



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2022 30 studiepoeng

Fakultetet for realfag og teknologi

Systemutvikling og lokal energiproduksjon fra bølgebevegelser i vann

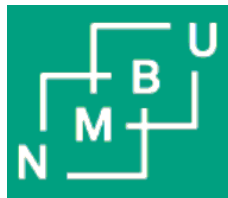
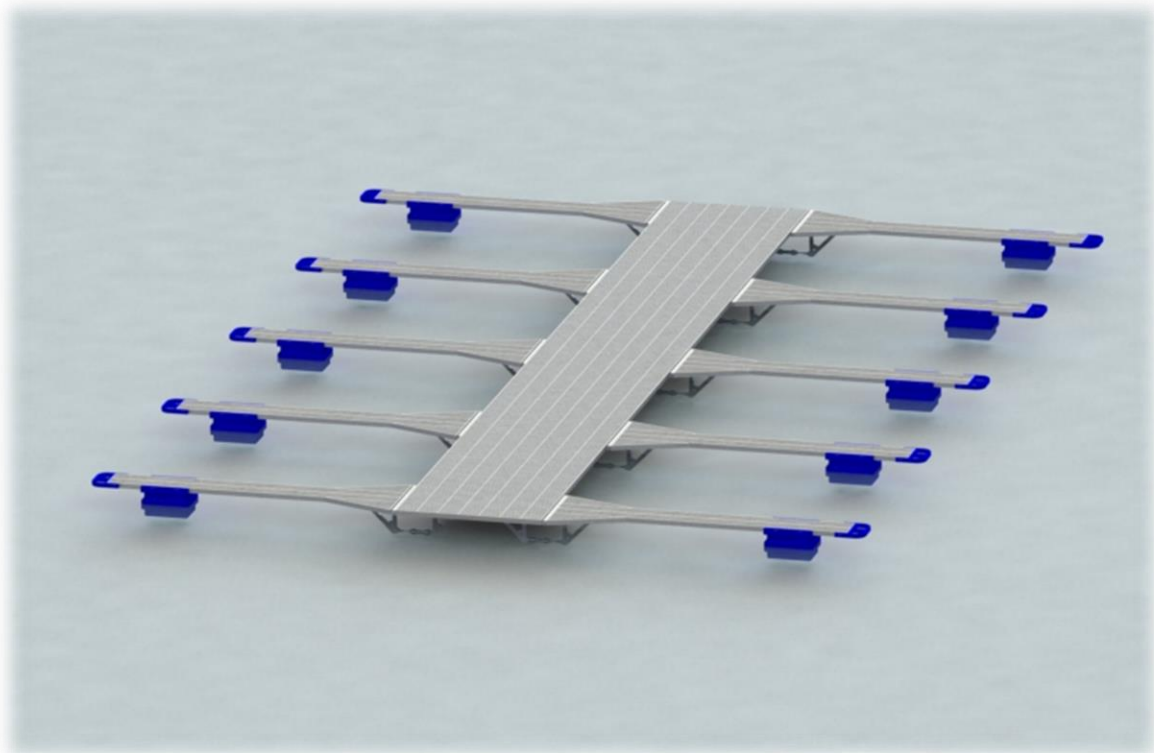
System development and local energy
production from wave motions in water

Partap Singh

Maskin-, prosess- og produktutvikling

Systemutvikling og lokal energi- produksjon fra bølgebevegelser i vann

av
Partap Singh



Masteroppgave i Maskin, prosess og produktutvikling
Fakultet for realfag og teknologi, NMBU
Våren 2022

FORORD

Denne masteroppgaven er skrevet som en avsluttende del av Sivilingeniørutdanningen «Maskin, Prosess og Produktutvikling», på fakultet for «Realfag og Teknologi» (REALTEK), ved «Norges miljø- og biovitenskapelige Universitet» (NMBU) i Ås. Under studieforløpet har jeg spesialisert meg innen «Produktutvikling og Maskindesign». Arbeidet til denne masteroppgaven er utført i perioden vår 2022 til sommer 2022, med en akademisk uttelling på 30 studiepoeng.

Jeg har tidligere gjennomført en bachelorutdanning som Maskiningeniør fra storbyuniversitet «Oslo Metropolitan University» (OsloMet), og fullfører med denne gradsoppgaven som toårig påbygging gjennom masterprogrammet innen «maskin- og produktutvikling» ved NMBU.

Jeg har også fått muligheten til å jobbe noe som serviceingeniør imellom gradsoppgavene. Valget mitt for maskiningeniørstudiet har grunnlag i at jeg er løsningsorientert og nysgjerrighet for nyutvikling. Samtidig ønsker jeg å kunne ha disse ferdighetene til å gagne samfunnet på en nyttig- og positiv måte. Videre er denne avhandlingen utarbeidet for å kunne vise om det eksisterer mulighet for å utvinne småskalaenergi fra bølgekraft langs kyststripen og lokale fjorder.

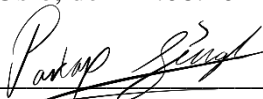
I dagens samfunn er elektrisitet en nødvendig ressurs for vår hverdag. Dette er ikke i nærheten av alle ressursene vi har rundt oss, som kan brukes på en effektiv måte for å skape den energien vi trenger. For å kunne bidra til samfunnet med fornybar(e) energikilde(r), til å løse fremtidens energiproblematikk, valgte jeg denne oppgaven. Her er det fint å kunne se at en idé videre kan utvikles til virkelighet, og kunne bidra til muligheten for flere lokale fornybare energimuligheter i samfunnet.

I denne masteroppgaven får jeg mulighet til å bruke kompetanse jeg har opparbeidet meg gjennom studiet til å løse en reel problemstilling, og tilegne meg mer kunnskap underveis. I oppgaven vil det fokus bli satt på fornybare energiproblematikk og mulige løsninger for å utnytte bølger som lokal energikilde.

Jeg har også hatt stor glede av å kunne bruke den kunststriske friheten til å tegne egne illustrasjoner. Gjennom hele oppgaven er alle illustrasjoner som ikke er referert egenproduserte.

Som en avslutning av forordet ønsker jeg først og fremst å takke min skaper, familie og venner. Videre ønsker jeg å takke førsteamanuensis Jan Kåre Børe for en fantastisk veiledning, støtte og inspirerende samtaler igjennom masterarbeidet. Jeg vil også takke ekspertveiledning fra Senioringeniør Øyvind Hansen, Avdelingsingeniør Øyvind Bergh og elektriker Balprit Singh for innspill til produktet og innspill til videre arbeid. Sist vill jeg takke HVAC og VVS Ingeniør Ali Ouitouit, Prosjekt- og HMS- leder Adeel Khan (MBBS) for gjennomlesing og konstruktive tilbakemeldinger til rapporten, og alle som har vært med og svare på eksterntesting.

Oslo, den 14.08.2022



Partap Singh

SAMMENDRAG

I løpet av de siste årene har energiprisene blitt dyrere, og samfunnet krever mer og mer energi enn før. Samtidig ønskes det å bevege seg i en mer grønnere energiskifte. Her har FN, Norge og NMBU som mål å satse på en fornybar energiutvikling. For å oppnå disse målene må energiproduksjonen fra dagens fossile produksjonsmetoder omstilles til fornybare produksjonsmetoder. I tillegg til dette mister vi en del elektriskenergi når energi transporteres over større strekninger. For å få minst mulig energitap kan det være fint å tenke på lokale produksjonsmetoder for elektrisk energi.

Følgelig har denne masteroppgaven sitt hovedfokus på muligheten til å skape småskala energikraftverk som utnytter lokal bølgeenergi ved kystområder. Spesielt gjelder dette muligheten for at den lille energien lokale brygger påføres av bølgekraft ved små-havner også kan utvinnes til fornuftig elektrisk energi. Denne masteroppgaven har dermed som et hovedmål å prøve å klare å hente ut 5-15 kW med elektrisitet fra et slikt småskalaanlegg. Videre har viktige produktmål vært, at konseptløsningen skal være brukervennlig, driftssikker og ukomplisert, og kunne gi gode muligheter for modulbygging.

Oppgaven innledes med å beskrive bakgrunn overordnede oppdragsrammer for arbeidet, prosjektplanlegging og viktig teorigrunnlag og metodebruk. Gjennom hele oppgaven har man tilstrebet å benytte anerkjente verktøy som *IPD (Integrert produktutvikling)*, samt «*Stuart Pugh sin utviklings og seleksjonsmetodikk*». Dette omfatter viktige trinn som produktspesifisering og funksjonsanalyse, etterfulgt av frambringning av løsnings og konsept alternativer, screene disse og drøfte konsept-løsninger gjennom prosessen Pugh kaller «*Styrt konvergens*» for løsningsutredning og valg.

For en god struktur og kvalitet på prosjektarbeidet har arbeidet blitt delt inn i 3 hoveddeler, med en utredningsfase, en utviklingsfase og en analyse fase. Inspirert av Pugh, elementer fra *QFD (Quality function Deployment)* og ISO 9001 og en trinnvis utviklingsmetodikk, har det også vært mulig å kunne gå tilbake underveis i arbeidet ved trinn hvor konsept ikke har vist seg å gi ønskete funksjonelle utbytter.

Det finnes mye litteratur knyttet til storskala utnytting av bølge-energi og mye av dette er blitt gjennomgått og referert i forbindelse med innledningen og beskrivelser av teori- og teknologibakgrunnen for arbeidet. Imidlertid eksisterer det ikke mye material om små bølgekraftanlegg, og en både omfattende og krevende del av prosjektarbeidet har derfor vært knytte til forholdsvis enkle muligheter som måtte finnes og ulike veier for å føre fram til en mer systematisk løsningsutredning og valg. Dette gjelder både grunnleggende mekanismer for å kunne overføre bølgebevegelse til rotasjon, pendelbevegelse, trykk eller andre fysiske prinsipper som lar seg beregne i for å kunne fastlegge både krefter, momenter energi og overføring til elektrisk effekt.

Under utviklingsfasen har det blitt etablert produktspesifiseringer, med viktige hovedmål og videre delmål for konstruksjonen. Det har blitt gjort rede for nødvendige sikkerhets- og brukshensyn for konseptet/produktet, og videre blitt kartlagt nødvendige/ønskede produkt-egenskaper. Utefra disse har det blitt foretatt funksjonsanalyser. Funksjons analysene har gitt et grunnlag for hva, hvorfor og hvordan produktmålene best skal kunne oppnås. Videre dekomponeres funksjonsanalysen til ulike løsningsalternativer, som beskrives og evalueres i progressive tabeller. Løsningsalternativene vurderes mot hverandre i en egenscreening, hvor resultatene skaper et grunnlag for et konsept.

To mulige hovedkonsepter framkommer fra første delene av seleksjonsprosessene, begge basert på momentoverføring via arm fra bryggeutligget til et hydraulisk pumpesystem i tilknytning til brygge moloen. Disse drøftes så videre funksjonelt fram til en løsning basert på vektarmprinsippet og muligheter for tilpasning i eksisterende bryggeutliggere og moloer. For å best mulig kartlegge hvordan ytelse og fysiske dimensjoner i dette konseptet bør være, har løsningsutviklingen blitt fulgt opp, og det har blitt gjort grove grunnlagsberegninger som har gitt bedre holdepunkter til hvilke dimensjoner produktet bør ha for å kunne produsere 5 kW med elektrisk effekt ved små bølgehøyder slik man finner langs fjordarmer. Videre har det blitt gjort FEM-analyser og simuleringer på enkeltenheter/elementer for å forbedre konsept-løsningen.

Dette dimensjoneringsarbeidet har ført både flere nye idéer og oppfatninger om hvordan produktet kan se ut og en del aspekter av dette er også blitt testet ved innspill både fra ingeniørfaglige fagfolk og et bredere publikum. Resultatene fra dette har også gitt viktige og positive impulser til en videre oppfølging av prosjektet.

Fra de restriktive resultatene har det blitt valgt frem en ferdigstilt produktarkitektur til det konseptuelle bølge kraftverket. Produkt utviklingen har resultert i et løsningskonsept og et produkt som er i to seksjoner, en hoved konstruksjon som skaper hydraulisk trykk og olje til drift ved et pumpestempel, og en landbasert del inneholder de hydrauliske- og elektriske komponentene for generering av strøm til nett eller batterilagring (illustreres fram til system-skisse og tekniske anvisninger). Hoved konstruksjonen er dimensjonert og konstruksjons- og 3D illustrert fullt ut, med tekniske anvisninger, og inneholder en modulmekanisme med 3 ledd, en trekant feste ledd (brakket flyt) på flytebryggen, en trekant feste ledd ved fastbryggen (brakett fast), og ett stempel i midten.

De trekantformede festeleddene (brakettene) lages av materialet Aluminium 6082, T6 materialet. Brakettene lages av to 80x50x5 rektangulære hullprofilbjelker og ett 80x50x5 rektangulær hullprofilbjelke for støtte mellom armene. For festing av stemplene som ligger mellom brakettene brukes det 15 mm metallplater og for feste til bryggen brukes det 5 mm plater på toppen av konstruksjonen. Alle ledd i trekant feste (brakettene) sveises sammen. For pumpe stempel brukes SCH1 MP3 stempel fra Bosch Rexroth, med 63 mm indre diameter og mulighet for 300 mm slaglengde (for ekstrem tilfeller). Øvrige tekniske anvisninger og systembeskrivelser mm. framgår også av siste del av rapporten.

Økonomiske produksjonskalkyler og enkle vurderinger av lønnsomhet er lagt inn som oppfølging av produksjonsanvisningene. Disse er svært grove og usikre, men tyder på at man kan oppnå økonomisk balanse for produktet ved en enhet som har ett landbasert aggregat og bryggemolo med 10 bryggutliggere som får gå jevnt over en 4-årsperiode ved produksjon av 100 enheter årlig ved moderate bølgehøyder.

I en eventuell videreføring av prosjektet vil det være viktig både å følge opp med mer målrettede og praktiske markedsundersøkelser, økonomiske risikoanalyser og ikke minst bruksbetingelser og belastninger som man vil møte over tid. Mer detaljerte beskrivelser av dette og andre ingeniørfaglige og tekniske oppfølgingspunkter mm. er gitt i siste del av konklusjonsavsnittet.

Til slutt bør det nevnes at egenillustrering har vært en inspirerende, men og viktig del av dette grads-arbeidet. I så måte er alle illustrasjoner som ikke er merket med referanser egenproduserte av forfatteren, men også mange omarbeidet og opphavskreditert for formålet.

ABSTRACT

In recent years, energy prices have become more expensive, and society is demanding more and more energy than before. At the same time, it is desired to move in a greener energy shift. Here, the UN, Norway and NMBU aim to invest in renewable energy development. To achieve these goals, energy production must be converted from current fossil production methods to renewable production methods. In addition to this, we lose some electrical energy when energy is transported over larger distances. To have the least possible energy loss, it may be good to think about local production methods for electrical energy.

Consequently, this master's thesis has its main focus on the possibility of creating small-scale energy power plants that utilize local wave energy in coastal areas. This applies to the possibility that the small energy applied to local wharves by wave power at small harbours can also be extracted into reasonable electrical energy. This master's thesis therefore has as its main goal to try to manage to extract 5-15 kW of electricity from such a small-scale plant. Furthermore, important product goals have been that the concept solution should be user-friendly, operationally reliable, and uncomplicated, and be able to provide good opportunities for modular construction.

The assignment begins by describing the background, overall assignment framework for the work, project planning and important theoretical basis and method use. Throughout the thesis, efforts have been made to use recognized tools such as IPD (*Integrated Product Development*), as well as "*Stuart Pugh's development and selection methodology*". This includes important steps such as product specification and functional analysis, followed by the generation of solution and concept alternatives, screening these, and discussing concept solutions through the process Pugh calls "*Controlled convergence*" for solution design and selection.

For a good structure and quality of the project work, the work has been divided into 3 main parts, with an investigation phase, a development phase, and an analysis phase. Inspired by Pugh, elements from QFD (*Quality function Deployment*) and ISO 9001 and a step-by-step development methodology, it has also been possible to go back during the work at steps where the concept has not proven to provide the desired functional benefits.

There is a lot of literature related to large-scale utilization of wave energy and much of this has been reviewed and referenced in connection with the introduction and descriptions of the theoretical and technological background for the work. However, there is not a lot of material on small wave power plants, and a both extensive and demanding part of the project work has therefore been linked to relatively simple possibilities that could be found and different paths to lead to a more systematic solution investigation and choice. This applies to both basic mechanisms for being able to transfer wave motion to rotation, pendulum motion, pressure or other physical principles that can be calculated to be able to determine both forces, moments, energy, and transfer to electrical power.

During the development phase, product specifications have been established, with important main goals and further sub-goals for the construction. Necessary safety and usage considerations for the concept/product have been explained, and the necessary/desired product properties have also been mapped. Based on these, functional analyses have been carried out. The functional analyses have provided a basis for what, why and how the product goals can best be achieved. Furthermore, the functional analysis is decomposed into various solution alternatives, which are described and evaluated in progressive tables. The solution alternatives are assessed against each other in a self-screening, where the results create a basis for a concept.

Two possible main concepts emerge from the first parts of the selection processes, both based on torque transfer via arm from the jetty outrigger to a hydraulic pump system adjacent to the jetty. These are then discussed functionally until a solution based on the weight arm principle and possibilities for adaptation in existing quay outriggers and jetties.

To map out as best as possible how the performance and physical dimensions in this concept should be, the solution development has been followed up and rough basic calculations have been made which have provided better clues as to which dimensions the product should have to be able to produce 5 kW of electrical power at small wave heights as fins along fjord arms. Furthermore, FEM analyses, and simulations have been carried out on individual units/elements to improve the concept solution.

This dimensioning work has led to several new ideas and perceptions about how the product can look and some aspects of this have also been tested with input from both engineering professionals and a wider public. The results from this have also provided important and positive impulses for further follow-up of the project.

From the restrictive results, a completed product architecture for the conceptual wave power plant has been selected. The product development has resulted in a solution concept and a product that is in two sections, a main structure that creates hydraulic pressure and oil for operation by a pump piston, and a land-based part contains the hydraulic and electrical components for generating power for the grid or battery storage (illustrated up to the system sketch and technical instructions). The main structure is fully dimensioned and constructional and 3D illustrated, with technical instructions, and contains a modular mechanism with 3 links, a triangular attachment link (bracket float) on the floating pier, a triangle attachment link at the fixed pier (bracket fixed), and one piston in the middle.

The triangular fastening joints (brackets) are made from the material Aluminium 6082, T6. The brackets are made from two 80x50x5 rectangular hollow profile beams and one 80x50x5 rectangular hollow profile beam for support between the arms. 15 mm metal plates are used to fasten the pistons between the brackets and 5 mm plates are used for fastening to the pier on top of the structure. All joints in the triangular attachment (the brackets) are welded together. For the pump piston, the SCH1 MP3 piston from Bosch Rexroth is used, with a 63 mm inner diameter and the possibility of a 300 mm stroke (for extreme cases). Other technical instructions and system descriptions etc. also appears in the last part of the report.

Economic production calculations and simple assessments of profitability have been entered as a follow-up to the production instructions. These are very rough and uncertain but indicate that an economic balance can be achieved for the product with a unit that has one land-based unit and a pier with 10 pier outriggers that can run smoothly over a 4-year period when producing 100 units annually at moderate wave heights.

In a possible continuation of the project, it will be important both to follow up with more targeted and practical market research, economic risk analysis and not least the conditions of use and loads that will be encountered over time. More detailed descriptions of this and other engineering and technical follow-up points etc. is given in the last part of the conclusion section.

Finally, it should be mentioned that self-illustration has been an inspiring, but also important part of this degree work. In this respect, all illustrations that are not marked with references are self-produced by the author, but also many reworked and credited for the purpose.

INNHOLDSFORTEGNELSE

FORORD	3
SAMMENDRAG	4
ABSTRACT	7
INNHOLDSFORTEGNELSE	10
1 INNLEDNING	15
1.1 Bakgrunn	15
1.1.1 Hvorfor fornybar energi	15
1.1.2 Hvorfor lokal bølge energi	16
1.2 Eksempler på anleggstyper for bølgekraft	18
1.2.1 Bunnfaste-anlegg.....	18
1.2.2 Flytende anleggsprinsipper	20
1.3 Industrielle systemprosjekter	20
1.4 Konkurrerende løsninger	23
1.4.1 Vannkraft.....	23
1.4.2 Vindkraft	24
1.4.3 Det elektriske overføringsnettet	24
1.5 Markedsbehov, potensiale	25
1.5.1 Tidlig konseptbeskrivelse.....	26
1.5.2 Forbruk	26
1.6 Oppdragsbeskrivelse.....	27
1.7 Problemstillinger og teknologiske flaskehalsar	28
1.7.1 Problemstillinger og fokuspunkter	28
1.7.2 Teknologiske flaskehalsar og utfordringer.....	28
2 PROSJEKTPLANLEGGING	29
2.1 Prosjekt målsettinger	29
2.1.1 Hovedmål	29
2.1.2 Delmål	29
2.2 Tids og arbeidsplan med milepeler.....	30
2.3 Tidlige begrensninger for arbeidet	31
3 METODEBESKRIVELSE	32
3.1 Terminologi og begreper	32
3.2 Metodebruk og løsningsverktøy	37
3.2.1 Produktutviklingsmetoder	37
3.2.2 Løsningsverktøy	41

3.3	Kvalitetssikring.....	42
3.4	Prosesstrinn.....	43
4	TEORI OG TEKNOLOGIUTREDNING	44
4.1	Grunnlagsteori	44
4.1.1	Bølgebevegelser	44
4.1.2	Bølgekraft.....	47
4.1.3	Forhold ved oppdrift.....	49
4.1.4	Energiligningene	50
4.1.5	Hydrostatisk trykk	52
4.1.6	Hydraulisk effektoverføring	52
4.2	Teknologiske prinsipper og bølgers oppførsel	53
4.3	Eksempler på ekle kraftoverføringsmekanismer	55
4.4	Effektoverføringssystemer til strømgenerering (oversikt)	56
4.4.1	Hydraulisk system	57
4.4.2	Luftturbin	58
4.4.3	Hydroturbin	59
4.4.4	Fult mekanisk system	60
4.4.5	Direkte elektrisk drivsystem.....	61
4.5	Elektrisk generering og energilagring	61
4.5.1	Generatorer	61
4.5.2	Energilagring	63
4.5.3	Lagring av hydraulisk energi.....	64
4.5.4	Sikkerhet, elektrisitet og strømhåndtering.....	64
5	PRODUKTSPEISIFISERING	65
5.1	Produktmålsetting	65
5.1.1	Hovedmål	65
5.1.2	Delmål/fokuspunkter	65
5.2	Rangering av viktige produkttegenskaper	66
5.3	Metriske grensespesifikasjoner, variasjonsbredde	67
5.4	Metriske grovspeisifisering for produkttypen	67
5.5	Tidlige kostnadsvurderinger	68
6	KONSEPTGENERERING	69
6.1	Overordnet funksjonsanalyse for produkttypen	69
6.2	Tidligutvikling av grove systemskisser	69
6.2.1	Mekanisk anlegg	70
6.2.2	Hydrauliske anlegg.....	71
6.3	Drøfting av funksjonsalternativer med skisser	73

7	EGENSCREENING OG KONSEPTVALG	79
7.1	Utvikling av seleksjonsmatrise	79
7.2	Egenscreening av løsningsalternativer	80
7.3	Foretrukne systemløsnings- og estetikkalternativer	83
7.3.1	Tidligbeskrivelse av hoved løsning.....	83
7.3.2	Valg av flytebrygger.....	84
7.3.3	Videre systemutforming	85
7.3.4	Valg av endelig systemløsning.....	89
7.3.5	Løsning for konvertering av energi til strøm.....	90
8	BELASTNINGER OG ENERGIUTBYTTE	92
8.1	Grovberegning av energisystemet	92
8.1.1	Hovedmål for beregningene	92
8.1.2	Beregningstrinn /delmål	92
8.1.3	Beregningsforutsetninger	92
8.1.4	Beregningstrinn	93
8.1.5	Oppsummering fra beregningene	106
9	OPTIMERING AV KRITISKE ELEMENTER	107
9.1	Simulering på enkel bjelke	107
9.2	Optimering med flere bjelkeledd og støtter	109
10	ROBUSTHET OG MILJØHENSYN	113
10.1	Tidlig materialdrøfting	113
10.1.1	Innkapsling	115
10.2	Bruksslitasje, vedlikehold og ettersyn	116
10.3	Form- og estetikkalternativer.....	117
10.3.1	FFF-grunnregelen.....	117
10.3.2	Designteori	117
10.3.3	Fargelære	117
10.3.4	For og estetikk bruk for produktet.....	118
11	PRODUKTARKITEKTUR OG KONSEPTDESIGN.....	119
11.1	Sammenstilling for hoved konstruksjonen	119
11.2	Hovedelementer i 3D.....	120
11.3	Design av større del-elementer	120
11.4	Mindre komponenter og standardelementer	121
11.5	Innkjøps deler	122
11.6	Systemoppbygging for landdelen av anlegget.....	122
11.7	Muligheter for modulbygging i større skala, seriesystemer	124
12	EKTERNESTING/INPUT	125

12.1	Målsettinger for testingen	125
12.1.1	Hovedmål for eksperttesting	125
12.1.2	Delmål for eksperttesting	125
12.2	Valg av testpopulasjon.....	125
12.2.1	Ingeniørfaglige ekspertpersoner	126
12.2.2	Populasjon for bred eksterntesting (nettskjema)	126
12.3	Innhold og form på testskjemaer, kommunikasjonsform	128
12.4	Resultater og resultattolkning	128
12.4.1	Resultater fra ekspertpersoner	128
12.4.2	Resultater fra de brede nettundersøkelsene	130
13	FRAMSTILLING OG PRODUKSJONS-KOSTNADER.....	138
13.1	Produksjonsmetoder	138
13.1.1	Hoved konstruksjon.....	138
13.1.2	Grovspesifiseringer for eksternehydraulisk og elektrisk anlegg.....	140
13.2	Kostnadskalkyle for prototype.....	141
13.2.1	Egen tidsbruk.....	141
13.2.2	Materialer og komponenter	141
13.2.3	Verkstedarbeid	142
13.2.4	Totalkostnader	142
13.3	Kostnadsanalyser for serieproduksjon.....	143
13.4	Lønnsomhetsbetraktninger	144
14	MARKEDSPRESENTASJON.....	145
14.1	Integrasjon av pumpemekanismen	145
14.2	Renderte framstilling av grunnkonstruksjon	145
14.3	Integrert i eksisterende miljøer og løsninger	146
14.4	Illustrasjon av funksjonelle aspekter	147
14.5	Varemerke transportemballasje	149
14.5.1	Varemerke	149
14.5.2	Transport	150
14	PROSESSEVALUERING OG DISKUSJON.....	151
14.6	Læring og kompetanseutvikling	151
14.7	Utredningsfasen	151
14.8	Utviklingsfasen.....	152
14.9	Konstruksjons og designfasen	152
14.10	Analyse og ferdigstillingsfasen	152
14.11	Sluttdrøftinger.....	153
15	KONKLUSJON.....	154

15.1	Resultater og anbefalinger	154
15.2	Videre arbeid	156
16	REFERANSER.....	158
16.1	Skriftlige kilder.....	158
16.2	Nettkilder.....	158
15	VEDLEGG.....	162

1 INNLEDNING

Denne delen av rapporten gir en overordnet bakgrunn og setting for dette prosjektarbeidet, med hensyn til et større faglig perspektiv. Likeledes legges grunnlaget for definering av faglige og tekniske oppdragsrammer og viktige problemstillinger.

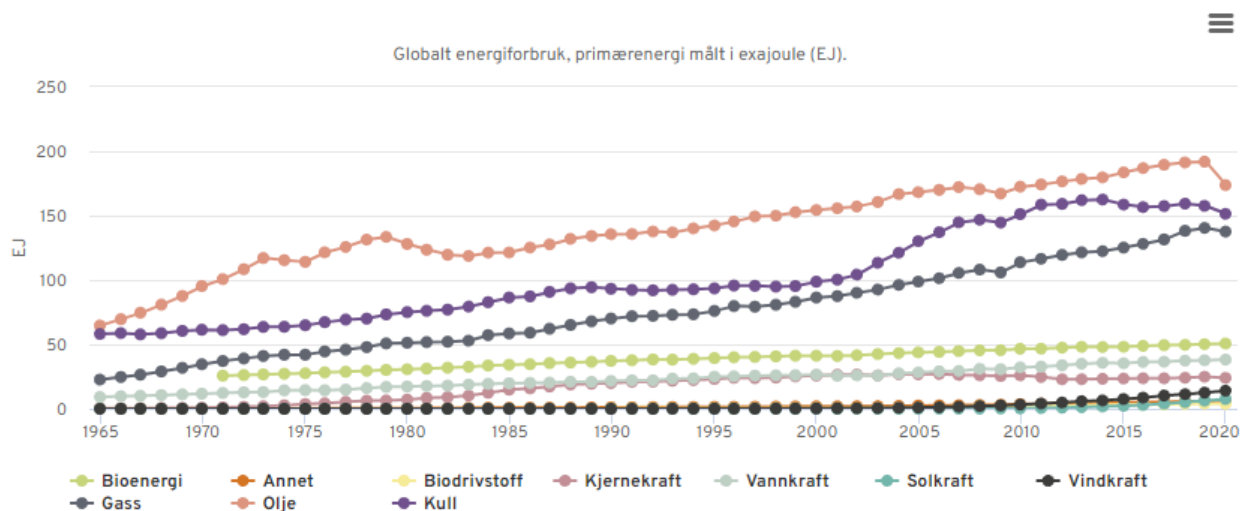
1.1 Bakgrunn

I et moderne samfunn er det et større behov for elektrisitet. Mennesker blir mer og mer avhengige av elektriske apparater enn noen gang før ^[2]. Nesten alle moderne systemer og operasjoner fra ting i dagligvare butikker, produksjonsprosesser til enkle operasjoner i hus, begynner å kreve elektrisitet. For å få til dette er det et større behov for strøm for hvert år. Samtidig som vi krever mer elektrisitet er det også et større ønske om å gå over til mer fornybare produksjonsmetoder for elektrisitet.

1.1.1 Hvorfor fornybar energi

Før kom mesteparten av energien vi produserte fra fossile kilder. I nyere tid, har vi et økende fokus på å gå over til fornybare energikilder, men dette er ikke like lett når forbruket av elektrisitet blir større og større.

