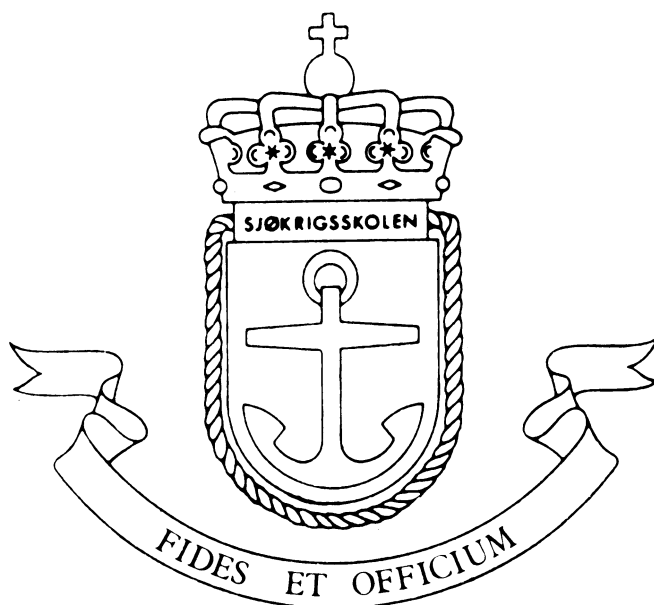




PROSJEKTERING AV MOTORSTYRING

Bacheloroppgave i elektro og automasjon



15. JUNI 2016

SJØFORSVARET
Sjøkrigsskolen

1. Forord

I denne rapporten har vi forsøkt å prosjektere det vi mener er en ny og bedre løsning til styresystem for bølgemaskinen i maskinlabben ved SKSK. Fokuset har vært på et enkelt system, som svarer til kravspesifikasjonene fra kunde. Systemet har blitt prosjektert med tanke på å beholde mest mulig av det eksisterende mekaniske systemet, og en løsning som har muligheter for utvidelser ved fremtidige endringer eller tilføyinger. Arbeidet med løsningen og rapporten har pågått siden januar 2016, og er utført av Bengt Vestvik og Christoffer Sandnes Falck-Johansen.

Rapporten henvender seg hovedsakelig til de med kunnskap og interesse for elektrofagfeltet og motorstyringer, eller generelt de som har interesse av å se vår løsning og begrunnelse for valgene vi har tatt i prosessen vi har vært gjennom.

Av bidragsytere gjennom våren har vi inkludert personell ved sjøkrigsskolen. Arild Sæbø, lærer og fagansvarlig elektro, var den som tipset oss om oppgaven og problemstillingen i forbindelse med valg av oppgave. Dette ledet oss inn på kontoret til Gisle Strand, lærer maskinfag. Problemstillingen ble formulert etter Strand sine spesifikasjoner og krav som kunde av anlegget. Einar Olsen, lærer automasjonsfag, ble kontaktet som veileder for prosjektet. Eksterne bidragsytere har vært Rune Fosse, lærer kraftelektronikk ved HiB og innleid SKSK, med gode tips og råd innen motorstyringer.

Eksterne aktører vi har vært i kontakt med er HiB med besøk der vi fikk se deres bølgemaskin levert av Edinburgh Designs. Samtidig har vi vært i dialog med Mavilor og Granite Devices i vår søken etter utstyr kompatibelt med våre visjoner og ideer.

Forfattet av:

Bengt Vestvik

&

Christoffer Falck-Johansen

Innholdsfortegnelse

1. Forord	1
2.1 Figurliste	4
3. Sammendrag	4
4. Innledning.....	6
4.1 Problemstilling.....	6
4.2 Bakgrunn	6
4.3 utfordringer og begrensninger	6
4.4 Forkunnskaper leser	7
4.5 Krav fra kunde	7
4.6 Tekniske krav	7
4.7 Ønsker om ekstra funksjoner	7
4.8 Forkortelser og forklaringer	8
4.9 Plan og fremdrift	8
4.10 HMS og risikovurdering	10
5. Hoveddel	11
5.1 Bakgrunnsteori	11
5.2 Forarbeid, undersøkelser og målinger	13
5.2.1 Inspeksjon av eksisterende løsning	13
5.2.2 Jakt etter ny styring	13
5.2.3 Forsyning til motor	14
5.3 Eksisterende anlegg.....	14
5.4 Ny løsning	18
5.4.2 Strømbehov	19
5.4.3 Forsyning og føringsveier	21
5.4.4 Regulering.....	22
5.4.5 Komponent data.....	22
5.4.5 Tegninger og figurer	25
5.4.6 Budsjett	31
5.5 Virkemåte	32
5.6 Fordeler	33
5.7 Ulemper.....	33
6. Problemer/utfordringer	33
6.1 Eksterne aktører	33
6.2 Fysiske utfordringer.....	34
6.3 Fra praksis til teori.....	34

6.4 Prosjektering som oppgave form	34
7. Vedlikehold.....	34
8. Drøfting.....	35
9. Konklusjon/Resultat	36
10 Forslag til videre arbeid	36
11. Kilder.....	38
11.1 Bøker og faglitteratur	38
11.2 Forskrifter og normer	38
11.3 Linker og eksterne aktører	38
12. Vedlegg	38

2.1 Figurliste

Figur 1 Enkelt blokkdiagram over en DC drive. ABB TG1 Direct Torque Control	11
Figur 2 Enkel PWM gjort med en sinuskurve og sagtannpuls.	11
Figur 3 Blokkdiagram over hovedelementer i en Flux vector controller. ABB TG1 DTC	12
Figur 4 Forenklet oppbygging av en digital resolver, oftest referert til som en encoder.	12
Figur 5 Forenkling av en resolvers virkemåte.....	12
Figur 6 Puls til motor, zoomet inn.....	13
Figur 7 Signal uten kjøring av motor.....	13
Figur 8 Blokkskjema over eksisterende anlegg.	15
Figur 9 Forenkling av dagens kontrollsystem. PC501 og PC502 er fysiske kort montert i styreskap....	16
Figur 10 Gain brukes til å regulere utsignalet fra forsterkeren.....	17
Figur 11 Retningsstyring av motor	17
Figur 12 Bilde til venstre viser duty-cycle ved innkjøring og høyre viser duty-cycle ved utkjøring.	17
Figur 13 Blokkskjema over nytt system.....	18
Figur 14 Oversikt over strømtrekk	20
Figur 15 Utløsekaraktistikk. http://www.moeller.no/cgi-bin/Produkt.exe/TDVis?ID=60	21
Figur 16 Bilde av 3 forskjellige størrelser MA motorer	22
Figur 17 XtrapulsPac fra Installasjonsguide.....	23
Figur 18 Bilde hentet fra www.elfadistrelec.no (artikkel nr 11048484)	24
Figur 19 Bilde fra http://www.fibox.com/catalog/680/product/2584/8833902_ENG3.html	24
Figur 20 Bilde hentet fra http://www.fibox.com/catalog/680/product/2630/8833923_ENG3.html ..	24
Figur 21 Illustrasjonsfoto fra Elektroskandia.no	25
Figur 22 Illustrasjonsfoto fra Elektroskandia.no	25
Figur 23 Oversiktstegning med kabler og utstyr	26
Figur 24 Skap arrangement	27
Figur 25 Enlinjeskjema med kabelverrsnitt.....	30
Figur 26 Motor og spenning, utdrag fra GemDriveStudio.....	32
Figur 27 Rotasjon, retning og hastighet. Utdrag fra GemDriveStudio.	33
Figur 28 Edinburgh Designs WG8USB Wave Gauge Controller med probe.	37
Tabell 1 Kabelliste.....	25
Tabell 2 Komponentliste til arrangementstegning.....	28
Tabell 3 Koblingsklemmer motor-drive.....	29

3. Sammendrag

Sjøkrigsskolen benytter seg av en slepetank med bølgemaskin til undervisning i fag ved skolen. Her kan fartøysmodeller testes i forskjellige simulerte bølger. Dagens oppsett for å generere bølger i tanken er gammelt og levetiden høyst usikker. Samtidig har systemet begrensede muligheter for utvidelser, da det bygger på teknologi som for lengst er utdatert.

Problemstilling blir om vi med moderne teknologi og utstyr, klarer å erstatte eksisterende styring av bølgemaskin, innenfor de rammene og begrensningene som er gitt. Utfordringene her blir å velge de riktige komponentene for jobben, med tilhørende dokumentasjon og begrunnelser.

Med problemstillingen og begrensningene i bakhånd, blir krav til nytt anlegg satt opp. Disse bygger mye på at en ny løsning må klare å gjøre det samme som eksisterende løsning, men med en teknologi som skaper rom for utvidelser og forbedringer.

Etter gjennomførte målinger og tolking av dokumentasjon til eksisterende anlegg, konkluderes det med at systemet opererer med PWM til å styre motoren. Målingene viser oss samme bilde som illustrert i bakgrunnsteori om PWM, og oppbygningen i styreskapet støtter opp om dette. Oppsettet til anlegget legges frem med illustrasjonstegninger og forklaringer. Gammelt styreskap håndterer et analogt sinussignal fra signalgenerator, som den nytter til å regulere en 88V DC-motor. Koblet til motoraksling er en hydraulikkpumpe som setter det mekaniske systemet i bevegelse. Tilbakemelding fra motor og LDT på stempel angir posisjonen til motoren. For å regulere bølgene i tanken justeres amplitude og frekvens på signalgeneratoren. I denne delen av oppgaven er fokuset en generell forståelse for hvordan systemet fungerer. Detaljert dokumentasjon tilgjengelig er lagt med som vedlegg.

Ny løsning bygger på de samme prinsippene som eksisterende. PWM er benyttet, men her stopper også likheten. Hele løsningen går ut på å erstatte 3 hovedkomponenter, motor, skap og signalgenerator. Motoren blir byttet ut med den eksisterende slik den står i dag, med en 230V AC motor. Hovedargumentet for å bytte denne er det ugunstige spenningsnivået på 88V den opererer med, og dens behov for transformator eller tilsvarende. Selve styreskapet blir byttet ut med et nytt skap, inneholdende en motor-drive. I skapet vil det også plasseres nødvendige komponenter til denne driven, som 24V forsyning og sikringer. Selve skapet blir i omtrentlig samme størrelse som det eksisterende, som gjør det oversiktlig og gir plass til fremtidige utvidelser. For å styre det hele blir en konvensjonell PC tatt i bruk. Ved hjelp av software (GemDriveStudio 5) vil parametere kunne stilles inn etter eget ønske og behov.

Den prosjekterte løsningen vil kreve nye kabler til hver enkelt komponent, samt en del utstyr forbundet med skapet og dets innhold. En total løsning som krever noe arbeid å sette opp, samt en investeringskostnad på nærmere 30.000 kroner. Systemet blir ikke revolusjonert i noe særlig grad, men benytter kjente komponenter av en ny og bedre standard enn det som står der i dag. Med denne utskiftingen vil det også være mulig å utvide anlegget, med eksempelvis PLS styring, HMI display, samt diverse sensorer og følere. Med denne løsningen sikrer du levetiden til systemet i mange år fremover, samtidig som det muliggjør mange spennende utvidelser og modifikasjoner.

4. Innledning

4.1 Problemstilling

Sjøkrigsskolen nytter en bølgemaskin i forbindelse med slepetank i maskinlabben ved skolen. Styring av bølgesimulering er en gammel og utdatert løsning. Levetiden til systemet er høyst usikker, og det er derfor behov for en mer tidsriktig og moderne løsning. Reguleringsmulighetene er simple og unøyaktige, samtidig som utvidelser og bruksmuligheter er veldig begrenset.

Problemstilling blir om vi med moderne teknologi og utstyr, klarer å erstatte eksisterende styring av bølgemaskin, innenfor de rammene og begrensningene som er gitt. Utfordringene her blir å velge de riktige komponentene for jobben, med tilhørende dokumentasjon og begrunnelser.

Søknad med problemstilling og oppgave finnes i *vedlegg 1*.

4.2 Bakgrunn

Styringen i dag kan simulere enkle bølger, med bølgehøyde og frekvens styrt fra signalgenerator. Utstyret som behandler signalet fra signalgeneratoren, og tilbakemeldinger fra encoder og posisjon til stempel, er et styreskap fra 70-tallet. Selv om dette fungerer i dag, består det av eldre analoge komponenter, hvis levetid er usikker. Motoren som styrer stempelet er en DC servo-motor som opererer med 88V. For å oppnå denne spenningen er det flere transformatorer i styreskapet, blant annet en stor og tung 230/120V jernkjernetrafo. Ny teknologi vil kunne øke levetiden til systemet, samtidig som det skaper muligheter for utvidelser.

Utdanningen vi har tatt ved Sjøkrigsskolen tok for seg noen av de komponentene dagens anlegg benytter, samtidig som styring og regulering er en del av pensumet vi har vært gjennom. Det var derfor naturlig at en oppgave rundt utskifting av nevnte styring ble tildelt elever ved Elektro og Automasjon linjen ved skolen. Fag som kraftelektronikk, automasjon og systemtenkning er med på å danne grunnlaget for allerede tilegnet kompetanse på området.

4.3 Utfordringer og begrensninger

Under vårt arbeid med prosjekteringen har vi jobbet med flere begrensninger og restriksjoner satt av skolen, oss selv og oppgavens natur. Den begrensningen som i størst grad har påvirket prosjektet er kostnadsrammene og usikkerhetene med valgt løsning. Vi fikk tidlig vite at tildelt budsjett ikke var absolutt. Det ble derimot vurdert av prosjektgruppa at fallgruvene var for mange og risiko for høy til at det ville være forsvarlig å presse gjennom et økt budsjett for en oppgave uten garantier for at ny løsning faktisk ville virke. Tidsrammene rundt prosjektet var også avgjørende for valg av arbeidsmetode, da det virket uforenelig å levere en godt dokumentert løsning og et fungerende anlegg på den tiden som var tildelt prosjektet.

Ved å beholde det mekaniske systemet for bølgegenerering setter det visse begrensninger for valg av motor og endringer vi kan tillate i bærekonstruksjonen. Derfor ble det gjort vurderinger om å beholde det originale motoroppsettet, men denne ideen ble sett på som ugunstig. Kompleksitet, kostnader og komparabilitet ved bruk av DC-løsningen er uforenelig med vår intensjon om et enkelt og driftssikkert anlegg.

