batterier fordi den kjemiske

reaksjonen som skjer i Litium-ion batterier er reversibel. Det betyr at batteriene kan lades opp

flere ganger (Woodford, 2020). I denne oppgaven skal det undersøkes om Panasonic 2170

batterier kan være mulig å bruke. Det finnes en nyere utgave som er av dimensjonen 4680

som har høyere energitetthet. Dessverre er det foreløpig få pålitelige kilder om hvilke verdier

de har, det som er ute av informasjon er for det meste spekulasjon. 4680 batteriene kan heller

være en mulighet for videreutvikling. 2170 batteriene er kjent for å være batterien brukt i

Teslas elbiler (Field, 2019). Tallet i batteri navnet representerer diameter på 21 mm og

høyden på 70 mm på batteriet, cellene er små sylindre se figur 11c. Meningen er å koble opp

mange av batteriene i serie til det er riktig spenning, for eksempel 24V. 24VDC er høy nok

spenning til å levere 400V AC spenning (Anda-Olsen, 2020). En 2170 battericelle leverer

3.7V så det må være 6,4 batterier i serie. De vil si det må vurderes om det er mer gunstig å ha

6 eller 7 batterier i serie også det leveres enten 25.9V eller 22,2V. Antakelig går begge fint,

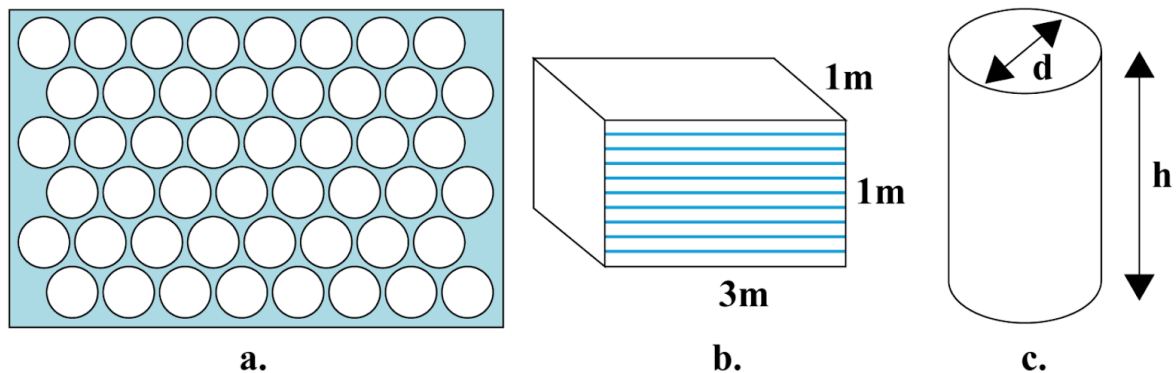
det har også litt med hvilken strøm som skal leveres. Strømmen fordobles i parallell og ikke i

seire. Så velges 7 batterier fremfor 6 batterier i serie vil strømmen bli lavere i pakken. Men

kapasiteten er den samme.

Batteriene er typisk brukt i elbiler så det er et spørsmål om de tåler å bli brukt i en kran som skal ha en vesentlig høyere effekt, men det skal ikke stå på batteriene, men heller tilførselssystemet. Spesifikasjoner 2170 batteri (Field, 2019):

- Vekt: 70 gram
- Kapasitet: 4.8Ah / 17.3 Wh
- Energitetthet: 247 Wh/kg



Figur 11a. Batteri fordeling. Figur 11b. Lagfordeling batterier. Figur 11c. Volum battericelle.

Figur 11a viser hvordan batteriene ville vært plassert. Max plass på trolleyen til batteri er $1*1*3 \text{ m}^3$. Det bør minst være 30 mm mellom hvert lag med batteri til blant annet skillevegg. Så da blir hvert lag i snitt 0.1m, som betyr at det maks kan være 10 lag med batteripakker i høyden som i figur 11b. Batteriene skal legges i en type epoxy som holder dem på plass, det antas at batteriene minst må ha 1 cm avstand til hverandre og kanten, og de ligger i triangulært mønster. Da er det maks plass til 2072, litt avhengig av hvordan batteriene blir plassert. Det betyr at det maksimum kan være 20720 battericeller i trolleyen. Det tilsvarer 358.5 kWh. Det er over over det dobbelte av batterikapasiteten estimert for å bestå kravene til kran fra Motus. Batteriene må ha nok kapasitet til å dekke nødbehov, driftsbehov, og den delen av kapasiteten som alltid må være igjen på batteriet for å unngå å ødelegge batteriene. Selv om det er nød kan det hende det ikke er nødvendig å ødelegge batteriene med å utlade batteriene helt. Det kommer an på hva slags fare situasjon det er snakk om, derfor bør bruker varsles i brukerpanelet om at hvis de utlader over en viss prosent av batterikapasiteten vil batteriene bli ødelagt. Det kan være mer prisgunstig å tilpasse antall batterier etter kundens ønsker og minimumskrav. Kanskje kjøper ønsker ekstra kapasitet og da er det godt å vite at plassmessig og vektmessig lar det seg gjøre.

Mulige sikkerhetstiltak

Kranen skal godkjennes for personelløft. Det betyr at ekstra sikkerhetstiltak må redegjøres og dokumenteres. Forslag til sikkerhetstiltak som kan benyttes er både kjente brukte og nye.

Påbudte sikkerhetstiltak for en plattformkran står i “Standard for offshore and platform lifting appliances” kapittel 7.4 (DNV GL, 2016). Denne oppgaven omhandler for det meste energifordeling og derfor er sikkerhetstiltakene er rettet mot energisystemene.

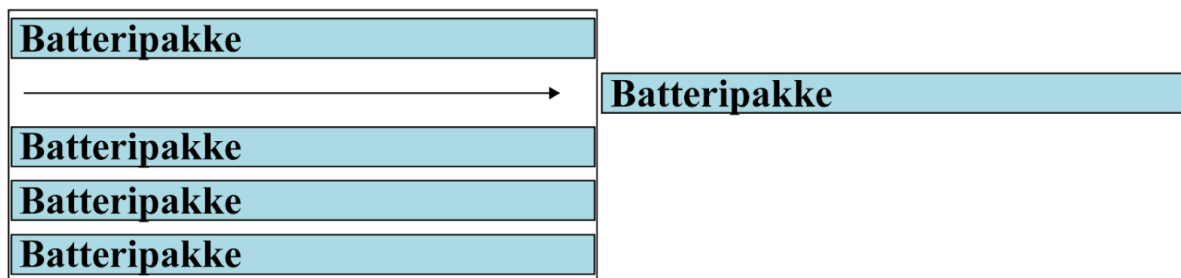
AC-motorer har ingen egen motstand. Hvis strømmen går er det fare for å miste lasten den bærer, derfor må det settes inn mekaniske bremses som slår inn det sekundet strømmen går. Det er viktig å ha mekaniske bremses som vil funke uten hjelp fra hoved strømtilførselen. Bremsene bør kunne slå seg på automatisk om strømmen går. De kan ha sensorer som kjenner på ulike faktorer. De kan kjenne etter strømbrudd og uventede økninger av heisehastigheter, for eksempel om lasten kommer i fritt fall vil de slå inn. De bør også kunne slås på manuelt med eller uten bruk av PLS eller strøm. Dette er et vanlig sikkerhetstiltak. Disse bremsene bør komme i tillegg til de bremsene som er vanlige som brukes når AC-motor slås av og kun være for nød. Bremsene bør testes rutinemessig.

Med batteriene er det mye som kan gjøres for å gjøre dem tryggere. Sikkerhetstiltak som et battery management system (BMS) er et godt forebyggende tiltak. BMS overvåker batteriene kontinuerlig og følger med på ulike faktorer som luftkvalitet, temperatur, strøm og spenning. Litium-ion batterier må ha et utluftning system slik at gasser de produserer, primært karbonmonoksid, karbondioksid og hydrogen, kan luftes ut. Derfor vil overvåkning av luftkvalitet bidra til sikkerhet. Overoppheting er også et tegn på at noe er galt, for eksempel overlading eller kortslutning i batteriet som etterhvert kan utvikle seg til brann (Woodford, 2020).

BMS kan være et hjelpemiddel for å vedlikeholde batterier ved å kunne varsle hvor en battericelle som begynner å bli dårlig er. BMS kan bytte på hvilke batteripakker som brukes så de slites etter det som er hensiktsmessig. Batteriene kommer med en forventet livssyklus, ofte angitt i hvor mange ganger det forventes at de kan lades som BMS kan følge med på. Det for å holde styr på når batterier må byttes ut så det kan planlegges. BMS kan fordele tilført spenning optimalt for å oppnå lengre levetid på batteriene. BMS kan også brukes til å koble sammen ulike batteripakker etter behov. Det kan også brukes til overvåke opplading og

kapasitetene som er på batteriet (SoC) for å unngå overlading, som er brannfarlig, eller utlading, som ødelegger batteriets totale kapasitet, dvs. batteriet for færre totale wattimer. Komplette BMS er noe som må bestilles og designet spesifikt til anlegget. Det finnes mange firma som produserer og selger BMS.

Siden det benyttes separate batteripakker som består av mange ulike battericeller kan en mulighet være å seksjonere dem og ha en mulighet til å separere ut en brennende batteripakke. Litium når opp til 2000 °C når de først brenner og å prøve å slukke med vann kan føre til hydrogeneksplosjon (Driscoll, 2019). 2170 batterien er ikke kjent for å være spesielt brannfarlig selv i kollisjon (Loveday, 2019), men skulle det skje er det viktig å få begrenset skadene. Batteriene smelter stål ved 2000°C, og varme ledes godt mellom stål. Kanskje er det nødvendig å kunne skyve det brennende batteriet vekk fra alt annet. Å la det brenne ut uten å ta på resten anlegget. Figur 12 demonstrerer grovt hvordan det kan se ut.



Figur 12. Mulighet for å skyve ut batteripakke.

Batteripakkene bør være i ulike bokser som er spenningsisolert og kan isoleres helt om en pakke blir farlig. Om det er lurre å skyve den brennende pakken på havet eller om den bør henge fritt er et dilemma. Hvis det brenner er det sannsynlig at boksen vil smelte seg fri. Det finnes metaller med høyere smeltepunkt enn stål og jern, men om de er praktisk eller nødvendig å bruke er en annen sak. Det er gunstig å holde den brennende gjenstanden isolert på plattformen og ikke skyve den på havet, for heller å prøve å slukke batteriet eller la den brenne ut. Særlig med tanke på at under plattformen er det merd med fisk som blir utsatt for fare om batteriet lander i nærheten av fisken, og at batteriet er forurensende for havet.