En graf fra forskingsprosjektet «Global Carbon Budget» viser utviklingen i totalt energiforbruk fra 1965 til 2020. Her vises det at i 2020 er det kun 24% av andel energiutvinning som kommer fra ikke fossil energi, og 76% andel kommer fra fossil energi. ^[1]



Figur 1.1 Globalt energiforbruk målt i EJ pr år, hentet fra Energiklima ^[1]

Videre viser FN rapporter^[2] at kun 66% av verdens befolkning hadde tilgang til trygge energikilder for matlaging i 2019, og etter deres estimat vil fremdeles 660 millioner mennesker

fremdeles ikke ha tilgang til strøm i 2030. FN har med deres bærekraftsmål #7 ^[2] et mål om å øke andel fornybar energi i verdens samlede energiforbruk betydelig innen 2030.

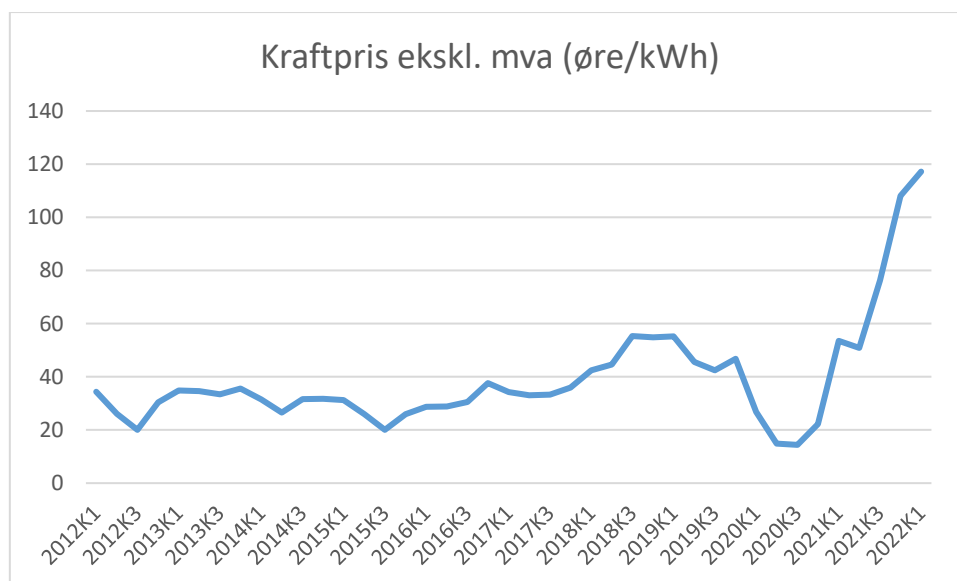
I samspill med dette har Norge forpliktet seg under Parisavtalen ^[3] å redusere utslippene av klimagasser med minst 50% og opp til 55% innen 2030, sammenlignet med det fra 1990. Videre skal Norge være klimanøytralt innen 2030, og har et lovfestet mål om å bli et lavutslippssamfunn innen 2050.

I bidrag til å få dette til å bli en realitet har NMBU et mål om å være en fremre forkjemper som et bærekrafts-universitet ^[4] med stort fokus på fornybar het. NMBU fokuserer igjennom alle studiene på å fremre utviklingen av fornybar og bærekraftig teknologi og utvikling.

1.1.2 Hvorfor lokal bølge energi

Stigende priser:

Med ekstremt økende strømpriser er det viktigere enn noensinne å skaffe flere energikilder. Strømprisen i Norge var for 10 år siden under 40 øre/kWh på strømmettet, hvor den nå har steget til over 100 øre/kWh. (figur 1.2)



Figur 1.2 Kraftpriser i Norge fra 2012 til 2021 fra Statens Statistisk sentralbyrå (hentet fra Statistisk sentralbyrå den 27.07.2022) ^[5]

Energiformer:

Mye av energien vi bruker i verden i dag kommer fra kull, gass og atomkraft. Målet vårt er å kunne gå over til mer fornybare kilder og utnytte ressurser som sol, vind og vann mer effektivt. I dagens samfunn begynner solseller å bli utnyttet i større grad, og det er flere debatter og satsninger på vind energi. Men når det kommer til vannenergi bruk har vi i Norge lenge brukt

energien fra vannkraftverk fra høye fjell og demninger. Men forskningen for å utvinne energien fra havbølger har derimot ikke kommet så langt.

Jordas overflate er dekket av ca. 70% vann, men veldig lite av den energien havet har å tilby blir utnyttet. I 2015 gikk Danmark inn for tre nye bølgekraftdemonstrasjonsprosjekter ^[6 & 7]. Problemene de fant ut med disse prosjektene var at de måtte lage veldig store tekniske anlegg som måtte kunne tåle store bølger, og være ekstremt robuste, og i tillegg tåle korrosjon fra saltvann, vær og vind.

Lokal energiproduksjon:

Energi produseres ofte i store kraftanlegg og fraktes via hovednettet inn til storbyer og hvor det trengs. For å frakte strøm over lengre strekninger, blir strømmen distribuert rundt via strømmettet, hvor det over større strekninger forekommer noe tap av elektrisitet. Det forekommer ca. i overkant av 10% tap av elektrisitet i bare strømmettet ^[8]. Om det er mulig å produsere mer lokalenergi for strøm vil dette tapet minimeres drastisk.

Som lokale energikilder er det mulig å bruke solenergi, vindenergi, og bølgeenergi ved havneområder. Solenergi begynner å bli mer vanlig å bruke i lokale sammenhenger. Men vind og bølger benyttes ikke i samme grad på lokale steder.

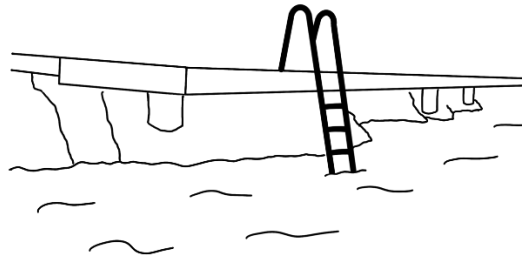
Potensial hos brygger og havneinstallasjoner:

For å utvinne lokal bølge energi er det mulig å se på flere forskjellige løsninger. Det er mulig å lage mekanismer som er festet ved land, mekanismer som er fritt stående noe utenfor kysten, eller fester mekanismen på allerede eksisterende brygger og andre flytende objekter.

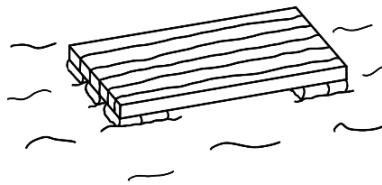
Det er mye energi som kommer fra havet og inn i fjorder via bølger. Ute ved kaiområder går flytende brygger konstant opp og ned ved hjelp av bølgekrefter. Om det er mulig å utvinne den påkjente energien ved flytende brygger kan dette være en fin form for en ny energiressurs. I Oslofjorden er det som regel bølger mellom 0,1 til 0,3 m ^[9,10]. Dette er ikke store bølger, men det er små bølger som påvirker med konstant energi inn på fjorden og kaier.

Siden det i Norge er mange kystområder og kaier, velges det å se videre på muligheten for å utvinne energi fra brygger ved disse områdene. Brygger kan være fastmonterte som ikke beveger seg med havbølgene, eller flytebrygger som går opp og ned sammen med havmønsteret. Her velges det å se nærmere på flytebrygger og muligheten for å utvinne energipåkjeningen disse blir påført.

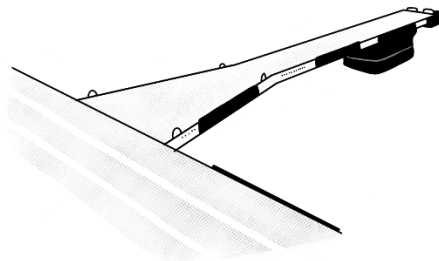
Ved flytebrygger finnes det forankrede flytebrygger og frittstående flytebrygger. Forankrede flytebrygger er de mest brukte flytebryggene, mens frittstående flytebrygger kan bli funnet ved noen badestrender.



Figur 1.3 En fast montert brygge går ikke så langt ut i vannet, og beveger seg ikke med bølgene



Figur 1.4 Frittstående flytebrygge, som går opp og ned med bølgene.



Figur 1.5 Forankret flytebrygge, som går opp og ned med bølgene ^[Omarbeidet etter 11]

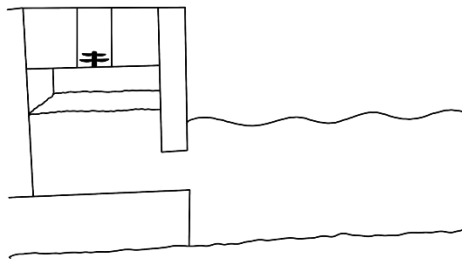
1.2 Eksempler på anleggstyper for bølgekraft

Det finnes større systemer for å utvinne bølgekraft, men disse systemene er veldig store og krever masse ressurser. Alle av de mest gunstige bølgekrafts prinsippene som finnes går ut på å dreie en turbin for energiutvinning. To av de gunstigste prinsippene som finnes ved bølgekraft er; bunnfaste-anlegg og flytende-prinsipper ^[12,13].

1.2.1 Bunnfaste-anlegg

Med Trykk luft:

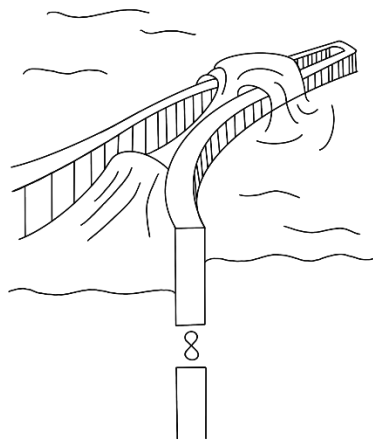
En måte bølgekraft kan utvinnes til energi er ved svingende bølger som trykker vannsøyler opp og ned inne i en vertikal sjakt. Dette fører til et stigende og senkende luftrykk. Når vannsøylen dyttes opp trykkes luften inne i sjakten opp og igjennom en turbin som dreies rundt av dette trykket, som videre blir omformet til elektrisk energi.



Figur 1.6 Ett turbinsystem med en sjakt [Omarbeidet etter 12]

Enkelt vann turbin system:

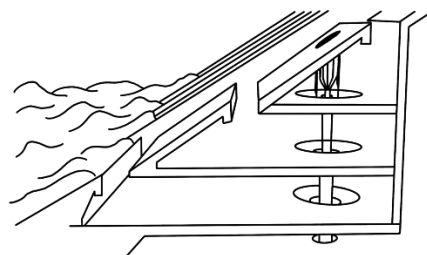
I et kilerennesystem slår bølgene opp mot en avsmalning som forhøyer bølgene til å slå over og inn i en trakt. Bølgene slår over og renner ned inn i kilen fra et høyere punkt enn vann høyden. Vannet renner videre igjennom en turbin som skaper elektrisk strøm og renner videre ut til havet.



Figur 1.7 Et enkelt vann turbin system (kilerennesystem) [Omarbeidet etter 12]

Mer komplisert vann turbin systemer:

I en bølgehavvel treffer bølgene oppover en skrå bakke med flere innsamlingspunkter. Her benyttes den store farten vannet får når det blir ført i mindre rom og presset inn i smale avlange trakter. Dette virker som et svinghjul, hvor vannmasser går fram og tilbake. Den store kraften av vannets store mengder, trykk og hastighet er da med på å drive en turbin.

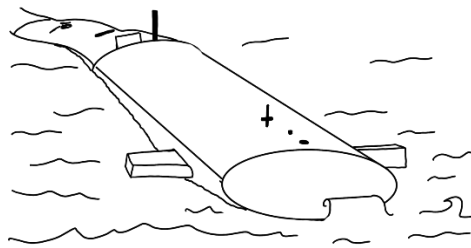


Figur 1.8 Et mer komplisert vann turbin system (bølgehavvel) [Omarbeidet etter 12]

1.2.2 Flytende anleggsprinsipper

Linjeabsorbator:

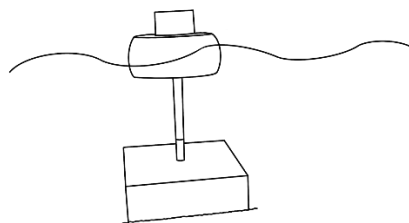
En linjeabsorbator er et system som er halvveis nedsenket under vann, som ligger og flyter på havoverflaten 5-10 kilometer unna land. Systemet fungerer ved hjelp av en vannturbin og en generator. Systemet er festet til havbunnen på begge sider med kabler som frakter den genererte elektriske energien videre til land.



Figur 1.9 En linjeabsorbator system [Omarbeidet etter 12]

Bølgestempel:

I et bølgestempel system er det en stempelstang som er festet til havbunnen og videre til en bøye som flyter på havoverflaten, og som går opp og ned. Når bøyen går opp og ned dytter den på et stempel som driver en generator. Systemet er også kalt en «Point absorber» på engelsk. [12,13]



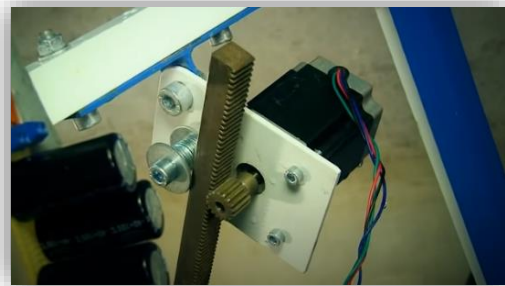
Figur 1.10 Et Bølgestempel system [Omarbeidet etter 12]

1.3 Industrielle systemprosjekter

Siden store systemer er veldig krevende, ønskes det å lage mindre systemer som kan høste inn energien fra små bølger ved kysten. Innen dette feltet er det gjort veldig lite forskning foreløpig, men det utarbeides noen forskjellige løsninger for dette rundt omkring i verden. Noen løsninger som er utarbeidet og som er under utvikling er eksempelvis: Eco Wave Power, OIST Wave Energi Project, AquabuOY, Wavepiston og Waveroller.

Eco Wave Power:

EWPG Holding AB har laget Eco Wave Power som er en mekanisme som festes ved kyst områder ut i hav vannet. Mekanismen er en flytende løsning som går opp og ned av havbevegelsene. Disse bevegelsene blir overført til energi via et gir system ^[14].



Figur 1.11 Viser Eco Wave Power sin løsning ^[14]. **Figur 1.12** Viser deres gir system ^[14].

OIST Wave Energi Project:

Okinawa Institute of Science and Technology Graduate Universitet utvikler OIST Wave Energi Project bølge vindmøllesystemer ved kysten. Når grunnen under hav vannet blir mindre nærmere land begynner bølger å krumme og dette skaper brytende bølger.

Dette er bølge typer surferer surfer på. OIST Wave Energi sitt løsning er å kunne lage en vindmølle som er over vann, men hver gang brytende bølger kommer mot kysten vil disse bølgene dekke hele vindmølle systemet og få det til å spinne. Problemet med denne type løsning er at det ikke går kontinuerlig, og trenger å bli rensert iblant, men det prosjektet viser å kunne skape noe energi ^[15].



Figur 1.13 Viser OIST Wave Energi Project sin løsning ^[15].

AquabuOY:

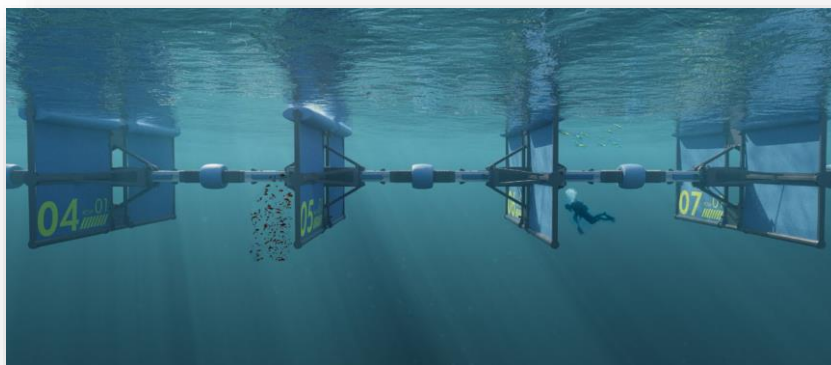
AquaEnergi Group Ltd utvikler AquabuOY som er et bølgestempel. Bølgestempelet som forklart i delkapittel 1.2 kan legges ute på havet og flyter opp og ned som videre skaper energi [16,17].



Figur 1.14 Viser bølgestempelet AquabuOY [16,17].

Wavepiston:

Det er et dansk selskap som har patent og utvikler et konsept dem kaller Wavepiston. Konseptet ligner noe på en linjeabsorbator, men istedenfor å ha runde moduler som flyter opp og ned, har den plater som linje. Her vil bølgene treffe de forskjellige platene som igjen dytter på et hydraulisk stempel som skaper trykk, som da overføres til elektrisk energi. Selskapet har planer om å lage en prototype for testing til 2025 [18].



Figur 1.15 Viser Wavepiston sin løsning [18].

Waveroller:

Et Finsk selskap utarbeider et konsept de kaller for Waveroller. Konseptet baserer seg på en plate som er festet på havbunnen (relativt nærme land), og hver gang en bølge treffer denne platen, vil bøye seg fram og tilbake. Denne bevegelsen vil videre være med på å drifte et hydraulisk stempel som vil skape energi ^[19].



Figur 1.16 Viser Waveroller sin løsning ^[19].

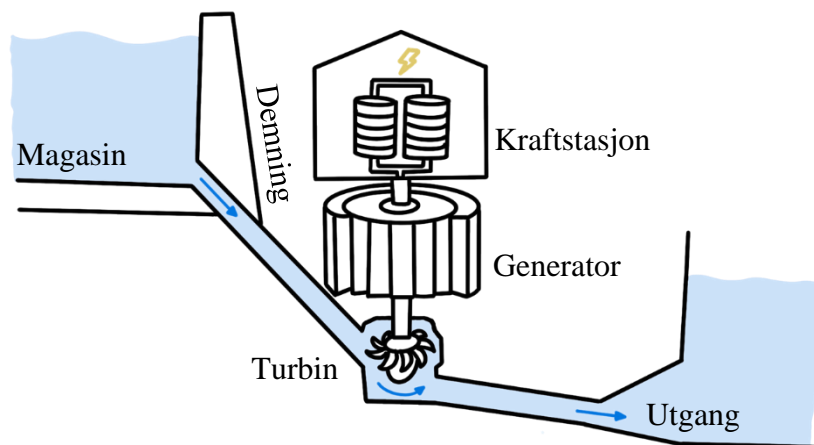
1.4 Konkurrerende løsninger

Det finnes noen systemer under utvikling for små bølgekraftverk. Men de største konkurrerende løsningene for et slikt fornybar system vil være andre fornybar energisystemer, hovedsakelig vannkraftverk, vindmøller, og hoved energi linjen.

1.4.1 Vannkraft

I Norge er vannkraft en stor og viktig energikilde som er en del av mye av energiforbruket i dag. Vannkraft er en energiform som har blitt brukt helt siden romertiden, senere i middelalderen spredte teknologien seg videre i Europa, og i den industrielle revolusjonen (1800-tallet) var vannkraft en viktig resurs for å gi mekanisk energi til tekstil- og maskinindustrien ^[20].

Vannkraft i dag blir sett på som energi som kommer fra vannfallsenergi i vannkraftverk. Vannkraftverk fungerer ved at regnvann samles inn i et magasin som holdes igjen av en demning, før vannet videre renner gjennom en vannturbin som drifter en generator for å produsere elektrisk energi i en kraftstasjon.

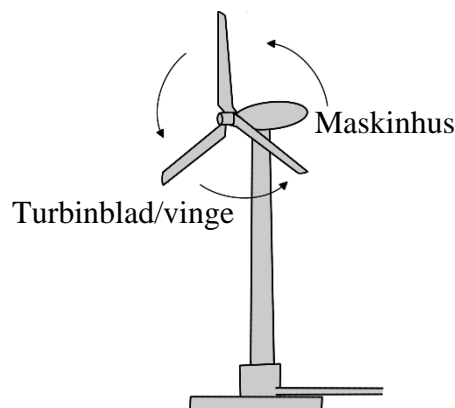


Figur 1.17 Viser en illustrasjon av et vannkraftverk.

1.4.2 Vindkraft

Vindkraft er et av de raskest voksende energikildene i verden. Mennesker har brukt vindkraft i flere tusen år. Fra de tidlige seilbåter til tidlige ventilasjonssystemer, til fornybare energiløsninger i dag. Vindkraft er en fornybar og utslippsfri energikilde som fungerer bra til store mengder for produksjon av elektrisitet ^[21].

Et vindkraftverk består som oftest av en turbin med hovedsakelig tre vinger/turbinblader plassert i et maskinhus på toppen av et tårn. Maskinhuset vris i vertikalt av vindretningen. Vinden ledes videre igjennom vingene som for disse til å rotere.

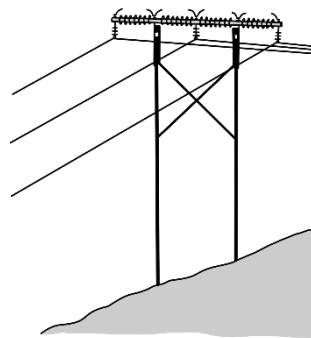


Figur 1.18 Viser en illustrasjon av et vindkraftverk

1.4.3 Det elektriske overføringsnettet

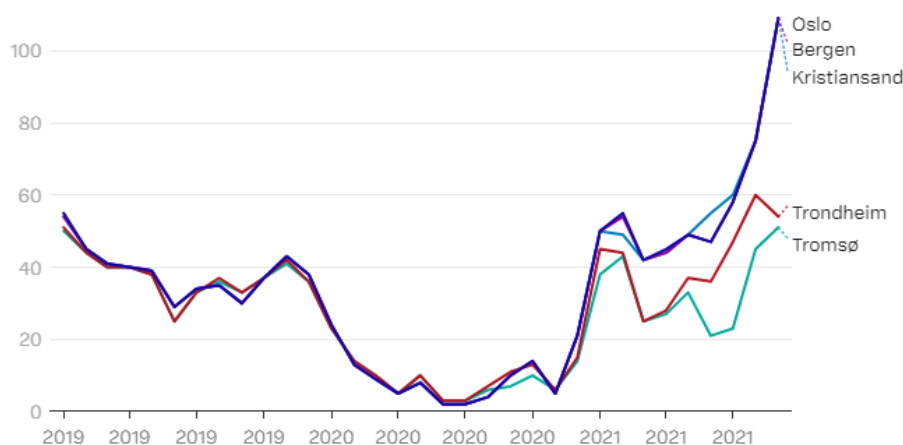
For lokal energiproduksjon fra bølgekraft skal være gunstig vil prisene fra hovedkraftlinjen være essensielle. Den elektriske kraften distribueres i dag gjennom hovedkraftlinjen, hvor mye av den elektriske energien produseres fra vann-, vind- og kullkraft. Med stigende strømpriser og større og større behov for elektrisk energi, må mer strøm produseres ved kraftverk som er lengre unna, noe som fører til mer tap av energi under frakting av elektrisk energi.

I dag er strømprisene på mer enn 100 øre/kWt kraft og nett i alt inkl. avgifter fratrukket strømsstøtte, og etter dagens situasjonsbilde kan dette øke [2,5,8].



Figur 1.19 Viser en illustrasjon over hovedkraftlinjen.

I tillegg er det større forskjeller på strømpriser mellom Nord- og Sør-Norge. I Sør-Norge har maksprisen for strøm ligget nær 4 kroner per kWt på søndager [22]. Mens snittprisen på strøm i Midt- og Nord-Norge på søndager har ligget på 0,018 kroner per kilowatttime (kWt). I Sørvest-Norge har den ligget på 2,59 kroner. Prisnivået ser ut til å øke ytterligere framover høsten og vinteren, og kan gjerne komme over 4 kr/kW.



Figur 1.20 Viser graf fra Nordpool over strømprisene viser utviklingen ved strømprisene i de fem norske prisområdene mellom januar 2019 og september 2021. Prisen er oppgitt i øre/kWt. [23]

1.5 Markedsbehov, potensiale

Grunnet høye strømpriser og store kostnader ved store bølgekraftverk kan det være et behov for lokale kilder for energiproduksjon som kan være uavhengig av hovedstrømnettet, eller fungere som et supplement til strømnettet. For å redusere kostnader kan det også være gunstig å lage deler av systemet hos mindre bedrifter. Videre er det viktig at systemet er varig og robust, slik at det kan forsyne billigere elektrisitet over en lengere periode.

1.5.1 Tidlig konseptbeskrivelse

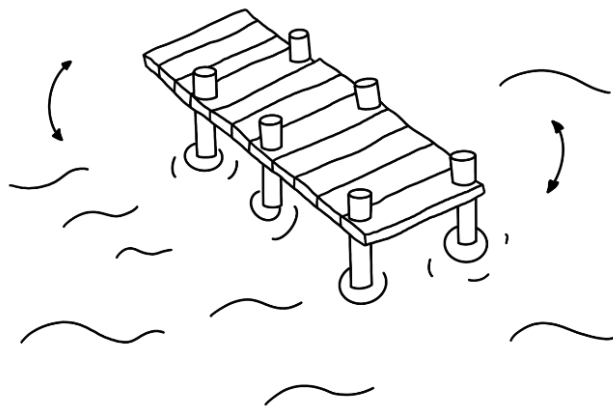
I faget TIP300 (Konsept og produktrealisering) ved NMBU ble det frembrakt en idé om å kunne skape elektrisk energi fra bølgekraften brygger påkjennes. Brygger blir konstant påført kraft fra havet. Dette fører til at brygger gynger fram og tilbake. Ideen her er å prøve å lage en mekanisme som kan høste denne kraften og gjøre den om til elektrisk kraft. Tanken er å prøve å kunne lage flere små moduler som kan festes ved alle eller mange av bryggebein som videre kan skape elektrisk energi.

Fordeler:

- Kan produsere elektrisk kraft fra et nytt område.
- Trenger ikke å være koblet til hovedkraftlinjen.
- Kan forsyne med lokal energi.

Ulemper:

- Krever endel forskning.
- Må tåle værpåkjenninger og må være robust og varig.
- Må kunne unngå forurensning ut i havet.
- Systemet kan være dyrt å produsere.



Figur 1.21 Tidlig konseptillustrasjon fra TIP300 rapport ^[24]

1.5.2 Forbruk

En enkel konseptuell løsning basert på mindre typer brygger eller bevegelige bryggelementer vil kunne bidra til å produsere energi lokalt. Denne vil kunne utnyttes til lys maritime og bryggemiljøer, til lading av batterier på båter eller elektrisk drift av båter og biler. Eksempelvis vil 5 -6 kW produsert per time fra et slikt anlegg ville kunne skape 120 til nærmere 150 kWh ^[25], dvs. nok til å lade en moderne el. bil. ^[26]

Videre vil denne typen lokal energiproduksjon også kunne tilføre lokale strømnnett til hytter, boliger, gatelys og andre lokale ting.

Tabell 1.1 Hvor mye energi forskjellige type apparater bruker ^[27]:

Type	Strømforbruk (Watt)	kWt
Varmtvannsbereder	2000-3000	48-72
Tørketrommel	2000-2500	48-60
Oppvaskmaskin	2000-2500	48-60
Komfyr	1000-1500	24-36
Kaffetrakter	1000-1500	24-36
Panelovn	500-1500	12-36
Varmepumpe	500-1000	12-24
TV	50-200	1,2-4,8

Aker brygge åpnet i 2021 en el-båthavn. Et slik type produkt kan kunne implementeres i slike eksisterende og kommende prosjekter, for bedre tilgang til energi. ^[28]



Figur 1.22 Viser åpnings bildet for Norges første el båthavn fra Aker brygge Oslo. ^[28]

1.6 Oppdragsbeskrivelse

Det skal gjennomføres et avsluttende produktutviklingsoppdrag knyttet til småskala energiteknologi, og med fokus på muligheter for å utnytte lokal bølgekraft på en best mulig måte, enten ved integrering i eksisterende havneanlegg og brygger, eller gjennom videreutvikling av alternativt til et nytt konsept.

Eksisterende løsninger for utnyttelse av bølgekraft skal utredes, dog med hensikt å kunne overføre prinsipper og virkemåte til mindre skala. Videre skal det gjennomføres en løsningsutredning, med valg av et helhetlig småskalasystem for lokal produksjon av elektrisk energi fra bølger som skal dimensjoneres, og visualiseres med løsningsarkitektur og 3D tegninger. Alle trinn i utviklingsarbeidet skal rapporteres med tekniske anvisninger og anbefalinger.

Systemet bør kunne produsere mellom 5 til 15 kW energi fra lokal bølgekraft, som skal kunne festes på eksisterende brygger, eller integreres, enten som enkelenhet, eller som modulenheter.

1.7 Problemstillinger og teknologiske flaskehals

Her vil oppdragsbeskrivelsen bli løst opp i flere tidlige problemstillinger og fokuspunkter for å kunne konkretisere ting som skal løses under denne oppgaven på en mer systematisk måte. Videre vil det bli beskrevet potensielle flaskehals og utfordringer som vil kunne innebære seinere begrensninger for oppgaven.

1.7.1 Problemstillinger og fokuspunkter

Oppdragsbeskrivelsen brekkes videre ned til flere trinnvise problemstillinger/fokuspunkter på denne måten:

- Undersøke data knyttet til bølgehøyder i ulike kystfarvann osv.
- Finne ut hvordan det er mulig å utvinne energi fra bølgekraft i fjorder og kystområder.
- Finne og drøfte forskjellige mulige tekniske løsninger for utvinning av energi fra bølgekraft.
- Utrede en løsning for å utvinne energi fra bølgekraft, som er lite plasskrevende, teknisk enkelt, rimelig og kan utvinne 5-15 kW energi.
- Utvikle et prototypekonsept for løsningen med 3D-tegninger.
- Teste prototypekonseptet med simulering og se hvor mye energi som faktisk blir utvinnet.

1.7.2 Teknologiske flaskehals og utfordringer

På grunn av tidsbegrensninger og omfang av denne masteroppgaven vil det måtte være forhold som vil kreve grundigere studier, spesialkunnskaper eller andre forhold som ved oppgaven som gir utfordringer ikke lar seg utføre. Dette vil bl.a. kunne være:

- Mer avanserte beregninger og simuleringer vil kreve støtte av ekspertise, og man vil derfor i første rekke trolig konsentrere seg om enkle beregninger.
- Elektriske systemer, tilhørende elektronikk og reguleringsteknikk vil måtte bli enkle systembeskrivelser.
- Stor usikkerhet knyttet til driftsforhold vil trolig bidra til at økonomiske beregninger vil måtte bli forholdsvis overfladiske.
- På et tidlig stadium i prosjektet er flere sider av Koronasituasjonen i Norge og Europa fremdeles litt usikker, og dette kan og gi uventede utfordringer.