Mangel på dokumentasjon og dens forfatning har gjort arbeidet med å tolke det eksisterende anlegget utfordrende. Det er ukjent hvilke tegninger som mangler og hva disse inneholdt, dette medfører at kartleggingen av virkemåte, oppbygning og funksjon har vært vanskelig.

4.4 Forkunnskaper leser

Bør ha kjennskap til begrepene som benyttes, og det antas at leser har de samme forutsetninger til å forstå innholdet som forfattere av oppgaven. Det er fordel med kjennskap til motorstyringer generelt, og prosjektering av tekniske anlegg. Annen relevant kunnskap om tekniske dokumenter, tegninger og skjemaer vil gjøre lesingen lettere og mer informativ. Utover dette skal hvem som helst kunne lese dokumentet, og de viktigste og hyppigste forkortelser og begreper er forklart senere i innledningen.

4.5 Krav fra kunde

Et nytt system skal erstatte en allerede eksisterende og fungerende løsning. Det er derfor nødvendig med noen krav til hva systemet skal gjøre, som eksisterende system oppfyller i dag.

- Variabelt set-punkt. Det må være mulig å forandre nulltilstanden etter hvor mye vann som er i tanken.
- Brukervennlighet. Det skal være enkelt å bruke, krever ingen omfattende opplæring for å forstå og operere.
- Lage forskjellige bølger. Funksjonaliteten skal minimum klare å lage forskjellige bølger, mtp bølgelengde, bølgehøyde og hyppighet på samme måte som dagens løsning.
- Tåle omgivelsene. Bygget har til tider høy luftfuktighet, og utstyret plasseres i nærheten av bølgetanken. Systemet må derfor tåle spyling som et minimum for å sikre komponentene.
- Enkel manuell regulering av frekvens og amplitude. I dag reguleres bølgene ved å skru på frekvens og amplitude fra en signalgenerator. Denne formen for enkel regulering for å demonstrere funksjonaliteten må også være mulig i ny løsning.

4.6 Tekniske krav

- Styreskap:
 - o Må ha plass til de komponentene vi har behov for.
 - o Tåler installasjon av komponenter mtp vekt og montering av HMI i skapdør mm.
 - o Ryddig og oversiktlig, med rekkeklemmer mellom sensorer og komponenter.
 - o Tilstrekkelig plass til fremtidige utvidelser, eksempelvis en PLS.
- Skikkelig dokumentasjon i form av koblingstegninger og brukermanualer
- Operatørmanual som forklarer hvordan utstyret skal brukes og fungerer.

4.7 Ønsker om ekstra funksjoner

- Bølgesekvenser. Mulighet for å kjøre forskjellige bølgekarakteristikker etter hverandre. Eksempelvis med små bølger som blir etterfulgt av en større bølge som tar igjen de små.
- Sensorer som registrerer bølgene i tanken, gjerne med en grafisk fremstilling av dette på et display.
- HMI display med reguleringsmuligheter, samt grafiske fremstillinger om mulig.

4.8 Forkortelser og forklaringer

Transformator: Forandrer spenningen fra et nivå til et annet, høyere eller lavere

AC/DC: Veksel eller likestrøm

Drive: Motordrive. Driver motoren, med turtallsregulering og justering etter tilbakemeldinger fra forskjellige input som eksempelvis posisjon og dreieretning.

HMS: Helse Miljø Sikkerhet

FEL: Forskrift Elektriske Lavspenningsanlegg

FSE: Forskrift for Sikkerhet i Elektriske anlegg

HiB: Høyskolen i Bergen

SKSK: Sjøkrigsskolen

PWM: Pulse With Modulation (Puls-bredde regulering)

MTBF: Mean Time Between Failure (Estimert levetid)

LDT: Linear Displacement Transducer (potensiometer)

EMI: Electro Magnetic Interference

4.9 Plan og fremdrift

Et forenklet oppsett som samsvarer med en mer fullstendig oversikt i *vedlegg 2, Fremdriftsplan*.

Fase 1 Prosjektering og planlegging 04.01-09.03

- Forfatte problemstilling og levere søknad
 - o I samsvar med veileder

- Utarbeide krav til nytt anlegg
 - o Kartlegge begrensninger
 - o Hensyn til brukervennlighet
 - o Med tanke på miljø
 - o I samarbeid med kunde

- Målinger eksisterende anlegg
 - o Elektriske signaler
 - o Fysiske mål

- Research av andre eksisterende anlegg
 - o Besøk på HIB
 - o Undersøke andre prosjekt
 - o Sammenligne med eksisterende løsning

- Løsningsforslag
 - o Argon-løsning
 - o Infranor-løsning
 - o Andre alternativ

- Utkast budsjett
 - o Endringer
 - o Kritisk komponent-valg
 - o Nødvendig kobling- og monteringsmateriell

Fase 2 Prosjektere beste løsning 10.03-28.04

- Løsning
 - Dialog med forhandler
 - Oppfølging av kunde

- Dokumentasjon
 - Generere tegninger av nytt anlegg
 - Skaffe produktspesifikasjoner fra tiltenkt utstyr

- Budsjett
 - Endelig komponentvalg
 - Tilbud fra leverandører
 - Koblingsmateriell

Fase 3 Avsluttende elementer 29.04-31.05

- Resultater
 - Drøfting av valg og metode
 - Konklusjoner
- Endelig budsjett
 - Komponentliste med el.nummer
- Dokumentasjon
 - Selektare må, bør og kan elementer.

Fase 4 Sluttdokumentasjon 01.06-16.06

- Sammenstilling
 - Hovedoppgave
 - Vedlegg fra produsenter
 - Vedlegg fra egenproduserte løsninger

- Presentasjon
 - Lage powerpoint-presentasjon
 - Tilrettelegge lokale for fremføringen

- Innlevering
 - Trykke opp ønsket antall eksemplarer av endelig produkt
 - Levere elektronisk versjon til biblioteket ved SKSK
 - Trykke opp eget hefte for vedlegg

4.10 HMS og risikovurdering

Her er det vurdert hvilke generelle forskrifter og krav som er gjeldende, samt spesielle faktorer for akkurat denne type utskifting

Generelt

Før alt arbeid skal det gjøres en vurdering om behov for sikker jobb-analyse (SJA).

All kobling av elektrisk utstyr skal skje med godkjenning av autorisert elektroinstallatør og av kvalifisert elektropersonell. (FOR-2013-06-19-739 *Forskrift om elektroforetak og kvalifikasjonskrav for arbeid knyttet til elektriske anlegg og elektrisk utstyr* (FEK))

Anlegget skal føres opp etter de normer og forskrifter som er gjeldende ved det aktuelle tidspunkt. (FOR-1998-11-06-1060 *Forskrift om elektriske lavspenningsanlegg* (FEL), *NEK 400: Elektriske lavspenningsanlegg - Installasjoner* og FOR-2006-04-28-458 *Forskrift om sikkerhet ved arbeid i og drift av elektriske anlegg*. (FSE))

Ved demontering og montering av elektriske komponenter skal anlegget være spenningsløst og sikret mot utilsiktet innkobling. Arbeid skal i minst mulig grad påvirke andre eksisterende anlegg eller installasjoner.

Elektrisk utstyr som må fjernes skal behandles som el.-avfall og leveres til godkjent mottak eller miljøstasjon.

Av demontert utstyr som skal kasseres må det sorteres etter avfallstype og all midlertidig lagring av avfallet skal skje uten fare for miljøet. (LOV-1981-03-13-6 *Lov om vern mot forurensninger og om avfall* (forurensningsloven))

Bruk av ild/varme for å fjerne isolasjon fra gamle kabler skal ikke forekomme.

Det skal på forhånd klareres med eier/kunde hva som skal gjøres med elektriske komponenter.

Utstyr som ikke skal kasseres eller på annen måte tas vare på skal leveres eier/kunde.

Det er eier/kunde som selv er ansvarlig for korrekt oppbevaring av slikt utstyr.

Spesielle hensyn

Anlegget skal føres opp med hensyn til elektromagnetisk kompatibilitet (EMC) slik at det ikke påvirkes eller påvirker andre komponenter i installasjonen. (FOR-2011-01-14-36 *Forskrift om elektrisk utstyr* (FEU))

Det skal gjøres en vurdering opp mot faremomenter som høy fuktighet og vanninntrenging, og eventuelle tiltak skal dokumenteres.

Anleggets mekaniske komponenter skal i installasjonens nedetid sikres mot bevegelse og eventuell skade som kan oppstå som følge av dette. Fareområder som kan oppstå skal merkes og alt personell som skal arbeide i disse områdene skal gjøres kjent med disse.

Ved behov for sveising eller annet varmt arbeid skal dette utføres av sakkyndig personell og i henhold til de gjeldende regler. (FOR-2011-12-06-1357 *Forskrift om utførelse av arbeid, bruk av arbeidsutstyr og tilhørende tekniske krav kapittel 5. Varmt arbeid*. (Forskrift om utførelse av arbeid))

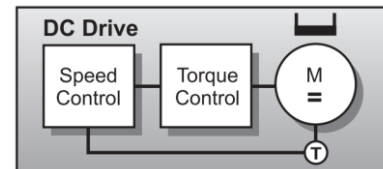
5. Hoveddel

Før eksisterende anlegg eller ny løsning blir presentert blir relevant bakgrunnsteori kort forklart og beskrevet. Prinsippene går igjen for begge løsningene, og det er derfor viktig at grunnprinsippene forklares. Disse prinsippene danner også grunnlaget for målinger og søken etter komponenter. Virkemåten til systemet og forklarende figurer og tegninger er også å finne her. Der det er hentet informasjon fra datablader eller liknende, vil det bli referert til vedlegg hvor utfyllende informasjon eller tabeller står oppført.

5.1 Bakgrunnsteori

DC drive

- Feltorientering vha mekanisk kommutator
- Kontrollerer magnetiseringsstrøm og rotorstrøm
- Momentstyring skjer direkte
- Enkel styring
- Rask dynamisk respons
- Nøyaktig
- Redusert driftssikkerhet
- Vedlikehold intervaller
- Dyre motorer



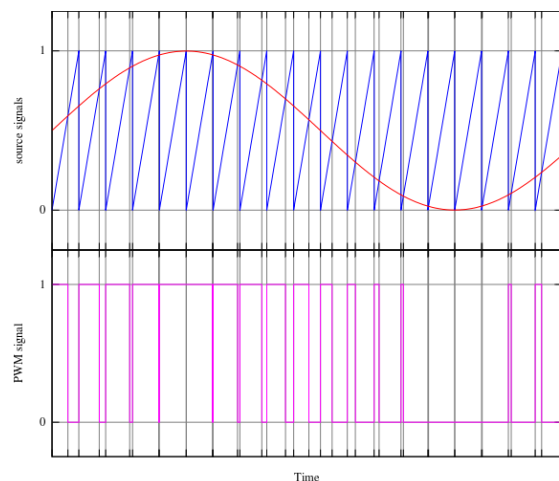
Figur 1 Enkelt blokkdiagram over en DC drive. ABB TG1 Direct Torque Control

Magnetiseringsstrømmen genererer et felt i statorviklingene. Hastighet og moment styres av magnetiseringsstrømmens styrke.

Begrenset driftssikkerhet grunnet DC-motor, krever en del vedlikehold og tilsyn. Komplekse DC-motorer øker kostnader og tilgjengeligheten er redusert.

PULS BREDDE MODULERING

Grunnleggende PWM bruker en sagtannpuls og en sinusbølge som mates til en komparator. Her sammenlignes de to signalene. Utsignalet leveres i firkantpulser som er diktet etter hvilken verdi som er høyest. Det er disse signalene som brukes til regulering av elektriske motorer. Ved å endre på sinuskurven endrer man duty-cyclen, som kan brukes til å regulere hastighet og utslag på motorer.

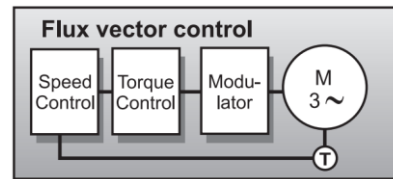


Figur 2 Enkel PWM gjort med en sinuskurve og sagtannpuls. Komparatoren leverer digitalt utsignal basert på hvilken verdi som er høyest.

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pwm.svg>

FLUKS VEKTOR KONTROLL

- Felt orientert kontroll
- Simulerer motorkarakteristikker
- Closed loop
- Indirekte momentkontroll
- God respons
- Nøyaktig
- Lignende egenskaper til en DC-drive
- Kostbart
- Feedback og modulator



Figur 3 Blokkdiagram over hovedelementer i en Flux vector controller. ABB TG1 Direct Torque Control

Feltorientering oppnås ved hjelp av elektronikk. Rotorstatus blir fysisk målt av påkoblet tachometer, encoder eller resolver. Motorens karakteristikk utregnes av matematiske modeller ved bruk av mikroprosessorer i selve driven. Spenning, strøm og frekvens mates til en modulator og bidrar til indirekte styring av moment. Anlegget er mekanisk enkelt, men elektrisk komplisert.

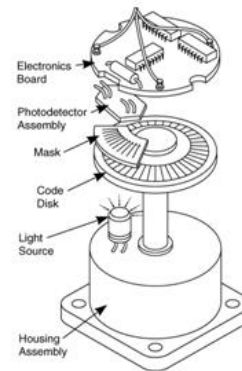
Servomotor

Servomotorer er roterende eller lineære aktuatorer som muliggjør rask og nøyaktig styring av hastighet og posisjonering. Servomotorer kommer i mange utførelser og leveres både som AC og DC motorer. I dag er AC servomotorer mest brukt i større installasjoner, mens DC motorene fortsatt dominerer innenfor elektronikk og husholdningsapplikasjoner.

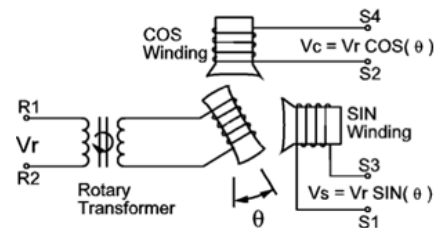
En servomotor er bygget opp av en elektrisk motor og bruker en eller flere løsninger for tilbakemelding til motorens styreenhet. Vanligvis brukes en encoder eller resolver.