Hvis batteriene går tomme for strøm, og BMS har sviktet bør det være enda en mulighet for å bruke kranene i ytterste nødvendighet. Det kan gjøres mulig å trekke kabler til plattformens strømforsyning å drifte kranen slik, men da er det ikke sikkert at kranen kan kjøre trolleyen uten å skape problemer med kabler. Likevel er det et gjennomførbart tiltak ettersom at det kun handler om å ha en lang kabel tilgjengelig og mulighet for personell å kunne bevege seg fra plattform til kran, ved installasjon av vedlikeholdsbroer for eksempel.

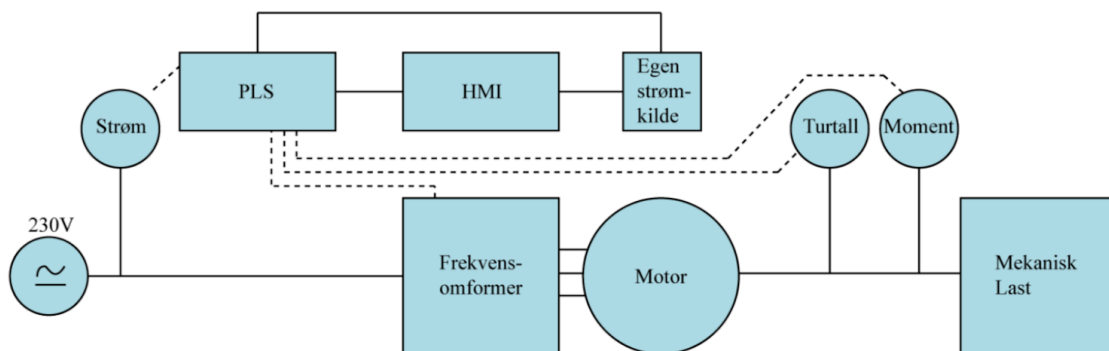
Siden det er snakk om flere batteripakker er en mulighet å ha et separat nødbatteri som kan kobles inn i tilfelle uforutsett strømsvikt fra de vanlige batteriene slik at kranen kan komme tilbake til ladestasjonen eller kan ta ett nødløft. Det bør kunne gjøres manuelt eller via en PLS. Det kan også vurderes å ha to separate tilførselssystem slik at anlegget får bedre redundans. Nødbatteriet bør rutinemessig sjekkes for å se om de fortsatt er i god stand siden de ikke alltid brukes. Begrensningen her er om det er kosteffektivt og om det er plass til ett ekstra batteri. Det kan også vurderes om alle batteriene skal være koblet sammen av BMS systemet, men at BMS som overvåker hvor mange kWh batteriet har igjen holder tilbake tilstrekkelig spenning til nød, og heller ber bruker lade opp igjen batteriene tidligere, så kan det manuelt velges å igangsettes nødprosedyre hvor bruker for tilgang på resten av effekten. Som tidligere nevnt, det må uansett holdes igjen en viss prosent av batterikapasiteten for å unngå å ødelegge batterienes levetid.

En kran har godt av å være bunn-tung, det gjør den mer stabil. Batterier har en mer forutsigbar vekt enn en dieseltank som blir lettere jo nærmere tom den er. Selv om batteriet nærmer seg utladet er det fortsatt omtrent samme vekt. For å utnytte det kan de plasseres så lavt i trolleyen som mulig slik at de har en stabiliserende effekt.

4 Skalert modell

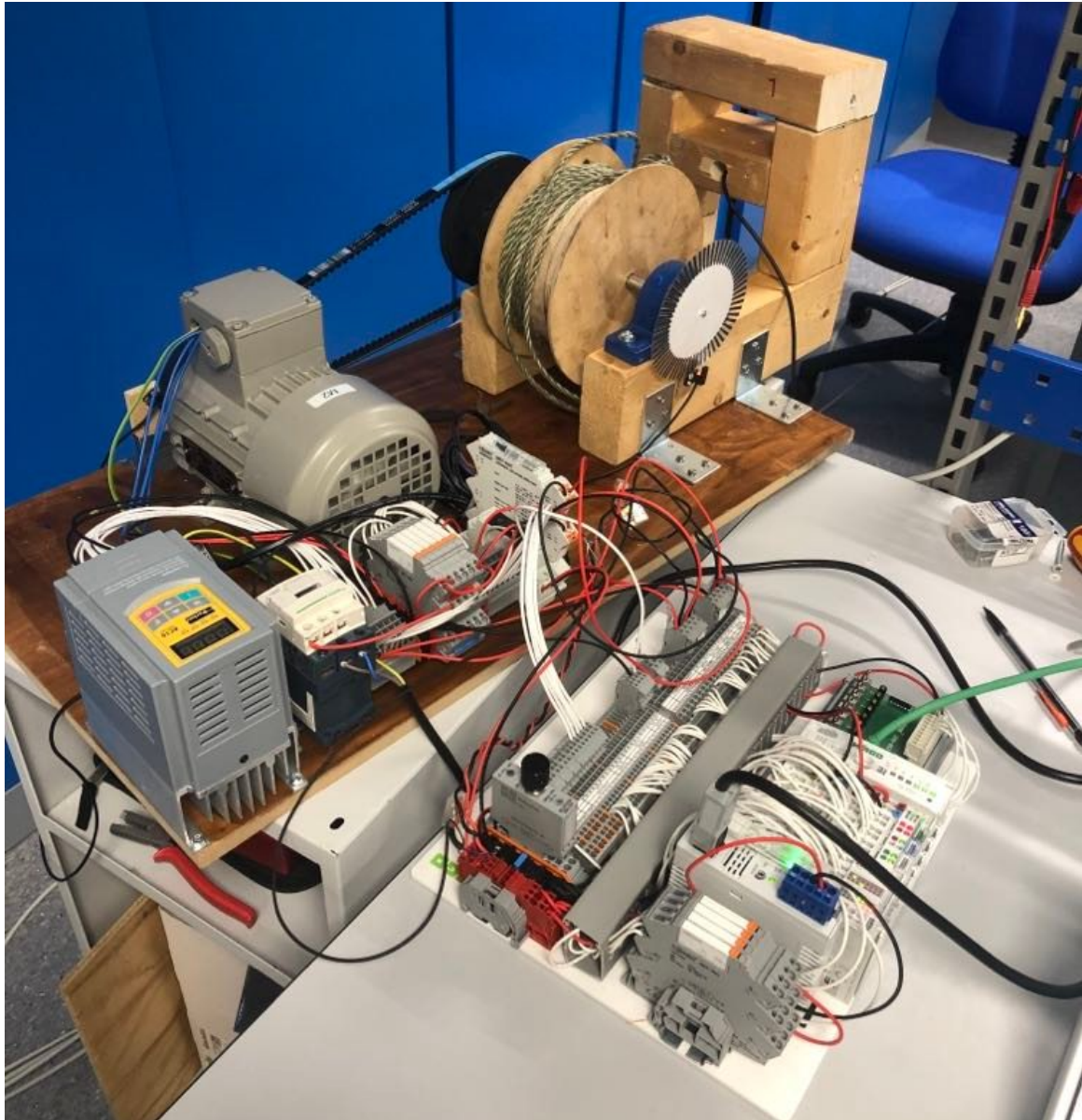
For å få til en elektrisk løsning må man kunne dokumentere påliteligheten til løsningen i forhold til en diesel eller hybrid løsning. Modellen viser en del elektrisk kran og trolley løsning med hovedfokus på sikkerhet. Modellen undersøker muligheten for å overvåke energiforbruk, samt virkningsgrad i systemet. Målet er ikke å lage alt som en sammenlignbar, skalert modell av virkeligheten. Trolley blir ikke laget og kranen blir forenklet, særlig siden det ikke brukes hydraulikk. Å ta med hydraulikken eller trolley er derimot ikke nødvendig for å demonstrere deler av det elektriske systemet. Kapittel 4 dokumenterer hva modellen består av og beskriver hvorfor ulike valg har blitt tatt.

Som sentral del i modellen brukes en AC-motor som kan rotere fram og tilbake for å drive trommelen. Det lages en trommel som brukes som vinsj og skal overvåkes. En blir bygget en PLS med sensorer som blant annet overvåker strømforbruket over tid. Et program lages for modellen. Oppbyggingen av den forenklete modellen er vist i Figur 13. Her vises alle de største komponentene som modellen skal bestå av og vil bli utredet senere med unntak av strømkilde som for denne modellen er 230V stikkontakt.



Figur 13. Simplifisert skjema over kran modellen.

4.1 Hardware



Figur 14. Bilde av kranmodellen.

Figur 14 er et bilde av ferdig bygget modell. For å holde modellen innenfor budsjettet er mesteparten av delene funnet på skolen. Anskaffelsen av deler ble startet tidlig for se hva som var tilgjengelig på skolen før budsjett ble laget. Selv om det ble begynt tidlig er det ikke alle deler som har vært like lett å få tak i. I tabell 3 står det hvor mye som har blitt brukt på deler totalt. Noen ytterlige deler kunne ikke leveres innen tiden.