2 PROSJEKTPLANLEGGING

En ryddig planleggingsprosess er nødvendig for at tid og ressurser ikke kastes bort på unødvendige aktiviteter og arbeides progresjon går fremover i en fin flyt. For å få til dette vil denne delen av rapporten ta for seg ulike plantrinn i utviklings-arbeidet samt milepeler for prosjektarbeidet.

2.1 Prosjekt målsettinger

Formålet med å definere mål for prosjektet er å klargjøre hva som skal utføres. Når en oppgave er definert, er det enklere for andre å forstå fremgangsmetoden og prosessen bak oppgaven ^[29]

2.1.1 Hovedmål

Følgende hovedmålsetting defineres for dette prosjektarbeidet:

«Hovedmålet er å utrede, utvikle og designe ett småskalasystem for lokal produksjon av elektrisk energi fra bølger med gode muligheter for modulbygging. videre skal alle trinn i arbeidet rapporteres med tekniske anvisninger og anbefalinger.»

2.1.2 Delmål

For sikre prosjektets fremgang er det satt noen delmål for å oppnå hovedmålet. Disse delmålene (det som skal utføres) blir videre satt inn i en arbeidsplan. Delmålene for prosjektet er satt til å være:

- Delmål 1: Utrede kunnskap status og bakgrunn for prosjektarbeidet, med oppdragsbeskrivelse.
- Delmål 2: Planlegge prosjektorganisering, med tidsfrister og relevant metodikk.
- Delmål 3: Gjennomføre teori og teknologiutredning, konseptutvikling med produktspesifikasjon og funksjonsanalyse.
- Delmål 4: Frembringe løsnings og konsept alternativer, screene og velge konseptløsning.
- Delmål 5: Designe og utvikle produktarkitektur med visualisering (2D & 3D).
- Delmål 6: Utforme produksjonsanvisninger, økonomiske analyser samt produkt og prosessevaluering.
- Delmål 7: Slutføre prosjektrapport og forberede presentasjon.

2.2 Tids og arbeidsplan med milepeler

Nedenfor brukes en forenklet versjon av et Gant-diagram som angitt under for å tids-sette delmålene for prosjektet.

Tabell 2.1 Arbeidsplan med milepeler (hver bolk er delt inn i 10 dager):

Delmål og aktivitet/uke	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Au
Delmål 1								
Bakgrunn og historisk perspektiv								
Oppdragsbeskrivelse								
Problemstillinger og flaskehalser								
Delmål 2								
Prosjektplan og målsettinger								
Metodikk og kvalitetssikring								
Prosesstrinn								
Delmål 3								
Teoretisk og teknisk grunnlag								
Krav og regelverk								
Produktspesifisering								
Funksjonsanalyse								
Delmål 4								
Konseptgenerering								
Egenscreening og konseptvalg								
Delmål 5								
Grunnlagsberegninger								
3D-modellering m. tekniske anv.								
FEM-analyser og simulering								
Delmål 6								
Produksjonsmetoder								
Kostnadsestimater								
Eksterntesting								
Delmål 7								
Markedspresentasjon								
Prosessevaluering og konklusjon								
Ferdigstilling og korrektur								
Levering								

Tabell 2.2 Milepæler (Når gjort) med datoer:

Milepæl (i)	Dato
Delmål 1: Bakgrunn og rammer for prosjektet, samt oppdragsbeskrivelse med problemstillinger for konseptet er kartlagt.	15.02.22
Delmål 2: Prosjektplanlegging med milepæler og avgrensninger, samt karlegging av metodisk tilnærming til prosjektarbeidet er utført.	20.03.22
Delmål 3: Teoretisk- og teknisk grunnlag er redegjort, og produktspesifisering med funksjonsanalyse er ferdigstilt.	20.05.22
Delmål 4: Konseptgenerering og egenscreening med valg, samt grunnlagsberegninger.	15.06.22
Delmål 5: Grunnleggende beregninger, FEM-analyser, simuleringer er gjennomført, samt 3D-modell med tekniske anvisninger er ferdigstilt.	08.07.22
Delmål 6: Produksjonsmetoder er kartlagt, og det er gjennomført kostnadsestimater og påfølgende eksperttesting er gjennomført.	01.08.22
Delmål 7: Rapport er ferdigstilt med prosessevaluering og konklusjon.	14.08.22
Presentasjon og disputas	Sept. 22

2.3 Tidlige begrensninger for arbeidet

Tid er en begrenset ressurs i dette prosjektet som i det meste annet. Tidsrammene som har vært normfor mastergradsarbeid ved NMBU er inntil 900 bruttotimer, og følgelig vil det føre til noen begrensninger på hva som kan utføres. Forhold som må avgrenses eller ikke vil bli tatt med i dette prosjektet vil være:

- Prosjektarbeidet vil foruten grunnlagsutredninger måtte konsentreres om funksjonelle mekanismer og løsnings- og konstruksjonsutvikling, samt grunnlagsberegninger.
- Det vil bare bli gjennomført enkle optimeringsberegninger/simuleringer for viktige delsystemer, men ikke helhets-systemer.
- Det vil bare bli utformet enkle systembeskrivelser for energioverføring, konvertering, elektriske anlegg og energilagring.
- Elektroniske styrings og overvåkningssystemer vil kun bli overfladisk berørt og omtalt.
- Økonomiske beregninger vil bli grove overslag, og ikke omfatte langsiktige levetidsanalyser.

3 METODEBESKRIVELSE

Metodikk innebærer en ordnet arbeidsmåte i det man gjør. Dette kapitlet omhandler således ulike viktige metodiske verktøy og definisjoner av hvordan begreper, symboler, formler, programmer, standarder og litteratur brukes i rapporten.

3.1 Terminologi og begreper


Tabell 3.1 Terminologi, begreper og forkortelser med forklaringer:

Terminologi	Forklaring
SI enheter	Et standard målesystem som vi bruker igjennom hele rapporten, hentet fra System International de Unites.
CAD	«Computer Aided Design» - et 3D-modelleringsverktøy som kan brukes til å designe maskinkomponenter og mye annet.
FEM	«Finite Element Method» - Et digitale program verktøy som brukes for testing av styrke og varmeoverføring.
GD&T Toleranser	"Geometrisk dimensjonering og toleranse" - refererer til formen, størrelsen og posisjon forholdet til et produkt.

Tabell 3.2 Beskrivelse for bruk av tekstuelle og grafiske elementer:

Symbol	Forklaring
▪ Bokser	Bokser blir brukt for å punktere spørsmål som skal besvares.
• Prikker	Prikker blir brukt for å punktere faktum. «Sånn er det bare»
1. Tall	Tall brukes for å punktere slaviske fremgangsmetoder, hvor trinn 2 ikke kan gjøres uten trinn 1. osv.
➤ Pil hode	Pil hoder brukes for å punktere forutsetninger, brukes en del før utregninger.
☑ Haker	Haker blir brukt for å punktere sjekk liste på ting som må gjøres.
☒ Kryss	Kryss blir brukt for sjekk punkter som ikke skal gjøres eller som gjøres senere.

Tabell 3.3 Grafiske, system og elementsymboler ^[30]:

Symbol	Skisse	Betydning
Generelle symboler		
Sort pil		Bevegelse for illustrasjoner generelt

Tabell 3.3 Forts.

Symbol	Skisse	Betydning
Generelle symboler		
Blå pil		Bevegelse knyttet til vann,
Rød pil		Farlige bevegelser, må skjermes
Hydraulikk symboler		
Enkeltvirkende stempel		Enkeltvirkende stempel, fungerer kun en vei.
Tilbakeslagsventil		Tilbakeslagsventil fører til at olje kun kan renne en vei.
Tank		Retur tank for overflødig olje som renner ut fra motor og stempler.
Akkumulator		Jevner ut og lagrer trykk.
Hydraulisk motor		Hydraulisk motor som dreier til høyre.
Treports volumstrømregulator		Regulerer volumstrømmen, sørger for jevn hastighet inn på motoren.
Trykkbegrensnings ventil		Regulerer trykk og sørger for et jevnt trykkraft inn på hydraulikk motoren.
Filter		Filter for å filtrere partikler vekk fra oljen før den går inn og ut av tank.

Tabell 3.4 Nyttige *formelsymboler* som benyttes i rapporten:

Symbol	Betydning	Enhet (SI)	Enhet symbol (SI)
F	Kraft	Newton	N
m	Masse	Kilo gram	kg
A	Areal	Millimeter	mm ²
V	Volum	Kubikkilometer	mm ³
p	Trykk	Pascal	Pa
v	Hastighet	Meter per sekund	m/s
a	Akselerasjon	Meter per sekund i annen	m/s ²
g	Tyngdeakselerasjon	Meter per sekund i annen	m/s ²
λ	Bølgelengde	Meter	M
f	Frekvens	Hertz	Hz
T	Periode	Sekunder	s
t	Tid	Sekunder	s
n	Syklus	NA	NA
ω	Vinkelfrekvens	Sekund opphøyd i -1	s ⁻¹
h	Høyde	Meter	m
ρ	Massetetthet	Kilogram per kubikkmeter	Kg/m ³
E _p	Høydeenergi	Joule	J
E _k	Kinetisk energi	Joule	J
η	Virkningsgrad	NA	NA
η_g	Generator virkningsgrad	NA	NA
n	Turtall	Rotasjoner per minutt	r/min
M _g	Generator dreiemoment	Newton meter	Nm
P _g	Effekt inn på generator	Kilo Watt	kW
P _b	Effekt ut av generator	Kilo Watt	kW
Δp_M	Trykkfall over motor	Bar	Bar
n _M	Motor og generator turtall	Rotasjoner per minutt	r/min
η_{Mmh}	Mekanisk – hydraulisk virkningsgrad	NA	NA
η_{Mv}	Tilbake lekkasje	NA	NA
η_t	Total virkningsgrad for hydraulisk motor	NA	NA
T _m	Nødvendig moment for å drive generator	Newton meter	Nm
V _M	Nødvendig fortregningsvolum hos hydraulikkmotoren	Centimeter per revisjon	Cm ³ /rev
Q _M	Volumstrøm ved inntaksporten til motoren	Liter per minutt	l/min
F _b	Kraften fra bryggen	Newton	N

Tabell 3.4 Forts.

Symbol	Betydning	Enhet (SI)	Enhet symbol (SI)
F_s	Kraften på stempel	Newton	N
a_b	Lengden til bryggen og stempel (x-aksen)	Meter	m
a_s	Lenden ned til bryggen (y-aksen)	Meter	m
M_b	Momentet bryggekraften påfører	Newton meter	Nm
A_1	Arealet til stempelet på innsiden (for oljen)	Kvadrat millimeter	mm ²
A_2	Arealet til stempelet ved stempelstangside	Kvadrat millimeter	mm ²
P_s	Hydraulisk trykk stemplene må kunne levere	Mega pascal	MPa
r	Radiusen på innsiden av sylindere	millimeter	mm
d	Diameteren på innsiden av sylindere	Millimeter	mm
σ	Strekk/trykpenning	Mega Pascal	MPa
σ_b	Bøyepening	Mega Pascal	MPa
τ_s	Skjærpenning	Mega Pascal	MPa
σ_{jf}	Jevnføringsspenning (VonMises)	Mega Pascal	MPa
P	Elektrisk kraft	Watt	W
W	Effekt	Joule	J

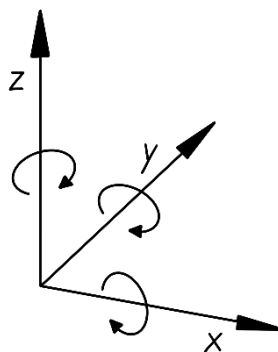
Tabell 3.5 Nyttige hoved-formler som benyttes i rapporten:

Betydning	Formel	Indeks
Kraft	$F = m * a$	3.1
Areal	$A = l * d$	3.2
Volum	$V = l * d * h$	3.3
Trykk	$p = F * A$	3.4
Effekt	$W = F * v$	3.5
Bølgefart	$v = \lambda * f$	3.6
Bølgelengde	$\lambda = g * T^2 / 2 * \pi$	3.7
Frekvens	$f = n / t$	3.8
Frekvens	$f = 1 / T$	3.9
Periode	$T = t / n$	3.10
Vinkelfrekvens	$\omega = 2 * \pi * f$	3.11

Tabell 3.5 Forts.

Betydning	Formel	Indeks
Effektiv bølgehøyde	$h = \lambda/4$	3.12
Masse	$m = \rho * V$	3.13
Høydeenergi	$E_p = m * g * h$	3.14
Kinetisk energi	$E_k = \frac{1}{2} * m * v^2$	3.15
Massetetthet	$\rho = F/A$	3.16
Hydrostatisk trykk	$p_{ht} = p_0 + \rho * g * a$	3.17
Hydraulisk effekt	$P = \Delta p * Q/600$	3.18
Mekanisk virkningsgrad	$\eta = P_{ut}/P_{inn}$	3.19
Generator effekt inn	$P_g = P_b/\eta_g$	3.20
Generator dreiemoment	$M_g = P_g * (9550/\eta_g)$	3.21
Hydraulisk motor moment	$M_g = T_M = \eta_{Mmh} * V_M (\Delta p_M/2\pi 10)$	3.22
Fortregningsvolum ved hydraulikkmotoren	$V_M = T_M * 2\pi * 10 / \Delta p_M * \eta_{Mmh}$	3.23
Volumstrøm til motoren	$Q_M = (1/\eta_{Mv}) * (V_M * n_M/1000)$	3.24
Hydraulisk trykk stemplene må kunne levere	$P_s = \Delta p_M/10$	3.25
Moment	$M = F * a$	3.26
Trykk	$P = F/A$	3.27
Effekt fra tannhjulspumpe	$P = q_v * \Delta P * \eta_t/600$	3.28
Strek/trykkspenning	$\sigma = F/A$	3.29
Jevnføringspenning	$\sigma_j = \sqrt{(\sigma_1^2 + \sigma_1^2 - \sigma_1 \sigma_2^2)}$	3.30

I oppgaven vil koordinatsystemet også benyttes. Figur 3.1 viser koordinatsystemet med illustrasjon av positiv romretning på akser som vil måtte benyttes ved orientering og beregning ved utvikling av bølgekraftverk konseptet.



Figur 3.1 Illustrasjon av koordinatsystemet med positiv x, y og z akse. Rotasjon er definert sett fra origo og høyrehandsregelen.

3.2 Metodebruk og løsningsverktøy

Dette delkapittelet presenterer relevant produktutviklingsmetodikk for prosjektet. Dette bidrar til god kvalitet og flyt videre i utviklingsarbeidet, og systematisering av prosess og tankegang.

3.2.1 Produktutviklingsmetoder

Flere nyttige verktøy og metoder finnes tilgjengelig for utviklingsformål og for å gjennomføre en systematisk og godt strukturert utviklingsprosess. Metode/verktøyene er forklart under.

a) *Integrert produktutvikling (IPD)*

IPD er en produktutviklingsmetode som brukes for å sikre det mest omfattende og perfekte sluttproduktet under en utviklingsprosess ^[31]. I prosessen for å utvikle et produkt tas det hensyn til ulike essensielle aspekter som produktegenskaper, markedsbehov og konkurransedyktighet. Alt dette gir et godt grunnlag for en god produktspesifikasjon.

Proessen bidrar til å siktes inn mot et hovedmål, dette ved å begrense produktutviklingskostnader ved å tidlig spesifisere utviklingen, som er med på å redusere tidsaspektet. Viktige elementer er data og kommunikasjonsflyt mellom ulike prosesser og avdelinger, dette skaper et bedre samspill og bedre effektivitet.

IDP består av følgende hovedelementer, hvor en del eksempler på koplinger til seinere bruk er lagt inn i parenteser ^[31,32]

1. Kartlegging av kundens behov og markedets krav. (Introkapittel og økonomi til slutt)
2. Planlegging og styring av produktutviklingsprosessen.
3. Bruk av produktutviklingsgrupper og lagarbeid.
4. Integrasjon av prosessdesign. (Prosessplan og utviklingsprosess)
5. Styring av prosjektkostnader/ressurser fra starten. (Tidsplanlegging)
6. Involvering av leverandører og underleverandører tidlig i prosessen. (Nettsjekk av eksisterende komponenter)
7. Utvikling av robuste design. (Beregninger og FEM-analyse)
8. Integrering av CAE, CAD, CAM og relevante dataverktøy i utviklingsprosessen.
9. Datasimulering av produktets egenskaper og framstillingsprosess.
10. Generering av en mest mulig effektiv tilnærming til utviklingsarbeidet.
11. Kontinuerlig forbedring av utviklingsprosessen. (Prosessdiagram og drøfting)

b) *Pugh's metode*

Pugh's metode (eller Total Design) er et seleksjonssystem/metode som systematiske sammenligner ulike løsningsalternativer ^[33]. Metodikken er en del av QFD-tankegangen. Løsningene måles opp mot viktige kriterier som produktet skal opprettholde. Ved bruk av

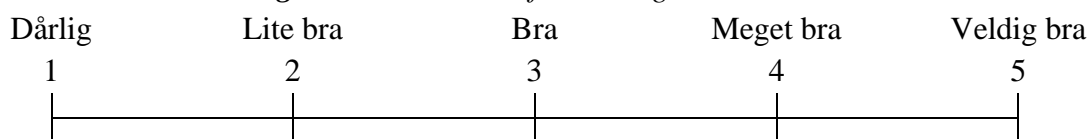
metoden blir en eller flere løsninger pekt ut som en best løsning. Ved bruk av metoden kan enkelte elementer i produktet og hoved-produktløsningen sammenlignes.

Pugh's metode baserer seg på tre grunnleggende prinsipper i utviklingsmetodikken: designkjernen, spesifisering og styrt konvergens.

- Designkjernen: Her kartlegges kundenes behov og videre utvikles det spesifikasjoner, konsept og konseptdesign.
- Spesifisering: Detaljerte design legger grunnlag for konsepter slik at produktet kan produseres.
- Styrt konvergens: Ved å ta utgangspunkt i kundenes behov, og gjennom konseptvalg vurderes løsninger gjennom evalueringsmatriser.



Figur 3.1 Viser skala for vektning av kriterier



Figur 3.2 Viser skala for hvor godt en løsning eller konsept svarer til kriteriene.

c) *QFD og House of Quality*

QFD – Quality Function Deployment:

QFD er en måte å angi kundenes behov og krav, og ha disse med i kvalitetsplanleggingen ved utvikling og framstilling av produkter ^[34]. Målet med QFD er å være et hjelpeverktøy til «å hele tiden høre på og integrere kundenes stemme» ^[31] i ulike trinn ved utviklingsproduksjon og salg av et produkt i et nytt eller allerede eksisterende marked.

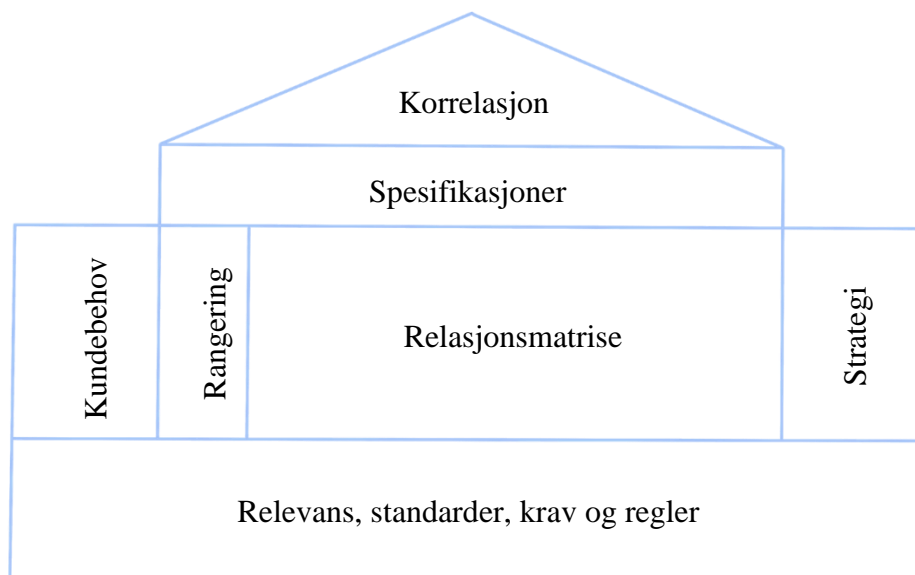
House of Quality:

House of Quality er Mitsubishis måte å sammenfatte kundenes behov, utviklingsmetodikk, krav og markedsstrategier. House of Quality er et visuelt hovedverktøy som bruker QFD, hvor verktøyet ofte brukes i organisasjoner og bedrifter. Verktøyet er en praktisk måte å tenke på, hvor en systematisk tankegang og den sentrale «stemmen til kunden» er i fokus. ^[31,34]

Fremgangsmåten baserer seg på følgende trinn:

- Først identifisere og klassifisere kundenes behov.
- Identifisere viktigheten av de forskjellige behovene.
- Identifisere relevante faglige aspekter i forhold til behovene.

- Finne sammenhenger mellom kundebehov og tekniske aspekter.
- Finne en måte å identifisere sammenhengene.
- Sette målsettinger og prioritet for produktkravene.



Figur 3.3 Viser illustrasjon av «House of quality» med relevante elementer i arbeidet. ^[34]

d) **SCAMPER**

SCAMPER er et kreativt løsningsverktøy. SCAMPER baserer seg på 6 elementer. Ved bruk av metoden kan man gå igjennom de forskjellige elementene for å se om man kan komme med bedre løsninger ^[34,35].

Elementene i SCAMPER:

S = Substitute (erstatning):

Er det mulig å se om noen elementer eller deler i produktet er mulig å erstatte med noe helt annet.

C = Combine (kombinering):

Er det mulig å kombinere noen elementer i produktet?

A = Adapt (tilpasse):

Er det mulig å legge til deler/løsninger?

M = Minify (redusering):

Er det mulig å minske deler av produktet?

P = Put to other use (Brukes til noe annet):

Kan produktet brukes til noe annet?

E = Expand (utviding):

Er det mulig å utvide produktet?

R = Reverse (reversering):

Er det mulig å reversere deler i produktet?

e) **MODULARISERING**

Modulariseringsprinsippet baserer seg på å lage produkter som har modulbaserte løsninger. Prinsippet deles videre inn i 4 hovedkategorier:

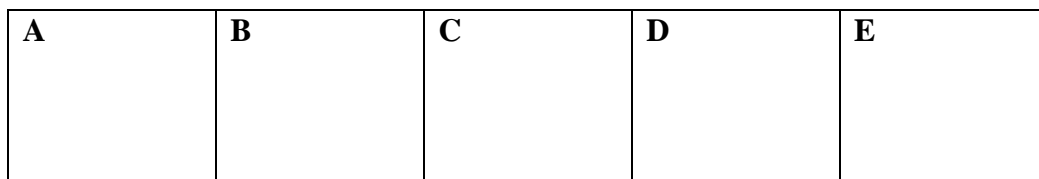
- Lineær løsning
- Perpendikulær løsning
- Delvis integrert løsning
- Fult integrert løsning

eller en form for blanding av de 4. ^[36]

Lineær modul løsning:

Lineære modulløsninger går ut på å lage samme type produkter som kan settes ved siden av hverandre i serie. Dette er den enkleste formen for modularisering og er også brukt for denne oppgaven.

Eksempel på lineær modularisering demonstrert med bokser:

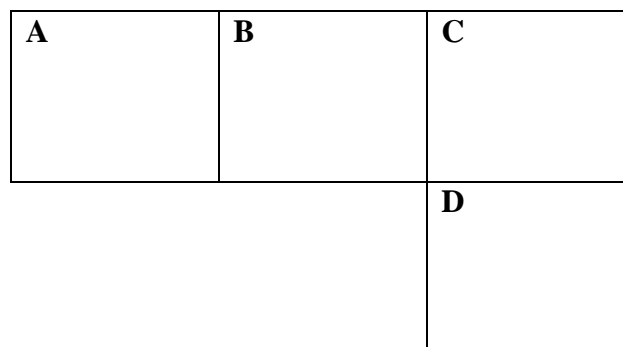


Figur 3.4 Demonstrerer Lineær Modularisering

Perpendikulær modularisering:

Perpendikulær modularisering går ut på å kunne bygge produktet både ved siden av hverandre og som utstykk som for eks. i en L-form.

Eksempel på perpendikulær modularisering demonstrert med bokser:

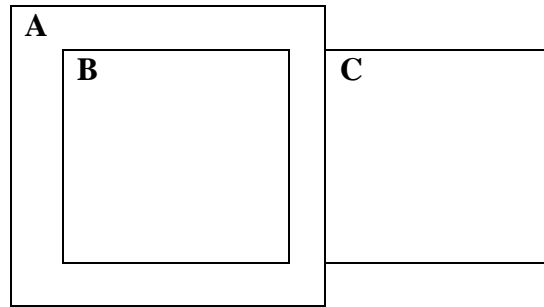


Figur 3.5 Demonstrerer Perpendikulær Modularisering

Delvis integrert modularisering:

Delvis integrert modularisering går ut på at flere av samme type produkt kan settes ved siden av hverandre og inni hverandre.

Eksempel på delvis integrert modularisering demonstrert med bokser:

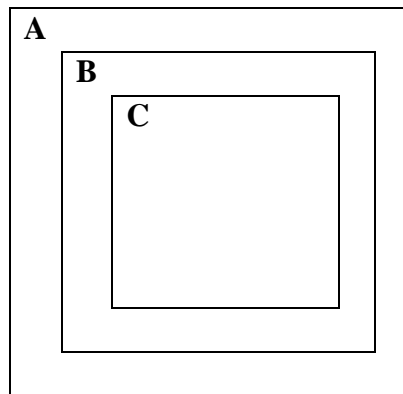


Figur 3.6 Demonstrerer Delvis integrert Modularisering

Fult integrert modularisering:

Fult integrert modularisering går ut på at flere av samme type produkt er lagt lagvis inni hverandre. Et eksempel her kan være Matryoshka-dukker (Russiske-dukker).

Eksempel på fult integrert modularisering demonstrert med bokser:



Figur 3.7 Demonstrerer Fult integrert Modularisering

3.2.2 Løsningsverktøy

Programmer som brukes i prosjektet:

- Solid Works 2021 – brukes til 3D-modelering og 2D tegninger
- CES Granta EduPack 2021 – brukes for å samle materialegenskaper.
- Microsoft Office 2021 – brukes for rapport skriving
- Google Chrome – Nettleser til å finne kilder

- Adobe Illustrator – brukes for å gjøre håndtegninger om til PC-illustrasjoner med hvit bakgrunn

3.3 Kvalitetssikring

Kvalitetssikring er en prosess for å forhindre feil og mangler ved et produkt og unngå problemer ved levering av produktet (eller en tjeneste). Informasjon om de standardene som brukes gjennom dette prosjektet er:

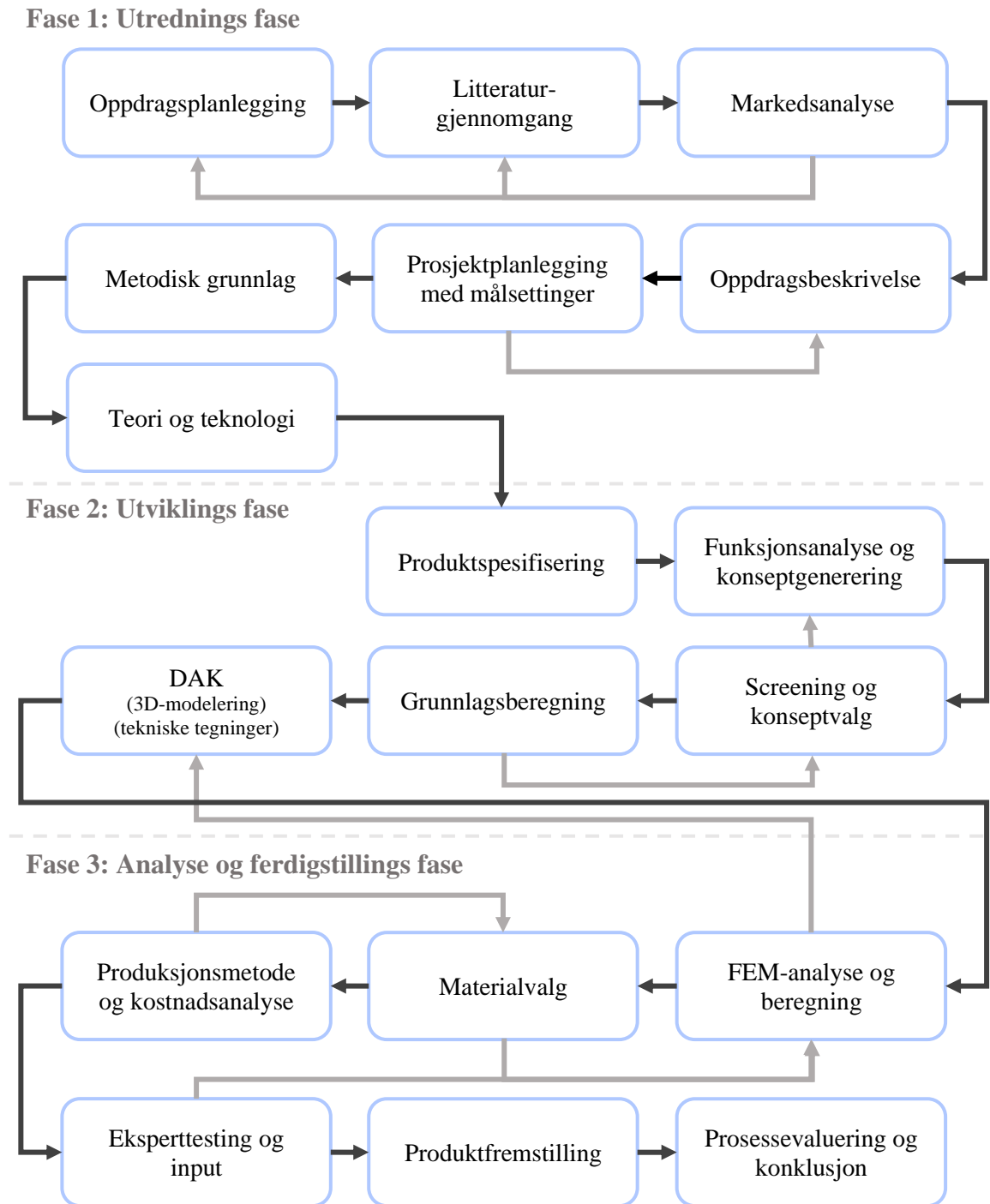
Tabell 3.6 Standarder, forskrifter og lover med forklaringer:

Standard	Beskrivelse
NS/EN/ISO9000	Systemer for kvalitetsstyring – grunntrekk og terminologi.
NS/EN/ISO9001	Systemer for Kvalitetssikring og kvalitetsstyring. Kapittel 7 i 2000-versjon, Kapittel 8 i 2015 versjon.
NS/EN/ISO128	Standard for tekniske-tegninger, dette er integrert i Solid Works.
Forskrift og lover	Beskrivelse
Forskrift om maskiner <i>FOR-2009-05-20-544</i>	Forskrift om maskiner fastsatt av Arbeids- og inkluderingsdepartementet, Justis- og beredskapsdepartementet, Klima- og miljødepartementet.
Energilovforskriften <i>FOR-1990-12-07-959</i>	Forskrift om produksjon, omforming, overføring, omsetning, fordeling og bruk av energi m.m., av Olje- og Energidepartementet.
Forskrift om elektriske forsyningsanlegg <i>FOR-2005-12-20-1626</i>	Forskrift om elektriske forsyningsystemer fastsatt av Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap.
Energiloven <i>LOV-1990-06-29-50</i>	Forskrift om produksjon, omforming, overføring, omsetning, fordeling og bruk av energi m.m., av Olje- og Energidepartementet.
Forskrift om maritime elektriske anlegg <i>FOR-2001-12-04-1450</i>	Forskrifter i henhold til maritime elektriske anlegg av Justis- og beredskapsdepartementet.
Eurokode 3 NS-EN 1993-1-4:2006	Standarder for prosjektering av stålkonstruksjoner.