Resolver

Prinsipielt fungerer en resolver som en roterende transformator bestående av tre viklinger. En vikling som fungerer som referanse, samt to statorviklinger, Sinus og Cosinus, med 90° faseforskjell. Det er vinkelen θ som indikerer rotorens posisjon gitt av et forholdstall mellom Sin og Cos. Den relative amplituden mellom disse vil være unik for hvert gitte punkt, dette gjør resolveren svært nøyaktig.



Figur 4 Forenklet oppbygging av en digital resolver, oftest referert til som en encoder. <http://www.anaheimautomation.com/manuals/forms/encoder-guide.php#sthash.8uirq5GT.dpbs>



Figur 5 Forenkling av en resolvers virkemåte. <https://www.amci.com/industrial-automation-resources/plc-automation-tutorials/what-resolver/>

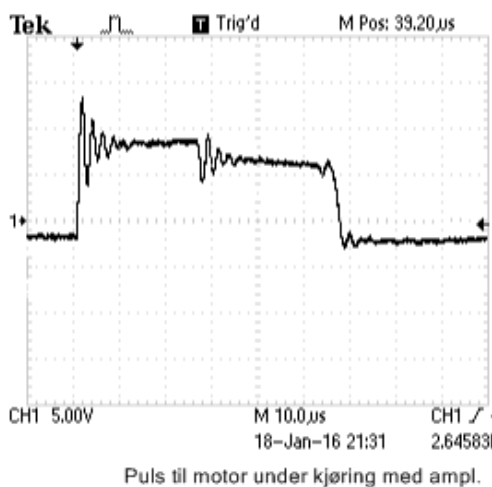
5.2 Forarbeid, undersøkelser og målinger

5.2.1 Inspeksjon av eksisterende løsning

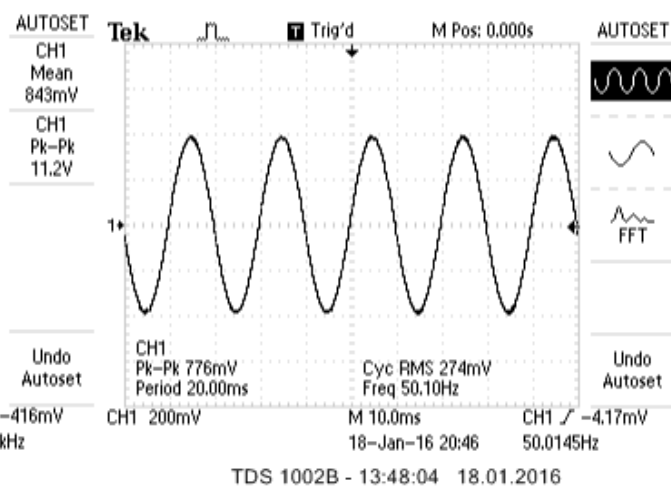
Som en start på prosjektet ble det eksisterende systemet kjørt i gang og testet ut sammen med kunde. Utover å kjøre bølgemaskinen med forskjellige bølger i tanken, ble tegninger og tilgjengelig dokumentasjon lagt på bordet. Dette ble utgangspunktet for arbeidet med å forstå hvordan anlegget virker. Ettersom tegningene bar preg av alderdom, samt at de var håndtegnet av Seasim Controls Ltd i London på 70-tallet, har arbeidet med tolkning av systemets virkemåte vært tidkrevende. Det er grunn til å tro at det mangler tegninger, og dokumentasjon på anleggets hovedkomponenter er ufullstendig eller ikke-eksisterende.

Tegningene har likevel gitt noen ideer på hvordan signalene behandles. For å sjekke dette nærmere ble det målt på signalene til motoren, samt tilhørende tilbakemeldinger. Med et konvensjonelt multimeter ble det forsøkt målt spenning og strøm til motoren. Signalene endret seg så hyppig at det ikke var mulig å få noen konkrete verdier ut i fra dette, men spenning- og strømtoppene stemte overens med motorens påstemplede merkeverdier.

For å få et bedre bilde av signalene ble det koblet til Tektronix Oscilloscop til kablene. Ved hjelp av en datamaskin og et skjermdump-program, ble det lagret stillbilder av de viktigste resultatene. Også her var det utfordringer knyttet til den hyppige forandringen i signalet til motor og fra tilbakemeldinger. En gjenganger var derimot at signalet bekreftet PWM som reguleringsform, ettersom pulserende signaler økte pulsbredden ved kjøring av motoren. Her kom det også frem at signalene hadde større mengder forstyrrelser, som så ut til å opprinne fra nettfrekvensen i anlegget for øvrig. Kablene som benyttes er ikke skjermet, så forstyrrelser av denne typen er ikke annet enn å forvente.



Figur 6 Puls til motor, zoomet inn



Figur 7 Signal uten kjøring av motor

Figuren til venstre viser signalet som en del av en større sinus kurve, og zoomer man langt nok ut vil bildet likne figuren til høyre, dog med mer forstyrrelser i signalet. Med økt amplitude fra signal-generator holder pulsene høy posisjon lengre, mens økt frekvens gir flere pulser per tidsenhet. På figuren til høyre ser vi en måling foretatt når systemet ikke er satt i bevegelse. Her ser vi at 50Hz fra nettfrekvensen er til stede.

5.2.2 Jakt etter ny styring

Med måleresultater og en idé om hvordan anlegget blir styrt slik det står i dag, startet arbeidet med å finne alternative styringer. Det ble gjort søk på internett etter løsninger benyttet ved tilsvarende

bølgetanker andre steder, og motor-styringer som kunne fungere til ønsket bruk. Et tidlig resultat på søk etter «motor-drive» var Argon Drive fra Granite Devices. Denne universelle motordriveren så lenge ut til å være best egnet til formålet.

I søken etter egnet drive ble det sett på kompatibilitet med eksterne reguleringsformer, som tilkobling til PLS og/eller HMI display for enkel regulering. Planen var lenge å erstatte eksisterende signalgenerator med HMI display, og helst uten å trenge PLS som et fordyrende mellomledd.

Som en inspirasjon og idé om hva som var mulig og hensiktsmessig, ble det gjennomført et besøk ved Høyskolen i Bergen. Der fikk vi se deres løsning, levert av Edinburgh Designs, og fikk se eksempler på hvordan de styrte sitt anlegg. Dessverre var det ikke vann i bølgetanken, men deres komplekse løsning gav oss et innblikk i hva som var mulig å oppnå dersom ressursene hadde tillatt dette.

5.2.3 Forsyning til motor

For å kunne beholde eksisterende motor er systemet avhengig av å kunne levere 88V DC-spenning til motoren. I den forbindelse ble det gjort søk etter transformatorer og strømforsyninger som kunne levere denne spenningen. En samtale med veileder og noen søk på nettet gav noen alternativer til løsninger som kunne fungere. Gjennom produktkatalogene til *Elektroskandia* og *Elfa Distrelec Norge* på nettet, samt en svensk katalog (*ELFA 58, 2010 utgave*), ble det funnet noen alternativer.

Det som så ut til å være de to reelle mulighetene, var å enten velge en større jernkjernetrafo for å få ned spenningsnivået, eller å seriekoble tre kompatible strømforsyninger som til sammen leverer tilsvarende ønsket spenning. Ved å velge en trafo får man større investeringskostnader, samtidig som man trenger et stort skap eller hus for å beskytte transformatoren. Dette vil ikke være gunstig med tanke på fremtidige endringer, og kan resultere i en komponent som ikke vil bli benyttet. Seriekobling av strømforsyninger er vesentlig billigere, men medfører tre komponenter som samarbeider om en liten jobb. Det er også høyst usikkert om disse kan nyttes til noe annet hvis det blir gjort større endringer i systemet i fremtiden, samtidig som usikkerheten til levetiden blir større med en slik sammenkoblet løsning.

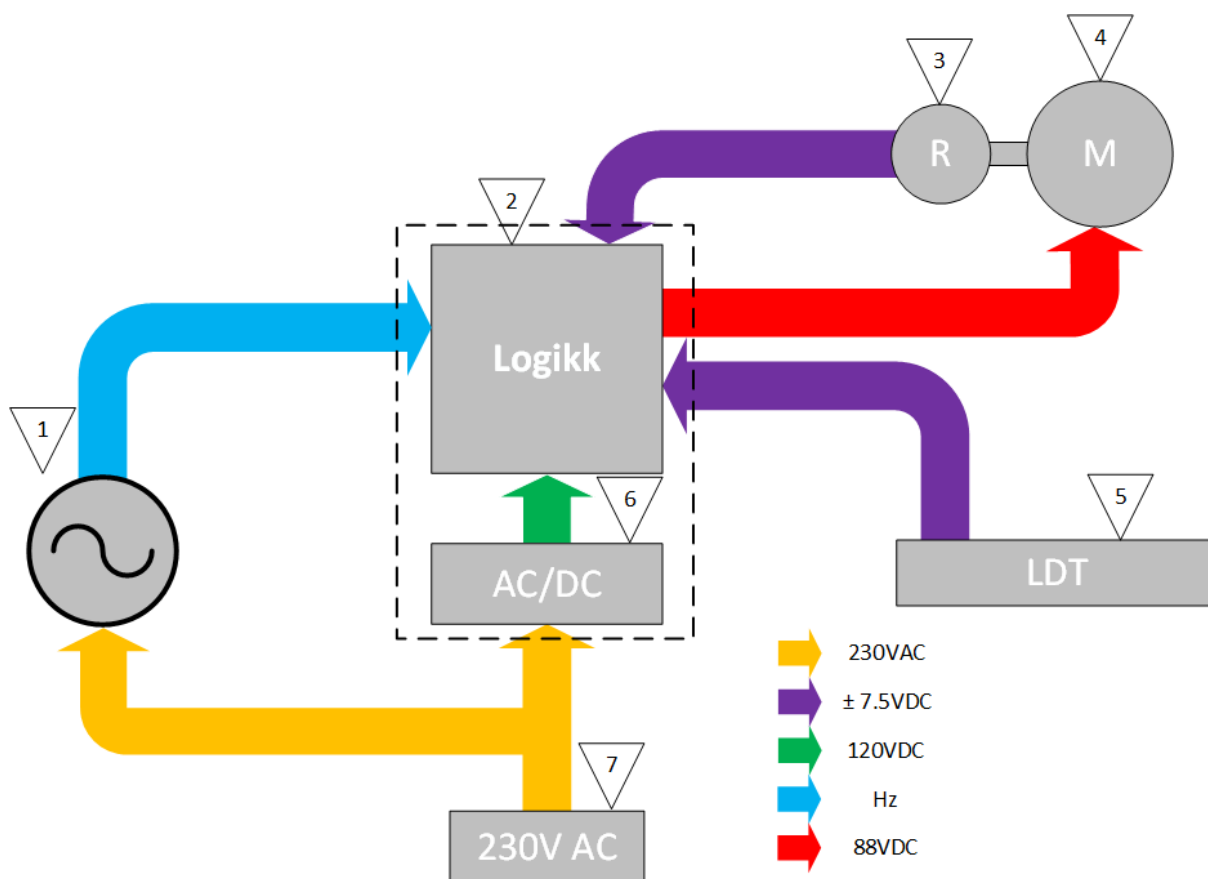
Utfordringene som nevnt over gjorde at tanken om å bytte ut eksisterende motor ble enda sterkere. Det var disse undersøkelsene som var utslagsgivende for å starte arbeidet med å finne en ny motor egnet til å erstatte den eksisterende.

5.3 Eksisterende anlegg

Den originale styringen er bygget opp av forskjellig *hardware* bestående av omformere, potensiometer og flere større kort til kontroll og regulering. Systemet er fullstendig analogt og fungerer som en logisk regnemaskin.

Det brukes ulike spenningsnivåer internt i styreskapet avhengig av funksjon. Kort til retningsstyringen reguleres med spenninger mellom ± 165 - 170 VDC, mens selve elektromotoren drives av 88 VDC. Den laveste spenningen ± 7.5 VDC er primært brukt av feedback fra tacho og LDT samt forsyning til LED.

All forsyning til logikken kommer fra en 220/120 volts jernkjernetransformator montert i bunnen av det eksisterende skapet.



Figur 8 Blokkkjema over eksisterende anlegg.

1. Signalgenerator
Wavetek Modell 182A
4MHz function generator
Drives av 230 VAC 50Hz
Brukes til å variere amplitude og frekvens på sinuskurven som brukes av logikken i styreskapet.
2. Styreskap
Seasim controls LTD
Seawave simulation®
Hjernen i systemet, her kalkuleres spenningspulsene til DC-motoren basert på signaler fra signalgenerator og feedback fra anlegget.
3. Resolver/Tachometer
Påhengt dc-motoren og gir tilbakemelding av turtall og posisjon på aksling til styreskapet.
4. BLDC motor
Mavilor Iberica S.A model 600
700W
9.5A
IP 54
88VDC
2.23 Nm
3000 rpm
Børsteløs DC motor som brukes til å drive den hydrauliske pumpen til bølgemaskinen.

5. LDT

Linær transducer levert av Sfernice, Nå Vishay Sfernice

Tilbakemelding på stempel posisjon

Begrenset informasjon da det ikke finnes dokumentasjon utover en annonse fra 1992.

Er posisjonsgiver påhengt den hydrauliske aktuatoren til bølgemaskinen.