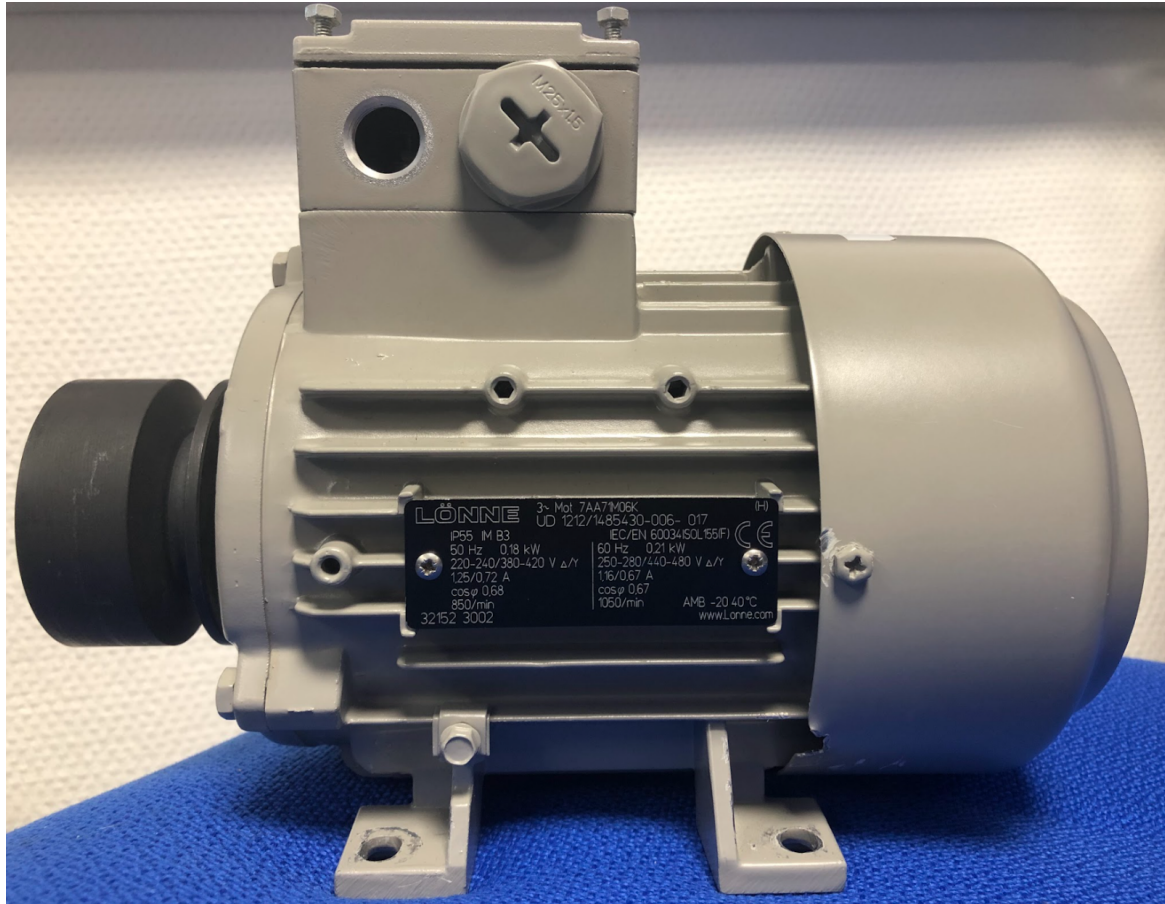
Tabell 3, Forbruk bachelor:

Talje med kulelager fra Jula, bredde 12mm	199 kr
Reim fra Rubix	-*
Reimskive fra Rubix	-*
Batterilader fra Batteriexperten	811,25 kr
TOTAL PRIS	1000,25 kr

**Prisen på Rubix er ikke kjent., men antas til å ligge på max 500 kr. Rubix har rammeavtale med forsvaret.*

Motor

For modellen er det valgt en Lönne trefasemotor 7AA63M02K (Figur 15). Det er en 50Hz motor med en maksimal effekt på 180 W.



Figur 15. Bilde av lönne trefasemotor 7AA63M02K.

Trefasemotoren skal simulere en storskala AC-motor som trengs for å drifte tauet på kranen.

På akslingen henger den en reimskive som skal brukes til å koble motoren til trommelen.

Frekvensomformer



Figur 16. Bilde av Parker AC10 serie, Frekvensomformereren.

For å få muligheten til å justere hastigheten på motoren er det satt inn en frekvensomformer (Figur 16). Frekvensomformereren endrer også fra enfase spenning som stikkontakt leverer til trefase som motoren er laget for. Det brukes en Parker AC10 serie i denne modellen. Frekvensomformereren tar enfase spenning inn og leverer mellom 0.5 til 590 Hz trefase spenning. Den tar opp til 0.37kW, 230VAC og tåler opp til 6.1A. Frekvensomformereren har en bredere rekkevidde på frekvenser som kan brukes enn motoren tåler. For å ikke ødelegge motoren er frekvensomformer innstilt slik at max frekvens er 50 Hz som er merkespenningen til motoren.

Trommel

Motoren har et høyere turtall enn trommelen. Neglisjeres tap er forholdet mellom turtall og moment proporsjonalt, se figur 17c. T =moment, n =turtall m =motor, t =trommel. Det vil si at skal trommelen ha lavere turtall [n_t] vil momentet øke som betyr at det er større kraft til å løfte med. Turtallet er avhengig av omkretsen til trommelen, som vist i figur 17b. O =omkrets, v_h =heisehastighet. Omkretsen er et resultat av radiusen til trommelen, se figur 17a. r =radius.

$$O = 2\pi r$$

Figur 17a. Omkrets formel.

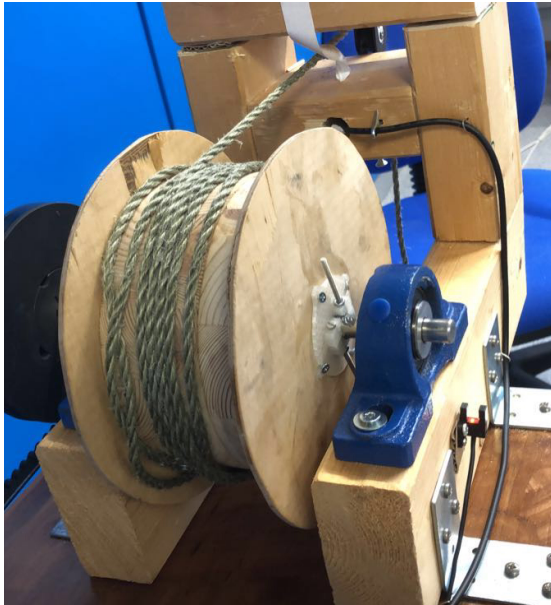
$$n = \frac{v_h}{O}$$

Figur 17b. Formel turtall.

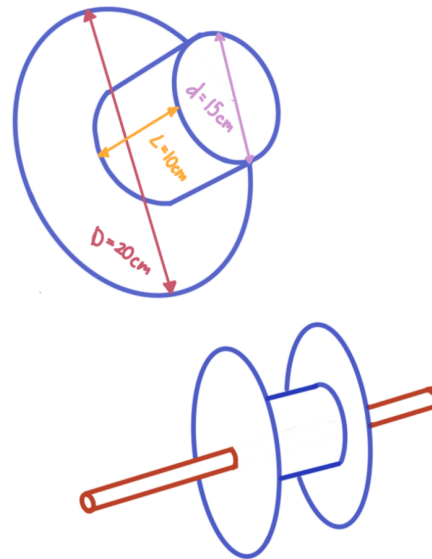
$$\frac{n_m}{T_m} = \frac{n_t}{T_t}$$

Figur 17c. Forholdet mellom turtall og moment.

Trommelen (figur 18) må være stor nok til å ha nok plass til tauet, men skal samtidig være liten for å redusere hastighet. Diameteren må derfor balanseres mellom disse behovene. Om omkretsen er liten må det en høyere rpm til for å oppnå samme heisehastighet. Basert på disse premissene ble trommelen 7.5 cm i radius. Trommen ble laget på mål i tre, se figur 19. Gjennom trommelen går det en metallstav som aksling, som skal holde tomme på plass. Akslingen går gjennom et par hjullagre, en på hver side. Hjullagrene bestemte diameteren på akslingen. Hjullagrene som blir brukt er de som er tilgjengelige på skolen. Akslingens diameter ligger på 12 mm. Det var en utfordring å feste trommelen til akslingen fordi akslingen var så glatt. For å feste trommelen ble det benyttet 3D-printede klemmer som er skrudd fast i trommelen. Festene klemmer på akslingen, for å få økt friksjon mellom akslingen og klemmene er det gaffateip på akslingen der festene sitter, se figur 18.

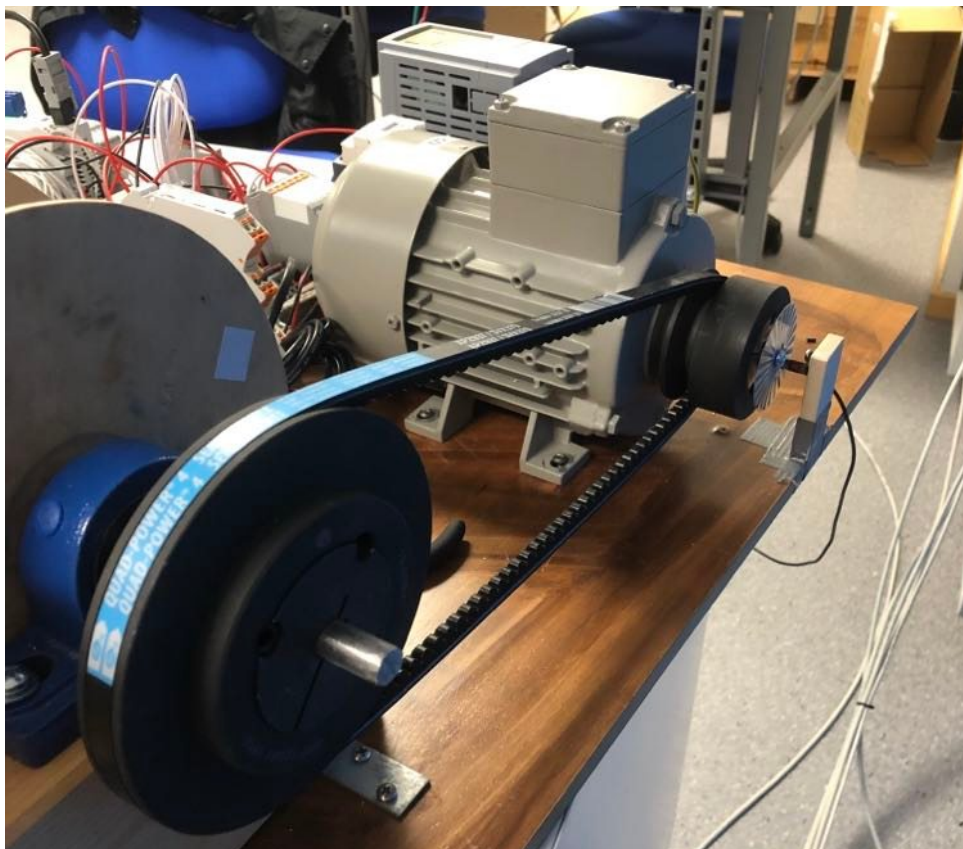


Figur 18. Trommelen med feste og hjullagre.



Figur 19. Design av trommel.

Reim og reimskiver

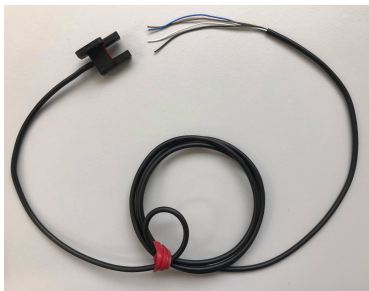


Figur 20. Reim og reimskiver. Stor skive $d = 11\text{cm}$, liten skive $d = 4.5\text{ cm}$.