Så langt det er mulig vil det bli brukt fagbøker og annen litteratur som er kvalitetssikret gjennom forlag eller fagfelleevaluering som grunnlag for rapportering. Internettkilder vil bli ettergått så langt dette er mulig.

3.4 Prosesstrinn

Utviklingsprosessen i hele prosjektet er illustrert i figur 3.8 under. Her kartlegges det en visuell fremstilling som indikerer prosesstrinnene, som i tillegg markerer sammenhengen mellom dem. Hensikten her er at man hele veien har oversikt over progresjon i prosjektet, hvor man samtidig kan gå tilbake til tidligere aktiviteter for å gjøre eventuelle forbedringer.



Figur 3.8 Skjematisk fremstilling av prosesstrinn i prosjektarbeidet (ISO9001-tankegang).

4 TEORI OG TEKNOLOGIUTREDNING

Dette kapitlet redegjør for fysikken som ligger til grunn for utvikling av konseptet. Likeledes utredes teoretiske og tekniske grunnprinsipper og noe eksisterende løsninger. Dette gjøres for tidlig kartlegging og innhenting av teori og inspirasjon og videre utviklingsarbeid.

4.1 Grunnlagsteori

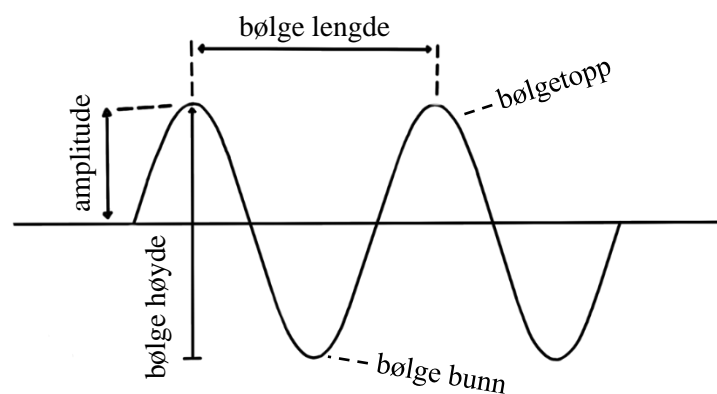
Bølgeenergi følger de lovene som gjelder for generell væskefysikk og lovene om energiens bevarelse, men har om andre fagområder sin fagterminologi som skal gjennomgås litt nærmere her.

4.1.1 Bølgebevegelser

Bølger overfører energi fra et sted til et annet ved hjelp av bølgebevegelser i form av forstyrrelser i legemet bølgen befinner seg i, dette kan skje i form av svingninger. Disse bølgene kan være lydølger i luft, havbølger i vann og vibrasjonsbølger gjennom faste materialer.

Et eksempel på en bølge er svingninger som går fra venstre til høyre. Toppen av disse bølger kalles for bølgetopper og bunnen kalles for bølgebunn.

Strekningen mellom midtlinjen og bølgetopp/bølgebunn kalles for amplitude. En lengde fra bølgetopp til bølgetopp kalles for bølgelengde. Bølgelengden er den samme gjennom hele bølgen, fra to nærliggende punkter som har lik stigning.



Figur 4.1 Illustrasjon viser grunnbetegnelser for en bølge ^[37,38]

Farten til en bølge (v) kan beregnes ved å gange bølgelengden (λ) med frekvensen (f):

$$v = \lambda * f$$

Bølgelengden (λ) er gitt ved tyngdeakselerasjonen (g) ganget med perioden (T) i andre delt på 2π :

$$\lambda = \frac{gT^2}{2\pi}$$

Frekvensen er betegnet som antall sykluser delt på tiden for når syklusene forekommer:

$$f = \frac{n}{t}$$

Enheten for frekvens er hertz [Hz], som betegnes som antall svingninger som forekommer i løpet av et sekund [s]. En frekvens betegnes da også som den inverse av perioden:

$$f = \frac{1}{T}$$

En periode [T] betegnes som tiden det tar for å fullføre en syklus:

$$T = \frac{t}{n}$$

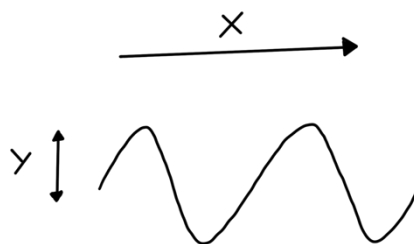
Enheten til en periode er i sekunder [s].

Ved bølger og svingninger brukes det også vinkelfrekvens i stedet for kun frekvens. En vinkelfrekvens angir antall radianer som forekommer per tidsenhet. Her sees en periode på som en sirkel, hvor en hel sirkel blir definert som 2 pi (π). Vinkelfrekvens (omega: ω) er definert som 2 pi ganget med frekvensen:

$$\omega = 2\pi f$$

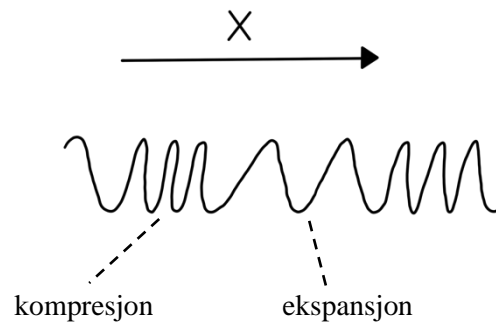
Bølger blir ofte delt opp i to kategorier: transversalbølger og longitudebølger.

Transversalbølger er tversgåendebølger som beveger seg bortover i x-retningen, mens svingningene beveger seg opp og ned i y-retning. I transversalbølger er altså svingningene vinkelrette på bevegelsesretningen til bølgen. Et eksempel på transversalbølge kan være elektromagnetiske bølger. Eks. på elektromagnetiske bølger er: lysbølger, radiobølger, infrarødt, ultrafiolett stråling, røntgenstråling og gammastråling.



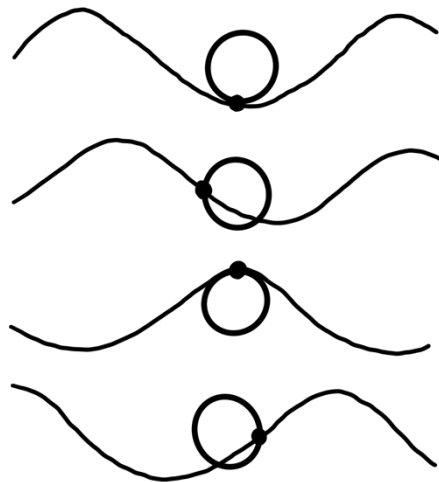
Figur 4.2 Illustrasjon viser Transversalbølger^[37]

Longitudebølger er noe annerledes fra transversalbølger. I motsetning til transversalbølger er svingningene og bølgeretningen i longitudebølger parallelle med hverandre. I longitudebølger beveger bølgene seg ved å komprimere og ekspandere seg i forhold til bølgeretningen. Et eksempel på longitudebølge er lydbølger. Lydbølger fungerer som trykkbølger ved å komprimere og ekspandere luftmolekyler.



Figur 4.3 Illustrasjon viser Longitudebølger ^[37]:

Vannbølger er ofte en kombinasjon av transversalbølger og longitudebølger. I en vannbølge beveger vannmolekylene seg både i vertikal retning, men samtidig beveger de seg horisontalt med bølgebevegelsen på en bølgetopp og tilbake igjen i en bølgedal.



Figur 4.4 Illustrasjon viser bevegelsen til en partikkel i en vannbølge ^[omarbeidet etter 39]

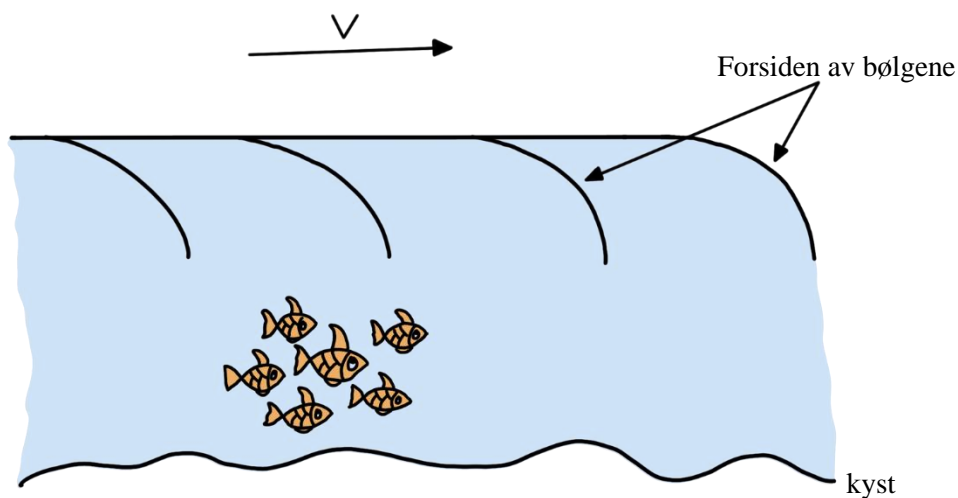
En havbølge er en bølgebevegelse i havet. Bølger som normalt sees ved havoverflaten skyldes ofte vinden, disse bølgene kalles vindbølger. Vindbølger i området med vind kalles vindsjø. Når bølger brer seg vekk fra vinområder, går de til mer jevne dønninger. Disse bølgene kan forplante seg og fortsette over store områder, og blir mindre lavere og vanskeligere å se med avstand. Bølgelengden ved dønninger kan være flere hunder meter. Når dønninger eller andre overflatebølger beveger seg til grunnere vann blir bølgelengden mindre, mens bølgehøyden blir større. Ved disse bølgene vil bølgehøyden føre til en bølgeskråning som vil få bølgetoppene til å velte fremover, dette kalles da brenning. Et eks. på brenning er bølger surfere bruker ved stranden.

4.1.2 Bølgekraft

Kraften fra havbølger kan i all hovedsak fordeles på to forskjellige scenarier. Et scenario er å se på kraften, forsiden av en bølge kan bidra med, når bølgene beveger seg forover. Kraften fra forsiden av en bølge (wave crest) kan påføre per meter, er gitt med formelen ^[40]:

$$P = \frac{H^2 T}{2}$$

(hvor H står for høyden, og T for perioden)



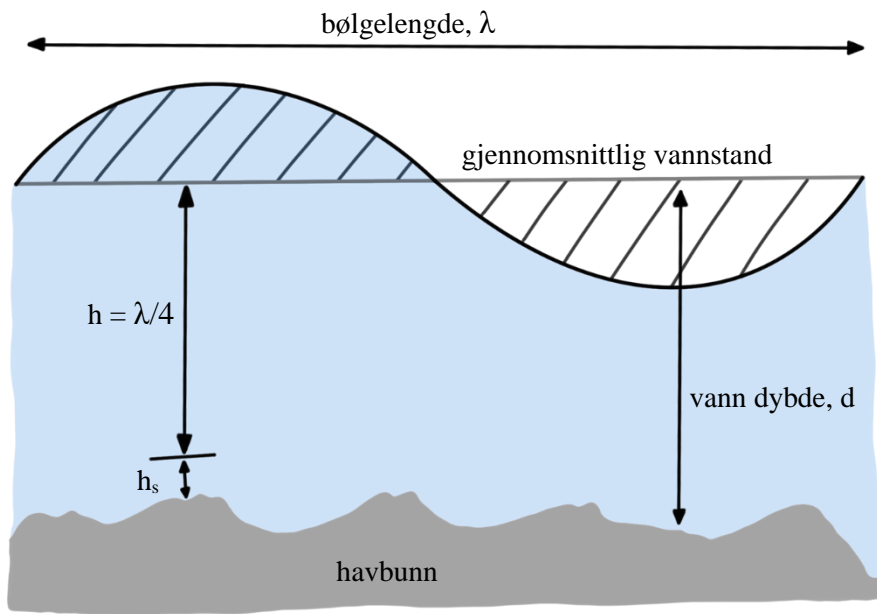
Figur 4.5 Illustrasjon av bølger som beveger seg mot høyre ^[40]

Et annen måte å se på energien ved bølger er å se på de mikroskopiske partiklene i vannoverflaten ved bølgene, disse beveger seg i noen runde sirkulære bevegelser (figur 4.4). Men i all hovedsak kan disse sees på som om de går rett opp og ned nær overflaten.

På havoverflaten vil en partikkel bevege seg lik strekningen til bølgehøyden. Jo lavere ned en partikkel er fra havoverflaten jo mindre vil den bevege seg opp og ned. Dvs. ved energiutvinning antas det at ca. 95% av bølgeenergien er mellom gjennomsnittlige vannstanden og havbunnen på en fjerdedel av bølgelengden.

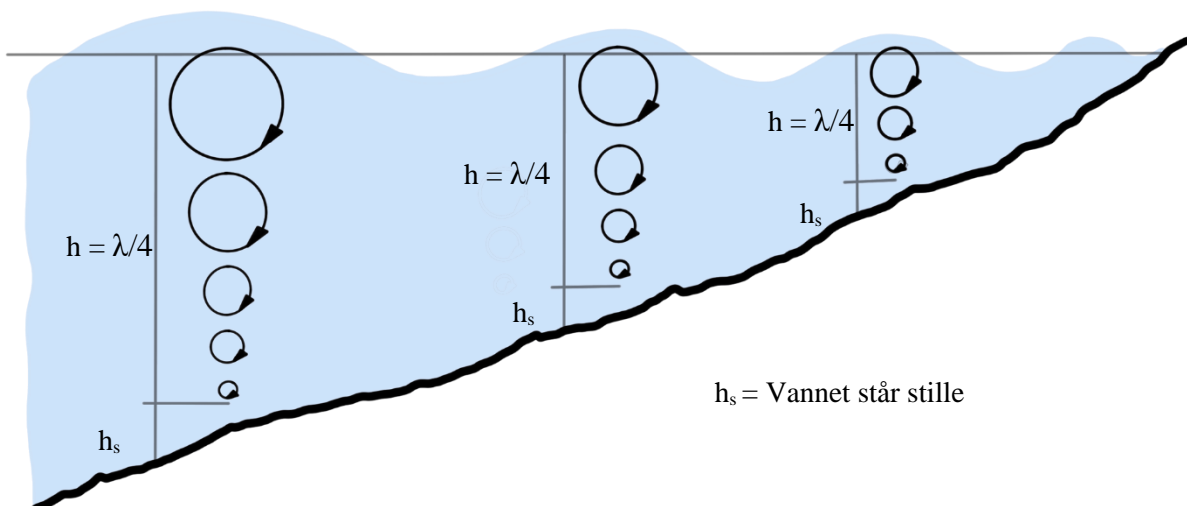
For å kunne utvinne best mulig energi er det ønskelig å kunne komme i kontakt med mesteparten av partiklene i dette området. Formelen for å finne denne høyden vil være:

$$h = \frac{\lambda}{4}$$



Figur 4.6 Illustrasjon av formel sammenhengen og den optimale høyden for bølgeenergi under havoverflaten. [inspirasjon fra 40]

Effekt av dybde og bunnforhold viser at det blir mindre og mindre energi jo lenger ned man kommer fra den gjennomsnittlige vannstanden (figur 4.6). Figur 4.7 viser visuelt hvordan denne effekten endrer seg utefra dybden og bunnforholdet.



Figur 4.7 Effekt av dybde og bunnforhold inn mot land. [inspirert av 41 og 42]

4.1.3 Forhold ved oppdrift

Summen av kreftene som virker på en overflate av en gjenstand, som er helt eller delvis nedsenket i en veske eller gass kalles for oppdrift. Oppdrift er de kreftene som får båter, sjøfly og isfjell til å flyte, og heliumballonger og andre ting til å sveve. ^[43]

Oppdrift kan forklares ved å tenke seg en væske eller gass med massetetthet ρ_v i en beholder. En del av denne væsken/gassen har volumet V og masse:

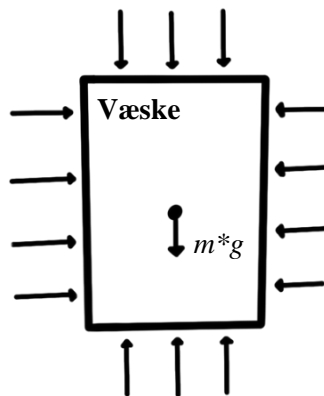
$$m = \rho_v * V$$



Figur 4.8 Viser massen til et volum. ^[inspirert fra 43]

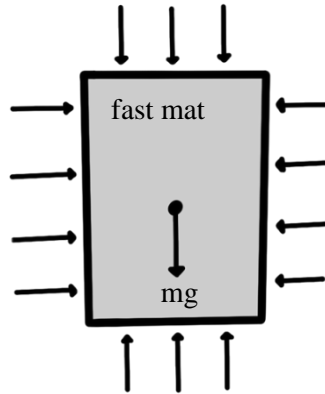
Gass- og væskemolekyler som befinner seg utenfor dette volumet vil kolliderer med molekylene på overflaten av volumet V . Siden væsken forbeholder seg i ro, vil den kraften molekylene kolliderer med volumet være lik tyngdekraften mg . Nettokraften fra molekylene som kolliderer med volumet V vil da være:

$$F = m * g = \rho_v * V * g$$



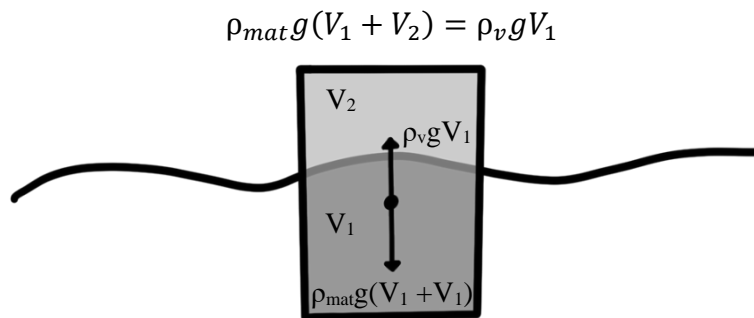
Figur 4.9 Viser kreftene som virker på en væske av molekylene fra utsiden. ^[inspirert fra 43]

Om væskevolumet byttes ut med et fast material vil fremdeles kraften F være den samme. Fordi væskemolekylene fremdeles vil kolliderer med overflaten til det samme volumet. Det sies da at det virker en oppdrift lik tyngden av den fortrengte væske eller gassmengden vertikalt oppover. Dette prinsippet kalles for Arkimedes loven. ^[44]



Figur 4.10 Viser kreftene som virker på et materiale av molekylene fra utsiden. *[inspirert fra 43]*

Om materialet flyter på toppen av et havvann, vil oppdriftskreftene være lik tyngden til materialet. Hvor tyngden til materialet regnes ved å gange massetettheten til materialet med tyngdekraften og volumet av hele materialet. Oppdriftskreftene regnes ved å gange massetettheten av det fortrenge volumet med tyngdekraften og volumet til den fortrenge massen:



Figur 4.11 Viser oppdriftskreftene som virker på et materiale som flyter. *[inspirert fra 43]*

4.1.4 Energiligningene

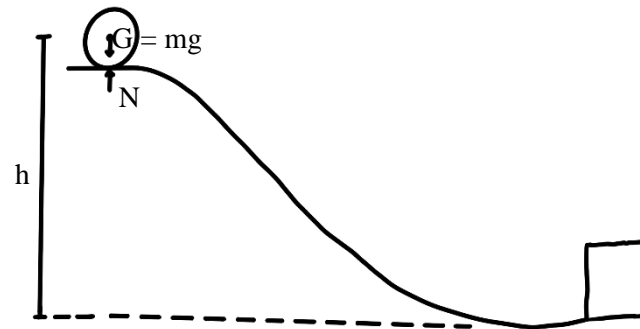
Energi kommer i flere former, energi kan omformes på forskjellige måter, men energi kan aldri gå tapt. De to hovedformene vi har for energi er potensiell energi (høydeenergi) og kinetisk energi (bevegelsesenergi). Andre energiformer kan sees på som andre former for potensiell og kinetisk energi. ^[45,46]

Potensiell energi:

Energien som kan virke på en gjenstand for å kunne sette den i bevegelse kalles for potensiell energi. Når en gjenstand løftes opp fra bakken virker tyngdekraften på gjenstanden nedover mot jordas senter. Den potensielle energien er av avhengig av gjenstandens masse og høyde til bakkenivå. Den potensielle energien er gitt ved ^[45,47]:

$$E_p = mgh$$

Om en ball sitter i ro på toppen av en bakke har den en potensiell energi som kan omformes til bevegelses energi om den trilles ned bakken. (fig. 4.12 og fig. 4.13)



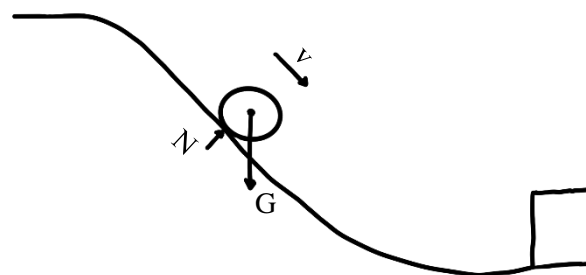
Figur 4.12 Viser en ball på toppen av en bakke.

Kinetiske energi:

Energien en gjenstand har når den er i bevegelse kalles for kinetisk energi. Kinetisk energi er også kalt for bevegelses energi. Den kinetiske energien til en gjenstand er avhengig av gjenstandens masse og fart. Den kinetiske energien er gitt ved ^[45,48]:

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

Om ballen som sitter på toppen av bakken triller ned bakken, vil den potensielle energien bli overført til kinetisk energi. (fig. 4.13)



Figur 4.13 Viser ball i bevegelse.

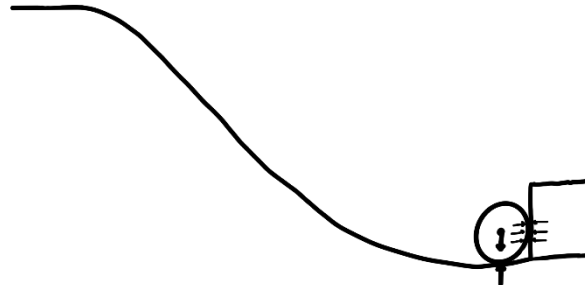
Trykkenergi:

Trykk er gitt ved kraft delt på areal ^[45,49]:

$$p = \frac{F}{A}$$

Trykk er det forholdet av krefter som virker vinkelrett inn mot en gjenstands flate og areal. Trykk kan virke mot overflaten av en materialet eller en flate på innsiden av en gjenstand.

Når ballen fra eksemplene over står stille på toppen av fjellet er det et trykk fra bakken som virker mot ballen på den overflaten av ballen som er nær bakken (*fig 4.12*). Samtidig er det ett indre luft trykk inni ballen som virker på ballens indre vegg utover. Når ballen triller ned og treffer en kasse, vil overflaten fra ballen og overflaten fra kassen også ha et trykk mot hverandre. (*fig. 4.14*)



Figur 4.14 Viser en ball som treffer en kasse.

4.1.5 Hydrostatisk trykk

Statisk trykk, eller hydrostatisk trykk er trykket i en væske som er i ro. Hydrostatisk trykk er definert som væsken i ro (p_0) pluss massetettheten (ρ) ganget med tyngdeakselerasjonen (g) gangen med høyden under overflaten (h).^[50]

$$p_{ht} = p_0 + \rho gh$$

Dette kan brukes for å se på trykket fra vannet på siden og bunnen av flytebryggen.

4.1.6 Hydraulisk effektoverføring

Det kan være aktuelt i turbin og propananlegg å se på den hydrauliske effektoverføringen (P). Dette kan bestemmes med formelen:^[30]

$$P = \Delta p * \frac{Q}{600}$$

Siden slike anlegg også vil kunne ha ulike tap, vil det opereres med hydraulisk og mekaniske virkningsgrader, dvs.:

$$\eta = \frac{P_{ut}}{P_{inn}}$$

Virkningsgraden kan også uttrykkes som forholdet mellom væskestrøm eller trykk inn i systemet dividert på samme verdi ut av systemet.

4.2 Teknologiske prinsipper og bølgers oppførsel

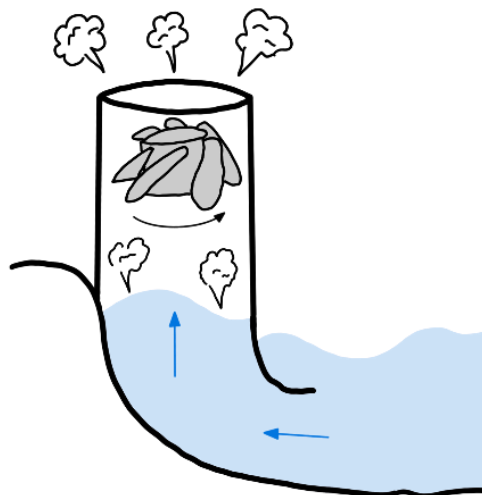
Problemet ved bølger er at bølger er ikke en strøm av partikler som strømmer fra et punkt A til et punkt B som for eks. vind kraft, men heller lokalbevegelser av partikler som går opp og ned. Som et eksempel kan bølger ses på samme måte som en folkemengde på et fotballstadion tar en bølge, hvert enkelt individ reiser seg opp og setter seg ned, men ingen flytter på seg bortover.

Så et beslektet problem med omforming av bølge energi er at vi hele veien har prøvd å gjøre de fysiske grunnprinsippene hos bølger om til en annen dynamisk form som er ulikt utgangspunktet, noe det ikke er i naturen, og prøver å få den til å spinne rundt en turbin på en eller en annen måte.

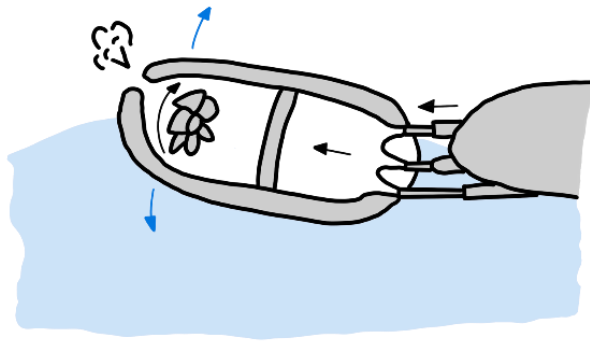
Utenom solselle paneler kommer nesten all vår energi fra å spinne turbiner. Turbiner brukes noenlunde direkte for å energi fra vind og vann kraft. Men det brukes også turbiner for i kull, gass og atom kraftverk. Her brukes ressursene for å varme vann om til damp som igjen snurrer en turbin.

Det finnes hule systemer hvor bølger kan stige og falle, som igjen trykker luften inni kamrene til å drive forbi en turbin (Figur 4.15). Det finnes store flytende rør som bøyer seg med bølger som driver pumper som trykker luft fram og tilbake som igjen driver turbiner (Figur 4.16). Det finnes også store systemer som er som flyteposer, hvor vann faller inn i og renner ut igjen via en turbin (Figur 4.17).

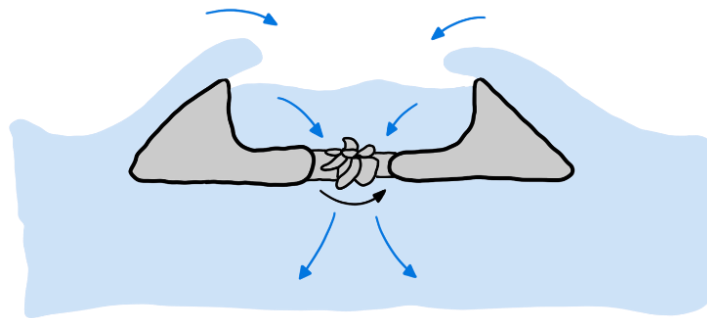
Det er også funnet ut at ved skyssen hvor bølger brytes, strømmer vann fort nokk til å kunne snurre på en turbin (men dette kun for korte perioder) (Figur 4.18). Problemet med disse systemene er at det har ikke blitt funnet en metode for å spinne disse turbinene fort nokk eller uavbrutt nokk til å generere store mengder elektrisitet.