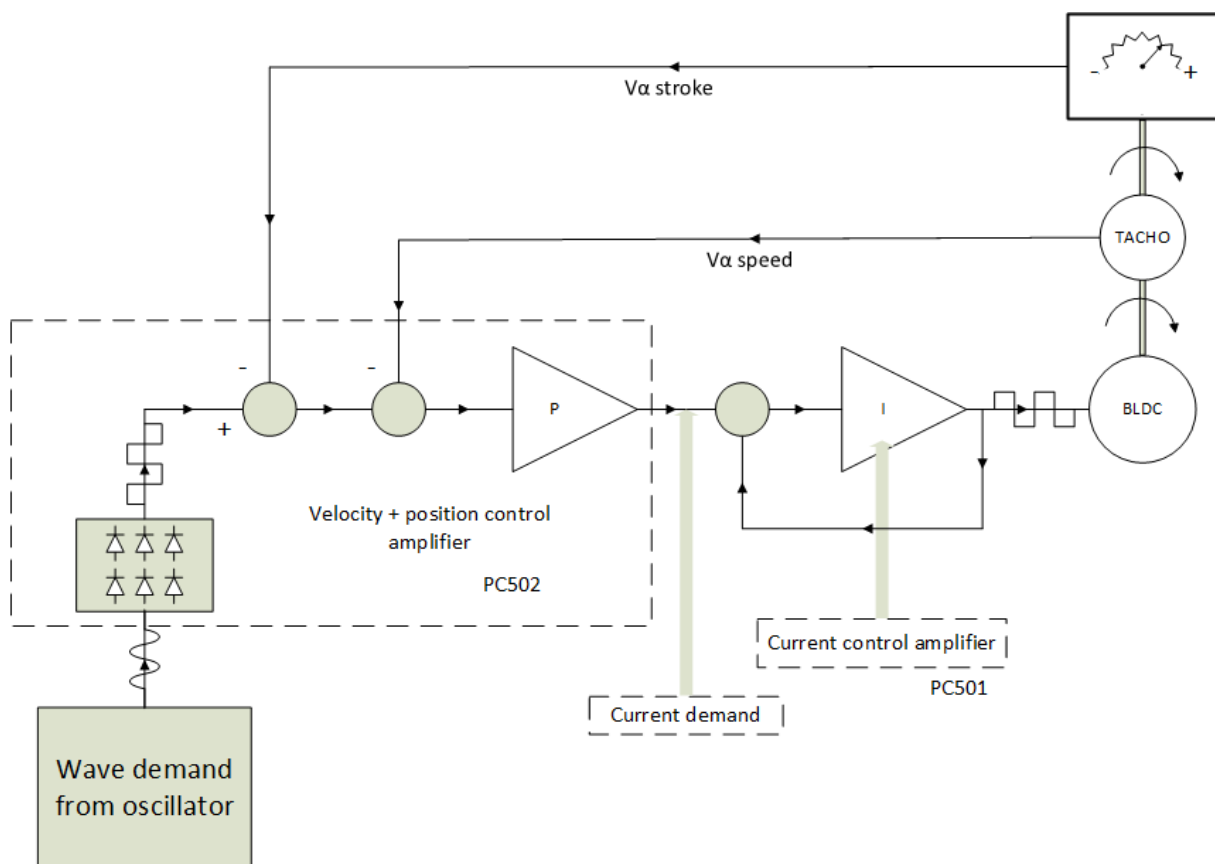
6. Kraftforsyning

Jernkjerne transformator

230/120 VAC

Omdanner 230VAC til 120VAC som likerettes til DC spenning.

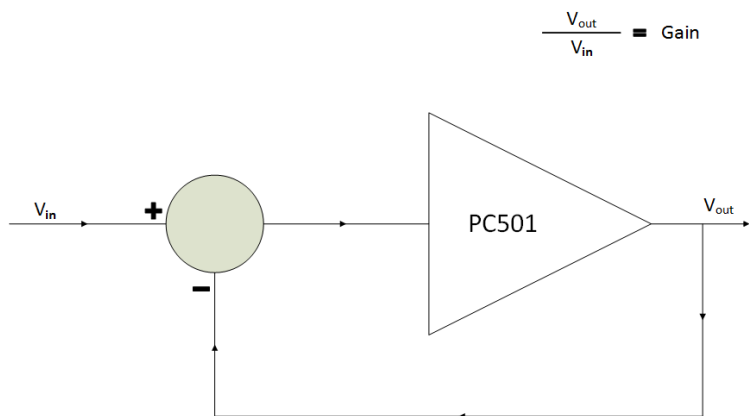
Driftsspenningen for styreskapet.



Figur 9 Forenkling av dagens kontrollsystem. PC501 og PC502 er fysiske kort montert i styreskap.

Det eksisterende anlegget betjenes ved bruk av en signalgenerator, illustrert i figur 9, der frekvensen styrer periodetiden og amplituden regulerer lengden på duty-cycle. Det analoge signalet fra oscillatoren likerettes og adderes eller subtraheres med signaler fra *tacho* og *LDT* i en komparator, utsignalet sendes videre til *velocity & position control amplifier*. Signalet ut fra denne forsterkeren fungerer som *current demand* og virker som V_{in} til *PC501 current control amplifier*.

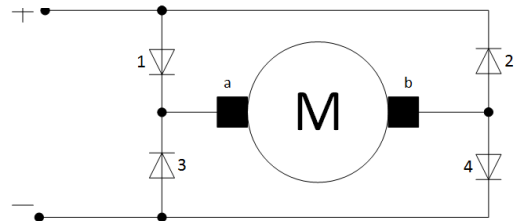
Motoren mottar V_{out} fra PC501 og det er dette signalets periodetid og duty cycle som styrer hastigheten og utslagslengden. Reguleringen av dette signalet er illustrert i figur 10.



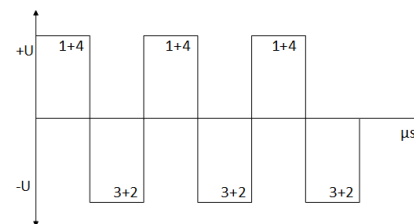
Figur 10 Gain brukes til å regulere utsignalet fra forsterkeren

Retningsstyring av motoren skjer ved bruk av diode eller transistorbro, samt en spenningsensor som trolig består av kondensatorer i en logisk krets eller annen lignende løsning. Det har ikke lyktes med å identifisere denne funksjonen i tegninger eller fysisk i kontrollskapet, derfor er en 100% forklaring på virkemåte vanskelig å fastslå. Retningsstyringen er skissert med figur 11.

Selve motoren drives med en konstant spenning på 88VDC, mens retningsstyringen reguleres av spenningsensor som bruker ± 170 VDC. «Bryterne» 1&4 lukker ved spenninger over 170VDC, og åpner ved spenninger under 165VDC. Bryterne 2&3 fungerer likt, men opererer med negativt fortegn, altså -170VDC.

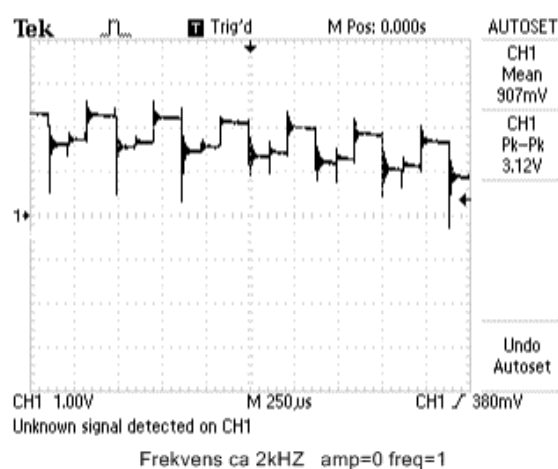
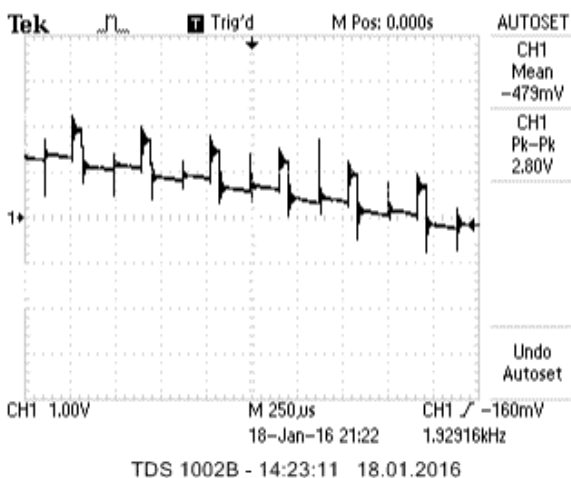


Med dette oppnår vi styring av motoren, og avhengig av duty-cycle avgjøres motorens hastighet.



Det er observert at duty-cycle for inn og utkjøring er forskjellige. Dette skyldes at energibehovet er ulikt ved de to operasjonene.

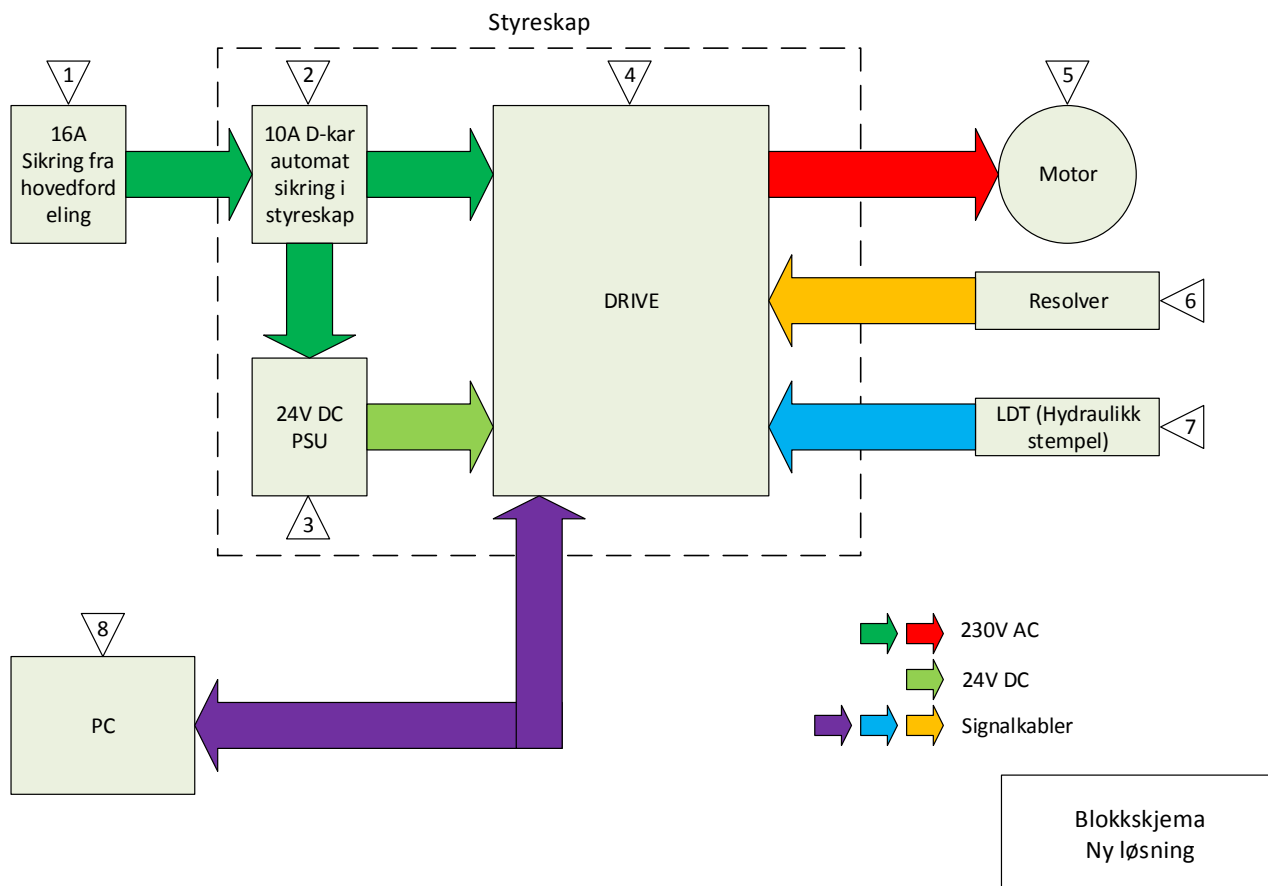
Figur 11 Retningsstyring av motor



Figur 12 Bilde til venstre viser duty-cycle ved innkjøring og bilde til høyre viser duty-cycle ved utkjøring.

5.4 Ny løsning

For å skjønne hvordan systemet er tenkt satt opp, vil løsningen først bli presentert med et blokk-skjema. Tilhørende forklaringer vil si noe om hvilke komponenter løsningen inneholder, og rollen til hver enkelt komponent. Beskrivende informasjon og tekniske data vil så bli lagt frem, før tenkt kobling og skjemaer beskriver hvordan komponentene er tenkt plassert i forhold til hverandre.



Figur 13 Blokk-skjema over nytt system

1. Sikring merket «Bølgemaskin» i hovedfordeling HF 432.1. Det er 2 stk 16A automat sikringer merket «Slepetank, bølgemaskin». Kursene er QE-024 og XQ-025. De avsluttes i stikkontakter på veggen for pluggbar tilkobling til eksisterende styreskap.
2. Automatsikring for å sikre utstyret i skapet og motoren. D-karakteristikk velges for å håndtere startstrømmer og kortvarige overstrømmer som man ikke ønsker skal løse ut vernet. Utstyret i skapet, samt motor og øvrig tilkoblet utstyr, trekker ikke mer strøm enn hva en 10A automat klarer å håndtere. Dette står beskrevet i installasjons guiden til motor-driven, og kort dokumentert under *Strømforbruk* i påfølgende punkt.
3. Likestrømsforsyning til motor-drive, som krever dette for sine logiske styringer. Denne er dimensjonert ihht strømkrav fra drive.
4. Selve motor-driven, typen XtrapulsPac fra Infranor. En drive med flere analoge og digitale inn- og utganger. Vi velger å benytte oss av en 230V CANopen-versjon. Plassert i styreskapet sammen med sikring og likestrøms-forsyning, som begge leverer strøm til driven. Ut fra driven går kablene til motoren, og input får driven fra Resolver, LDT og PC med GemDrive Studio.

5. Motor, som driver hydraulikkpumpe tilkoblet akslingen. Ved akslingsrotasjon ene veien, vil stempelet skyves ut, og ved motsatt rotasjon trekkes tilbake igjen. Stempelet setter de mekaniske delene som skal ned i vannet i bevegelse, som da lager bølger i tanken.
6. Resolver som en analog tilbakemelding med spenningsnivå 10V. Den opererer med 4,5kHz, og er montert på motoren. Måler grader rotasjon på rotoren, som brukes som posisjons-tilbakemelding. Forklart prinsipielt under bakgrunnsteori tidligere i oppgaven.
7. I dag er det benyttet en analog tilbakemelding fra hydraulikkstempelet, ved hjelp av LDT med +/- 7,5V. Denne tilbakemeldingen brukes i analoge innganger på driven for å ha ytterligere posisjonstilbakemelding, da med +/- 10V. Kan bli overflødig i ny løsning, da Resolver kombinert med mulighetene i programvaren skal kunne sette begrensninger for maksimum tillatt rotasjon i hver retning.
8. For å styre motoren benyttes PC med softwaren Gem Drive Studio fra leverandør. Her settes og reguleres parameter for hastigheten og tiden motoren skal gå i hver retning. Disse verdiene er styrende for motoren, og her kan det prøves ut små verdier og utslag i oppstartsfasen for å unngå feil eller skader på det mekaniske systemet.