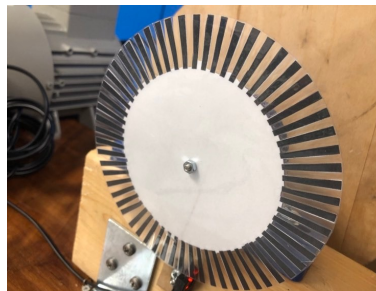
Reim og reimskiver brukes primært til å koble motoren til trommelen. I figur 20 er motoren koblet til trommelen med reim og reimskive. Reim hjelper med å redusere turtallet på trommelen. Her er gir forholdet ca. 0.4/1. Indre diameter for begge benyttes til å finne forholdet. Det betyr at om motorens turtall er 100 rpm, vil trommelen ha et turtall på 40 rpm.

Turtallssensor

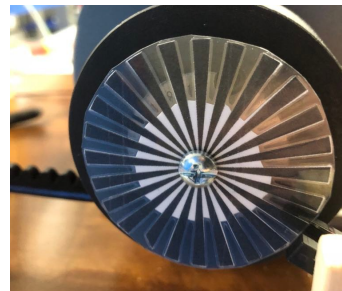
Turtallssensoren (figur 21) skal brukes til å måle turtallet på motoren og strekningen tauet beveger seg. Sensoren som benyttes er en Panasonic PM-F45-P. Sensoren sender ut infrarød lys. Lyset blir blokkert hver gang noe solid går forbi. Hver gang dette skjer sender sensoren ut et boolsk signal til styreenheten. Her ble det printet ut en stjerne med tagger som ble laminert sammen til en encoderskive. Sensoren registrerer ikke gjennomsiktig plast, lyset går gjennom der. Derfor har det blitt laminert to stjerner figur 22a og figur 22b. Stjernene er tegnet i Adobe Illustrator. Den ene stjernen skrudd fast i akslingen til motoren og den andre er festet på staven til trommelen.



Figur 21. Turtallsmåler.



Figur 22a. Stjerne trommel.



Figur 22b. Stjerne motor.

Strømmåler

Siden det er vekselspanning i ledningen som skal måles, brukes en spole for å måle strømmen. Strømmåleren (figur 23) er en Wago komponent, nr 855-3001/060-00. Det indukeres en strøm i spolen når strøm fra ledningen passerer spolen. Amplituden på strømmen som leveres kan regnes om til antall ampere som går gjennom kabelen. Med bruk av loop kalibrator ble det bekreftet at den sendte ut et signal på 0-20 mA for en strøm mellom 0-1.2 A. En signalomformer (2857-0401) ble brukt til å konverterte 0-20 mA-signalet til et 4-20 mA signalt. I programmet leses spennet 4-20 mA som 0 til 32767. Dette brukes til å skalere opp strømmen i programmet. 1 mA indusert i spolen tilsvarer 60 mA i ledningen.



Figur 23. Spole til vekselstrøm måling.

Induktiv sensor

For å kunne måle om kroken har nådd toppen brukes den induktive sensoren i figur 24. Sensoren sender ut et boolsk signal som PLSen kan bruke. Sensoren sender True om noe av metall passer sensorens rekkevidde. I tauet til kranen er det festet en bolt, når bolten passerer sensoren sendes et True signal til PLSen og signalet er True helt til bolten er ute av sensorens rekkevidde.



Figur 24. Induktiv sensor til kranmodellen.

Programmerbar logisk styring (PLS)

PLSen er styresystemet til kran modellen. PLSen består av flere ulike komponenter listet i tabell 4, sensorer ikke inkludert. PLSen er en modell som blir brukt i emnet ING3306. Den har allerede de fleste komponentene som kreves for å styrte motoren. I tabell 4 står det i kolonnen til høyre en kort beskrivelse av hva de ulike komponentene gjør om de er i bruk. For å ikke bruke for mye tid på PLSen kan den kort beskrives med at den tar imot og sender signaler og bruker signalene slik programmet under tilsier. Den er hjernen til modellen og brukes til å overvåke og styre modellen.

Tabell 4, Komponenter i PLS

750-8101 Kontroller	Kontroller, programmerbar. 24VDC. Koblet til ethernett for enkel opplasting av kode og styring.
857-304 Rele	24 VDC, Rele, Lager et elektrisk skille mellom strømtilførselen til motoren, og strømtilførselen til PLS.
787-1602	Strømtilførsel PLS
750-1504 Digital output (DO)	Digital Output, DO 24VDC 0,5A
750-1405 Digital Input (DI)	Leser input signaler, 24VDC
750-638 Opp-Ned teller	Teller signalene den infrarøde sensoren sender.
750-555 Analog output (AO)	Sender output signaler, 4-20 mA
750-455 Analog Input (AI)	Leser input signaler, 4-20 mA
789-802 Bryter	Brukes til å bryte spenningen mellom motoren og PLS
2857-0401 Signalomformer	Konverterer 0-20mA signal fra strømsensor til 4-20mA som 750-455 leser.

4.2 Software

PLSen er programmert for å styre kran modellen. Programmet er skrevet i codesys ved hjelp av programmet e!Cockpit, i PLS-språket Structured Text (ST). Codesys støttes av Wago komponentene som PLSen er bygget opp av. Styring av motor og overvåking av ulike verdier er gjort i hovedprogrammet som heter “Kran_Kontroll”. I tillegg er det tre underordnede funksjonsblokker. En som beregner turtallet på motoren (Turtallsmaaler), en som overvåker kranens posisjon (Posisjon_krok) og en som regner ut rms verdien til strømmen (strom_RMS). I tillegg er det laget et brukerpanel (Styring_overvaaking) for å gjøre det lettere å bruke kranen.

Hovedprogrammet: Kran_Kontroll

```
1 | PROGRAM Kran_Kontroll
2 | VAR
3 |     //kontroll og overvåking av motor
4 |     motor_tilstand:INT;
5 |     NODSTOP:BOOL; // knapp som kan trykkes på i nød
6 |     Meld_kran_pos:STRING;;
7 |     krok: posisjon_krok;
8 |     TROMMEL_rpm,MOTOR_RPM:TURTALLSMAALER;
9 |     T_RPM,M_FRQ, tall:REAL;
10 |     max_heise_hoyde: REAL;
11 |     avstand_fra_toppen: REAL;
12 |     //Overvåking av energi
13 |     effekt,spenning,RMS_strom:REAL;
14 |     Frekvensmotor: WORD;
15 |     skalert_strom:REAL;
16 |     Wh,WH_u:REAL; // watt timer
17 |     RMS:STROM_RMS;
18 |     lader:BOOL;
19 | END_VAR
20 |
```

Figur 25a. Variabler Kran_Kontroll.

```

1 //kontroll av motor
2 CASE motor_tilstand OF
3
4     1: rev:=FALSE;
5     fwd:=FALSE;
6     run:=FALSE;
7
8     2: rev:=FALSE;
9     fwd:=TRUE;
10    run:=TRUE;
11
12    3: rev:=TRUE;
13    fwd:=FALSE;
14    run:=TRUE;
15
16 END_CASE
17
18 IF Motor_opp AND NOT magnet AND NOT topp_pos THEN
19     motor_tilstand:=2;
20 ELSIF motor_ned AND NOT bunn_pos THEN
21     motor_tilstand:=3;
22 ELSIF stop OR (magnet AND fwd) OR (topp_pos AND fwd) OR (bunn_pos AND rev) THEN
23     motor_tilstand:=1;
24
25 END_IF
26
27 Frekvensmotor:=WORD_TO_REAL(setfrekvens*50)/65535; //Lar bruker vite hvilken frekvens de velger.
28
29 IF NODSTOP THEN
30     power:=FALSE;
31     END_IF
32
33 IF topp_pos OR magnet THEN //besked til bruker om at kranen er i topp posisjon
34
35 Meld_kran_pos:='Kranen er i top posisjon.';
36
37 ELSE
38     Meld_kran_pos:='Kranen er så langt fra toppen.';
39 END_IF
40
41 krok(max_avstand_cm:=max_heise_hoyde,avstand_cm=>avstand_fra_toppen); //initialiserer funksjonsblokken.
42 max_heise_hoyde:=70.0; // så langt det er til gulvet.
43
44 TROMMEL_RPM(cv:=TELLERTROMMEL,pt:=T#200MS,N:=60,RPM=>T_RPM);
45 MOTOR_RPM(cv:=TELLERMOTOR,pt:=T#200MS,N:=12,RPM=>tall,FQ=>M_FRQ);

```

Figur 25b. Kran_kontroll, kontroll av motor.

```

47 //overvåking av batteri
48
49 Spenning:=230.0; // 230VAC spenning levert fra stikkontakt.
50 Skalert_strom:=(WORD_TO_REAL(Uskalert_strom)*1.2/32760.0)*60.0; //Skalaen er fra 1:60
51
52 RMS(maalst_strom:=skalert_strom,I_RMS=>RMS_strom);
53
54 effekt:= spenning*RMS_strom;
55
56 IF power AND NOT lader THEN
57
58 Wh:=effekt*TIME_TO_REAL(T#50MS)/(1000.0*60*60)+Wh;
59
60 ELSIF lader THEN
61     Wh:=0;
62
63 ELSE
64     Wh:=Wh;
65
66 END_IF

```

Figur 25c. Kran_kontroll, overvåking av batteri.

Hovedprogrammet heter Kran_Kontroll. Figur 25a viser navnet til alle variablene i Kran_kontroll, det er ikke mulig å bruke æ,ø og å, derfor brukes andre bokstaver for de tre. Programmet har blitt delt inn i to deler for å gjøre den oversiktlig. Figur 25b viser første del som går på kontroll av motor og sikkerhetstiltak. Motor kan kjøres opp og ned, og det kan velges heisehastighet. Eksempel på sikkerhetstiltak er at motoren stopper automatisk når den når toppen. Det er redundans i måten å sjekke om kroken har kommet til toppen. Det er en induktiv sensor på høyeste punkt tauet kommer. Tauet har en stålbolt på høyeste punkt kloa kan heises. Sensoren gir et True signal hvis noe av metal kjører forbi, som fører til at motoren stopper. Det er dessuten en funksjonsblokk som måler hvor langt fra taljen kroken er og stopper kroken om den kommer for nærme. Dette forklares nærmere i avsnittet til funksjonsblokken Posisjon_krok. Det er satt inn en nødstopppknapp. Den stenger strømtilførselen til motoren i tilfelle noe er galt og motoren må stoppes.