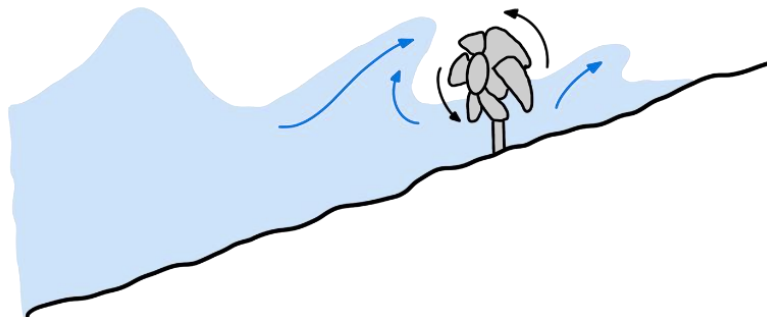
Figur 4.15 Illustrasjonen viser energi som genereres av lufttrykk [omarbeidet etter 52]



Figur 4.16 Illustrasjonen viser energi som skapes inni en linjeabsorbator [omarbeidet etter 52]



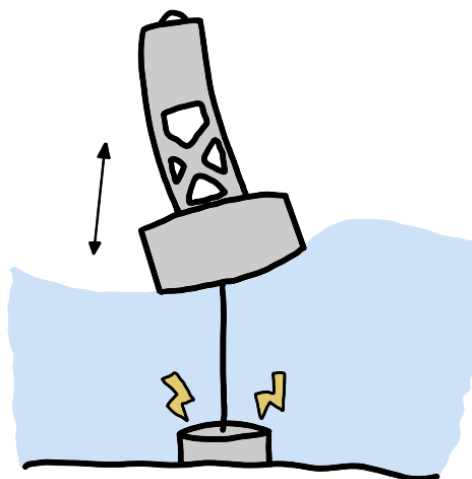
Figur 4.17 Illustrasjonen viser energi som skapes inni et overtoppende system [omarbeidet etter 52]



Figur 4.18 Illustrasjonen av energi som skapes av brytende bølger ved kysten [omarbeidet etter 52]

Videre er det veldig kostnadsfylt å lage ting i havet. Ting som lages i havet blir konstant belastet for saltvann, sand, avfall, alger og dårlig vær. Dette fører til at disse systemene må være veldig robuste og fremdeles ofte krever mye vedlikehold. Grunnet dette er det ikke funnet opp noe godt finansieringsdyktig design for å klare å utvinne bølgeenergi på en gunstig måte.

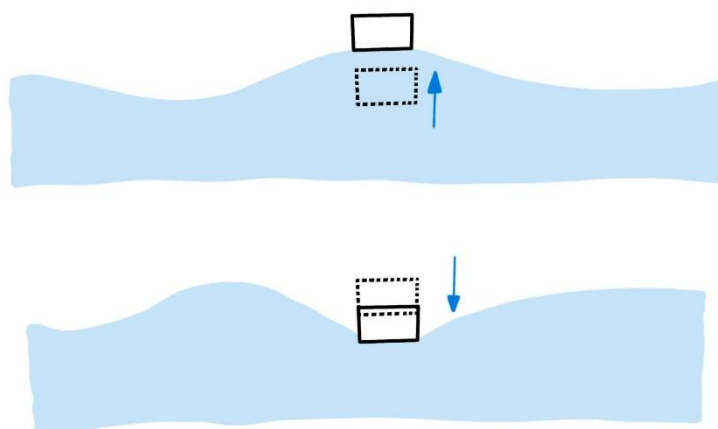
Det finnes noen løsninger som ikke er avhengige av turbiner som for eks. bøyer som beveger seg opp og ned (Figur 4.19). Hvor deres bevegelse drifter en generator. Men for å installere disse systemene samt deres kraftnett koster ugunstig mye.



Figur 4.19 Illustrasjonen viser energi som skapes av et bølgestempel [omarbeidet etter 52]

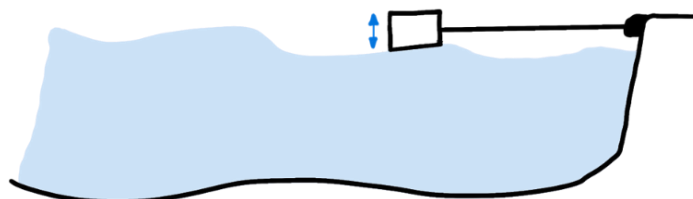
4.3 Eksempler på ekle kraftoverføringsmekanismer

Som forklart over er det ikke mange måter å fange energien fra bølger. Energien fra en bølge kommer hovedsakelig kun fra en opp og ned gående bevegelse. En måte å kunne fange denne energien kan være ved hjelp av en bøye ute på havet som går opp og ned.



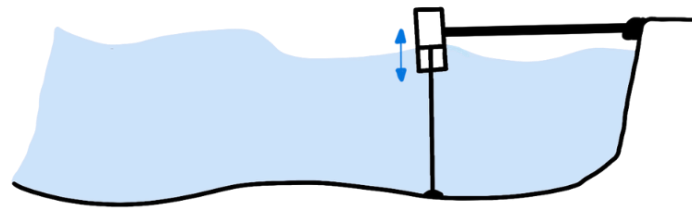
Figur 4.20 Enkel illustrasjon av en bøye som går opp og ned.

En annen måte kan være ved å feste en flottør med en arm til land. Her kan momentkrefter fra armen brukes til å skape energi.



Figur 4.21 Viser en enkel illustrasjon av en flottør med arm.

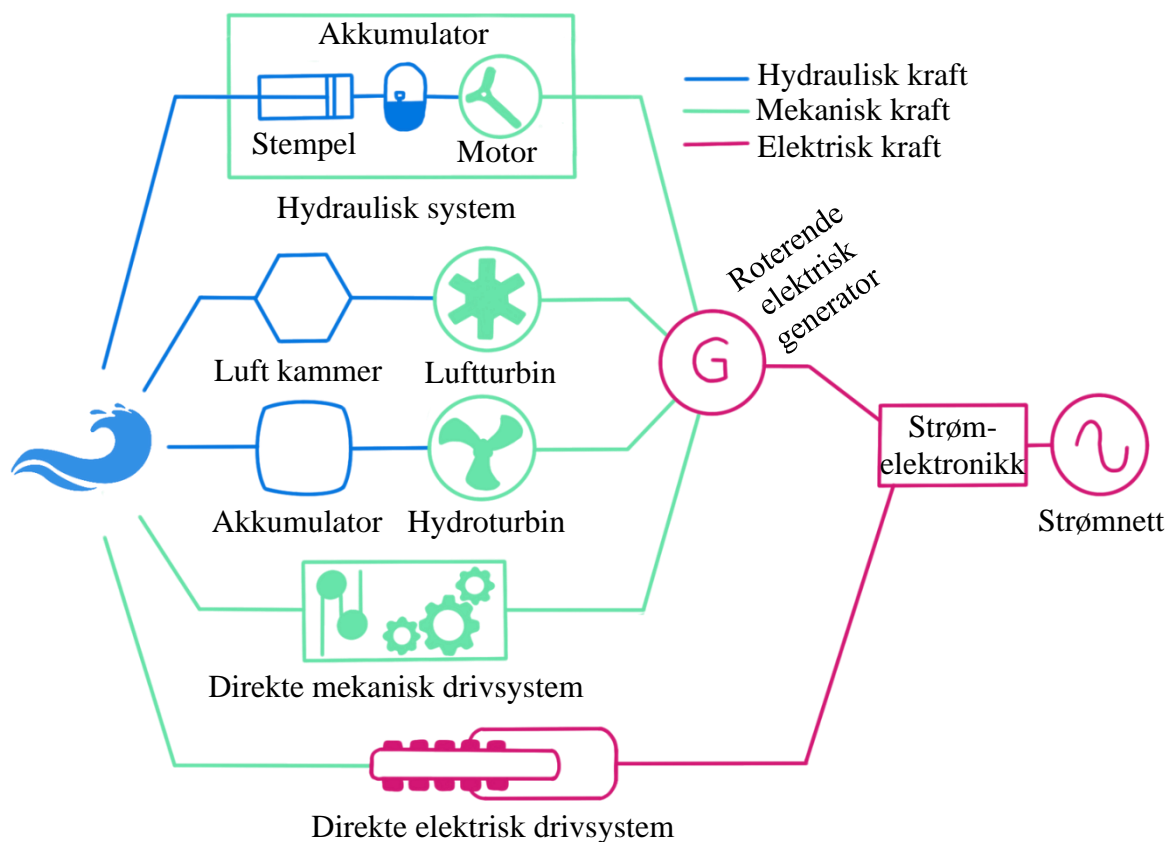
Ellers så er det mulig å feste en arm til havbunnen og til en flytendesylinder og få kraft fra trykkoverføring.



Figur 4.22 Viser en enkel illustrasjon av en sylinder som skaper kraft med trykkoverføring.

4.4 Effektoverføringssystemer til strømgenerering (oversikt)

Som nevnt i kapittel 4.3 finnes det flere ulike overføringssystemer. Nedenfor i figur 4.23 vises de mest aktuelle systemene for å skape elektrisk kraft fra bølgebevegelser. Hvor første ledd viser et fullt hydraulisk system. Andre ledd viser et system med en luftturbin. Tredje ledd viser et system med en hydroturbin. Fjerde ledd viser et fullt mekanisk system, og femte ledd viser et direkte elektrisk drivsystem. ^[41]

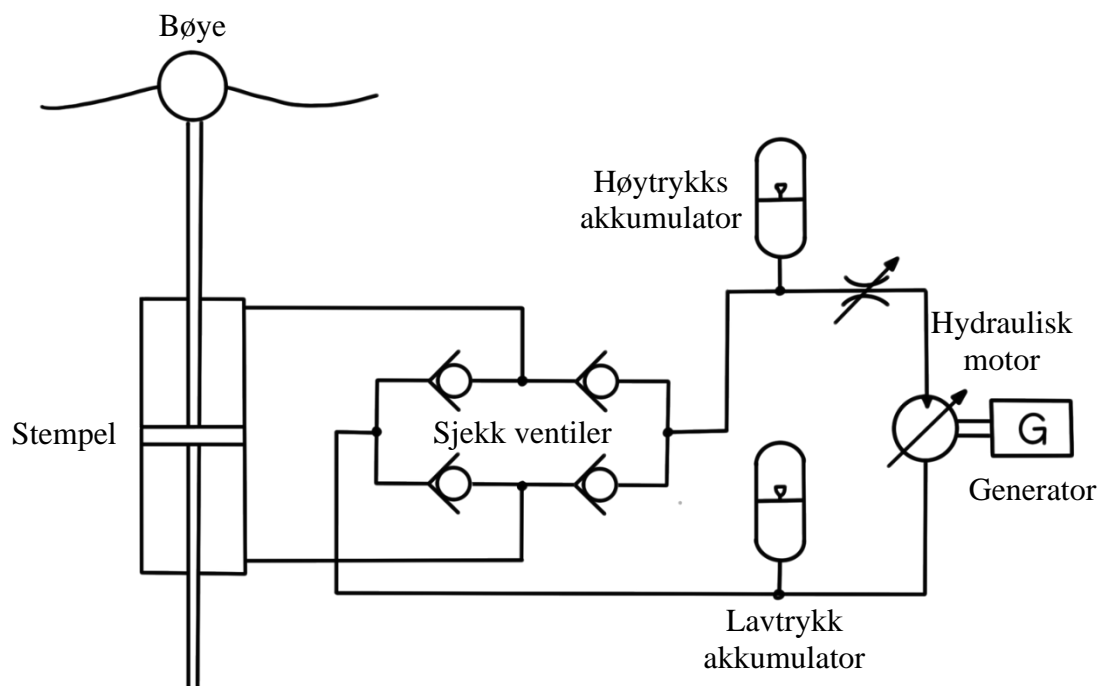


Figur 4.23 Ulike metoder for konvertering av bølgeenergi til elektrisitet. ^[Omarbeidet etter 41]

4.4.1 Hydraulisk system

Hydrauliske omformere er ofte løsninger som er brukt for å omforme bølgeenergi til elektrisk. Hydrauliske systemer tåler ofte store trykk og har høye virkningsgrader. Et skjema for et hydraulisk krafttakssystem for bølgeenergikonvertering er avbildet i figur 4.24.

Systemet viser en bøye som er koblet til et stempel, som videre fører oljen hydraulisk system til en hydraulisk motor som skaper energi ved en generator. Systemet er lagt med akkumulatører for å jevne ut tilførselen av høy trykkvæske i systemet. ^[41]



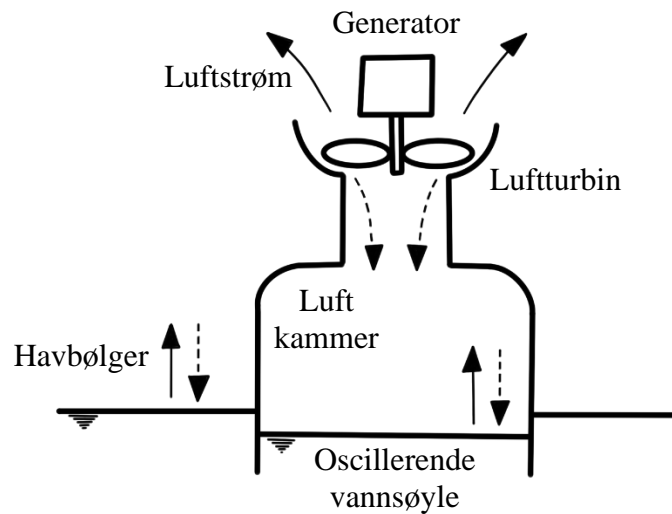
Figur 4.24 Eksempel på et hydraulisk kraftuttakssystem for bølgeenergikonvertering.
[Omarbeidet etter 41]

Det kan oppstå noen problemer ved bruk av hydrauliske systemer. Væskeinnholdet i hydrauliske system må håndteres med tanke på ytelse og miljøpåvirkning. Bruk av biologiske nedbrytbart transformatorolje kan være en løsning for å løse miljøproblemet.

Videre er hydrauliske system ofte sammensatt av mange bevegelige deler og flere tetninger. Tetningene rundt stempelen kan over tid slites og dette kan føre til vedlikeholdskostnader. ^[41]

4.4.2 Luftturbin

Luftturbiner er brukt for å konvertere bølgekraft til mekanisk kraft ved bruk av oscillerende vannsøyler, hvor vannet stiger og senker med regelmessige svingninger. Her styres en turbin mot det oscillerende luftrykket i et lukket kammer som kommer av en konsekvens av den oscillerende vannstanden, induisert av havbølgene. Hoved utfordringer ved slike systemer kommer fra vannstrømmens toveis natur noe som kan fikses med tilbakeslagsventiler for å rette opp luftstrømmen kombinert med en konvensjonell turbin. Men slike konfigurasjoner er kompliserte og har høye vedlikeholdskostnader. ^[41]

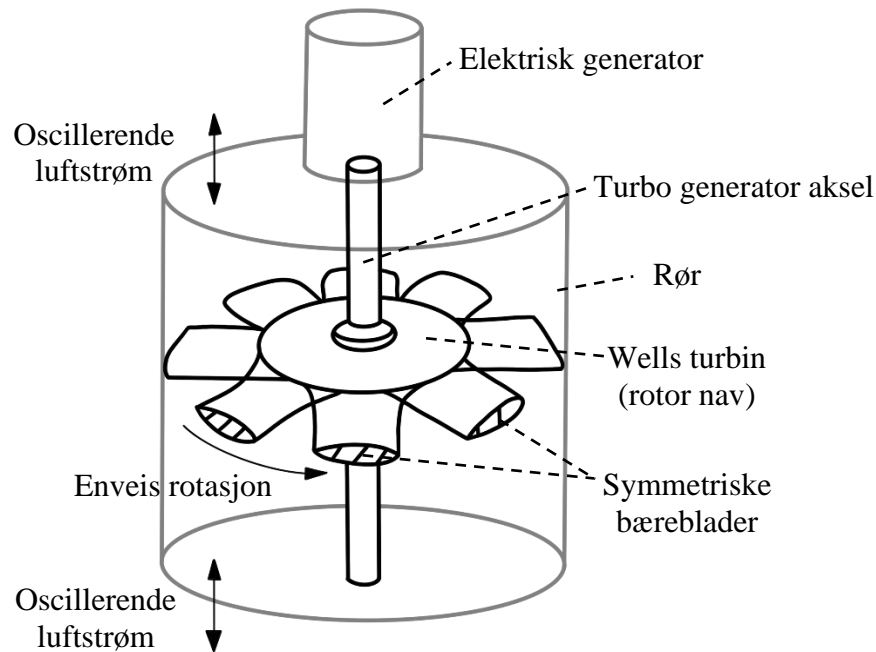


Figur 4.25 Skisse av en bølgeenergiomformer der en luftturbin brukes. ^[Omarbeidet etter 41]

En annen løsning for å fikse vannstrømmens toveis natur kan være ved å bruke en selvrettende luftturbin som konverterer en vekslende luftstrøm til en ensrettet rotasjon. I de siste 40 årene har det blitt foreslått flere typer selvkorrigerende turbiner. Nye systemer forsetter med å prøve å finne et effektivt og pålitelig kraftutakksystem oscillerende vannkraft.

Et av de første selvrettende turbينية var Wells turbin, oppkalt etter A.A.Wells. Den består av en symmetrisk motor sammensatt av mange aerofoil-blader plassert rundt et nav. Wells-turbinen er den enkleste av alle de selvkorrigerende turbينية og sannsynligvis det mest økonomiske alternativet for konvertering av bølgeenergi.

Den største ulempen med Wells-turbينية er at de ikke er selvstartende, for at rotoren skal begynne akselereres den av en ekstern energikilde.



Figur 4.26 Illustrasjon av en selvkorrigerende Wells-turbin. [Omarbeidet etter 41]

4.4.3 Hydroturbin

Hydroturbiner brukes i overtoppingssystemer, hvor hydrauliske pumpesystemer bruker sjøvann som væske. I systemet når vannet over en rampe som akkumuleres i et basseng, og dens potensielle energi omdannes ved hjelp av turbiner og generatorer. (figur 4.27)

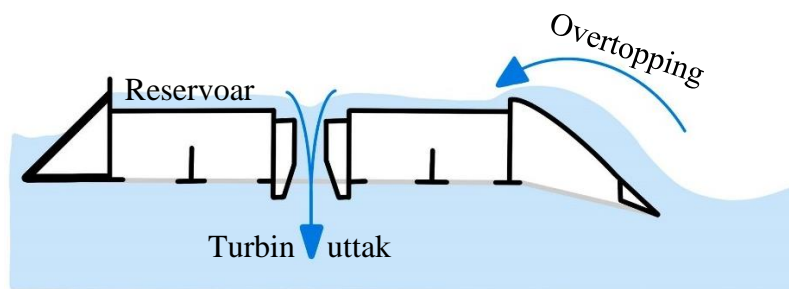


Fig. 4.27 Illustrasjon av en flytende overtoppende bølgeenergi omformer. [Omarbeidet etter 41]

Hydroturbiner har fordelen ved å være en moden teknologiform som har blitt brukt i mange tiår for kraftproduksjon. Slike systemer bruker ofte en Kaplan-turbin. En Kaplan-turbin er en reaksjonsturbin som består av et roterende element kalt en løper som ligger helt nedsenket i vann, innelukket i et trykk hus.

Turbinen er utstyrt med justerbare (eller faste) ledeskovler som regulerer vannstrømmen til turbinens løper. Bladene til løperen er også justerbare fra en nesten flat profil for lavt strømningsforhold til en sterkt skrånende profil for høyt strømningsforhold. Hydroturbiner kan

operere med effektivitet verdier på over 90%, krever minimalt vedlikehold, gir tilstrekkelig fallhøyde for vannet og kan være økonomiske. ^[41]

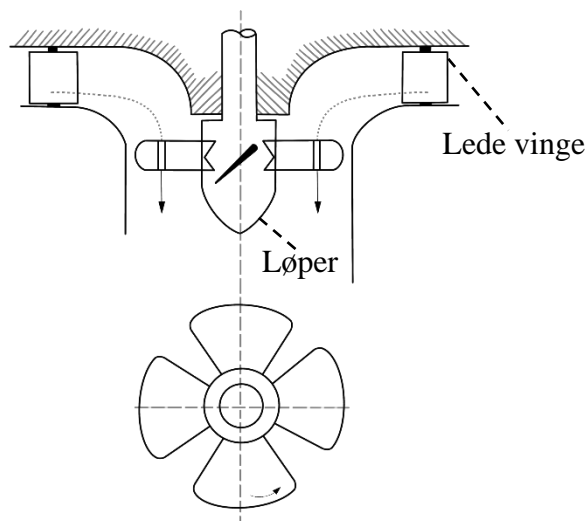
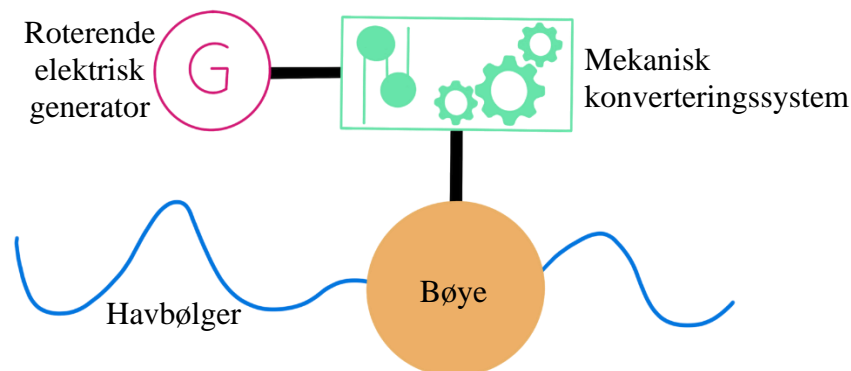


Fig. 4.28 Illustrasjon over et tverrsnitt av en Kaplan-turbin (øverst) og sett nedenfra av løperen (nederst). ^[Omarbeidet etter 41]

4.4.4 Fult mekanisk system

Et fult direkte mekanisk system oversetter den mekaniske effekten et oscillerende legeme utsettes for av bølger til elektrisitet ved hjelp av ekstra mekaniske systemer. Det mekaniske konverteringssystemet kan omfatte girkasse, trinser og kabler. Et svinghjul kan integreres i et rotasjonsbasert system for å samle opp eller frigjøre energi. ^[41]

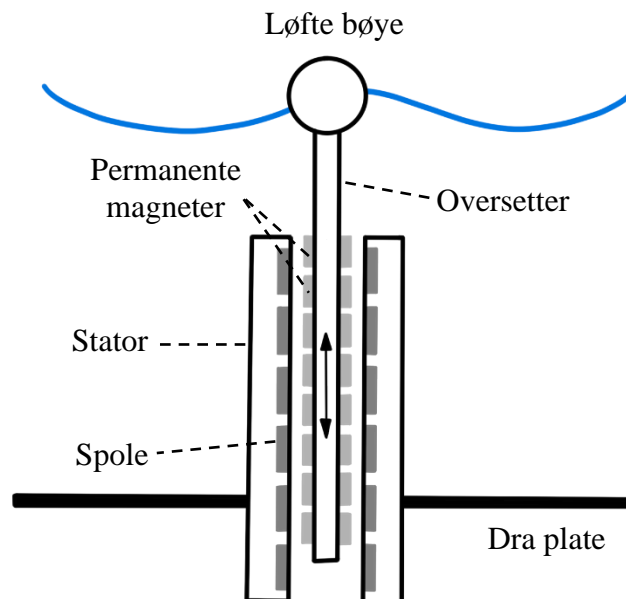


Figur 4.29 Illustrasjon av et direkte mekanisk drevet kraftuttakssystem. ^[Omarbeidet etter 41]

Fordelen med en slik type kraftsystem kan være at det kun er nødvendig med opptil tre type energiformer under konvertering for systemet, noe som kan resultere i høy effektivitet. Men et direkte mekanisk system kan gjennomgå utallige belastning sykluser, og påliteligheten til et slikt system kan være uvisst. ^[41]

4.4.5 Direkte elektrisk drivsystem

Et direkte elektrisk drevet kraftsystem er et system hvor den mekaniske energien fra bølger fanges opp og omformes direkte i en lineær generator. Utvikling av permanente magneter og framskritt innen kraftelektronikk har gjort en slik type system mer appellerende. I figur 4.30 vises en direkte elektrisk kraft uttakssystem. Systemet fungerer ved at en oversetter med vekslende polaritetsmagneter er montert til en bøye. Havbølger skaper en bevegelse i systemet i forhold til en relativ stasjonær stator utstyrt med spoler som induserer elektrisk strøm i statorene. ^[41]



Figur 4.30 Et skjema for et direkte lineært drivsystem for bølgeenergi konvertering. ^[Omarbeidet etter 41]

Siden bølgebevegelsene blir direkte omdannet til elektrisitet i kraftsystemet, er det nødvendig med omformer før nettkobling. Det vil også kreves nøye utforminger av monteringsstrukturen for å opprettholde fine luftspalter mellom oversetteren og statoren.

4.5 Elektrisk generering og energilagring

Omformingen og overføringen av bølgeenergien til elektrisk strøm fører en inn på et bredt og spesialisert fagområde. Her vil bare de viktigste hoved-elementene bli behandlet.

4.5.1 Generatorer

Elektrisitet kan skapes ved hjelp av en elektrisk generator også kalt en dynamo. Dette gjøres med en maskin som omformer kinetisk energi i form av rotasjonsenergi til elektrisitet. Dette gjøres ved at rotor og en stator beveger seg om hverandre som skaper elektromagnetisk induksjon.

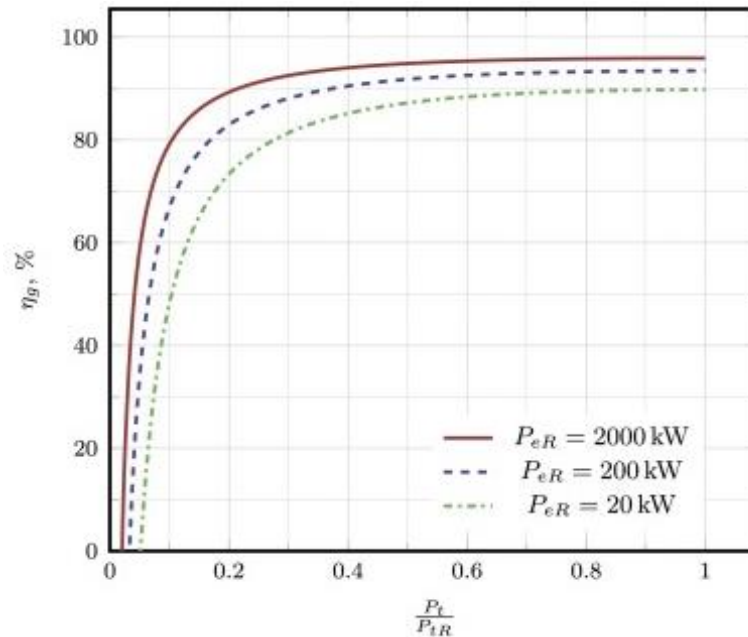
Det fins i hovedsak to hovedgrupper av generatorer: AC- og DC-generatorer. Disse to typene er hovedsakelig bygd opp på samme måte, med en spole som roterer mellom to magnetiske poler. Det som utgjør en forskjell på disse generatorene, er hvordan spolene er koblet til den eksisterende kretsen.

Tabell 4.1 Oversikt over tre forskjellige typer generatorer ^[53,54]:

Type generator	Egenskaper
Likestrøm (DC) generator	<p>En DC-generator eller en likestrøms-generator omformer mekanisk energi til likestrøm og kan videre elektrisitet til lagringsinstrumenter eller videre til strømmettet ved hjelp av omformere. Generatoren består hovedsakelig av en sirkelformet stator med poler som danner et magnetfelt rundt seg med en flere par. I midten av statoren er det en rotor med flere viklinger som er i kontakt med lamellene i en kommutator. Når rotorene roterer i forhold til statoren skapes elektromagnetisk induksjon. Videre gjennom kommutatoren ledes strømmen ut til strømkretsen.</p> <p>For å lade batterier trengs kreves det alltid likestrøm. Med en likestrøms-generator er det ikke nødvendig med noen form for konverter mellom generator og batterier.</p>
Vekselstrøm (AC) synkrongenerator	<p>En AC-synkrongenerator eller en vekselstrøm synkrongenerator er spenningsfrekvensen proporsjonal med motor turtallet. Dette tillater maskinen til å kunne fungere ved flere ulike turtall. Generatoren fungerer ved at det blir skapt et magnetisk felt fra rotorviklinger. Videre forsynes det sleperinger fra ytre spenningskilder. Frekvensen bestemmes av antall poler og geometrisk plassering av ankerviklinger.</p> <p>Synkrongeneratorer er de mest brukte generatorene. I store synkrongeneratorer trengs det turtalls- og spenningsregulering, slik at frekvensen og spenningen skal holde seg konstant. Ved små generatorer i mikrokraftverk er det ikke slike reguleringer. Dette bidrar til prisen lavt ved smågeneratorer.</p>

Ved bruk av generatorer er det noe tap. Virkningsgraden ved generatorer kan defineres som ^[55]:

$$\text{Virkningsgrad}(\eta) = \frac{\text{Effekt ut } (P_{ut})}{\text{Effekt inn } (P_{inn})}$$

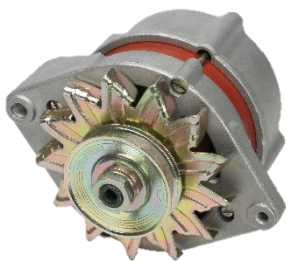


Figur 4.31 Viser virkningsgrader for generatorer. ^[55]

I dette prosjektet vil det benyttes en eksisterende generator som kjøpes inn.

4.5.2 Energilagring

For å lagre den elektriske energien generert av en generator/dynamo til et batteri eller videresending til strømmettet, må det brukes en strømomformer og transformator utefra behov. For testing av et lite system på 150-500 Watt, kan f.eks. enkle komponenter som vist ved figur 4.32-4.34 benyttes.



SEATRONIC
BÅTUTSTYR

Figur 4.32 Viser en enkel liten Dynamo fra Seatronic Båtutstyr. ^[56]



SEATRONIC
BÅTUTSTYR

Figur 4.33 Viser en enkel omformer (Sterling dynamo til batteri) fra Seatronic Båtutstyr. ^[57]



BILTEMA

Figur 4.34 Viser et enkelt bilbatteri som kan brukes for lagring av energi fra Biltema. ^[58]

4.5.3 Lagring av hydraulisk energi

Ved bruk av hydrauliske anlegg for energioverføring kan energien lagres ved ulike typer trykkolber, eller hydraulisk akkumulatører. Disse finnes i mange ulike varianter og størrelser, men har en væsketrykkside og en gasstrykkside som er skilt med en membran. Når det pumpes inn væske i akkumulatøren vil det kunne lagres et trykkoverskudd. Slike akkumulatører benyttes også for å jamne ut trykkipulser i hydrauliske anlegg og kalles ofte «vindkjeler» når de benyttes sammen med stempelpumper ol. i vannforsyning. En annen måte å lagre slik energi på er ved å etablere en trykksøyle eller bygge opp høydeenergi, slik man ser i vanntårn i kommunale vannforsyningsanlegg. ^[59,60]

4.5.4 Sikkerhet, elektrisitet og strømhåndtering

Konstruksjon:

For å opprettholde sikkerheten rundt vannkraftverket, er det viktig at både konstruksjonen og det elektroniske er driftssikkert og tåler de belastningene som det blir utsatt for. Ved konstruksjonen bør den dimensjoneres mot kraftigere bølger enn normalt tilfelle. I tillegg vil konstruksjonen dimensjoneres med en sikkerhetsfaktor for å ta høyde for unormaliteter i materialet, konstruksjonsforbindelser og ytre belastninger.