5.4.2 Strømbehov

Ettersom flere komponenter skal plasseres i nytt styreskap, er det her satt opp hvor mye strøm hver komponent trekker fra nettet. Ved hjelp av disse verdiene kan egnet vern plassert i skap velges og begrunnes.

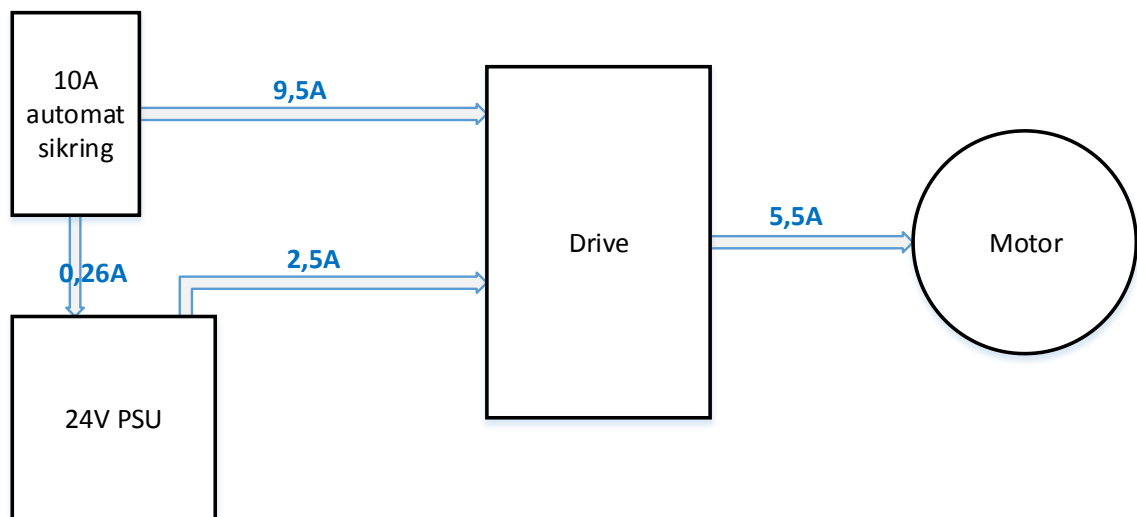
Forbruker	Strøm [A]	Kommentar
Motor, Mavilor MA-6	4,2	(Stall current)
Drive, XtrapulsPac-230/11	5,5	(Rated output)
Drive, XtrapulsPac-230/11	9,5	(Rated Input)
24V forsyning	2,5	(utgangsstrøm)

Strømmen til motoren leveres fra motordrive.

Motoren er dermed i serie med drive => Total nominell strøm = 9,5+0,26 = 9,76A

Sikring størrelse velges til: **10A**

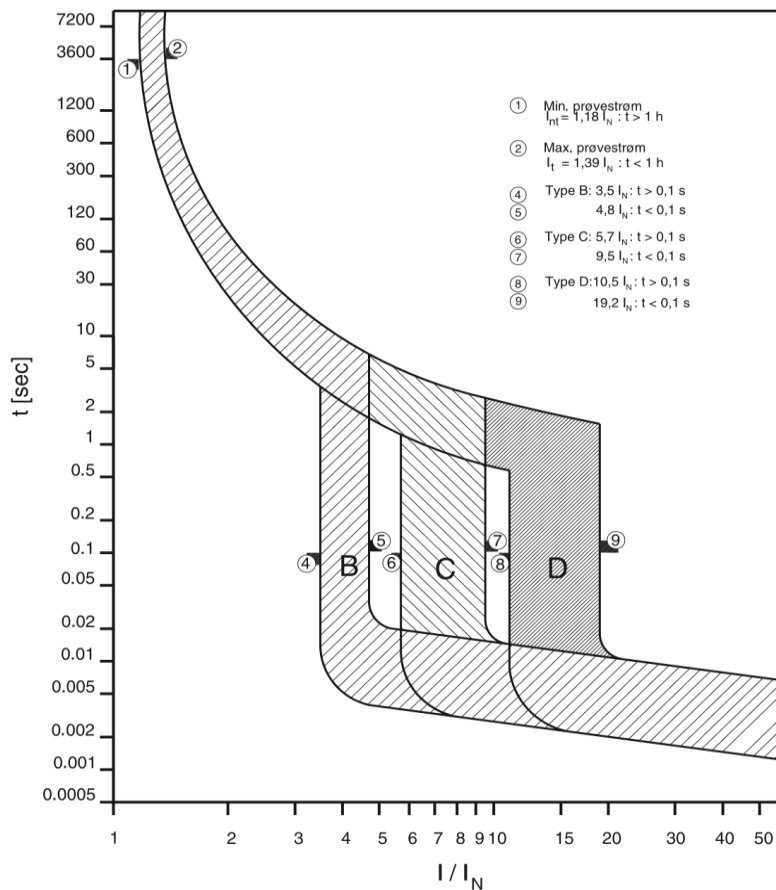
Utregninger:	P=U*I (Generell effekt formel)
24V*2,5A=60W	24V DC PSU Effektberegning
I = 60/230 = 0,26A	24V DC PSU Beregnet inngangsstrøm



Figur 14 Oversikt over strømtrekk

Under normale forhold skal en 10A-sikring være velegnet til dette bruket, og selv ved strømpeaker¹ på 11A fra motordrive vil ikke en automatsikring løse ut (se Figur 15 Utløsekaraktistikk). Grunnen til at det velges en D-karakteristikk er startstrømmene som kan oppstå, samtidig som det anbefales i installasjonsguide til drive. Ettersom maks tillatte sikring foran gitt motordrive er 15A (Installation Guide s.11), vil direkte kobling av denne til eksisterende kurser i hovedtavle på 16A ikke være et alternativ. Det kan derimot være et alternativ for 24V-forsyningen dersom denne overbelaster 10A-automaten i skapet ved normalt bruk. De eneste nødvendige endringene som i så fall trengs, er å koble om inne i skapet, der 230V AC inn i skapet kobles direkte til 24V-forsyningen (ref. Figur 25. Enlinjeskjema).

¹ Vedlegg på CD; Installation Guide s.13: Maks strøm i 1 sekund på 11A rms



Kvikke (B), trege (C) og svært trege (D).

Figur 15 Utløsekarakteristikk. <http://www.moeller.no/cgi-bin/Produkt.exe/TDVis?ID=60>

5.4.3 Forsyning og føringsveier

Hovedfordeling HF432.01 har to kurser tiltenkt bølgemaskin. Disse kursene er QE024 og XQ025, som begge er 16A-automater tilknyttet 230V nettspenning. Begge kursene har samme merking i kursfortegnelsen, «Slepetank, bølgemaskin». Eksisterende anlegg er pluggbart tilkoblet XQ025, og vil bli benyttet som forsyning til nytt styreskap samt spenning til datamaskin som skal overta for signalgenerator. Forsyning til signalgenerator der den er plassert i dag er gjort ved hjelp av skjøteledninger, og en mer permanent løsning bør derfor velges her. Koblingsboks av typen AP9 eller tilsvarende må vurderes som en erstatning til stikk tilknyttet kurssikringen som benyttes (XQ025).

Kabeltrasé fra hovedfordeling til dagens to stikkontakter, er kabler festet på kabelstiger på vegg, og horisontal kabelstige over inngangsdør (berøres ikke av tiltenkte endringer til systemet). Mellom signalgenerator og styreskap er det ingen velegnede føringsveier i dag, så dette må løses på stedet. Forslag kan være kabelstige, stive rør festet i galleri-konstruksjon på stedet, forlegningskanal eller stripe kablene direkte fast i beina galleriet står på. Utøvende part velger det som menes mest hensiktsmessig, som er i henhold til gjeldende forskrifter og regler for kabelføring.

Motor, resolver, LDT og hydraulikkpumpe er alle plassert på stålbjelke over bølgetanken. Frem til disse er kablene festet på forskjellig vis i stålbjelken, og klamret på vegg ned til plassering av styreskap. Samme trasé og forlegningsmetode benyttes ved endringer til tenkt løsning. Det bør vurderes å feste kablene bedre på stålbjelken, gjerne beskyttet av stive plast rør for ekstra mekanisk beskyttelse.

5.4.4 Regulering

Driven regulerer hastighet og retning på motoren, og bruker PWM-regulering som nevnt i bakgrunns-teori. Ved hjelp av tilbakemelding fra resolver (montert på motor), beregner driven posisjon til motoraksling. Denne kombinert med tilbakemelding fra LDT på hydraulikk stempel, sørger for at motoren skifter retning på ønsket tidspunkt. Ved å justere på parameter i Gem Drive Studio kan man kjøre motoren i forskjellige hastigheter, samt regulere hvor lenge motoren skal gå den ene retningen før den snur. Det er disse reguleringene som blir synlige i bølgene man ser bli skapt i tanken. Stempelet er direkte knyttet til motorakslingen, og setter det mekaniske systemet i bevegelse.

5.4.5 Komponentdata

På grunn av utskifting av flere vitale komponenter fra eksisterende anlegg, er det her satt opp de viktigste komponentene med tekniske data og beskrivelse. Utfyllende informasjon fra produsent og leverandør finnes i vedlegg, som er referert til underveis.

Motor

Tekniske data:

Mavilor MA-6 AC servo-motor.

Max mechanical speed	6000 rpm
Stall torque	3,6 Nm
Stall current	4,2 A
Peak torque (+/- 10%)	28,5 Nm
Mass (med resolver)	4,4 kg
Protection	IP-54

Resolver:

Voltage	10 V
Frequency	4,5 kHz



Figur 16 Bilde av 3 forskjellige størrelser MA motorer.
http://mavilor.es/pdf_products/ma_series.pdf

Valg av motor ble tatt på grunnlag av to viktige faktorer. Først og fremst klarer motoren å levere samme moment som den eksisterende motoren, noe som gjør at den klarer å få bevegelse på stempel med tilhørende deler. I tillegg var akkurat denne motoren så lik den eksisterende, fra samme produsent, at den kan monteres direkte der hvor eksisterende motor er plassert. Det er ikke behov for modifikasjoner, da denne motoren har samme dimensjon hva gjelder festemuligheter og fysisk størrelse (Vedlegg 4 og Vedlegg 5, Datablad på motor)

Drive

Elektriske spesifikasjoner:

Drive type	Pac-230 /11
Peak current [Arms]	11
Rated current [Arms]	5,5
Input voltage [V]	230

«Installation Guide (s. 18)»:

Svitsjefrekvens – 8kHz

Samplingsperiode på hastighets- og posisjonsregulator – 0,5ms

Forsinkelse, PWM – 6,25ms

Feedbackmuligheter fra resolver, flere typer encodere, samt digitale og analoge innganger (Vedlegg 7, Datablad drive).

Analoge +/- 10V / 12bit innganger, Analoge 0-5V utganger samt Motorbremskontroll er noen av interface-mulighetene denne driven tilbyr.

Interface CANopen eller EtherCAT fieldbus kan benyttes etter hvilken type du velger, begge benytter RS232 kabel mellom drive og PC for styring og regulering.

Standard operasjonsmoduser inkluderer blant annet (se vedlegg 2 for øvrige muligheter):

DS402 standard modes:

- Syklisk synkron posisjon
- Syklisk synkron hastighet
- Syklisk synkron moment

Frittstående operasjon:

- Analog hastighetskjøring
- Positioner
- Stepper emulering
- Elektronisk giring

Ved hjelp av Gem Drive Studio 5 (Vedlegg på CD) kan en rekke parametre stilles inn og konfigureres.

XtraPulsPac-driven kan enkelt konfigureres som en frittstående kontroller i forskjellige operasjons moder. Driven kan også integreres i automasjonssystemer med PLS, CNC eller motion controller via fieldbus og bruke velkjente standard-funksjoner tilgjengelige i bibliotekene. Dette gjør driven egnet til bruk for en rekke forskjellige maskiner og systemer (Hentet og oversatt fra datablad om driven, vedlegg 7).

Det finnes mange typer motor drives, som kan gjøre den samme jobben. Akkurat denne driven leveres av samme leverandør som motoren, da Mavilor er en del av InfranorGroup. Ved å forholde seg til samme leverandør for disse to, blir det mye enklere å få hjelp dersom problemer skulle oppstå. Dessuten eliminerer det problemstillingen om drive og motor er kompatible med hverandre.



Figur 17 XtrapulsPac fra Installasjonsguide

24V DC forsyning

SMPS 24 VDX, S8VK-C06024, Omron

Utgangsspenning	24 VDC
Utgangsstrøm	2,5 A
Inngangsspenning	100 – 240 VAC
Virkningsgrad	87%
Driftstemperatur	-20 – 60°C
Rippel	2% p-p
Mål B*H*D	32*90*110 mm



Figur 18 Bilde hentet fra www.elfadistelec.no (artikkel nr 11048484)

Forsyningen laget for montering på DIN skinne, og kan benyttes til 50Hz og 60Hz frekvenser. Beskrivelser av Omron produkter (vedlagt på CD, 24V DC PSU).

Styreskap

Inneholder motor-drive, kortslutningsvern, 24V forsyning, rekkeklemmer og jordskinne. Plasseres på vegg på samme sted som eksisterende styreskap (se tegning XX). Overkant skap 2m over gulv. Kabler føres inn i bunn av skap ved bruk av PG nipler.

Fibox CAB PX 755032

Dimensjoner:

Høyde	750 mm
Bredde	500 mm
Dybde	320 mm

Størrelsen gjør at utstyret vårt får plass, samtidig som det er ekstra kapasitet til utvidelser.

Skapet er av polyester, og er egnet for temperaturer mellom -40°C og 80°C.

Beskyttelsesgrad: IP65

(Vedlegg 8, Skap)



Figur 19 Bilde fra http://www.fibox.com/catalog/680/product/2584/8833902_ENG3.html

Montasjeplate, MP 75

Dimensjoner:

Høyde	640 mm
Bredde	390 mm
Dybde	2 mm

Stålplate laget for valgt skap, for montering av utstyr.