Den andre delen av hovedprogrammet i figur 25c behandler overvåkingen av batteriet. Overvåkning av batteri tar inn verdi fra strømsensoren. Sensorverdien, variabel uskalert_strom, leses inn og blir skalert til riktig strøm skalert_strom (Figur 25c, linje 59). Den aktuelle verdien til strømmen leses inn i funksjonsblokken Strom_rms, (linje 61, i figur 25c). Der regnes RMS verdien til strømmen ut. RMS verdien til strømmen, RMS_strom brukes til å regne ut effekten. Effekten brukes til å regne ut hvor mange kWh som har blitt brukt av batterikapasiteten. Om batteriene blir oppladet, resetter det forbruket til 0. Dette er en del av det som kunne blitt BMS eller EMS i en videreutviklet versjon.

Det var originalt meningen å bruke vekselretter og batteri som en del av modellen. Det var ikke mulig å få tak i en vekselretter. Planlagt vekselretter gikk ut av sortimentet rett før det var tid til å handle den inn. Da var det heller ikke noe poeng i å kjøpe batteri. Meningen med å måle hvor mange kWh som har blitt brukt er for å kunne gi en prosent på hvor mye batterikapasitet som gjenstår på batteriene. Batterikapasitet er oppgitt på batteripakken i amperetimer. Si at det ble brukt to 12 V batteri i serie. Da ville batteriene levert 24V videre og hatt batterikapasiteten det står på pakken. Si for eksempel 7Ah. Da ville batteriene kunne levert 168 Wh. Så kunne prosenten som gjensto blitt regnet ut med å ta $100 * Wh_{brukt} / Wh_{totalt}$. Programmet kunne også holdt igjen slik at om det var 20% igjen på batteriet kunne brukeren fått en melding at med mindre det var nød må de gå å lade batteriene. Det

skulle blitt koblet opp spenningsmåling og strømmåling på batteriene for å se at spenningen og strømmen som leveres stemmer med merkeverdier. Spenningen fra batteriene synker etterhvert som batteriene utlades. Det var også for å kunne regne ut nøyaktig kilowattimer som brukes. Det kunne også blitt brukt til å finne gjennomsnittlig virkningsgrad med å måle effekt inn/effekt ut. Det er noen momenter som modellen mistet. Likevel, modellen er ikke ment til å lage et fullverdig battery management system.

Turtallsmaaler

Koden til turtallsmåleren er skrevet av Alexander Sauter (Sauter,2021). Koden bruker antall tagger som telles en en gitt oppløsningstid på å regne ut både turtall og frekvens.

Oppløsningstiden er satt opp 200ms, 4 ganger syklus til programmet. Det betyr at selv om turtallet oppdateres sjeldnere blir det et bedre gjennomsnitt av tagger som passerer og turtallet blir mer nøyaktig. Turtall og frekvens er to sider av samme sak. Koden ligger i en funksjon blokk, det gjør at den kan brukes flere ganger i hovedprogrammet. Der brukes den to ganger for å regne ut turtallet til trommelen og frekvensen til motoren.

Funksjonsblokk: Posisjon_krok

```
1  FUNCTION_BLOCK Posisjon_krok
2
3  VAR_INPUT
4      max_avstand_cm:REAL;
5  END_VAR
6  VAR_OUTPUT
7      avstand_cm:REAL;
8  END_VAR
9  VAR
10     forrigetagger:WORD;
11     avstand,diff,max_avstand:DINT;
12     forrige_avstand:WORD;
13 END_VAR
14 VAR_EXTERNAL
15     kalibrering:BOOL;
16     tellertrommel:WORD;
17     rev,fwd:BOOL;
18     topp_pos,bunn_pos:BOOL;
19 END_VAR
20
```

Figur 26a. Variabler Posisjon_krok.

```
1  IF kalibrering THEN
2      forrigetagger:=tellertrommel;//da skal kroken være i topp posisjon
3      avstand:=0;
4  END_IF
5
6
7  IF forrigetagger > tellertrommel THEN
8      diff:=WORD_TO_DINT(tellertrommel+(65535-forrigetagger));
9  else
10     diff:=WORD_TO_DINT(tellertrommel-forrigetagger);
11 END_IF
12
13 max_avstand:=REAL_TO_DINT((max_avstand_cm*60)/(16*3.14));
14
15 IF rev THEN
16     avstand:=LIMIT(0,avstand+(diff),max_avstand);
17 ELSIF fwd THEN
18     avstand:=LIMIT(0,avstand-(diff),max_avstand);
19 END_IF
20
21     forrigetagger:=tellertrommel;
22     avstand_cm:=(DINT_TO_REAL(avstand)*(3.14*16))/60;
23
24     topp_pos:=avstand = 0;
25     bunn_pos:=avstand = max avstand;
```

Figur 26b. Kode Posisjon_krok.

Figur 26a viser variablene og 26b viser koden til funksjonsblokken Posisjon_krok. En alternativ bruk av teller funksjonen som brukes i turtallsmåleren er å regne ut avstanden mellom krok og talje som blir gjort i Posisjon_krok. Det er praktisk å kunne vite hvor langt fra toppen kroken har beveget seg. En tagg tilsvarer en viss avstand, dette utnyttes her. Hver gang motoren beveger seg opp eller ned teller den avstand i form av antall tagger som har passert. Taggene adderes eller subtraheres avhengig av om motoren kjøre opp eller ned. Så er det bare å gange opp hvor mange cm antallet tagger som har passert tilsvarer. Det leveres også ut et boolsk signal når avstanden er 0 eller max avstand. Disse utnyttes til å sette motor_opp og motor_ned til false avhengig av om kroken har nådd bunn eller topp. Dette gjør at om bruker prøver å kjøre kroken for langt vil programmet hindre bruker i å krasje lasten. Det kan resettes toppunkt manuelt. Dette må gjøres hver gang det er første gang kranen brukes slik at tellingen er riktig. Kroken må stå i topp posisjon når programmet skal kalibreres. Videre utvidelser av programmer kan være å la bruker skrive hvor langt fra toppen kranen er så slipper de å heisekranen til topp for å kalibrere.

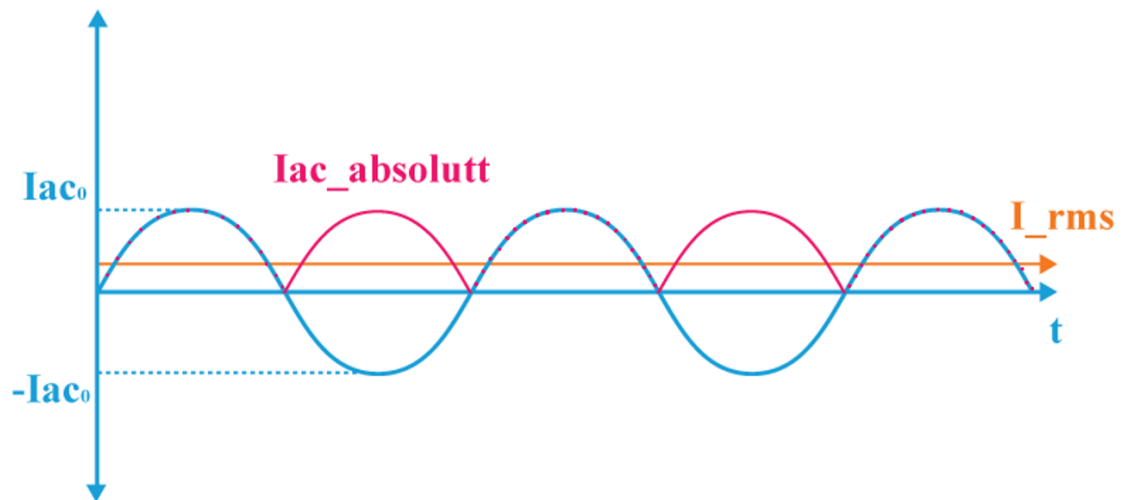
Funksjonsblokk: strom_RMS

```

1  FUNCTION_BLOCK Strom_RMS
2  VAR_INPUT
3      maalt_strom:REAL;
4  END_VAR
5  VAR_OUTPUT
6      I_RMS:REAL;
7  END_VAR
8  VAR
9      N:REAL;
10     I_middlertidig:REAL;
11 END_VAR
12
1
2  N:=N+1;
3
4  I_middlertidig:= I_middlertidig + maalt_strom;
5
6  IF N = 20.0 THEN //antall strømmålinger det skal tas gjennomsnittet av.
7      I_RMS:=SQRT(EXPT(I_middlertidig,2.0)/N); // Finner RMS verdi av strømmen.
8      N:=0.0;
9      I_middlertidig:=0;
10 END_IF

```

Figur 27 strom_RMS kode.