Elektrisitet og distribusjon:

Når generatoren produserer strøm, er dette strøm med lave spenninger. Strømmen sendes videre gjennom en strømomformer og transformator for å sette opp likt spenningsnivå som i kraftnettet. Strømmen bør videre sendes gjennom et sikkerhets system (sikring/bryter anlegg) som sørger for at koblingen mellom generatoren og kraftnettet blir brutt dersom det oppstår noe feil.

Den produserte elektriske strømmen kan håndteres på forskjellige måter. Den kan enten samles opp ved et batteri, brukes for drift av lokale elektriske apparater, eller sendes ut i strømmettet eller en kombinasjon av dette.

Lover og forskrifter

Ved designing av en slik type energianlegg som skal plasseres ved havet er det lønnsomt å ha et godt innblikk i krav om regelverk. Her er det viktig å ha innblikk i maskinforskriften, elforskriften, forskrift om maritime strømhåndtering, og forskrifter om prosjektering av stålkonstruksjoner (Eurokode 3).

5 PRODUKTSPEISIFISERING

Dette kapitlet fastsetter mål, viktige krav og egenskaper for produktet. Spesifiseringene bør samtidig tilfredsstille viktige produktønsker og preferanser som en har som kunde og bruker. Dette setter et utgangspunkt for videre konseptgenerering.

5.1 Produktmålsetting

Produktmålsettingen skal kunne gjenspeile kundens behov/ og krav, og viktige sider av produktets hovedegenskaper (Customer's needs)

5.1.1 Hovedmål

«Hovedmålet for produktet er å produsere lokal strøm, gjennom å fange bølgeenergi på en mest mulig effektiv måte. Produktet skal være brukervennlig, driftssikkert og teknisk ukomplisert. Det skal være av høy kvalitet og robust for å sikre lang levetid, minimalt vedlikehold og reparasjon»

5.1.2 Delmål/fokuspunkter

Nedenfor listes kort tematiske hovedaspekter som må vurderes for å kunne oppfylle produktmålet på en best mulig måte:

- ✓ **Konstruksjonsmål:** Teknisk ukomplisert med muligheter for bruk av standardkomponenter og lite krav til spesialkonstruksjon.
- ✓ **Brukermål:** Brukervennlig, kan tilpasses eksisterende løsninger, lett å komme til, sikkert med hensyn til installasjon og vedlikehold
- ✓ **Design mål:** Estetisk kunne gli godt inn i miljøet, ikke virke skjemmende og og ikke forstyrre lokalområde med for mye støy.
- ✓ **Økonomiske mål:** Lett å produsere, enkelt å tilpasse og kunne tilby eksisterende produsenter med, ha minimalt med vedlikehold og reparasjoner. Ha gode dimensjoner og ytelser (kW). Være lett å produsere og bruke eksisterende deler hvor det er mulig.

5.2 Rangering av viktige produktegenskaper

Det stilles krav til bølgekraftverkets produktegenskaper, som har bakgrunn i produktmålene. Hver egenskap vektet med Pugh's metodikk (jfr. delkapittel 3.2.1), og vektet med en poengskala fra 1 til 5.



Figur 5.1 Skala for vekting av produktegenskaper.

Videre presenteres vektingen, med krav, vekting og begrunnelse i tabell 5.1 under.

Tabell 5.1 Vektingskriterier rangert fra 1 til 5:

Egenskaper	Viktighet	Merknad
Funksjonelle egenskaper	5	Viktigste med produktet er at den leverer energi, for dette er hovedgrunnene for produktet.
Kompleksitet (Enkelhet)	4	Viktig med enkelhet for dette går utover kost, installasjon, bruk og vedlikehold.
Utseende/design	2	Utseende er mindre viktig, siden funksjonaliteten i hovedfokus for produktet
Bruk	5	Produktet skal kunne levere energi mesteparten av tiden og ikke være ineffektivt/vanskelig å bruke.
Sikkerhet	5	Det er ikke noe ønskelig at mekanismen skal kunne stå for noen form for persons eller andre materiell skader.
Robusthet	4	Mekanismen skal tåle de påkjenningene som kommer fra vær og vind, samt havet.
Vedlikehold	3	Det er viktig med vedlikehold, men ved starten er funksjonaliteten et viktigere kriteriet.
Kostnader/Pris	3	Det er viktig å få laget et produkt som er av rimelig pris.
Miljø	3	Det er viktig at mekanismen ikke er i veien for nærmiljø, eller slipper ut noe forurensning til nærmiljøet.
Mulighet for multitolpassing	4	Være mulig å installere på flere brygger ved hverandre og koble sammen.

5.3 Metriske grensespesifikasjoner, variasjonsbredde

Det settes tydelige metriske grensespesifikasjoner med toleranser, for å tidlig danne et utgangspunkt for videre design- og konseptutvikling. Toleransene indikerer metriske mål og spesifikasjoner som bølgekraftverket skal holde seg innenfor. Inspirasjonen for målsetningene hentes fra Research, teoriutredningen og produktmålsettingene. Alle målene tar utgangspunkt i at det blir brukt en forankret flytebrygge for kraftverket.

Tabell 5.2 Metriske grensespesifikasjoner:

Egenskap	Minste	Middel	Største/maks
Elektrisk effekt	1 kW	5 kW	15 kW
Bølgehøyde	0,1	0,5	1,5 m
Dybde, vaierlengde	1,5	5 m	12,5 m
Brygge, bredde	1 m	1,5	2,5 m
Brygge, lengde	1 m	1,5	2,5 m
Dybde, total bevegelse	-	-	3.0 m

5.4 Metriske grovspesifisering for produkttypen

Det blir gjort tidlige estimerte metriske grovspesifikasjoner for produktet, som gir en indikasjon på hvor stort produktet skal bli. Målene danner et grunnlag for videre design- og utviklingsarbeid. Grovspesifikasjonen ligger innenfor område oppgitt i tabell 5.2 under delkapittel 5.3 metriske grensespesifikasjoner.

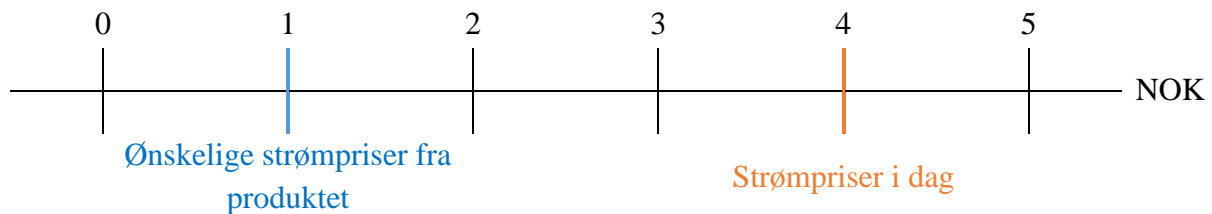
Tabell 5.3 Grov dimensjonsvalg for videre arbeid:

Egenskap	Grov valg
Elektrisk effekt	5 kW
Bølgehøyde	0,5
Dybde, vaierlengde	5 m
Brygge, bredde	1,5 m
Brygg, lengde	1,5 m
Dekkdybde, belastet	3,0 m

5.5 Tidlige kostnadsvurderinger

Før konseptgenerering er det fint med å avlegge et tidlig kostnadsestimert for en slik type produkt. For konseptet skal kunne konkurrere med andre energimetoder, for. eks et 5 kW dieselaggregat eller eventuelt hovedstrømnettet må konseptet kunne koste mindre enn slike metoder. En allmenn bruker som ikke har tilgang til strøm (på eksempelvis en hytte) vil kunne bruke et 5 kW dieselaggregat som kan koste opp mot 10 000 kr pluss drivstoff kostnader. (Et dieselaggregat fra Bauhaus koster 9129 kr ^[61]).

Ønskelig energipris fra anlegget, i kW/h kan vurderes ut fra det som skjer med elektrisitetspriser i Norge (og i noen grad i EU med tanke på fremtiden). Elektrisitets prisene ligger for tiden rundt 4 kr, og blir stadig dyrere. Det vil her være ønskelig om bølgekraftverket kan levere rimeligere enn dette og forhåpentligvis også mindre enn 1 kr prisleie etter serieproduksjon.



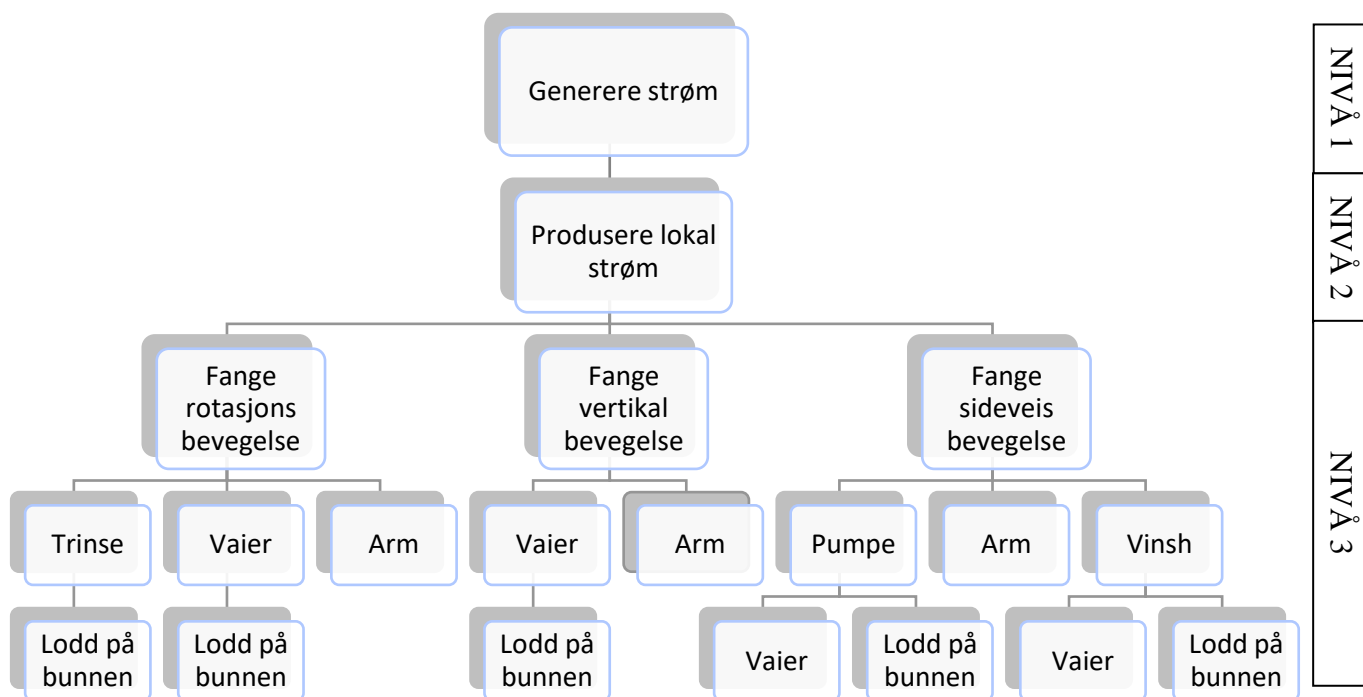
Figur 5.2 Viser skala for hvor strømprisene ligger i dag og hva som er ønskelige strømpriser for produktet.

6 KONSEPTGENERERING

I dette kapitlet skal konseptet utvikles gjennom funksjonsanalyser og vurderinger av forskjellige løsninger på hovedkomponenter og funksjoner. Ved hjelp av en funksjonsanalyse kartlegges elementer som er nødvendige for hovedmålet.

6.1 Overordnet funksjonsanalyse for produkttypen

En funksjonsanalyse tar utgangspunkt i funksjonelle sider (virkemåter og prinsipper) i hovedmålet for produktet og viser hva som skal gjøres (Nivå 1), Hvorfor det skal gjøres (Nivå 2) og hvordan det skal gjøres (Nivå 3). Under Nivå 3 inngår hvilke elementer som kan være med for at produktet kan fungere.



Figur 6.1 Analyse av funksjonene i bølgekraftverket.

6.2 Tidligutvikling av grove systemskisser

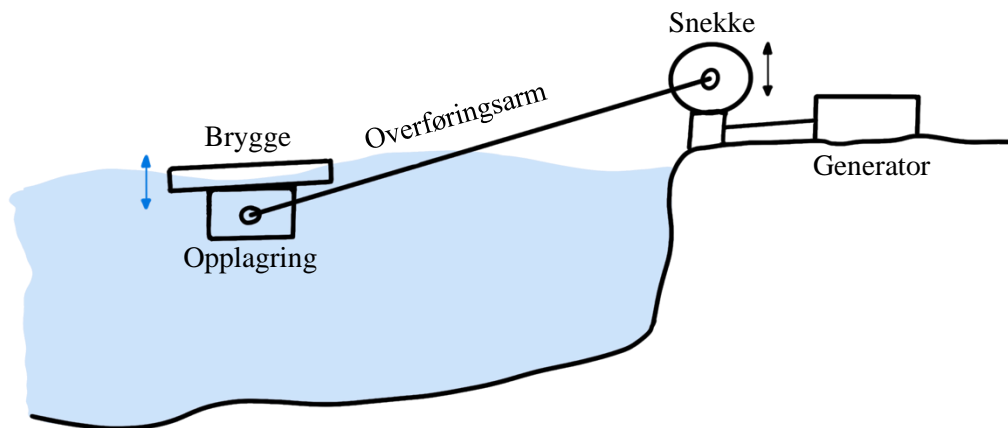
For å fange lokalbølgeenergi er dette mulig på hovedsakelig to forskjellige måter. Enten ved å bruke et fullt mekaniske anlegg, eller ved å bruke et hydraulisk anlegg. Begge kan fungere og bruker samme prinsipper for å fungere. Men forskjellen er på hvordan kraften overføres til elektrisk energi.

6.2.1 Mekanisk anlegg

Ved mekaniske anlegg er det noen forskjellige løsninger som kan brukes. De mest gunstige løsningene ved et mekanisk anlegg vil være en momentarms løsning eller en trommel med vinsj.

Momentarm til land:

Med en momentarm fra en brygge direkte til land kan kraftoverføringen fanges med en arm som brukes til å skape et moment ved en snekke med vendende gir, som videre kan kobles til en generator.

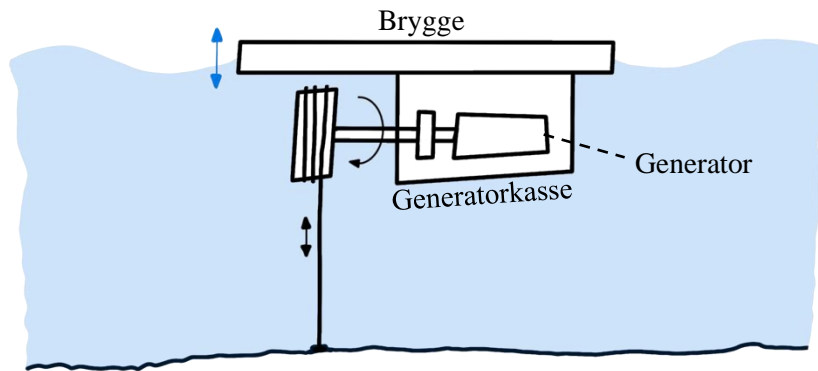


Figur 6.2 Viser en illustrasjon av en mekanisme med momentarm

Trommel med vinsj:

Det kan være mulig å innhente energi fra en trommel med en vinsj som er festet inni en generator kasse under en brygge. Om vinsjen samt vaieren festes ved havbunnen vil trommelen spinne inn og ut ved bryggens opp og ned gående bevegelser. Systemet kan videre kobles til en generator som kan skape strøm.

Her kan det være mulig å ha generatoren på over siden av bryggen og overføre kraften fra trommelen via et kjede. Ved lave turtall ved trommelen er det her også mulig å veksle opp turtallet med gir. NB! Kan være viktig å tenke på tyngdepunktet i en slik type system, siden balansen kan få tyngden til å vippe.



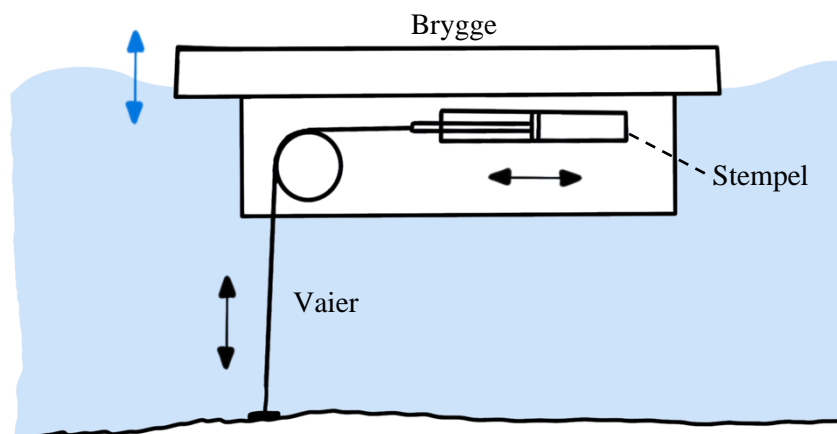
Figur 6.3 Viser en illustrasjon av en mekanisk mekanisme med trommel og vinsj.

6.2.2 Hydrauliske anlegg

Ved bruk av et hydraulisk anlegg kan dette føre til større virkningsgrader og med trykk overføring gjennom hydraulikkslanger mulighet til å ha generatoren på land. Her kan det utarbeidet masse forskjellige løsninger. Noen slike løsninger kan være, en vaier med et stempel, en trommel med en tannhjulspumpe, momentarm med et stempel eller en momentarm med flere stempler.

Vaier og et stempel:

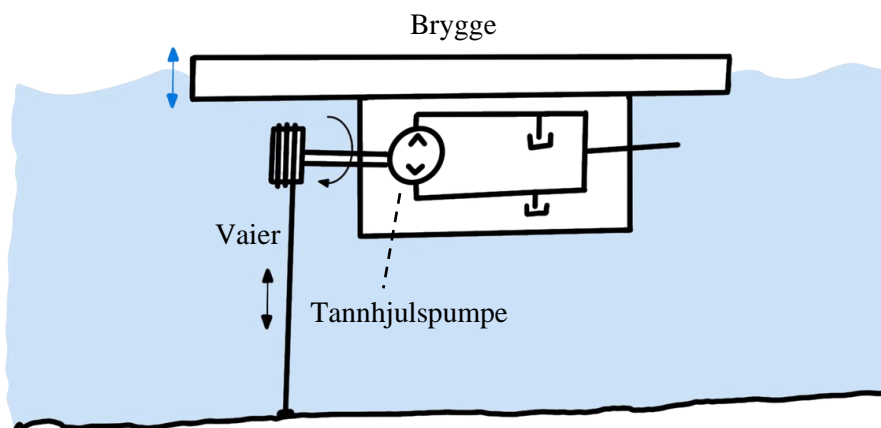
Ved å feste en vaier til havbunnen videre til et stempel som er festet under en flytebrygge, vil vaieren bli dratt inn og ut av et stempel samtidig som flytebryggen går opp og ned. Ved bruk av stempel kan dette være et enkelt system som fører til stor virkningsgrad



Figur 6.4 Viser en illustrasjon av et hydraulisk anlegg med en vaier og et stempel.

Trommel med en tannhjulspumpe:

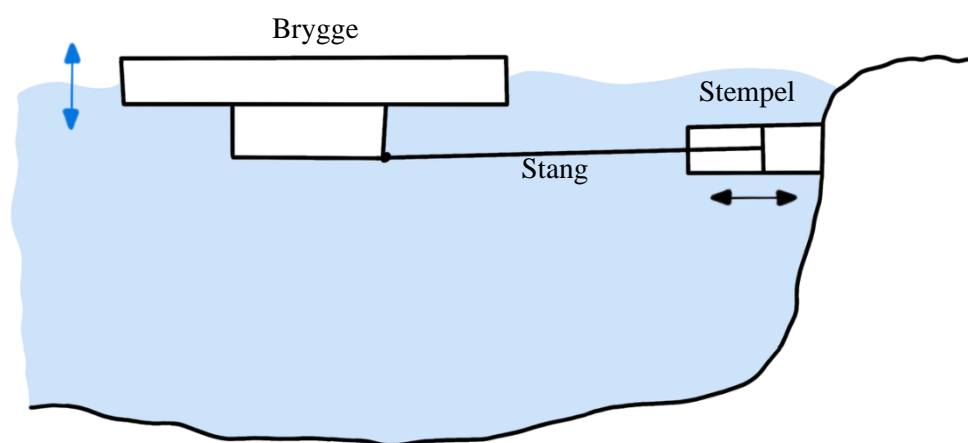
Ved å feste en vaier/vinsj til havbunnen og videre inn til en trommel, kan rotasjonen fra trommelen drive en hydraulisk pumpe, eller en tannhjulspumpe som kan levere olje begge veier vekselvis. Her må det legges inn vekselventiler for at pumpen skal kunne pumpe vekselvis. Systemet er relativt enkelt.



Figur 6.5 Viser en illustrasjon av et hydraulisk anlegg med trommel og hydraulisk pumpe.

Momentarm med et stempel:

Ved å feste en momentarm til en flottør på en brygge og videre til opplagringen til et stempel på land, kan bryggens opp og ned gående bevegelse dytte en sylinderpumpe på land inn og ut. Dette er et enkelt system, men det er ikke sikkert momentarmen kan skape nokk moment for å dytte på stempelet helt inn og ut.

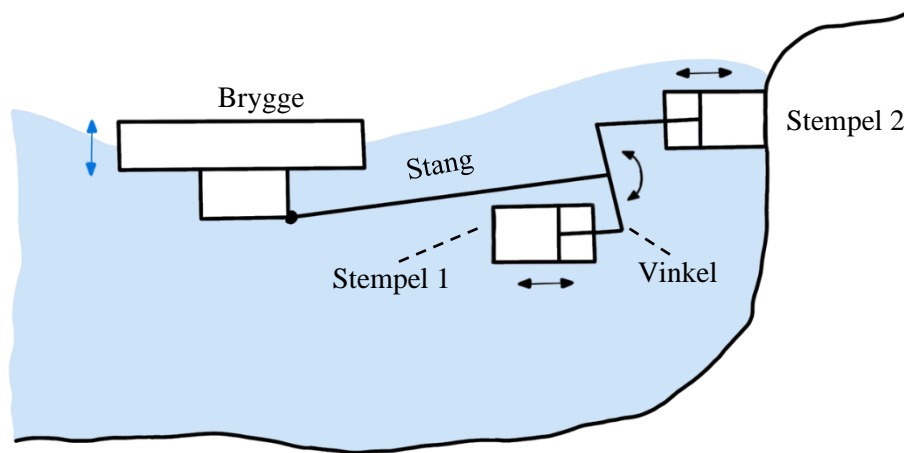


Figur 6.6 Viser en illustrasjon av et hydraulisk anlegg med momentarm og et stempel.

Momentarm med to enkeltvirkende stempler:

På samme måte som et enkeltvirkende stempel, er det mulig å bruke to enkeltvirkende stempler. Ved å bruke momentet til en lang arm vertikalt festet til en liten arm nærme land, kan dette skape en vinkel på den lille armen, dette kan skape nokk moment til å dytte på to forskjellige

stempler inn og ut, når bryggen går opp og ned. De to enkeltvirkende stemplene vil ta opp trykk vekselvis ved opp og nedgående bevegelse. Her kan armen som sørger for overføring av bevegelse opplagres høyere på flytebryggen og være en del av den bevegelige moloen eller gangbroen, og opplagringen kan også festes lengre ned under havet. Et slikt system må forankres rundt vippepunktet.



Figur 6.7 Viser en illustrasjon av et hydraulisk anlegg med momentarm og to stempler

6.3 Drøfting av funksjonsalternativer med skisser

Tabell 6.1 Oversikt over mekaniske anleggsalternativer:

Systemtype	Skisse	Fordeler	Ulemper
S1: Mekanisk med momentarm til land		En enkel konstruksjon. Kan settes under eksisterende flytebrygger, samt ikke være i veien om alt er under vann.	Snu bevegelser opp og ned kan være vanskelig å jobbe med og vil kreve retningsvendere.
S2: Mekanisk med vinsj		Kan settes på eksisterende flytebrygger og bruke deres opp og ned gående bevegelse til å spinne på en vinsj. Systemkonstruksjonen kan plasseres på samme sted, med et enkelt feste på havbunnen.	Kan være et veldig komplekst og føre til problemer hvor generator boks må være under vann og trenge en undervannsgenerator kasse. Systemet kan bli noe tungt.

Tabell 6.1 Forts.

Systemtype	Skisse	Fordeler	Ulemper
S3: Mekanisk med vinsj på havbunnen		Enkel mekanisme med alt liggende på havbunnen med et enkelt feste på en brygge. Vil ikke føre til noe ekstra vekt på bryggen, utenom drag kreftene fra vinsjen.	Kan være vanskelig å installere systemet. Kan være vanskelig å vedlikeholde vinsjen på havbunnen og det kan være fare for begroing.
S4: Mekanisk med momentarm og vinsj		Enkel konstruksjon, hvor generator kan settes på land.	Kan hende momentet fra armen ikke er stort nok til å skape nokk kraft.

Tabell 6.2 Oversikt over hydrauliske anleggsalternativer:

Systemtype	Skisse	Fordeler	Ulemper
S5: Hydraulisk med stempel		Et enkelt system med høy virkningsgrad, hvor generator og maskinrom kan være på land ved bruk av hydraulikk slanger.	Gir bare kraft ved oppgående bevegelse.
S6: Hydraulisk med arm og stempel		Enkelt system som gir kraft ved både opp og nedgående bevegelse og hvor motorrom kan være på land. Små stempler kan ha høy virkningsgrad.	Kan være noe komplekst og vanskelig med lang arm til en brygge. Kan hende momentarmen ikke skaper nokk moment for å skape nokk trykk på et stempel

Tabell 6.2 Forts.

Systemtype	Skisse	Fordeler	Ulemper
S7: Hydraulisk med to momentarm og to stempler		Ved å bruke momentarm til å skape en vinkel på en mindre momentarm kan skape nokk trykkrefter til å dytte på flere stempler og det kan være mulig å få ut kraft fra bryggens opp og ned gående bevegelse. Systemet kan produseres relativt billig.	Kan være vanskelig å jobbe med små vinkler og det kan hende det ikke er nokk momentkraft til å drifte stemplene for å skape nokk kraft.
S8: Hydraulisk med pumpe		Gir kraft ved både opp og ned gående bevegelser. Relativt enkelt og høy virkningsgrad.	Et mer komplisert, trolig dyrere system enn bruk av enkle stempler.

Tabell 6.3 Brygge typer:

Brygge type	Skisse	Fordeler	Ulemper
B1: Fastmonterte brygger		Brygge kan brukes som opplager til mekanismer for å hente ut energi. Mekanismen vekt går ikke utover bryggens tyngdepunkt.	Bevegelse fra bryggen kan ikke benyttes til å høste inn energi. Systemer som festes på utsiden av bryggen kan være i veien for bryggens tilsiktede bruk.
B2: Flytende, men frittstående		Kan brukes til å høste inn energi fra bryggens opp og ned gående bevegelse.	En brygge type som er relativt lite brukt og kan være mindre relevant. Det kan være vanskelig å frakte energien til land grunnet bryggen er frittstående.

Tabell 6.3 Forts.

Brygge type	Skisse	Fordeler	Ulemper
B3: Flytende, men forankret		En bryggetype som eksisterer i mange serieproduserte varianter. Det kan være mulig å bruke bryggens opp og nedover gående bevegelse i havet til å høste energi.	Må passe på vekten til mekanismen som går utover oppdriftskreftene til bryggen.

Tabell 6.4 Tyngdepunkts plassering på en flytebrygge:

Tyngdepunkt	Skisse	Fordeler	Ulemper
T1: Integrrert festing med tyngdepunkt i senter		Påvirker tyngdepunktet til bryggen minimalt og forebygger tipping av bryggen.	Kan være vanskelig å plassere alt på midten ved forskjellige løsninger. Kan føre til at man ikke får ut like mye energi pga. kort arm.
T2: Tyngdepunkt på kanten		Kan få hentet ut maksimalt med krefter pga. lang arm og kan være den eneste løsningen ved bruk av en forankret flytebrygge.	Tyngdepunktet til bryggen får all påkjenning på en side, som kan føre til at bryggen kan vippe.

Tabell 6.5 Plassering av motorrom:

Motorplassering	Skisse	Fordeler	Ulemper
M1: Senket motorrom under bryggen		Ved å ha motorrommet på undersiden av bryggen vil all mekanikk være i nærheten av hverandre.	Her kan det være fare for vannlekkasje inn til det elektriske og det kan være vanskelig og vedlikeholde et motorrom under vann.

Tabell 6.5 Forts.

Motorplassering	Skisse	Fordeler	Ulemper
M2: Motorrom oppå bryggen		Alt er i nærheten av hverandre med relativ liten distanse fra energien som blir skapt under bryggen til motorrommet. Mindre fare for vannlekkasje.	Ved å ha motorrommet over bryggen kan dette skade tyngdepunktet til bryggen, og føre til fare for vipping.
M3: Motorrom på land		Enkelt å montere og vedlikeholde.	Større avstand ved kraftoverføringen før den blir til elektrisitet.

Tabell 6.6 Oversikt over ulike kraftoverføringsprinsipper (kraft til moment):

Kraftoverførings type	Skisse	Fordeler	Ulemper
Mekanisk kraftoverføring			
K1: Momentarm		Kan settes under eksisterende flytebrygger.	Kan hende den ikke skaper nok moment for å produsere noe elektrisitet. Det kan være fare for at krefter kan bøye momentarmen og systemet bli tungt.
K2: Vaier og trommel		Direkte kraft fra bølger til elektrisk.	Mekanisme under vann kan føre til problematikk. Systemet kan bli tungt og det kan være fare for begroing.
Hydraulisk kraftoverføring			
K3: Stempel, enkeltvikende		Større virkningsgrad enn mekaniske løsninger.	Gir ulikt trykk på grunn av at den ene siden inneholder stempel, og får kun brukt enten opp eller nedover gående bevegelse.

Tabell 6.6 Forts.