Figur 20 Bilde hentet fra

http://www.fibox.com/catalog/680/product/2630/8833923_ENG3.html

Montasjeplaten

muliggjør montering

av vårt utstyr direkte i skapet. På denne festes også jordskinne og DIN skinner.

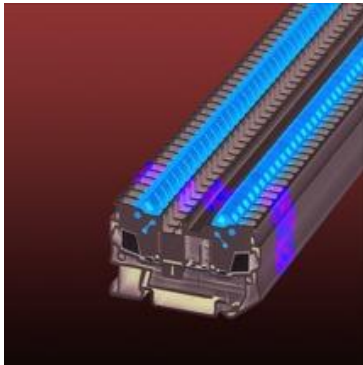
Sikring i skap:



Figur 21 Illustrasjonsfoto fra Elektroskandia.no

Strømbehovet til utstyret gjør at en 10A automatsikring sikrer anlegget, samtidig som den oppfyller krav til utkobling (ref FEL, Nek 400, FSE). En D-karakteristikk automat velges etter anbefalinger fra produsentens datablader, dette for å takle startstrømmer som kan oppstå ved igangkjøring og oppstart. Fordelen med en egen sikring i skapet er mulighetene for å enkelt gjøre komponentene i skapet spenningsløst for vedlikehold og kobling. Samtidig muliggjør det bruk av mindre kabler til utstyr enn hvis tiltenkt sikring i hovedtavle på 16A ble benyttet, og systemet får økt selektivitet. Ulempene er en ekstra kostnad, da automatsikringer ikke er billige om man har et trangt budsjett, samtidig som det opptar plass i skapet.

Rekkeklemmer:



Figur 22 Illustrasjonsfoto fra Elektroskandia.no

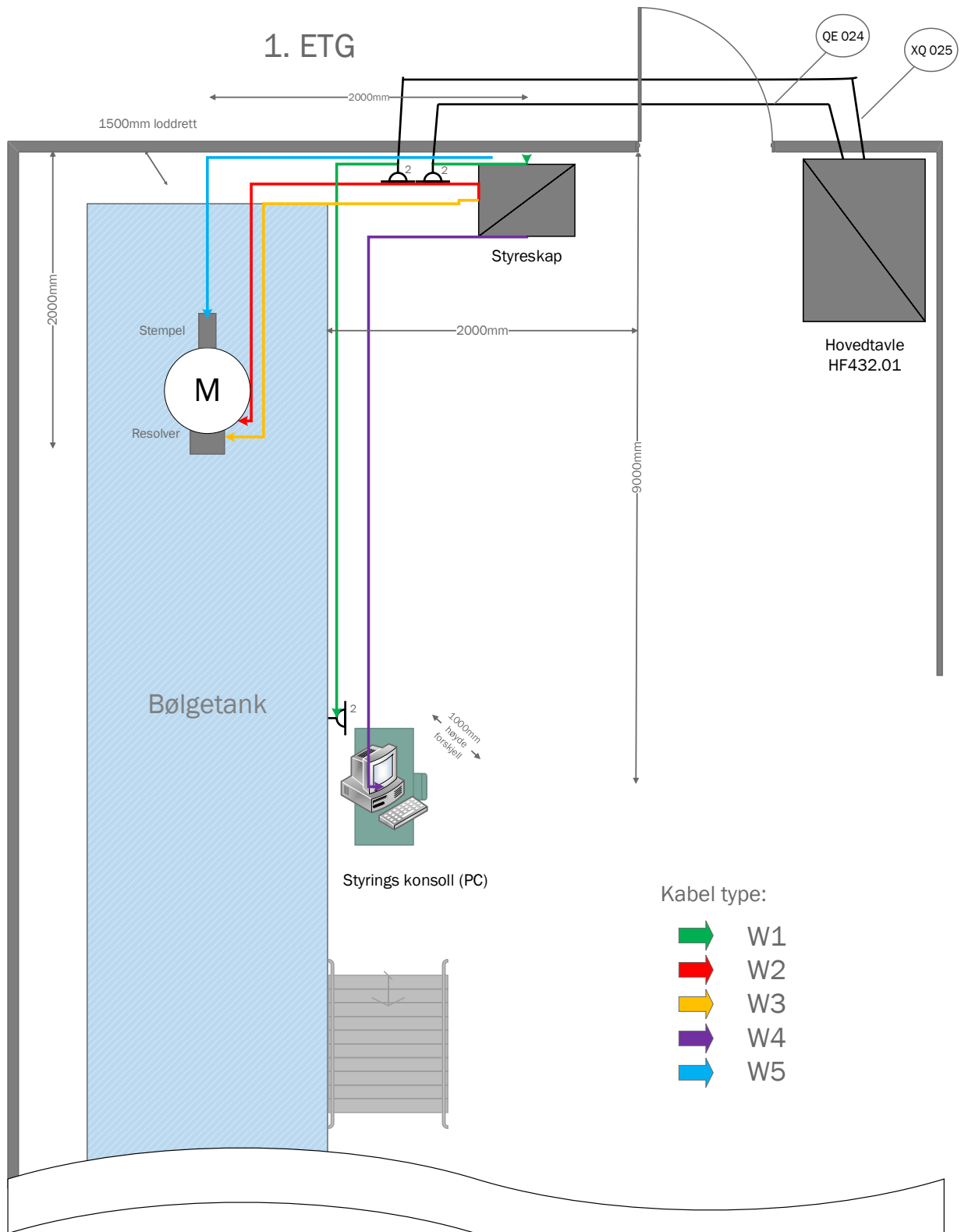
Siden alle kabler skal inn i skapet gjennom nipler vil rekkeklemmer fungere som første tilkoblingspunkt for kablene inne i skapet. Ved å gjøre det på denne måten, står man friere til å velge de kabler man måtte ønske fra skapet og ut til komponentene. Med rekkeklemmer kan man også sikre kabel til 24V-forsyningen med en glass-sikring i rekkeklemmen, og svarer der til kravet i spesifikasjonene om **3A (UL-listed fuse)** på 24V-tilførsel. Ulempene med dette er koblingene til motor-driven, som i all hovedsak er fler-pins kontakter. Ferdige kabler må enten klippes og kobles til rekkeklemmene, mens andre kabler må kobles til en overgang for å få riktig plugg ihht drivens grensesnitt.

5.4.5 Tegninger og figurer

Oversiktstegning, arrangementstegning med forklarende liste, og koblingstegning for styreskap med drive og tilhørende utstyr.

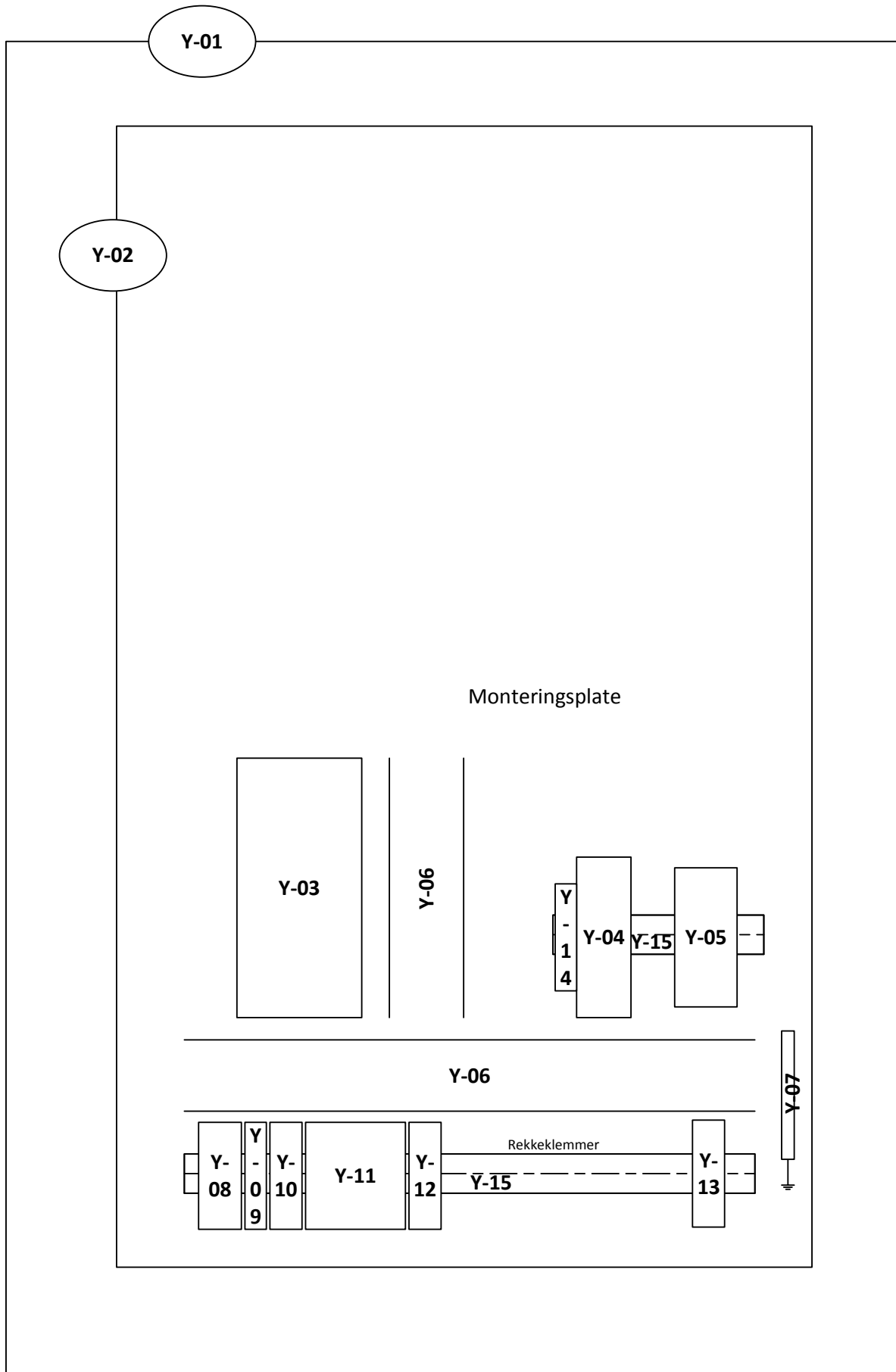
Tabell 1 Kabelliste

Kabelliste					
ID	Type	Tverrsnitt	Ytre diameter	Lengde	El. Nummer
W1	PFXP	3*2.5mm ²	9.5mm	16m	1000273
W2	Assembly kit	4*4mm ² +2*0.75mm ²	13.6mm	6m	*
W3	Assembly kit	8*0.75mm ²	8.9mm	6m	**
W4	PF-PS, 4par	8*0.5mm ²	12.3mm	12m	1088804
W5	Skjermet 3-leder	3*0.75mm ²	7.9mm	6m	1090610
* Power Cable Assembly Kit, tilleggsutstyr fra Mavilor, til Motor og motorbrems.					
** Resolver Cable Assembly Kit, tilleggsutstyr fra Mavilor, til Resolver.					



Rommet og bølgetanken strekker seg lengre enn tegningen viser

Figur 23 Oversiktstegning med kabler og utstyr



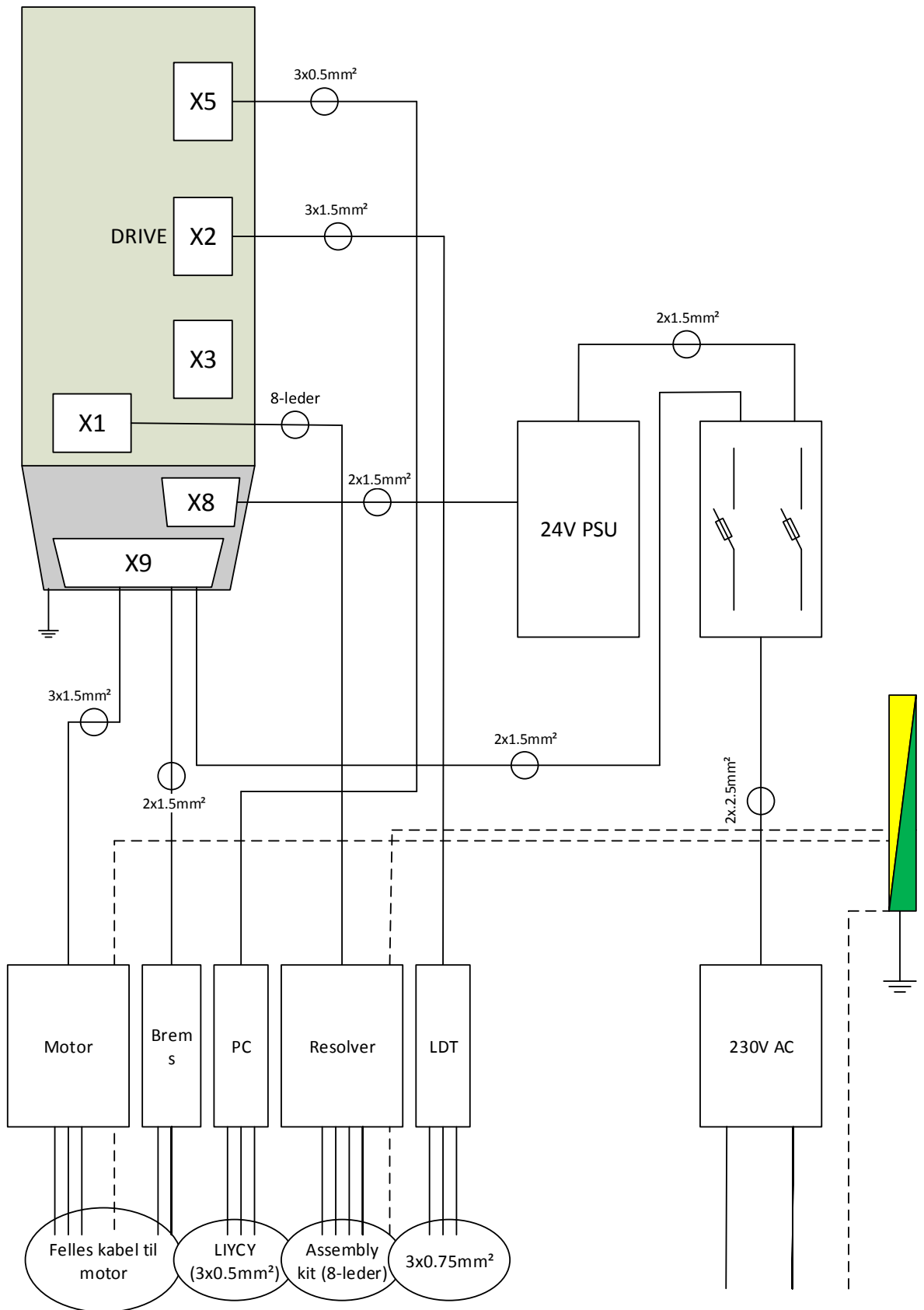
Figur 24 Skap arrangement

Tabell 2 Komponentliste til arrangementstegning.