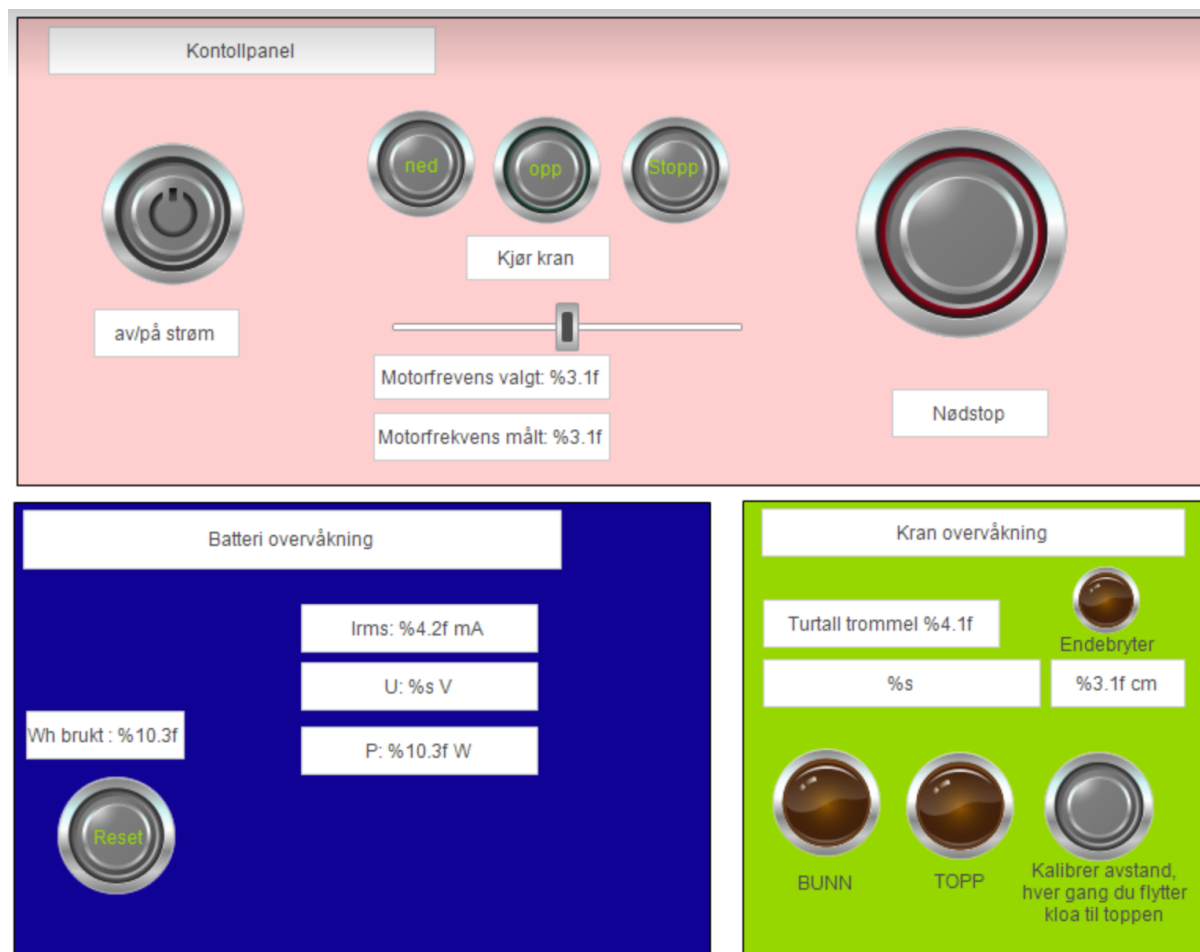
Figur 28 Vekselstrøm vs I_rms.

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{0}^{n} I_n^2}$$

Figur 29 Formel for I_rms.

Strøm_RMS funksjonsblokken (figur 27) regner ut RMS verdien til Strømmen som måles av strømsensoren. Strøm sensoren måler vekselspenning. Disse målingene kan ikke brukes direkte til å regne ut effekt fordi svingeperioden til strømmen som leses er ukjent. Figur 28 demonstrerer hvordan vekselstrøm (Iac) ser ut over tid. Strøm sensoren gir absoluttverdien (Iac_absolutt), da ser strømmen likerettet ut. I_rms er effektivverdien til strømmen. Den kan benyttes til å regne ut effekt, effekt=effektivverdien til strømmen* spenningen. For å finne effektivverdien til strømmen benyttes formelen i figur 29. Det summeres opp 20 målinger og tas RMS gjennomsnitt av summen.

Styring_overvaaking



Figur 30. Brukerpanel.

Figur 30 viser brukerpanelet til kran modellen. Panelet er delt opp slik at bruker raskt kan finne det de ser etter. Bakgrunnsfargene gir klare skiller mellom ulike kategorier. Det er delt opp etter styrting av kran, overvåkning av batteri, overvåking av kran. Det er viktig å ha alt som bruker trenger på en side når de skal kjøre kranen. Hvis batteriene begynner å bli dårlige trenger bruker å vite det så de kan avslutte kjøring av kran og undersøke og fikse det som er galt før de fortsetter å bruke kranen. Likevel er det en fare at det blir for mye på en side. Derfor har blant annet mengden desimaler som vises blitt begrenset, I_{rms} vises med %4.2, det betyr at fire desimaler foran komma og to bak vises. Variablene er begrenset av hvor høy tallverdi de sannsynligvis får i virkeligheten, det skal for eksempel ikke være mulig å kjøre 10A på denne modellen. Det kan være gunstig at varsler popper opp, og bare kontrollpanelet vises, men det er en mulighet for videreutvikling.

5 Drøfting av konseptet som helhet

I denne oppgave har det blitt undersøkt hvordan kran og trolley løsningen kan bli mer miljøvennlig. Det har blitt regnet ut at batteriene 2170 fra panasonic, med nok plass tilgjengelig på trolleyen, har tilstrekkelig med energi til å kunne drifte motoren til hydraulikken, vinsjen og trolley innenfor kravene fra Motus. De største forbrukerne er estimert til å bruke 148.8 kWh, mens batteriene kan lagre opp til 358.5 kWh. Det er lurt å lade opp batteriene med likeretter på plattformen for å spare plass i trolleyen. Det er lurt å benytte en HPU fordi kranen skal kunne løfte ting vertikalt. Ulike sikkerhetstiltak rettet mot farer de elektriske komponentene har blitt vurdert. Modellen har bidratt til å demonstrere ulike sikkerhetstiltak som kan benyttes for kraner.

Det er mye informasjon som trengtes for å finne en god løsning på denne typen anlegg. På nettet er det mye informasjon om de ulike komponentene alene, men få sammensatte verk for hvordan man skal konstruere et slikt anlegg annet enn forskrifter. Plattformkraner er et spesifikt tema. Derfor er det vanskelig å finne sammenlignbare systemer. Ikke alt som er forsket på og utviklet av ulike selskap er publisert på nettet. En del av kildene kommer fra selskap som prøver å selge ett produkt. Det betyr ikke at det selskapene skriver er usant, men at informasjonen kan være vinklet til selskapets fordel. Eksempel på dette er greenwashing hvor selskap som prøver å selge noe bruker statistikk som tilsynelatende virker miljøvennlig for å markedsføre sine produkter (Lykiardopoulou, 2021).

Diesel-elektrisk hybrid løsning og en helelektrisk løsning har ulike fordeler og ulemper. Begge systemer krever de elektriske komponentene som batterier, kraftelektronikk og AC-motor. Hybrid krever i tillegg dieselgenerator og likeretter. Det er skadelig for miljøet å produsere flere deler, særlig når det er ikke behov for disse. Hybrid er et mer komplekst system som innebærer mer vedlikehold og dyrere pris. Likevel har de en ekstra sikkerhet, om det skulle være behov for denne sikkerheten. Hvis batteriene svikter kan fortsatt generatoren generere strøm for å lade batteriene eller drive motorene. Likevel finnes det ulike måter å gi en elektrisk kran redundans utover å gjøre den til en hybrid. En hybrid løsning vil ha lavere utslipp enn en dieseldrevet kran, men sparer ikke miljøet nok til å rettferdiggjøre produksjonen av alle de ekstra delene. Om en helelektrisk løsning er mulig, vil det alltid være bedre fordi de har færre deler og tilnærmet lik null utslipp.

For å kunne vurdere miljøvennligheten til en elektrisk løsning er det greit å ha noe å sammenligne med. Man kan ta utgangspunkt i en dieselhydraulisk løsning. En gjennomsnittlig dieseldrevet kran kunne også ha drevet en HPU på 100 kW, lik linje med den elektroniske løsningen. Virkningsgraden er derimot dårligere. Med utgangspunkt i diesel bilmotorer viser forskning at dieselmotorer har en virkningsgrad på ca. 30-40% (Seehusen, 2012). Det betyr at det kreves opp til 50.4 kWh levert til dieselmotoren, der AC-motoren bare krever 36 kWh. Energibruken er dermed betydelig høyere ved dieseldrift. Diesel produserer 0.265 kg CO₂ /kWh (Miljødirektoratet, 2020). Dermed produserer dieselløsningen bare for å drive motoren til vinsjen opp til 13.5 kg CO₂ per time. Det er mot batteriene som produserer tilnærmet lik null utslipp.

Selv om en elektrisk modell kan ha veldig lavt utslipp er det viktig å få ned forbruket. Det handler ikke bare om utslippet underveis, men også om utslippet i forkant. Første spørsmål å stille er hvor strømmen til batteriene kommer fra. Om strømmen er produsert fornybart har mye å si for om kranen virkelig kan kalles mer miljøvennlig (Lienert, 2021). Det er ikke sikkert at batteriene blir oppladet med strøm som er hentet fra miljøvennlige kilder, som for eksempel sol- eller vindkraft. I fremtiden er det planer om å kunne koble plattformen til landstrøm. I dag er det faktisk dieselgeneratorer på plattformen som produserer strømmen. Målet er å erstatte dieselgeneratoren med grønnere alternativer. Å lage elektriske kraner er en del av utviklingen for det grønne skiftet. Den tyske professoren Hans Peter Lenz, fra Karlsruher Institut für Technik, KIT har gjort forskning på den reelle virkningsgraden til elektriske biler om hvor strømmen kommer fra er tatt med i beregningen. Mye av strømmen i Tyskland blir produsert med kullkraft og gasskraft anlegg. Det betydde at selv om en elbil har 90% virkningsgrad er den reelle virkningsgraden langt lavere. Når veien fra kraftverk til bil blir tatt med i ligningen er det mye mer strøm som går tapt underveis, og utslippet er høyt relativt sett til mengden energi. Undersøkelsen til Professor Lenz ble publisert i 2012, siden da har Tyskland økt prosentandelen produsert energi som er fornybar fra ca. 24 % i 2012 til ca. 44.6% i 2020 (Kerstine Appunn, Yannick Haas, Julian Wettengel, 2021). Derfor er det fortsatt viktig å elektrifisere anlegg som kan kjøres med strøm. Å redusere antall anlegg som produserer utslipp er en viktig del av omstillingen til miljøvennlige driftsmetoder. Innen ti år er det på verdensbasis antakelig en enda høyere prosent av energi produsert fornybar, basert på utviklingen som har vært.

At det er mer miljøvennlig med en helelektrisk løsning er dermed tilsynelatende klart, men er den elektriske løsningen i denne oppgaven mulig og god? Den største begrensningen kan være batterikapasitet. Med litium-ion batterier er etter beregningene batteri dekningsgraden over kravet basert på tilgjengelig volum til batteriene. Derfor burde det ikke være noe problem med å velge en elektrisk løsning.

Når det kommer til sikkerhet står det i *Standard for offshore and platform lifting appliances DNVGL-ST-0378*, at kranen skal være tilgjengelig innen ett minutt, men ikke hvor lenge den skal holde på. Med den batterikapasiteten som er tilgjengelig kan det legges inn nok batterier til at over 148.8 kWh holdes av til nødsituasjoner. Det vil betyr at det er en mulighet for 30 min med kjøring og 30 min med løfting, avhengig av lasten kanskje til og med til lengre. Det ville være merkelig å forvente at kranen skal klare mer i nød enn i typisk drift. Likevel er det kapasitet til det.