Kraftoverførings type	Skisse	Fordeler	Ulemper
Mekanisk kraftoverføring			
K4: Senterbalansert stempel		Gir samme trykk fra begge sider, er symmetrisk. Kan få ut energi fra opp og ned gående bevegelse fra bryggen.	Blir gjerne større og veier mer enn enkeltvirkende stempler. Disse stemplene koster også noe mer.
K5: To enkeltvirkende stempler		Koster mindre enn senterbalanserte stempler. Kan få ut energi fra opp og ned gående bevegelse fra bryggen.	Kan være noen konstruksjonsutfordringer.
K6: System med stempler og giring		Ved å bruke et giringsystem kan det være mulig å gire opp til et turtall som skaper nokk moment for å produsere energi.	Kan være større usikkerhet ved å bruke gir. Samt flere mekanismer.
K7: Hydraulisk pumpe/motor, med en dreieretning		Kan være enkel, rimelig, og små dimensjoner i forhold til ytelser.	Kan kun uthente energi en vei.
K8: Hydraulisk pumpe/motor, med to dreieretninger		Systemet er symmetrisk. Får energi begge veier.	Krever snekke for å få en dreiretning inn på generator.

7 EGENSCREENING OG KONSEPTVALG

Under dette kapitlet vil løsningsalternativene screenes gjennom kriterium og vektninger basert på Pugh's metodikk med styrt konvergens. Alternativer karaktersettes, og med vektninger avgjøres hvilke løsninger som best svarer produktmålene.

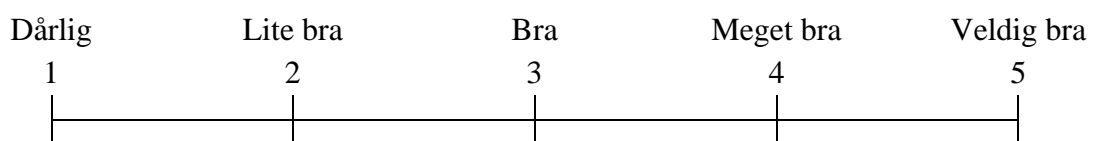
7.1 Utvikling av seleksjonsmatrise

Ved bruk av Pugh's metodikk (jfr. delkapittel 3.2.1 ledd b side 31) og poengskalaen fra delkapittel 5.2 (tabell 5.1 side 54), utformes seleksjonsmatriser for hver av løsningene, hvor alle alternativer listes. Produktegenskapenes vektning baserer seg på viktigheten ved hver av løsningene. Sammen med karakter-setting avgjøres hvilke alternativer som svarer best til ønskede produktegenskaper.

Begge skalaene går på et poengsystem fra 1 til 5. Her får vi 2 skalaer: «Produktegenskaps-skalaen» og «skalaen for hvor godt en løsning eller konsept svarer til kriteriene». Etter poengsum er satt vil poengsum fra hvert kriterium multipliseres sammen og til slutt alle kriteriet poengene til en løsning summeres.



Figur 7.1 Viser skala for vektning av kriterier



Figur 7.2 Viser skala for hvor godt en løsning eller konsept svarer til kriteriene.

7.2 Egenscreening av løsningsalternativer

Først screenes alle systemalternativene (tabell 7.1) i tabell 7.2 for å finne best mulig systemløsning.

Tabell 7.1 Enkel visning av systemtypene fra tabell 6.1:

S1:	S2:	S3:	S4:
Mekanisk med arm til land	Mekanisk med vinsj	Mekanisk med vinsj på havbunnen	Mekanisk med momentarm og vinsj
S5:	S6:	S7:	S8:
Hydraulisk med stempel	Hydraulisk med arm og stempel	Hydraulisk med arm og to stempler	Hydraulisk med pumpe

Tabell 7.2 Seleksjonsmatrise for systemtypene fra tabell 7.1:

Systemtyper med ranking									
Kriterium	Vekting	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
Funksjonelle egenskaper	5	4	4	3	3	3	4	5	3
Kompleksitet (Enkelhet)	4	4	3	3	2	3	3	4	2
Utseende/design	2	3	2	3	3	3	3	3	2
Bruk	5	3	2	2	3	3	3	3	2
Sikkerhet	5	3	2	2	3	3	3	3	3
Robusthet	4	2	2	2	2	3	3	3	2
Vedlikehold	3	2	2	2	2	3	3	3	2
Kostnader/Pris	3	3	2	2	3	3	3	3	2
Miljø	3	3	3	3	3	3	3	3	2
Mulighet for multitylpassing	4	2	3	3	3	3	4	4	3
Sum		112	97	94	103	114	123	132	90

Løsningen som kommer best ut fra denne vektningsevalueringen er Løsning S7: Hydraulisk system med momentarm og to stempler. Dette grunnet høy virkningsgrad, og større mulighet for bruk av momentkrefter enn ved S6.

Videre screenes alle kraftoverføringsformene fra tabell 7.3 i tabell 7.4, for å finne best effektgenererings løsning.

Tabell 7.3 Enkel visning av kraftoverføringsformene fra tabell 6.6:

K1:	K2:	K3:	K4:
Momentarm	Vaier og trommel	Stempel, enkeltvikende	Senterbalansert stempel
K5:	K6:	K7:	K8:
To enkeltvirkende stempler	System med stempler og giring	Hydraulisk motor, med en dreieretning	Hydraulisk motor, m/ to dreieretninger


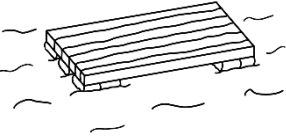
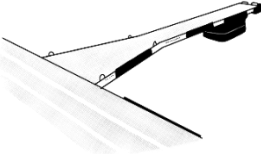
Tabell 7.4 Seleksjonsmatrise for kraftoverføringsprinsipper:

Kraftoverføring med ranking									
Kriterium	Vekting	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
Funksjonelle egenskaper	5	4	4	4	4	5	5	4	4
Kompleksitet (Enkelhet)	4	4	3	4	3	4	3	3	3
Utseende/design	2	2	2	3	3	3	3	3	3
Bruk	5	3	2	3	3	3	3	3	3
Sikkerhet	5	2	2	3	3	3	3	3	3
Robusthet	4	2	2	3	3	3	3	3	3
Vedlikehold	3	2	2	3	3	3	3	3	3
Kostnader/Pris	3	2	2	3	3	3	3	3	3
Miljø	3	2	2	3	3	3	3	3	3
Mulighet for multitylpassing	4	2	3	4	4	4	4	4	4
Sum		99	94	127	123	132	128	123	123

Kraftoverføringsprinsippet som kommer best ut er løsning K5: To enkeltvirkende stempler. Her vil det være høy virkningsgrad og lave kostnader.

Det screenes for beste mulig brygge type fra tabell 7.5 i tabell 7.6.

Tabell 7.5 Enkel visning av bryggetyper fra tabell 6.3:

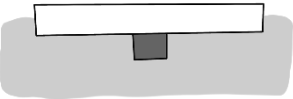

B1:	B2:	B3:
Fastmonterte brygger	Flytende, men frittstående	Flytende, men forankret
		

Tabell 7.6 Seleksjonsmatrise for aktuelle flytebryggetyper:

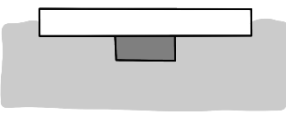
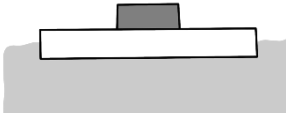

Flytebryggetyper med ranking				
Kriterium	Vekting	B1	B2	B3
Funksjonelle egenskaper	5	3	4	4
Kompleksitet (Enkelhet)	4	3	3	3
Utseende/design	2	3	3	3
Bruk	5	3	2	4
Sikkerhet	5	3	3	3
Robusthet	4	3	3	3
Vedlikehold	3	3	3	3
Kostnader/Pris	3	3	3	3
Miljø	3	3	3	3
Mulighet for multitolpassing	4	3	2	4
Sum		114	110	128

Beste bryggetype løsningen for produktet vil være løsning B3: Forankrede brygger. Her kan oppdriftskreftene til bryggen brukes til å skape energi, og det er mulig å frakte energien via kabler på undersiden av bryggen.

Tabell 7.7 Enkel visning av Tyngdepunkt alternativer fra tabell 6.4:

T1:	T2:
Tyngdepunkt i senter	Tyngdepunkt på kanten
	

Tabell 7.8 Enkel visning av motorromsplassering fra tabell 6.5:

M1:	M2:	M3:
Motorrom under bryggen	Motorrom oppå bryggen	Motorrom på land
		

Tabell 7.9 Seleksjonsmatrise for aktuelt tyngdepunkt og motorplassering:

Tyngdepunkt og motorplassering med ranking						
Kriterium	Vekting	T1	T2	M1	M2	M3
Funksjonelle egenskaper	5	4	3	3	4	5
Kompleksitet (Enkelhet)	4	4	3	3	4	5
Utseende/design	2	3	3	4	3	3
Bruk	5	4	4	3	4	4
Sikkerhet	5	4	4	2	3	3
Robusthet	4	3	3	3	4	4
Vedlikehold	3	3	3	2	4	5
Kostnader/Pris	3	3	3	3	3	3
Miljø	3	3	3	3	3	3
Mulighet for multitolpassing	4	4	4	2	3	4
Sum		137	128	104	135	151

Det er best å ha tyngdepunktet mest mulig i midten, men å anvende dette kommer veldig an på løsning- og brygge alternativer. Videre kommer det frem at det er best med å en løsning hvor motorrommet er på land. Men dette må utarbeides med løsningsalternativene.

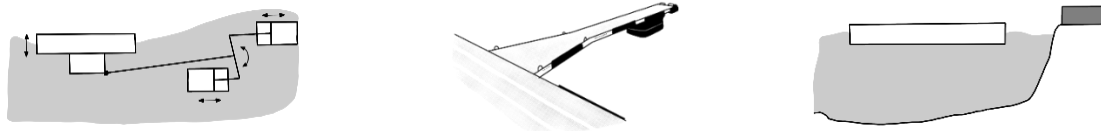
7.3 Foretrukne systemløsnings- og estetikkalternativer

Systemalternativene som er egen-screenet så langt gir et sammensatt løsningsvalg som til slutt også vurderes litt beredere før siste valgene gjøres.

7.3.1 Tidligbeskrivelse av hoved løsning

Gjennom egenscreening har det blitt valgt en systemtype og forskjellige løsningsalternativer. Disse vil bli jobbet med videre for å skape et fullstendig produkt. Det som har blitt valgt er:

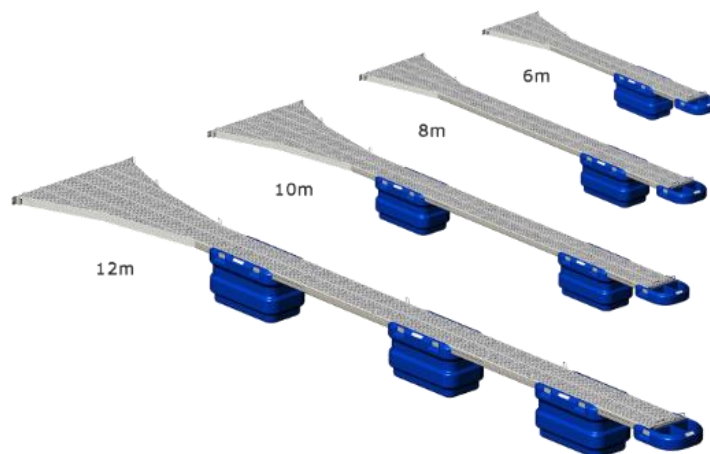
- Systemvalg: Hydraulisk system med momentarm og to stempler.
- Kraftoverføring: To enkeltvirkende stempler.
- Bryggetype: Forankrede flytebrygge.
- Ønskelig tyngdepunkt: Mest mulig i midten.
- Motorroms plassering: På land.



Figur 7.3 Oppsummering av løsningsvalg før videre detaljering: a) Kraftoveføring, b) Bryggetype, c) Plassering av motorrom.

7.3.2 Valg av flytebrygger

Ved valg av forankrede flytebrygger fins det mange forskjellige produsenter og størrelser for forskjellige utriggere. Velger her å se nærmere på bruk av TriaMarinas sidefendere på 6 meter. (figur 7.4)



Figur 7.4 TriaMarinas sidefendere. ^[11,V4]

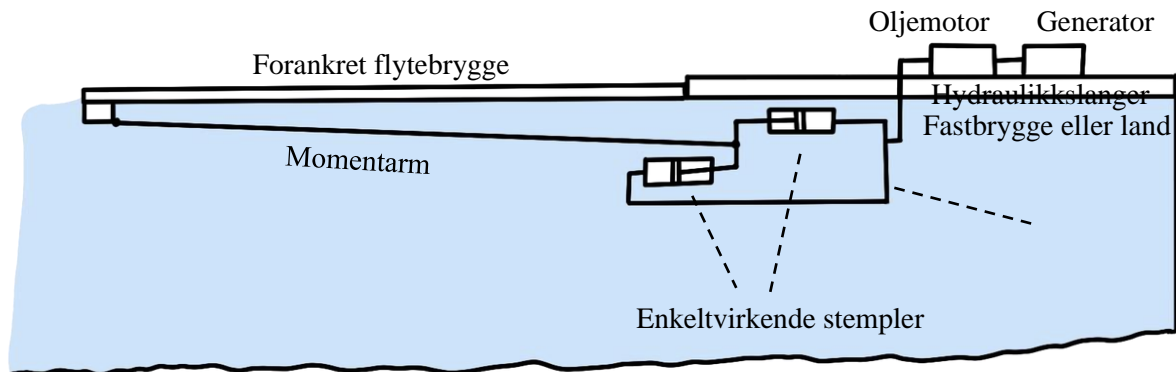
Tabell 7.10 TriaMarinas sidefendere ^[11,V4]

Lengde	Bredde	Egenvekt	Oppdriftsv.	Belast. (pers. = 80kg)	Båtstørrelse
6 meter	0,6m	258 kg	580 liter	3 pers.	17' – 24'
8 meter	0,6m	316 kg	580 liter	3 pers.	24' – 31'
10 meter	0,6m	475 kg	1160 liter	4 pers.	31' – 36'
12 meter	0,6m	673 kg	1740 liter	5 pers.	36' – 42'

7.3.3 Videre systemutforming

a) Alternativ med langsgående stag:

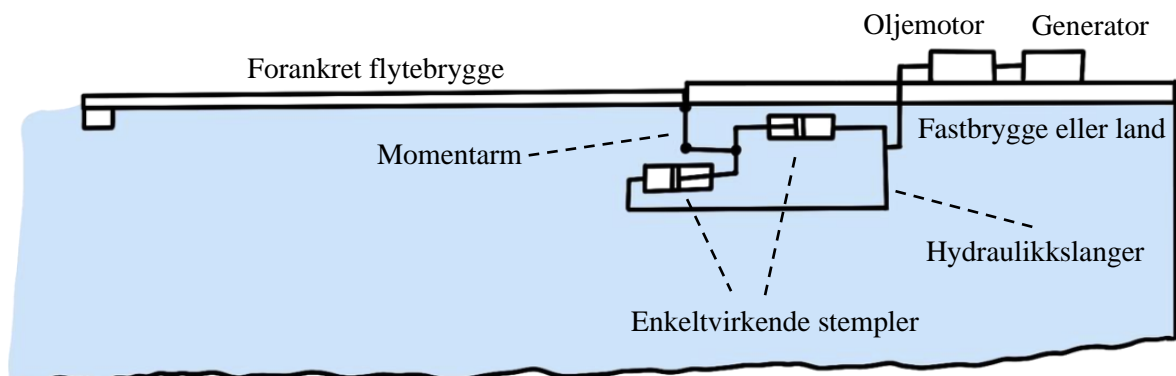
En løsning fra konsept valgene kan være å ha to enkeltvirkende stempler under en brygge, med en lang arm festet til flottøren til flytebryggen. Her vil armen treffe vinkelrett inn på stemplene som fører til mindre skjærkrefter i bjelken. Men en lengere arm kan føre til mye unødvendig vekt.



Figur 7.5 Tidlig illustrasjon av hoved løsning med langsgående stag sett fra siden.

b) Alternativ med kort vippearms:

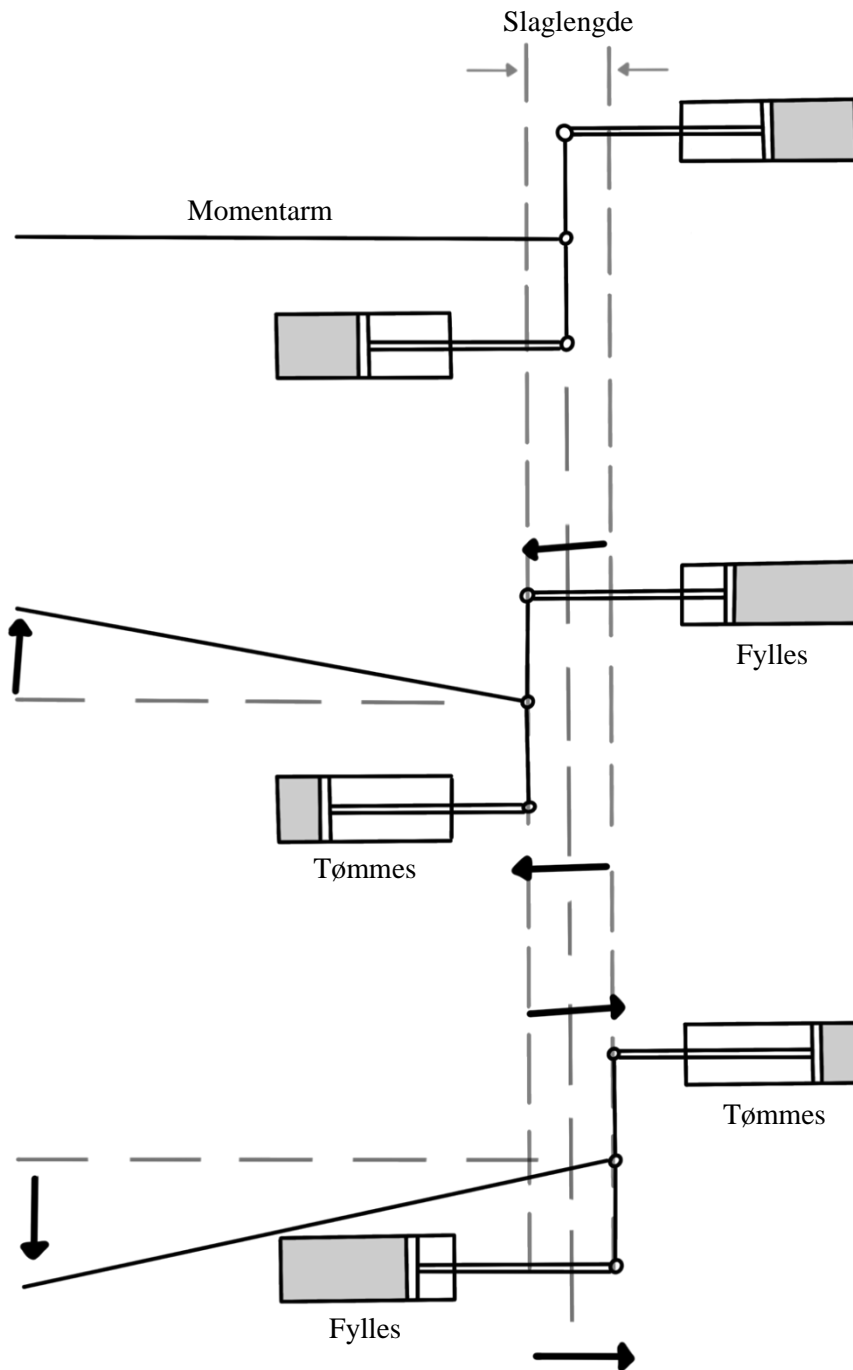
For å ikke ha masse unødvendig vekt er det mulig å feste armen inn til stemplene nærmere opplageret til flytebryggen.



Figur 7.6 Tidlig illustrasjon av hoved løsning med kort vippe arm sett fra siden.

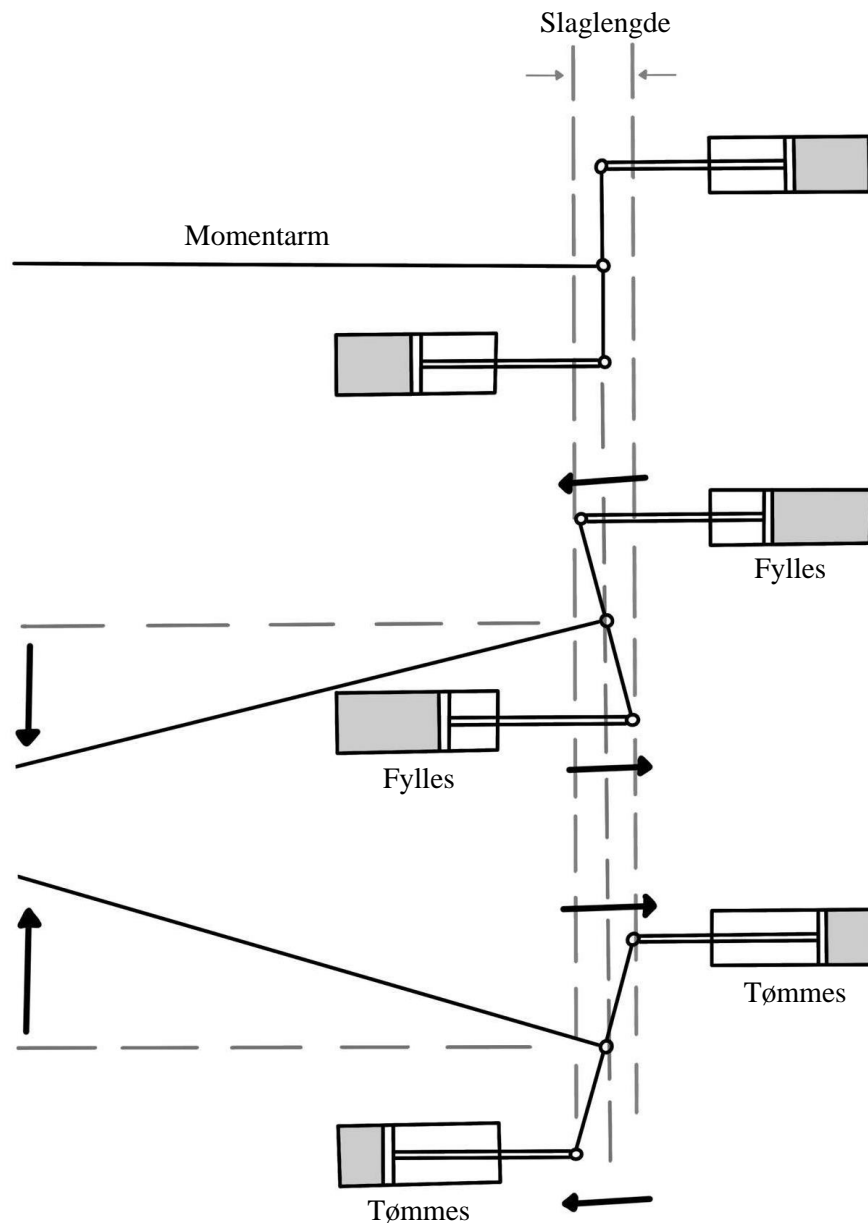
c) Alterantiver for pumpestempelmeknismen:

Ved to enkeltvirkende stempler kan dette løses på to forskjellige måter. En måte er ved å feste til den lange stangen slik at den er bevegelig i y-aksen til den lille armen til stemplene. Dette fører til at den lille armen blir dratt inn og ut ved bølgens opp og nedgående bevegelese. Her vil begge stemplene gå mot venstre også vil begge stemplene gå mot høyre. Dette fører til at et stempel går inn imens det andre stempelet går ut. (figur 7.7)



Figur 7.7 Illustrasjon av stempler gå inn og ut når lang momentarm er bevegelig i y-aksen til den lille armen.

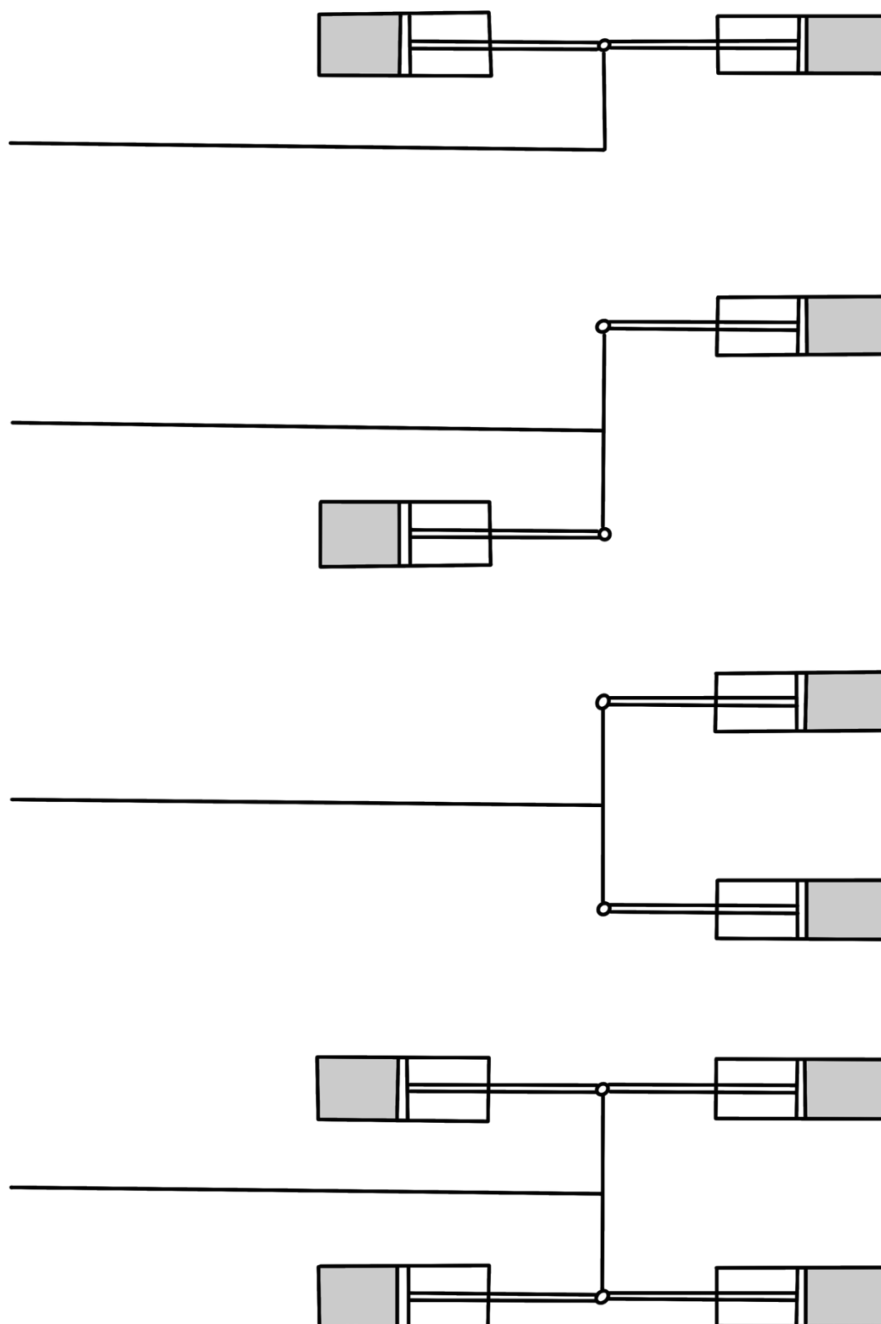
Om den lange momentarmen er festet i alle akser i forhold til den lille armen vil bølgens nedover gående bevegelse føre til at begge stemplene går utover. Imens bølgens oppover gående bevegelse vil føre til at begge stemplene går innover. (figur 7.8)



Figur 7.8 Illustrasjon av stempler gå inn og ut når lang momentarm er festet i alle akser i forhold til den lille armen.

d) **Forskjellige måter å legge stemplene på:**

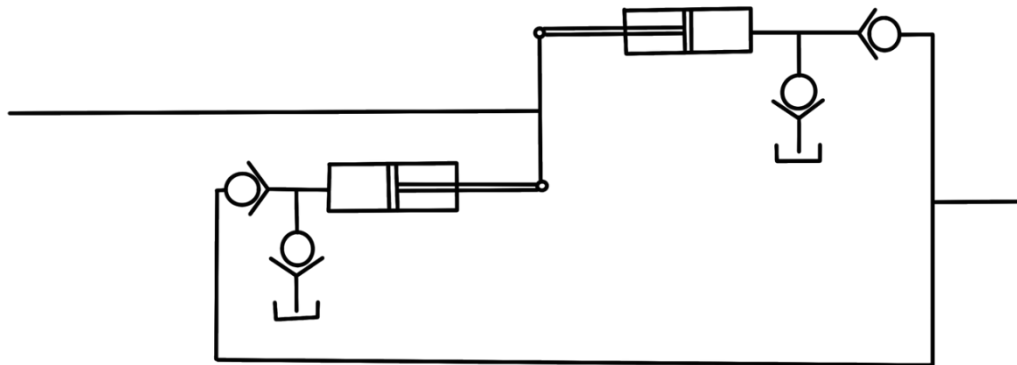
Det kan hende at en momentarm som er bevegelig i y-aksen ikke kan skape nokk moment for å trykke stemplene inn og ut. Men ved å ha den lange momentarmen festet i alle akser vil føre til at begge stemplene går inn og ut samtidig. Noe som gjør til at man ikke får fullt utbytte av bølgens to bevegelses retninger. Ved hjelp av SCAMPER og modulariserings løsningen kan dette løses, ved å se på forskjellige måter å ha stemplene på og eventuelt ha flere stempler. (figur 7.9)



Figur 7.9 Illustrasjon av stempler med forskjellig plasseringer og med flere enn to stempler i samme system.

e) Tidlig olje hydraulikk

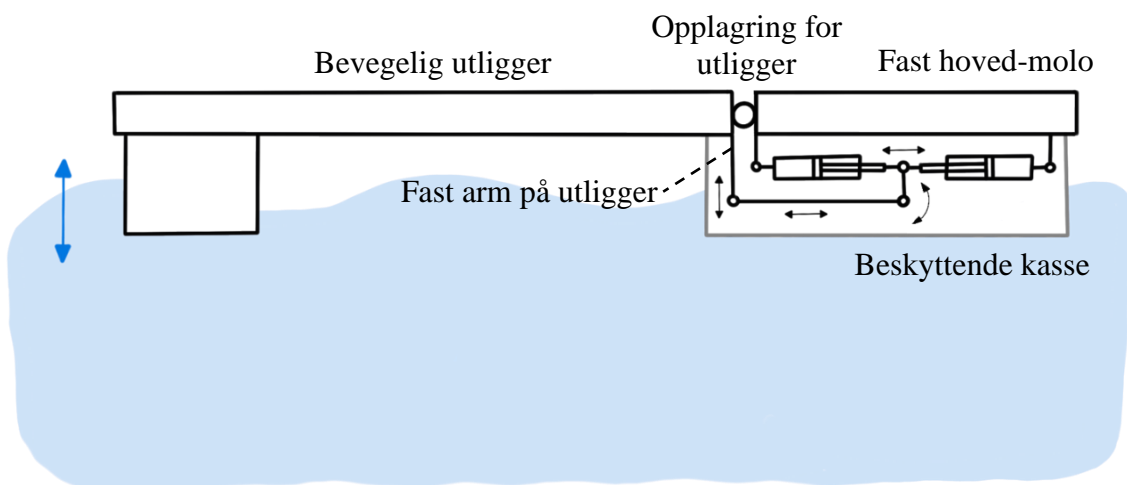
Ved alle typer stempel plasseringer vil prinsippet for olje hydraulikken være det samme. Ved vert stempel vil det trenges enveis ventiler og uttak til tanker. (figur 7.10)



Figur 7.10 Illustrasjon av to enkeltvirkendestempler og noe av olje hydraulikken bak stemplene. Tilbakeslagsventilene sikrer at ikke oljen flyter feil retning.