Fig. Merke	Utstyr	Dimensjon [mm]			Merknad
		Høyde	Bredde	Dybde	
Y-01	Skap, Fibox	750	500	320	*
Y-02	Mont. Plate	640	390	2	
Y-03	Drive	148	70	143	
Y-04	24V PSU	90	32	110	
Y-05	10A automat	80	35.4	69.3	**
Y-06	Ledningskanal	-	40	40	
Y-07	Jordskinne	-	-	-	
Y-08	Rekkeklemmer (4)	60	24.8	-	
Y-09	Rekkeklemmer (2)	60	12.4	-	
Y-10	Rekkeklemmer (3)	60	18.6	-	
Y-11	Rekkeklemmer (5)	60	31	-	
Y-12	Rekkeklemmer (3)	60	18.6	-	
Y-13	Rekkeklemmer (2)	60	12.4	-	
Y-14	Rekkeklemmer (2)	60	12.4	-	***
Y-15	DIN-skinne	-	35?	-	
* 320mm er ytre mål, mens indre mål er 244mm. Denne dybden muliggjør pluggtilkoblinger til Drive.					
** D-karakteristikk automatsikring. Monteres i moduldeksel.					
*** Rekkeklemmer for glass-sikringer					

Tabell 3 Koblingsklemmer motor-drive

Rekkeklemme liste			
Drive:			
Klemme/pin			
X2		I/O	Kobles til:
1	ANA1+	I	Hydraulisk stempel (+)
10	ANA1-	I	Hydraulisk stempel (-)
2	GND		Differensial/Jord fra
11	ANA2	I	Hydraulisk stempel
X1			
		Kabel:	Resolver:
12	Motor	15pin fem. Sub D	TC
13	temperatur	15pin fem. Sub D	TC
2	Resolver signal	15pin fem. Sub D	S3
10		15pin fem. Sub D	S1
11		15pin fem. Sub D	S2
3		15pin fem. Sub D	S4
5	Resolver	15pin fem. Sub D	R1
4	referanse	15pin fem. Sub D	R2
X8			
			24V forsyning:
5	Jord	Direkte	(-)
4	24V(+)	(3A vern)	(+)
X9			
		Kabel:	Motor:
GND casing		W2	Motor jording
1		1.5-4mm ²	Fase 1
2		1.5-4mm ²	Fase 2
3		1.5-4mm ²	Fase 3
AC tilførsel:			
8		1.5mm ²	230V AC, fra 10A sikring
9		1.5mm ²	
10	GND	1.5-4mm ²	



Figur 25 Enlinjeskjema med kabelverrsnitt

5.4.6 Budsjett

Liste over de fleste komponentene til prosjektert løsning, med kabler og tilkoblinger. Festemateriell til kabel, og nødvendig materiell for kabelføring (kabelstiger e.l.) er ikke medberegnet. Frakt og arbeidstimer er heller ikke tatt med i beregningen.

Utstyr	Pris	Stk/m pris	Kommentar	el nr /referanse
AC motor	11900		Tilbud i svenske kroner	* Mavilor
Motor-drive	4900		Tilbud i svenske kroner	* Infranor
24V PSU, DC, 2.5A	500		Omron, art.nr: 11048484	
Sikringskap e.l.	2900			2537116
Monteringsplate i stål, til skap	500			2537163
Sikring, 10A D-kar Eaton	488			1609241
Deksel for automatsikring (ASD)	215			1725425
Blinddeksel modulærprodukter	265			1701106
Slisset ledningskanal (40x40mm) 2m	110			1285624
Jordskinne KLB 16	204			1725546
Rekkeklemmer, QTC 2,5 (0,5-2,5mm ²)	286.9	15.1	pr stk	1266203
Jordings strømpe, PVC 3mm	20	3.99	pr m	1800055
Jord strømpe for 4mm ²	20	9.87	pr m	1800095
DIN skinner (TS-35 2m)	272			1654945
Rekkeklemmer for glass sikring	158.5	79.25		1265004
PG nipler (PG 11)	11.05	11.05	pr stk	1248063
Kabel LIYCY, 12m	318	26.5	pr m	1001630
Kabel PFXP 3x2.5mm ² (16m)	464	29	pr m	1000273
Kabel PN 1.5mm ² (10m)	65	6.46	pr m	1060420
Plugg RS 232 (2stk, Drive-->PC)	168	84	pr stk	**
Assembly Kit Power Supply Motor	Ukjent			Mavilor
Assembly Kit Resolver	Ukjent			Mavilor
Glass sikring 3.15A	8.96	4.48		1600020
Parkabel. PF-PS 4par 0,5mm ²	1734	144.5	pr m	1088804
Skjermet 3-leder 0.75mm ² (6m)	294.6	49.1	pr m	1090610
Nipler PG 16 (2stk)	30.7	15.35	pr stk	1248065
Nipler PG 13,5 (3stk)	37.8	12.6	pr stk	1248064
sum	25871.51			
Det tas forbehold om prisendringer, og at kabler kjøpes inn etter meter-mål.				
Prisene opererer med listepriis fra elektroscandia, rabatt-avtaler er ikke tatt med.				
* Tilbud på mail. Mail korrespondanse lagt ved på CD.				
** http://no.rs-online.com/web/p/solder-d-sub-connectors/7203085/ MH Connectors SDB Series Cable Mount Waterproof Solder D-Sub Connector Socket, 9 Way, 500 V ac, 5A				

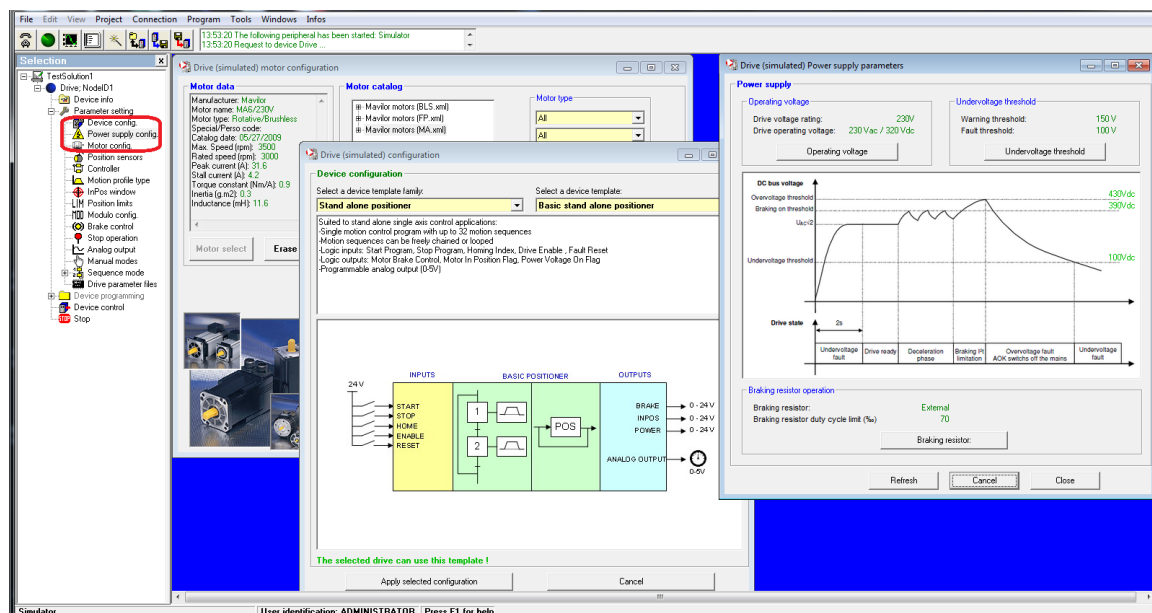
5.5 Virkemåte

Systemet som er satt opp som ny løsning, har motor-drive som en nøkkelkomponent når det kommer til signalstyring og regulering. Prinsippene denne bygger på er PWM og flux-vector control som er beskrevet under *Bakgrunnsteori*. Dette kapittelet vil forklare litt om bruken av driven, gjennom tiltenkt programvare og tilbakemelding fra resolver.

Styring og regulering

Styringen av bølgemaskinen skjer fra PC med *Gem Drive Studio 5*. Her stiller man inn ønskede verdier, som hastighet og ønsket rotasjon til motoraksling. Det er disse verdiene som tilsvarer frekvensen og amplituden som reguleres i eksisterende anlegg.

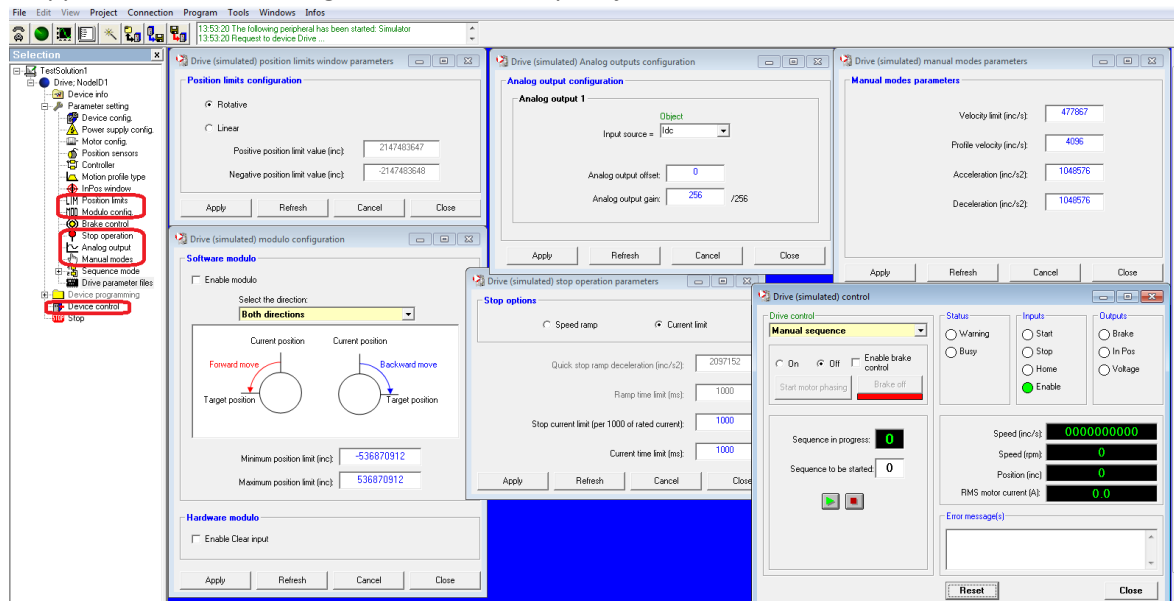
I programvaren velges drive og motor som systemet benytter seg av (*beskrevet i Gem Drive Studio – Quick Start Manual*, finnes på vedlagt CD-plate). Her får man tilgang til parameter og mulighet til å endre disse til ønskede verdier. Posisjonsbegrensning, hastighet, rotasjonsmengde, etc (bilde).



Figur 26 Motor og spenning, utdrag fra GemDriveStudio

Motoren startes fra det samme programmet, etter at ønskede verdier er stilt inn. Som tilbakemelding på posisjonen til motoren, nyttes påmontert Resolver. Denne beregner rotasjon til motoraksling, som sendes tilbake til programvaren. Her blir verdiene sammenlignet, og motoren

stopper eller skifter retning når den har nådd posisjonen brukeren har stilt inn.



Figur 27 Rotasjon, retning og hastighet. Utdrag fra GemDriveStudio.

5.6 Fordeler

- Systemet benytter seg av kjent teknologi
- Utstyret krever minimalt vedlikehold
- Løsningen er bedre beskyttet mot EMI enn eksisterende løsning
- Muliggjør utvidelser og modifikasjoner
- Benytter mekanisk system slik det er i dag
- Pris. Kostnaden til systemet er lav sammenlignet med de mulighetene som åpner seg ved å gå for denne løsningen. Ved å bringe systemet inn i tiden med dagens teknologi og utstyr, muliggjør man utvidelser gjennom PLS, HMI, fjernstyring, måling av bølgehøyder etc.

5.7 Ulemper

- Investeringskostnader
- Stilles krav til kompetanse og forståelse under idriftsetting og oppkobling
- Systemet er ikke testet i tiltenkt oppsett
- Programvare for regulering er ikke testet ut mtp reguleringsmuligheter
- Pris. Grunnen til at pris også står her, er at systemet i seg selv ikke gjør noe særlig mer enn det eksisterende systemet. I bunn og grunn erstattes et fungerende system med et system som gjør akkurat det samme.

6. Problemer/utfordringer

I prosessen vi har gjennomgått med oppgaven har vi støtt på noen problemer og utfordringer. Noen av disse har vært mer styrende for resultatet enn andre, og de viktigste er forklart nærmere her.

6.1 Eksterne aktører

Kontakten mellom oss og leverandørene har gått gjennom mail. De har vært høflige og hjelpsomme, selv om vi har slitt litt med å få den informasjonen vi spør etter til tider. Utfordringene vi har hatt her er å formulere spørsmålene våre riktig og konkret nok til å få svar på det vi spør om. Ofte har vi spurt om flere ting, og kun fått svar på noen av spørsmålene. Selv ved gjentakelse og omformulering har vi

slitt med å få noe av informasjonen vi var ute etter. Feilen her kan ligge hos oss heller enn personen i andre enden, da vi ikke har erfaring og bakgrunnskunnskap om produktene de leverer eller tilsvarende produkter. Tips til andre i samme situasjon kan være å lese seg tilstrekkelig opp på forhånd, og være klar i formuleringen av spørsmål for å få best mulig svar tilbake igjen.