Når det kommer til redundans er det ikke slik at kranen har to alternative driftsformer slik som hybrid løsning ville hatt, men det har ikke en dieseldrevet løsning heller. En elektrisk løsning kan virke mer sårbar. Dieselmotorer kan kobles direkte til vinsjen med gir. Det er mange ledd mellom batteriene og AC-motoren. Likevel kan dette kompenseres for med andre typer sikkerhetstiltak som for eksempel et energy management system som er tilpasset anlegget med mulighet for å bruke brytere for lukke og åpne alternative tilførselsruter fra batteriene til de ulike forbrukerne. Det kan være reservebatteri kun tiltenkt nød som er ladet og klar. Skulle batteriene begynne å brenne er det mulig å lage et system som skiller batteriet fra resten av anlegget. Så selv om det er svakheter i et elektrisk anlegg er det også muligheter for å kompensere for svakhetene.

I modellen har det blitt demonstrert noen enkle sikkerhetstiltak som kan gjøre drift mer sikker. Hovedprogrammet gjør en god jobb med å samkjøre de ulike funksjonene programmet skal ha. Det er oversiktlig at det er et skille mellom batteri. I modellen ble noen sikkerhetsmomenter fremhevet. Sikkerhetstiltak som strømovervåkning og sensorer som passer på å hindre kroken i å heises for høyt eller lavt.

Måten strømmens effektivverdi er beregnet på gjør at det kan bli en høy feilmargin. Med et tangamperemeter ble det målt stabilt målt 0,24 A, mens i samme tilstand vekslet programmets målinger mellom 0.21-0.29 A, på snitt litt høyere enn kontrollmålingen. Det kan utbedres med en bedre strømsensor, den som brukes her er av nøyaktighetsgrad 3. Det finnes mer nøyaktige målere. Det er også mulig å ta hyppigere målinger og oppdatere strømmen oftere. Nå oppdateres I_{rms} gjennomsnittlig hver 20. måling. Det tilsvarer at verdien for strømmen oppdateres en gang i sekundet. Hadde det vært hyppigere målinger fra sensoren kunne strømmen blitt mer nøyaktig. Grunnen til at hyppigere målinger gjør resultatet mer nøyaktig er at det er større sannsynlighet for at tidspunktet der målingen blir tatt er jevnere fordelt. Det er fullt mulig at målingene treffer frekvensen til strømmen på en slik måte at RMS verdien blir lavere eller høyere enn virkeligheten. Ved hyppigere målinger kan I_{rms} ha flere verdier å ta gjennomsnittet av og likevel oppdatere strømmen hvert sekund.

Stjernene som den infrarøde sensoren måler er litt skjeve, så turtallsmålingen påvirker turtallsmålingen. Turtallet som leses ut veksler mye, i testkjøring kunne turtallet målt variere mellom 75-80 rpm, mens målt med tachometer kunne turtallet ligge på 78 rpm. At målingene til den infrarøde sensoren hadde så unøyaktige målinger, hadde også konsekvenser for posisjon_krok. Hvis sensoren ikke måler riktig blir feilmarginen stor. Når en 1 tagg tilsvarer 0.8 cm og max avstand er for eksempel 1m vil 0.8 cm utgjøre en stor forskjell som gjør at programmet som sikkerhetsfunksjon er dårlig. Hvis kroken blir kjørt ned og så opp stopper kranen før punktet der den startet. Grunnen til at posisjon_krok ikke husker hvor den var kan være at det er litt slark i vinsjen, at variabelen som husker avstand (avstand, figur 26b), mister noen desimaler når datatypen word konverteres til dint. Det kan være mulig å utbedre disse utfordringen med å forbedre hardware. For videreutvikling av modellen kunne det vært lurt å 3D printe stjernene og festene deres slik at målingene blir mer stabile. Hvis mulig kan det hjelpe å gjøre diameteren til stjernen større og øke antall tagger. Slik at en tagg tilsvarer en mindre prosent av total avstand slik at om det er 3-4 tagger feil i tellingen gir det mindre relativt utslag. Det går også ann å finne ut om det er raskere infrarøde sensorer på markedet. Evt. kan man benytte en annen type sensor for å måle turtallet.

Modellen kan bli videreutviklet med flere overvåkningsmetoder. Demonstrasjon kan det være lurt å legge til batterier og vekselretter, eller eventuelt prøve å lage DC-fordeling og bytte ut frekvensomformerer med DC/AC-omformer.

Med batterier kan modellen ha temperaturmålere på batteriene. Et tegn på at batteriet begynner å bli dårlig er overopphetelse. Hvis for eksempel batteriet blir for varmt fordi kjølesystemet svikter under opplading eller strømtilførselen er for høy, kan batteriet sprenges, produsere røyk eller ta fyr (Stockley et. al. 2014). Temperaturmåler kan bidra til å unngå at det går så langt ved å overvåke temperaturen på batteriet.

Det kan også være interessant å lage et fullverdig BMS og EMS system til modellen. Da må det legges inn feller overvåkningspunkt av spenning og strøm mellom batteri, omformer og motor.

Det ble ikke laget bremses til modellen. Det fremhever behovet en AC-motordrevet kran har for bremses. Uten bremses siger kroken ned om den har last. Det er tydelig hvorfor det er et krav i "Forskrift om Standard for offshore and platform lifting appliances DNVGL-ST-0378" kapittel 7.4 å ha mekaniske bremses for alle bevegelige deler. Det finnes også elektriske bremses som er fjærbelastet, som slår inn om strømmen går. Det er veldig viktig at bevegelige deler er sikret mot strømbuidd.

Det som kan trekkes ut ifra modellen er at det lønner seg å ha redundans for ulike sikkerhetstiltak. Om sensorer er dårlige skjer det fort at programmet svikter. Slik som for eksempel posisjon måleren, den teller opp og ned, men om teller kommer ut av takt blir posisjonen fort feil. Om man ikke manuelt stopper motoren i å heise er det bra at det er en magnet sensor som kan stoppe kranen i tillegg slik at den ikke kolliderer i taljen.

6 Konklusjon med anbefaling

Det blitt undersøkt om det finnes en god måte å lage en batteridrevet kran og trolley løsning. Teori har blitt redegjort, det har blitt vurdert hvilke komponenter som er tilgjengelig og brukbare, beregnet effektforbruk til anlegget og laget en liten modell.

En elektrisk kran på den skalaen som var forespurt vil la seg gjøre basert på det som er funnet i oppgaven. En elektrisk løsning er mer miljøvennlig enn en hybrid løsning, både produksjons- og driftsmessig. For hver svakhet i et elektrisk anlegg er det viktig å ha flere sikkerhetstiltak for å oppnå sikker drift. Elektriske anlegg er fleksible og tillater mange mulige sikkerhetstiltak. Eksempler er BMS, EMS, mekaniske bremses og alternative tilførselsruter, for å nevne noen.

Funnene i denne oppgaven er ment som et første utkast. For videre utvikling av konseptet anbefales det til videre til iterasjoner å følge fremgangsmåten i oppgaven, men å inkorporere flere elementer. I neste steg kan det være nyttig å regne gjennom effektbehovet med komponentene funnet i denne oppgaven, eller alternativt bruke behovene som er funnet i denne oppgaven til å finne bedre egnede komponenter for så å bruke merkeverdiene deres til å regne ut nytt effektbehov for å se om det er mye som kan forbedres. Videre er det nødvendig å regne ut spesifikt hvor stort rammeverket blir, som har mye å si for total vekt.

Modellen kan videreutvikles videre og gir et grunnlag for å kunne teste sikkerhetstiltak og oppdage hull i sikkerheten.

Totalt sett vil det være gunstig å lage en elektrisk kran. Det vil spare miljøet for utslipp av miljøgasser. Å elektrifisere anlegget vil derfor bidra til å bremse klimaendringene, en av de største utfordringene menneskeheten står overfor.

Kilder

Ace-winch, 2021, 65 - 100KW HPU,

<https://ace-winch.com/products/hydraulic-power-units-hpus/diesel-hydraulic-power-units/65-100kw-hpu/>

Anda-Olsen, 2020, Inverter 3kVA 24VDC/400VAC 3 FASE,

<https://www.anda-olsen.no/inverter-3kva-24vdc-400vac-3-fase>

Hentet: 21.11.2021

Alexander Sauter, 30.04.2021, Innlevering 4 - Turtallsmåler "Encoder", løsningsforslag,

Hentet fra OneNote den 25.10.21

Bradley Raines, 01.06.2019, AC and DC Motors: Differences and Advantages | Types of Electric Motors, <https://www.gainesvilleindustrial.com/blog/ac-dc-motors/>

Celera Motion, 2021, Motor Pole Count,

<https://www.celeramotion.com/applimotion/motor-pole-count/> Hentet 30.11.2021.

Cranes today, 03.08.2003, How to build an offshore crane,

<http://www.cranestodaymagazine.com/features/how-to-build-an-offshore-crane>

Chris Woodford, 23.11.2020, Lithium-Ion Batteries,

<https://www.explainthatstuff.com/how-lithium-ion-batteries-work.html>

DNK Power, 2019, All Things You Need to Know about 21700 Battery,

<https://www.dnkpower.com/teslas-mass-production-21700-battery/>

DNV GL, Mai 2016, Standard for offshore and platform lifting appliances DNVGL-ST-0378,

<https://rules.dnv.com/docs/pdf/DNV/ST/2016-05/DNVGL-ST-0378.pdf>

FN, 24.09.2019, Klimaendringer, <https://www.fn.no/tema/klima-og-miljoe/klimaendringer>

GC Marketing, 28.12.2018, Can hydraulic systems be energy efficient?,

<https://gcc-na.com/can-hydraulic-systems-be-energy-efficient/>

Geertsma, Negenborn, Visser og Hopman, 2017, Design and control of hybrid power and propulsion systems for smart ships: A review of developments. Applied Energy nr. 194.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261917301940> 27.05.2019

Ioanna Lykiardopoulou, 31.05.2021, Car companies are ‘greenwashing’ their plug-in hybrid vehicles, <https://thenextweb.com/news/car-companies-greenwashing-plug-in-hybrid-vehicles>

Joachim Seehusen, 28.04.12, Elbil mindre miljøvennlig enn diesel,

<https://www.tu.no/artikler/elbil-mindre-miljovennlig-enn-diesel/245709>

Kerstine Appunn, Yannick Haas, Julian Wettengel, 03.08.2021, Germany’s energy consumption and power mix in charts,

<https://www.cleanenergywire.org/factsheets/germanys-energy-consumption-and-power-mix-charts>

Kilowatt classroom, 2003, VFD Fundamentals,

<https://controltrends.org/wp-content/uploads/2010/10/VFFundamentals.pdf>

Kyle Field, 28.01.2019, Tesla Model 3 Battery Pack & Battery Cell Teardown Highlights Performance Improvements,

<https://cleantechnica.com/2019/01/28/tesla-model-3-battery-pack-cell-teardown-highlights-performance-improvements/>

Madeleine Stone, 09.06.2021, Will charging electric cars ever be as fast as pumping gas?, *National geographic*,

<https://www.nationalgeographic.com/environment/article/will-charging-electric-cars-ever-be-as-fast-as-pumping-gas>

Mark Fedkin, John A. Dutton, 2020, 6.5 Efficiency of Inverters,

<https://www.e-education.psu.edu/eme812/node/738>

Michael J. Driscoll, 23.05.2019, Electrical Fires: What You Need to Know About Lithium-Ion Batteries,
<https://www.envistaforensics.com/knowledge-center/insights/articles/electrical-fires-what-you-need-to-know-about-lithium-ion-batteries/>

Miljødirektoratet, 13.10.2020, Tabeller for omregning fra energivare til utslipp,
<https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klima/for-myndigheter/kutte-utslipp-av-klimagasser/klima-og-energiplanlegging/tabeller-for-omregning-fra-energivarer-til-kwh/>

Illustrasjon “Rail Cranes” av Motus, Hentet 27.10.2021,
<https://www.motustech.no/fishery-and-farming/ocean-farming/>

Olav Vaag Thorsen. 2000. *Kraftelektronikk* (5.utg.). Oslo, Gyldendal Yrkesopplæring

Paul Lienert, 07.07.2021, When do electric vehicles become cleaner than gasoline cars,
<https://www.reuters.com/business/autos-transportation/when-do-electric-vehicles-become-cleaner-than-gasoline-cars-2021-06-29/>

Saif M., 02.06.2020, A.C MOTORS: TYPES, WORKING, CONSTRUCTION, APPLICATIONS, ADVANTAGES, <https://www.theengineerspost.com/types-of-ac-motor/>

SalMar, 2020, Teknologi og innovasjon er bærekraft,
<https://www.salmar.no/baerekraft/teknologi-og-innovasjon/>

Sew Eurodrive, 2019, Drive Solutions for Cranes X./HC Series Hoist Gear Units,
<https://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/28477073.pdf>

Sjøfartsdirektoratet. Kran og løft på flyttbare innretninger, 2018, Forskrift om kran og løft på flyttbare innretninger (FOR-2017-12-21-2381), Hentet fra
<https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2017-12-21-2381>

Steven Loveday, 02.08. 2019, Tesla Model 3 Battery Cells & Pack Resist Fire In Crash
<https://insideevs.com/news/363109/tesla-model-3-battery-fire-resistance/>

T. Stockley, K. Thanapalan, M. Bowkett & J. Williams (2014) Design and implementation of an open circuit voltage prediction mechanism for lithium-ion battery systems, *Systems Science & Control Engineering: An Open Access Journal*, 2:1, 707-717, DOI: 10.1080/21642583.2014.956268, <https://doi.org/10.1080/21642583.2014.956268>

Tribology-abc, Coefficient of friction, Rolling resistance and Aerodynamics
<https://www.tribology-abc.com/abc/cof.htm>, hentet 19.11.21

VEM, 2021, Electronic Catalog, <https://shop.vem-group.com/>

Wallbox Chargers, S.L. (2021). EV Charging Current: What's the Difference Between AC and DC? *Wallbox*. Hentet 20.10.2021, https://wallbox.com/en_catalog/faqs-difference-ac-dc

Worldwide Hydraulic Professionals, 21.04.2020, Basics of Hydraulic Power Units(HPU), Hentet 24.10.21, <https://whyps.com/basics-of-hydraulic-power-units>

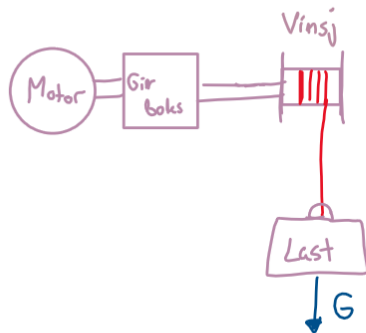
Zokecrane Co., Ltd. 2021. Wire Rope Trommer,
<https://www.zoke-crane.com/no/wire-rope-drums/>

Vedlegg

Vedlegg A: Beregninger delkapittel 3.2

Beregning av momentet til motoren til vinsjen heisehastighet 1m/s:

Moment motor til vinsj



$$G = m \cdot g$$

$$G = 20 \cdot 10^3 \cdot 9.81 = \underline{\underline{196.2 \text{ kN}}}$$

$$\text{radius trommel: } r_T = 0.5 \text{ m}$$

$$v_h = 1 \text{ m/s}$$

$$v_h = r \omega = r \cdot 2\pi n \quad \Rightarrow \quad n_t = \frac{v_h}{2\pi r_T} = \frac{1 \cdot 60}{2\pi \cdot 0.5} = \underline{\underline{19.1 \text{ rpm}}}$$

$$T_T = G \cdot r_T = 196.2 \text{ k} \cdot 0.5 = \underline{\underline{98.1 \text{ k Nm}}}$$

Vi ønsker en utveksling som gjør at $n_m = 590 \text{ rpm}$

$$\text{Gir utveksling: } GR = \frac{T_{\text{out}}}{T_{\text{in}}} = \frac{T_T}{T_m} = \frac{n_m}{n_t} = \frac{590}{19.1} = 30.1$$

Det gjør at T_{in} fra motor T_m :

$$T_m = \frac{T_T}{GR} = \frac{98.1 \text{ k}}{30.1} = \underline{\underline{3.18 \text{ k Nm}}}$$



Beregning av effektbehovet til motoren til vinsjen:

Effekt behov vinsj

$$m = 6 \text{ t} = \underline{6000 \text{ kg}} \quad t = 2 \cdot 15 = 30 \text{ min} = \underline{1800 \text{ s}}$$

$$G = m \cdot g = 6000 \cdot 9,81 = \underline{58,9 \text{ kN}}$$

$$T_r = G \cdot r_r = 58,9 \text{ k} \cdot 0,5 = \underline{29,4 \text{ kNm}}$$

$$T_m = \frac{29,4 \text{ k}}{30,1} = \underline{967,7 \text{ Nm}}$$

Linear interpolasjon (Tar ikke med synkende virkningsgrad eller tarball)

$$P_m = P_1 + (T_m - T_1) \frac{(P_2 - P_1)}{(T_2 - T_1)}$$

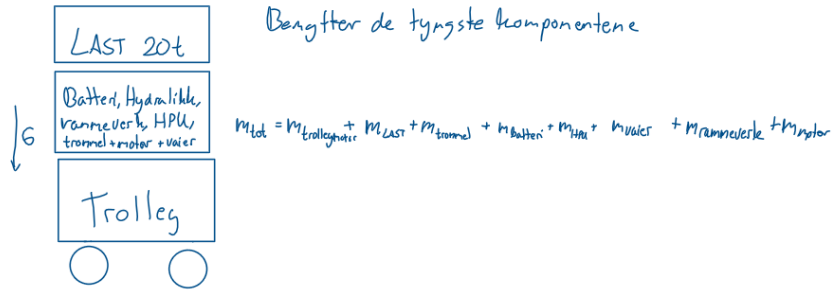
$$P_m = 58 \text{ k} + (967,7 - 937) \cdot \frac{(70 \text{ k} - 58 \text{ k})}{(1135 - 937)} = \underline{\underline{60 \text{ kW}}}$$

$$P_{m20\%} = 60 \text{ k} + 20\% = \underline{\underline{72 \text{ kW}}}$$

$$P_{t \text{ vinsj}} = 72 \text{ k} \cdot 0,5 = \underline{\underline{36 \text{ kWh}}}$$

Estimat av kranens totale vekt [m_{tot}]:

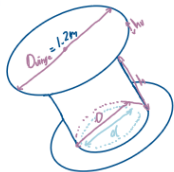
Modellens estimerte vekt



$$m_{last} = \underline{20t}$$

$$m_{trommel} = V_{trommel} \cdot \rho_{stals} = \left(\frac{\pi h (D^2 - d^2)}{4} + \frac{\pi h D_{inng}{^2}}{4} \right) \cdot \rho_{stals} = \left(\frac{\pi \cdot 1 \cdot (1^2 - 0.94^2)}{4} + \frac{\pi \cdot 0.03 \cdot 1^2}{4} \right) \cdot 7800 = 997 \text{ kg} \approx \underline{1 \text{ tonn}}$$

$V_{trommel}$



$$d = D - \text{tykkelse trommel} \cdot 2 = 1 - 2 \cdot 0.03 = \underline{0.94 \text{ m}}$$

Trommelen er 3cm tykk

For å nå 20m må det være ca 30m med vaier.

$$m_{\text{kg stålvaier}} = 0.01 \text{ m/kg}$$

$$m_{vaier} = 30 / 0.01 = 3000 \text{ kg} = \underline{3 \text{ tonn}}$$

Tar utgangspunkt i Teslas 2170 batteri

Vi kan maks ha 20720 batteri

$$m_{batteri} = \text{antall batteri} \times \text{vekt battericelle} = 20720 \times 0.07 \text{ kg} = 1450 \text{ kg} = \underline{1.45 \text{ tonn}}$$

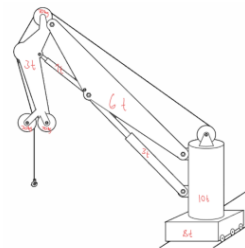
$$m_{motor} = 1290 \text{ kg} = \underline{1.29 \text{ tonn}}$$

$$m_{hpu} = \underline{6 \text{ tonn}}$$

$$m_{trollegmotor} \rightarrow \text{forenklet på 18kW} \rightarrow \underline{0.6 \text{ tonn}} \text{ fra VEM katalog}$$

$$m_{rammeverk} = 8t + 10t + 6t + 3t + 1t + 3t + 3 \cdot 70 \text{ kg} = \underline{31.24 \text{ tonn}}$$

$$m_{tot} = 0.6 + 20 + 1 + 0.5 + 6 + 3 + 31.24 + 0.6 = \underline{63.6 \text{ tonn}}$$



Vedlegg B: Dokumenter vedlagt i egne filer

- Styreprogram til kranmodell (ecp)
- Styreprogram til kranmodell (pdf)