6.2 Fysiske utfordringer

Rommet utstyret skal stå i har tidvis høyere luftfuktighet enn generelle rom innendørs, da maskinlabben er et frittstående murbygg som brukes uregelmessig. Samtidig er det vann i umiddelbar nærhet til anlegget, og utstyr som velges må derfor ha en egnet IP-grad for dette. Dagens motor er plassert på eksisterende stålkonstruksjon i form av bjelker som strekker seg over tanken. Plassen satt av til selve motoren er begrenset, så ved bytte av denne må dette tas med i betraktningen. Strukturelle forandringer medfører økte kostnader, og for å unngå dette kan ikke ny motor være særlig større enn eksisterende.

Kabeltraséer til eksisterende anlegg er stedvis lite hensiktsmessig, med tanke på trasé langsgående bølgetank til signalgenerator. Med tiltenkt PC plassert på samme lokasjon, vil det være nødvendig å se på alternative føringsveier på denne strekningen. Øvrige kabler er klamret på vegg og festet på stålbjelkene motor er montert på, og skal kunne benyttes på tilsvarende måte med ny løsning.

6.3 Fra praksis til teori

Etter en lengre periode med fokus på en praktisk oppgave, ble det tatt et valg om å gjøre oppgaven rent teoretisk. Dette skiftet medførte en annen måte å arbeide på. Avgjørelsen ble tatt etter møte med kunde, og en prat med veileder. Grunnlaget for å velge bort den praktiske biten, var all usikkerheten rundt løsningen vi så for oss. På tidspunktet hvor eventuelle komponenter måtte bestilles inn for å rekke fristen, var det for mange fallgruver og ubesvarte spørsmål. Manglende avklaringer rundt systemets fremtidige bruk og behov, gjør det vanskelig å rettferdiggjøre den type investering det i oppgaven er snakk om.

6.4 Prosjektering som oppgaveform

Uten særlig erfaring med prosjekteringsoppgaver var det til tider vanskelig å se for seg hvordan oppgaven skulle bygges opp, og sluttproduktet se ut. Dette var noe vi fikk tydelig tilbakemelding på etter en samtale med veileder om temaet. Engineering som begrep er ikke ukjent for oss, men å konkretisere det godt nok til at en oppgave kan utformes etter det, var vanskeligere enn antatt. Skrivning av oppgaver på denne måten er noe vi har gjort særdeles lite av, men kan ta med oss som god lærdom videre.

7. Vedlikehold

Her er det satt opp noen forslag til vedlikehold, samt referert til prosedyrer der hvor dette eksisterer til komponentene i systemet.

Generelt vedlikehold

Utstyr må visuelt sjekkes med jevne mellomrom, for å sjekke om skader eller feil har oppstått i anlegget. Det foreslås at dette gjøres en gang årlig, av ansvarlig person for maskinlabben utstyret står i. Vannsprut, luftfuktighet og støv er typiske elementer som bør sjekkes. Generell rengjøring av komponenter i skap med egnet utstyr for fjerning av støv generert av vifter og annet utstyr. Vann og såpe bør unngås. Visuell inspeksjon av komponenter, der man ser etter skader på utstyret, og utbedrer disse om mulig. Skap skal være tett, og gjennomføringer i skapet må derfor sees over.

Motor Drive

Ved lagring av drive i 2 år eller mer må vedlikeholdsprosedyre i XtrapulsPac Installation Guide (s.62) følges. Prinsippet her er å gradvis øke spenningen tilført driven. For å unngå denne vedlikeholdsprosedyren, holder det at driven får merkespenning i en time årlig. Normal bruk bør i de fleste tilfeller gjøre at denne prosedyren ikke trenger å gjennomføres. Hvis driven ikke har vært i bruk på 12 måneder eller mer må driven forsynes med maks 50% merkespenning i 30 min, for reformatering/kalibrering av kondensatorene i driven. MTBF for driven er satt til >100.000 timer fra leverandøren (ref Installation Guide – Technical Specification, nederst s.14)

Luftfuktighet og vann er ikke bra for driven, så dette må sørges for å holdes utenfor skapet den står i. Som et ekstra tiltak ved luftfuktige omgivelser, kan det være nødvendig med ekstra vifter. Med den installasjonen vår løsning illustrerer, skal dette ikke være noe problem.

Motor

Siden motoren er en AC-maskin er den såkalt «vedlikeholdsfri». Med dette menes at det ikke er behov for å sjekke og bytte ut noen innvendige komponenter, så sant motoren opererer som den skal. Går akslingen rundt med korrekt turtall, og det ikke kommer noen ulyder fra motoren under drift, skal motoren være i orden. Den opererer med 230V som er nettspenningen i Norge, som gjør det enklere hvis motoren skal flyttes på og eventuelt testes. Fordelen ved at motoren er børsteløs er at det ikke er børster som må byttes eller støv fra disse som må fjernes.

8. Drøfting

Før man kan gi et endelig svar på om den prosjekterte løsningen er den beste, bør den måles opp mot det eksisterende samt de krav og ønsker som er gitt. Og ikke minst de forventninger man har til anleggets bruk i fremtiden.

Det eksisterende anlegget er bygget med komponenter og teknologi fra sent på 70-tallet; dette gjør systemets levetid usikkert mtp tilgjengelighet av reservedeler og kompetanse på slikt analogt hardware. Den høye alderen på reguleringsteknikken gjør den også lite kompatibel med nyere tilleggsfunksjoner som PLS eller andre digitale medier. Skulle man også velge å skifte den mekaniske løsningen vil dagens system trolig fungere dårlig.

Ved å skifte ut eksisterende motoranlegg med tilhørende styring vil det være enklere å tilegne systemet nye tilleggsfunksjoner og oppgraderinger, i tillegg er teknologien kjent og mer relevant enn den som er brukt i dagens anlegg.

Selve reguleringen på det eksisterende systemet er også unøyaktig og muligheten til å gjenskape en spesifikk bølgehøyde er i praksis ikke gjennomførbart. I tillegg er anlegget utsatt for støy og interferens, og skjerming er i realiteten ikke-eksisterende. Til tross har anlegget fungert som tiltenkt, og trolig vil det fortsette å fungere i mange år.

Brukervennligheten bør også være bedre ved nytt oppsett da man lettere kan gjenskape en spesifikk bølgeform med eget Software. Programvaren vil kunne bidra med å sikre mot uønskede innstillinger som følge av uaktsom fikling, ved at det kan resettes til default. Dataprogrammet som brukes til driven har svært mange muligheter for regulering og kontroll. Navigering kan by på store utfordringer og det er derfor vanskelig å konkludere med hvor brukervennlig styringen vil være.

9. Konklusjon/Resultat

Problemstillingen vår var om vi med moderne teknologi og utstyr, klarte å erstatte eksisterende styring av bølgemaskin, innenfor de rammene og begrensningene som var gitt. Utfordringene her ble å velge de riktige komponentene for jobben, med tilhørende dokumentasjon og begrunnelser.

Konklusjon blir at prosjektert løsning kan erstatte eksisterende system slik som det er satt opp i oppgaven, samtidig som det svarer til kravene til løsningen som helhet. Komponentene er dokumentert i oppgaven, samtidig som utfyllende informasjon blir referert til som vedlegg. Av begrensningene og kravene er det ett punkt som er vanskelig å konkludere med om er oppfylt, og dette er kravet om brukervennlighet. Som det kommer frem av drøftingen, er det usikkert hvor brukervennlig programvaren som er tenkt å styre hele systemet er, og kompleksiteten til programvaren ble synliggjort når man startet simuleringsmodus (belyst under *Virkemåte s.32-33*)

Resultatet av en utskifting til prosjektert løsning vil gi systemet økt levetid, noe som øker sikkerheten til et fungerende system i årene som kommer. Selve reguleringen blir mer presis, men kan på papiret virke noe mindre brukervennlig. Med dette vil systemet være mer pålitelig i forbindelse med fremtidig bruk i undervisning. Om løsningen skal velges over andre muligheter må vurderes i forhold til hvilke fremtidsplaner som er tenkt med selve bølgetanken og det tilhørende systemet.

Videre arbeid vil kunne avgjøre om oppsatt løsning skal velges eller vrakes, og hvilke tilleggsfunksjoner som skal implementeres. Dersom det ikke foreligger konkrete planer for endringer, og det er av større interesse for skolen å modernisere eksisterende system, bør oppsatt løsning jobbes videre med.

10 Forslag til videre arbeid

De leverandørene vi har vært i kontakt med leverer enkeltkomponenter og det er med disse vi har bygget vår løsning. En komplett løsning levert av et firma som driver med denne typen systemer kan være en bedre vei å gå, selv om dette fort koster vesentlig mer. Eksempelvis er det Edinburgh Designs som har levert bølgetanken med styring til bl.a. Høyskolen i Bergen. Avhengig av kompleksitet kan en slik løsning fort bli meget kostbar, men om skolen har større ambisjoner for bruk av bølgetanken i fremtidig utdanning kan dette likevel være veien å gå.

Det å kartlegge hva som er viktigst for systemet slik det er i dag, og hva som er tanken med systemet i fremtiden bør være grunnleggende for planlegging av videre arbeid. Vårt arbeid har i all hovedsak fokusert på å erstatte det som brukes i dag med et enklere system tilpasset dagens bruk, men med muligheter for utvidelser og oppgraderinger.

I vårt arbeid med prosjekteringen har vi sett på og gjort enkle vurderinger for hvilke utvidelser og tilleggsfunksjoner best vil øke funksjonaliteten til anlegget. Vi har tatt til grunne at utvidelser av anlegget ikke skal kreve større ombygging av det eksisterende systemet eller påvirke eksisterende installasjoner rundt tanken på en negativ måte.

Bølgemåler

Et ønske som var tidlig nevnt i planleggingsfasen var en mulighet for å måle faktisk bølgehøyde i tanken. En måte vi har sett på for å løse dette er bruk av Edinburgh Designs Wave gauge.

Bruk av en bølgemåler vil trolig kunne være svært forenlig med en utvidelse av programmeringen til bølgemaskinen.

Vi ser for oss at bølgemåleren kan fungere som en feedback, eller er verdi. Dette vil kunne gjøre det mulig å forhåndsprogrammere ulike bølgemønstre, eller holde en bestemt bølgetype over tid.



Figur 28 Edinburgh Designs WG8USB Wave Gauge Controller med probe.
<http://www.edesign.co.uk/product/wavegauges/>

DTC

En annen mulig oppgradering vil kunne være å implementere en DTC drive til motoren. Dette vil fjerne behovet for en resolver eller encoder. Dette er også svært raske og nøyaktige drivere som vil kunne regulere anlegget godt. Vi har dog ikke sett om planlagte AC-motor er kompatibel med en slik drive. Dessverre er DTC en relativt kostbar teknologi og det bør gjøres en vurdering om det er en overdimensjonering av dagens mekaniske anlegg å implementere dette. Derimot kan det være mer aktuelt å bruke om man oppdaterer det mekaniske anlegget med en ny løsning. F.eks. ved bruk av en lineær motor.

Fjernstyring

Bruk av fjernstyring til bølgemaskin ved hjelp av trådløs overføring eller lignende til en ekstern stasjon var tidlig diskutert. Å opprette et kontrollrom på verkstedets kontor virket da som den mest praktiske løsningen. En annen mulighet kunne vært en håndholdt løsning som muliggjør å styre anlegget uavhengig av kontrollskap. Visse risikoer vil det være med et fjernstyrt anlegg, typisk ser vi for oss at klemskader vil være den største risikoen. Det bør derfor også tas høyde for at en slik utvidelse vil kreve overvåking av faresonen, gjerne ved hjelp av video overvåking eller sensorløsning.

Ved vedlikehold burde en slik løsning kunne låses for lokal betjening, som ikke kan overstyres fra den nevnte fjernstyringen.

11. Kilder

Her står listet opp hvilke kilder og nettsider som har vært brukt i oppgaven. Hovedsaklig har internett blitt benyttet, og linker til disse står også her.

11.1 Bøker og faglitteratur

Olsen, P.A. og Øvrebekk, S. (2016) *Prosjektering av elektriske anlegg 2. utgave*

Lånt av biblioteket ved Sjøkrigsskolen. Pensumlitteratur ved HiB.

ABB Technical Guide No.1, 26.04.2002

11.2 Forskrifter og normer

FSE – FOR-2006-04-28-458 Forskrift om sikkerhet ved arbeid i og drift av elektriske anlegg.

FEK – FOR-2013-06-19-739 Forskrift om elektroforetak og kvalifikasjonskrav for arbeid knyttet til elektriske anlegg og elektrisk utstyr

FEL - FOR-1998-11-06-1060 Forskrift om elektriske lavspenningsanlegg.

NEK-400: Elektriske lavspenningsanlegg - Installasjoner 2010 4.Utgave.

11.3 Linker og eksterne aktører

Infranor – www.infranor.com (leverandør av drive og motor, en del av Infranor Group)

Mavilor – www.mavilor.se (produsent av motor, en del av Infranor Group)

Elfa – www.elfadistelec.no (leverer 24V DC strømforsyningen vi har valgt)

Elektroskandia – www.elektroskandia.no (sikringer, rekkeklemmer, skap, koblingsmateriell)

Eaton / Moeller - <http://www.moeller.no/cgi-bin/Produkt.exe/TDVis?ID=60> (sikrings karakteristikker)

Plugg (RS232) - <http://no.rs-online.com/web/p/solder-d-sub-connectors/7203085/> (til drive og PC)

Granite Devices - <https://granitedevices.com/>

Lov-Data - <https://lovdata.no/>

12. Vedlegg

Bachelor søknad	vedlegg 1
Fremdriftsplan	vedlegg 2
Egne tegninger (skap)	vedlegg 3
Brosjyre motor	vedlegg 4
Dimensjoner motor	vedlegg 5
Assembly kit	Vedlegg 6
Brosjyre drive	vedlegg 7
Brosjyre Skap	vedlegg 8

Øvrige vedlegg, samt oppgaven, ligger lagret på vedlagt CD-plate. Disse vedleggene inkluderer;

- Brosjyre 24V PSU (Omron)
- Mail til leverandører
- Gem Drive Studio installasjonsfil
- Gem Drive Studio – Quick Start Manual
- Installasjons Guide til motordrive (XtraPulsPac)
- Tegninger av eksisterende anlegg (Fotografier)