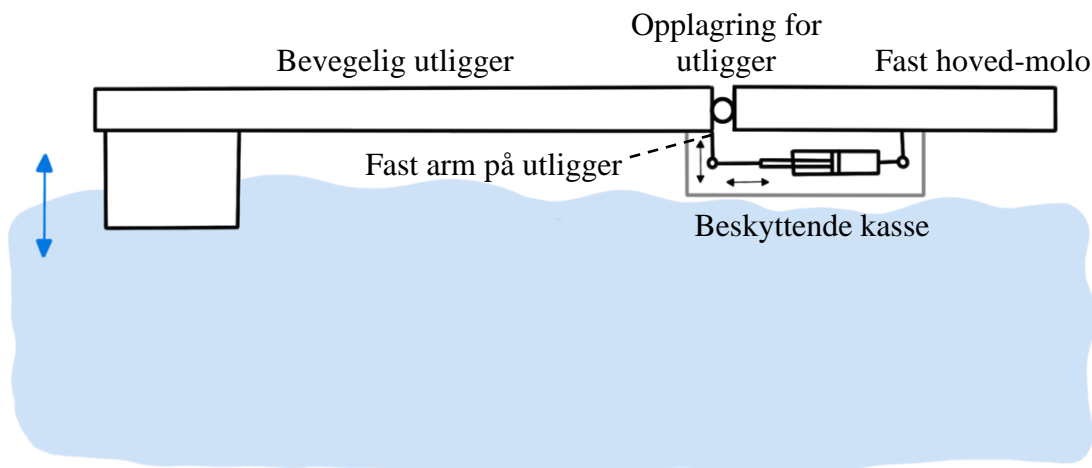
7.3.4 Valg av endelig systemløsning

Fra valgene er det mulig å lage et system som har en kort arm festet til flytebryggen ved opplageret som videre styrer to enkeltvirkende stempler i hver sin retning utefra bølgebevegelsene. Problemet her vil være at slaglengden på stemplene er avhengig av avstanden stemplene har fra flytebryggen. For å drifte to enkeltvirkende stempler vil bjelkene ha mye større vei for kraft overføring og systemet kan bli noe mer komplisert enn nødvendig. Det vil også være flere overflater for alger og andre organismer å vokse på.



Figur 7.11 Illustrasjon av to enkeltvirkendestempler med kort momentarm.

For å løse problemene et system med to enkeltvirkende stempler kan medføre, er det en mulighet å kun bruke et enkeltvirkende stempel i første omgang. Her vil kraften fra bryggen treffe rett inn på et stempel. Her vil også dybden på systemet være likt dybden stemplene har fra den faste bryggen. Det vil også være minimalt med overflater alger og andre organismer kan vokse på systemet under vann.



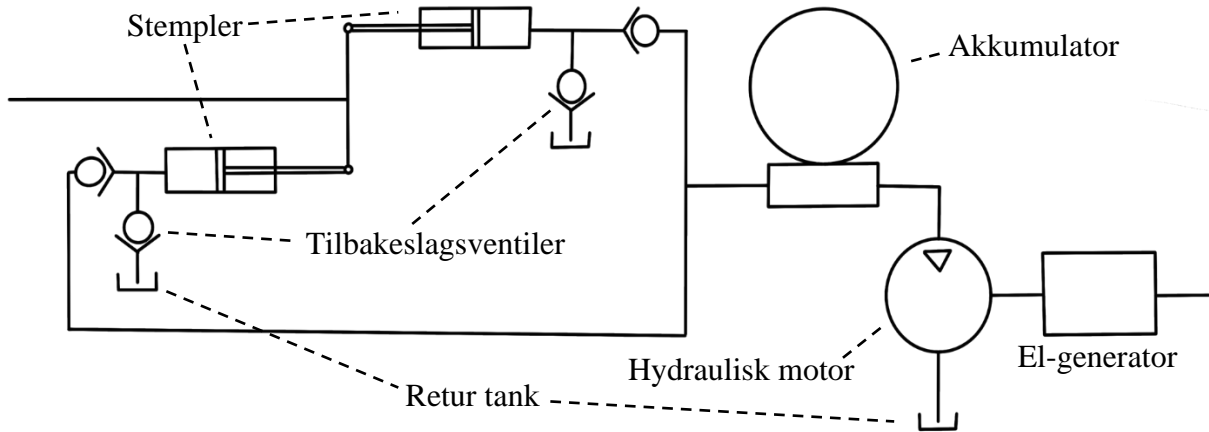
Figur 7.12 Illustrasjon av et enkeltvirkende stempel med kort momentarm.

For å få lengere slaglengde på stemplet er det mulig å tilpasse en løsning som kan ha lenger arm ned til pumpen hvis ønskelig.

7.3.5 Løsning for konvertering av energi til strøm

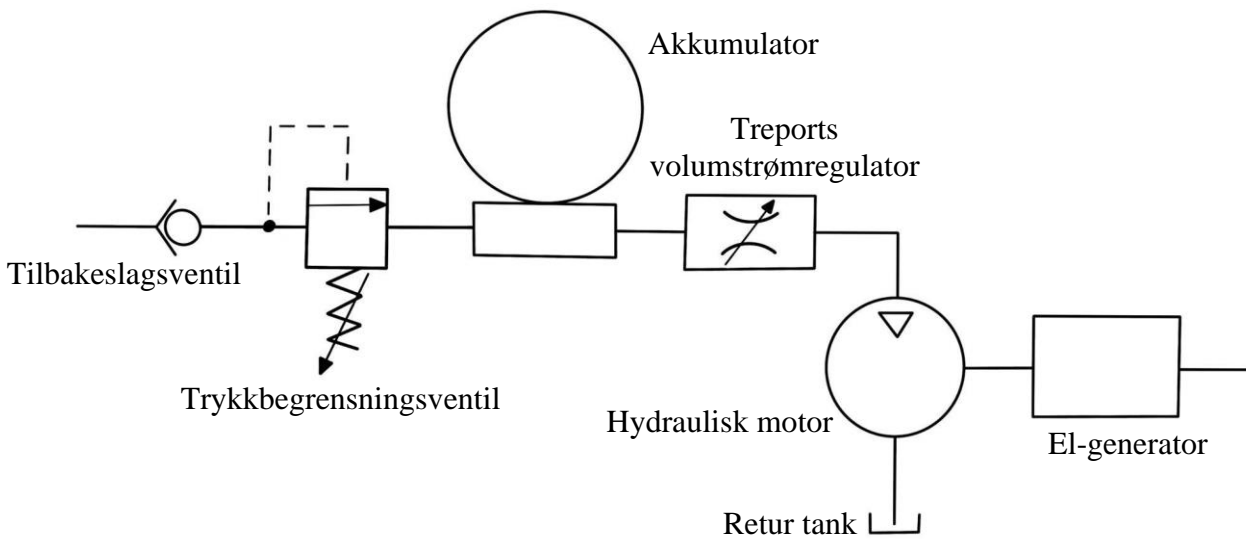
Trykket fra to enkeltvirkende stempler kan overføres til elektrisk energi med en hydraulisk motor. Men for å få til dette kreves det noen hydraulikksystemer. Etter stemplene er det nødvendig å ha en tilbakeslagsventil for at oljen kun renner en vei. Før tilbakeslagsventilene kan det legges inn kobling til retur tanker for at overfladisk olje kan renne ut.

Videre er det fint å få oljen til å renne igjennom en akkumulator for å jevne ut og lagre trykk før oljen går videre til en hydraulisk motor. Den hydrauliske motoren i figur 7.13 går mot høyre. Den hydrauliske motoren kan ha en returtank for overflødig olje, og kan videre drifte en el-generator. ^[62]



Figur 7.13 Enkel hydraulikk tegning for systemet.

For å sørge for en jevn hastighet på motoren kan det være greit å sette inn en treports volumstrømregulator etter akkumulatoren og foran hydraulikkmotoren, og for å regulere trykket kan det være greit å sette inn en trykkbegrensningsventil for at det skal være roligere før flowen går inn til akkumulatoren og videre. (figur 7.14)



Figur 7.14 Enkel hydraulikk tegning med en treports volumsregulator og trykkbegrensningsventil.

8 BELASTNINGER OG ENERGIUTBYTTE

I dette kapitlet gjennomføres enkle beregninger for å få et inntrykk av momenter, krefter, størrelser og andre nødvendige forhold som påvirker dimensjoneringen og moduleringen.

8.1 Grovberegning av energisystemet

8.1.1 Hovedmål for beregningene

Gjennomføre grovberegninger for å kunne fastslå om man kan utvikle og tilpasse en teknisk løsning for å fange bølgeenergi knyttet til bevegelse hos flytebrygger som vil kunne generere ca. 5W ut fra generatoren, inn i batterisystem.

8.1.2 Beregningstrinn /delmål

1. Beregne nødvendige data og spesifikasjoner for den elektriske generatoren
2. Beregne hydraulisk effektoverføring med tilhørende arbeids trykk og oljeleveranse til hydraulisk motor for å kunne drive generatoren.
3. Beregne kraft og momentoverføring fra flytebryggen og inn til hydrauliske sylindre som skal kunne levere olje til drift av hydrauliskmotoren.
4. Beregne dimensjoner på sylindre, samt eventuelle antall sylindre for å oppnå ønsket hydraulisk og elektrisk effekt.

8.1.3 Beregningsforutsetninger

Nedenfor er oppgitt foreløpige forutsetninger som leges til grunn ved beregninger:

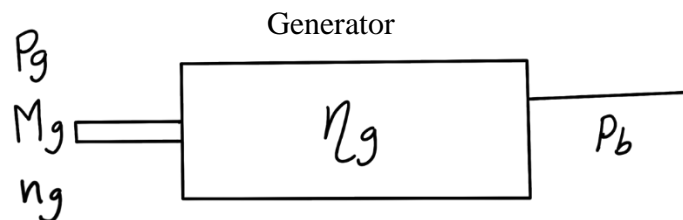
- Bryggelengde: 6 meter.
- Arm under bryggen: 0,5 meter.
- Bølgehøyder ved normaldrift: 0.1-0.5 meter. ^[63]
- Bølgehøyder ekstrem tilfeller: 0.0-1.5 meter.
- Bølgemedianen for utregning: 0.3 meter.
- Bølgeperiode ved normaldrift: 3-5 sekunder.
(12-20 vekslinger per minutt)
- Bølgeperiode for utregning: 4 sekunder.
(15 vekslinger per minutt).
- Virkningsgrader fra 80 til 90% avhengig av type element.
- Det regnes ikke tap i stempler og kortere rør/slanger.
- Turtall inn på generator 2500-3000 r/min.
- Optimal betingelser, temperatur og viskositet.

8.1.4 Beregningstrinn

a) Grovberegning av generator

Tabell 8.1 Symbolforklaring og forutsetninger for utregning av generator:

Symbol	Forklaring	Verdi
P_g	Effekt inn på generator akselen	Beregnes
M_g	Dreiemoment for generator	Beregnes
n_g	Turtall	2500 r/min
η_g	Virkningsgrad	85%
P_b	Effekt ut av generator til strømmettet eller for ladding av batterier.	5 kW



Figur 8.1 Systemskisse for generator.

For å få 5 kW elektrisk effekt ut av generatoren til batteriet må det tas hensyn til at det kreves mer rotasjonseffekt inn på generatorakselen på grunn av virkningsgraden til selve generatoren. Om virkningsgraden (η_g) til generatoren settes til 85% ^[55], vil dette tilføre:

$$P_g = \frac{P_b}{\eta_g} = \frac{5}{0.85} = 5.88 \text{ kW}$$

Det trengs å tilføres 5.88 kW effekt inn på generatoren.

Dreiemomentet som må tilføres generator akselen fra en hydraulisk motor ved 2500 r/min:

$$M_g = P_g * \frac{9550}{n_g} = 5.88 * \frac{9550}{2500} = 22.46 \text{ Nm}$$

Det må tilføres 22.46 Nm dreiemoment inn på generator akselen.

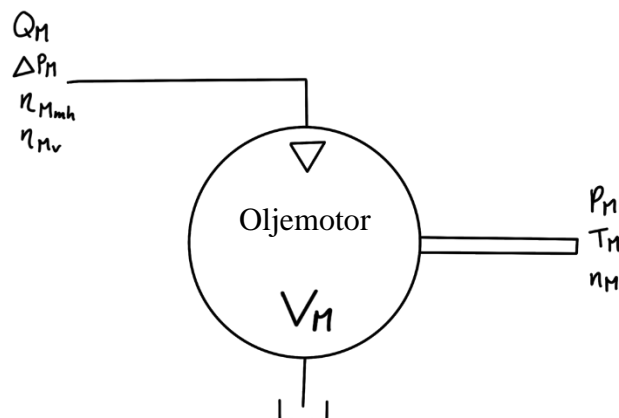
Videre kan det grov beregnes for å tilpasse ytelsen som må til fra en hydraulisk motor for å drive generatoren ved omkring 2500 r/min, samt finne det aktuelle dreiemoment-området ut fra trykk, fortrenningsvolum og virkningsgrader. Dette ved å finne fortrenningsvolumet og trykket hydraulikkmotoren trenger for å være mest mulig effektiv.

Så må man finne hvilke stempelareal som må til for å gi nok trykk i forhold til arm, tyngde og bevegelsesdynamikken til selve flytebyggen. Videre må det også sees nærmere på slaglengde og antall stempler.

b) Beregning av hydraulisk motor til drift av generatoren:

Tabell 8.2 Symbolforklaring og forutsetninger for utregning av hydraulisk motor:

Symbol	Forklaring	Verdi
Δp_M	Trykkfall over motor	175 Bar
n_M	Turtall hos motor og generator	2500 r/min
η_{Mmh}	Mekanisk – hydraulisk virkningsgrad	0.95
η_{Mv}	Tilbake lekkasje	0.9
η_t	Total virkningsgrad	$0.95 * 0.9 = 0.855$
$T_m = M_g$	Nødvendig moment for å drive generator	22.46 Nm
V_M	Nødvendig fortrenningsvolum hos hydraulikkmotoren	Beregnes
Q_M	Volumstrøm ved inntaksporten til motoren	Beregnes



Figur 8.2 Systemskisse for hydraulisk pumpe.

Beregner nødvendig fortrenningsvolum hos hydraulikkmotoren (V_M) for å kunne drive og få 5 kW ut av generatoren. Bruker hydraulikkformelen:

$$M_g = T_M = \eta_{Mmh} * V_M * \frac{\Delta p_M}{2\pi \cdot 10}$$

Herav følger:

$$V_M = \frac{T_M * 2\pi * 10}{\Delta p_M * \eta_{Mmh}} = \frac{22.46 * 2\pi * 10}{175 * 0.95} = 8.49 \text{ cm}^3/\text{rev}$$

Omregner til oljevolum som går gjennom motoren:

$$Q \text{ (uten tap)} = V_M * n_M = 8.49 \text{ cm}^3 * 2500 \text{ r/min} = 21221 \text{ cm}^3/\text{min}$$

1 liter er $10^3 \text{ cm}^3 = 1000 \text{ cm}^3$. Det vil si oljemotoren vil trenge **21.20 U/min** pluss tapt olje gjennom tilbake lekkasje for å gi nok effekt til generatoren.

Regner så ut oljen som må tilføres motoren totalt fra pumpesynderen ved flytebryggen (med indre lekkasje): [Jfr. tannhjulspumpe i vedlegg V6 bak i rapporten]

$$Q_M = \frac{1}{\eta_{Mv}} * \frac{V_M * n_M}{1000} = \frac{1}{0.90} * \frac{8.49 * 2500}{1000} = 23.58 \text{ l/min}$$

Ved bare en bevegelig flytebrygge må et eller to stempler kunne levere 23.58 liter med olje hvert minutt. Men ved flere bryggegreiner/armen kan dette volumet leveres som en sum fra alle sammen.

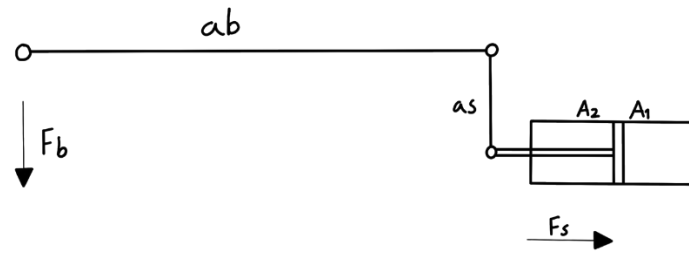
c) **Beregning av moment og stempelkraft fra flytebryggen:**

Tabell 8.3 Symbolforklaring og forutsetninger for utregning av hydraulisk motor:

Symbol	Forklaring	Verdi
m	Bryggens masse	258 kg
g	Gravitasjons kraften	9.81 m/s ²
π	Pi er en matematisk konstant tall	3.1415...
F _b	Kraften fra bryggen	Beregnes
F _s	Kraften på stempel	Beregnes
a _b	Lengden til bryggen og stempel (x-aksen)	6 meter
a _s	Lenden ned til bryggen (y-aksen)	0.5 meter
M _b	Momentet bryggekraften påfører	Beregnes
A ₁	Arealet til stempelet på innsiden (for oljen)	Beregnes
A ₂	Arealet til stempelet ved stempelstangensiden	Brukes ikke
P _s = $\Delta p_M/10$	Hydraulisk trykk stemplene må kunne levere	17,5 MPa
r	Radiusen på innsiden av sylindren	Beregnes
d	Diameteren på innsiden av sylindren	Beregnes

Forenklet illustrasjon av kraftspill i momentarmen fra utligget:

Kraftbildet:



Figur 8.3 Forenklet kraftbildet for bryggen.

Forenkler til en situasjon med maks kraft før vikling ved bølgetopp og bølgebunn. Vekten 258 kg er egentlig for hele flytebryggen, men antar ved denne utregningen at denne ligger på ytterenden, for flytebryggen vil i realiteten veie noe mer til tider med forankrede båter og mennesker bruk av mennesker.

$$F_b = m * g = 258 * 9.81 = 2530.98 \text{ N}$$

Antar avstanden på bryggen fra opplagringen til angrepspunktet på 6 meter. På den minste bryggen vil den være noe mindre i realiteten, siden flottøren ikke ligger helt ytterst på bryggen. Men på de lengre bryggene kan denne lengden også være helt opp til 12 meter. Finner momentet ved en 6 meters brygge:

$$M_a = F_b * ab = 2530.98 * 6 = 15185.88 \text{ Nm}$$

Bruker en utvesklingsarm til stempene på 0,5 m i y aksen. Momentet fra bryggearmen overføres via opplagringen (O) til en mindre arm. Kraften horisontalt inn på stempelet (F_s):

$$F_b * ab = F_s * as$$

$$F_s = \frac{F_b * ab}{as} = \frac{15185.88}{0.5} = 30371.76 \text{ N}$$

Videre regnes stempelarealet som trengs for å kunne oppnå et hydraulisk trykk fra stempelet på 175 bar = 17.5 MPa (17.5 N/mm²). Bruker den generelle trykkformelen:

$$P = \frac{F}{A}$$

og finner arealet på høyre siden av cylinderen:

$$P_s = \frac{F_s}{A_1}$$

Herav:

$$A_1 = \frac{F_s}{P_s} = \frac{30371.76}{17.5} = 1735.53 \text{ mm}^2$$

Prøver forskjellige indre diametere for å finne hvilket stempel som kan levere 175 bar trykk, med formelen:

$$A_1 = \pi * r^2$$

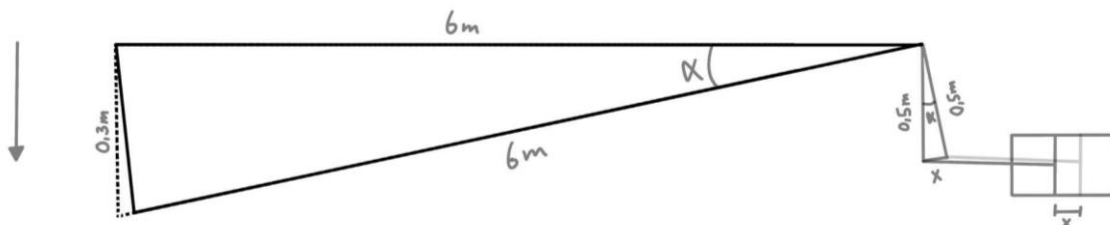
Tabell 8.4 Utregning av forskjellige arealer med diametere fra 3 til 6 cm:

Diameter	Radius	Areal	Trykk (bar)
30 mm	15 mm	706,85 mm ²	706,85/1735,43* 175 = 71 bar
40 mm	20 mm	1256,63 mm ²	1256,63/1735,43* 175 = 127 bar
50 mm	25 mm	1963,49 mm ²	1963,49/1735,43* 175 = 198 bar
60 mm	30 mm	2827,43 mm ²	2827,43/1735.53 * 175 bar = 285 bar

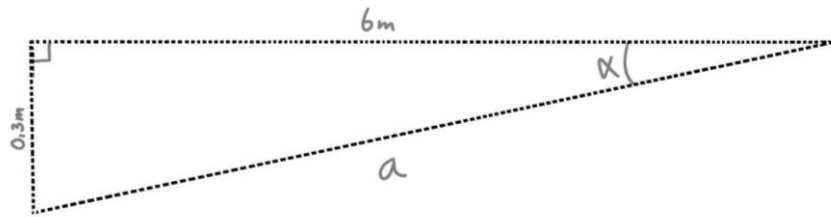
Ser at en diameter på 5 cm vil kunne gi litt mer trykk enn det som trens. Men siden det må regnes med noe tap, og suge/tømmekrefter kan det være gunstig å bruke et stempel med indre diameter mellom 5 og 6 cm. Ved valg av 6 cm i diameter får man et trykk på 285 Bar, dvs. ca. 28.5 MPa og har man mye ekstra å gå på ved valg av motortrykk

d) Slaglengde hos stempel:

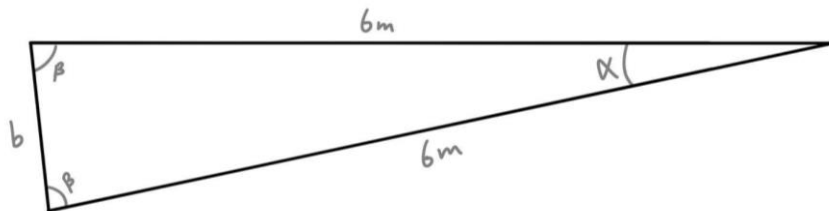
Når en 6 meters brygge går ned 0,3 meter vil dette gi en vinkel alfa fra utgangspunktet. Om en liten stav på 0,5 meter er festet vinkelrett på bryggen ved opplageret som videre går til en pumpe, vil bevegelsen av bryggen også bevege denne mot høyre. Dette gir totalt 3 trekanter. Hvor trekant A og B (figur 8.6 og 8.7) er form-luke likebeinte trekanter. Bølgedybden er på 0,3 meter, i trekant 0,3 vil denne egentlig være noe mer. Men siden denne strekningen er såpass liten blir denne satt til 0,3.



Figur 8.4 Forenklet kraftbildet med trekanter.



Figur 8.5 Trekant A



Figur 8.6 Trekant B



Figur 8.7 Trekant C

Finner vinkel alfa (α) med trigonometri utregning for vinkelrette trekant med trekant A:

$$\tan \alpha = \frac{\text{motstående}}{\text{hypotenus}} = \frac{0.3}{6}$$

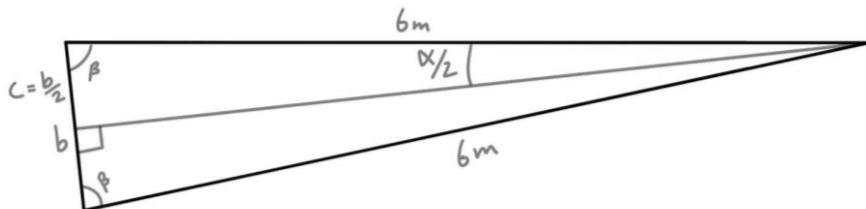
$$\alpha = \tan^{-1} \frac{0.3}{6} = 2.8624^\circ$$

Det er totalt 180 grader i en trekant, finner med dette vinkel beta med bruk av trekant B:

$$2\beta + \alpha = 180$$

$$\beta = \frac{180 - \alpha}{2} = \frac{180 - 2.8624}{2} = 88.5688^\circ$$

Deler trekant B for å kunne finne strekning b. (Figur 8.8)



Figur 8.7 Trekant B delt i to

Finner med et av de nye vinkelrette trekantene fra figur 8.8 til å finne b:

$$\cos \beta = \frac{c}{6}$$

$$c = 6 \cos \beta = 6 \cos 88.5688 = 0.149859 \text{ m}$$

$$b = c * 2 = 0.149859 * 2 = 0.299719 \text{ m}$$

Finner stempel slaglengden (x) ved bruk av formlikhet mellom trekant B og C:

$$\frac{x}{b} = \frac{0.5}{6}$$

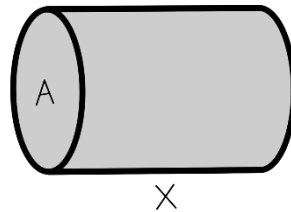
$$x = \frac{0.5 * b}{6} = \frac{0.5 * 0.299719}{6} = 0.024976 \text{ m} = 24.976 \text{ mm}$$

Lager et enkelt system i SolidWorks og ser at denne lengden på 25 mm stemmer med de forenklete antagelsene på 0,3 meters bølgedybde. (figur 8.9)



Figur 8.8 Verifisering av slagende på 25 mm på SolidWorks

e) **Oljeleveranse:**



Figur 8.9 Viser oljemengden som blir pumpet fra et stempel

Finner videre volumet for oljeleveransen med et stempel på 60 mm diameter (tabell 8.4):

$$V = x * A = 24.976 * 2827.43 = 70626.95 \text{ mm}^3 = 0.0706 \text{ liter}$$

Regner med at 1 bølge kommer hvert 4 sekund, dette gir:

$$\frac{60}{4} = 15 \text{ vekslinger per minut}$$

Olje systemet med en 6 meters brygge kan levere per minutt er da:

$$V * \text{vekslinger} = 0.0706 * 15 = 1.0594 \text{ l/min}$$

Totale oljeleveranse til den hydrauliske motoren (Q_M) som trengs er på ca. 23.55 l/min. For at en 60 mm indre diameters sylinder skal kunne produsere denne leveransen trengs det:

$$\frac{23.58}{1.0594} = 22.257 \approx 22 \text{ pumper}$$

f) **Forhold mellom sylinderdiameter og antall sylindere:**

Tabell 8.5 Utregning for hvor mange sylindere som trengs ved forskjellig sylinder diameter:

Diameter	Radius	Areal	Lengde	Volum (mm ³)	Volum (liter)	Liter/min	Antall sylindere
30	15	706,86	24,98	17654,49	0,01765	0,2648	84,0
40	20	1256,64	24,98	31385,77	0,03139	0,4708	47,3
50	25	1963,50	24,98	49040,26	0,04904	0,7356	30,3
60	30	2827,43	24,98	70617,98	0,07062	1,0593	21,0
70	35	3848,45	24,98	96118,91	0,09612	1,4418	15,4
80	40	5026,55	24,98	125543,07	0,12554	1,8831	11,8
90	45	6361,73	24,98	158890,45	0,15889	2,3834	9,3
100	50	7853,98	24,98	196161,05	0,19616	2,9424	7,6
110	55	9503,32	24,98	237354,86	0,23735	3,5603	6,3
120	60	11309,73	24,98	282471,91	0,28247	4,2371	5,3
130	65	13273,23	24,98	331512,17	0,33151	4,9727	4,5
140	70	15393,80	24,98	384475,65	0,38448	5,7671	3,9
150	75	17671,46	24,98	441362,35	0,44136	6,6204	3,4
160	80	20106,19	24,98	502172,28	0,50217	7,5326	3,0
170	85	22698,01	24,98	566905,42	0,56691	8,5036	2,6
180	90	25446,90	24,98	635561,79	0,63556	9,5334	2,3
190	95	28352,87	24,98	708141,37	0,70814	10,6221	2,1
200	100	31415,93	24,98	784644,18	0,78464	11,7697	1,9
210	105	34636,06	24,98	865070,21	0,86507	12,9761	1,7
220	110	38013,27	24,98	949419,46	0,94942	14,2413	1,6
230	115	41547,56	24,98	1037691,93	1,03769	15,5654	1,4
240	120	45238,93	24,98	1129887,62	1,12989	16,9483	1,3
250	125	49087,39	24,98	1226006,53	1,22601	18,3901	1,2
260	130	53092,92	24,98	1326048,67	1,32605	19,8907	1,1
270	135	57255,53	24,98	1430014,02	1,43001	21,4502	1,0

Tester hvor mange sylindere som trengs ved forskjellige sylinder diametere og ser at for at det kun en sylinder skal kunne levere dette trykket, trengt det en sylinder på 270 mm diameter og for at 2 sylindere skal levere denne flowen trengs det en sylinder med diameter på 200 mm.

g) **Stempellengde for ekstremtilfeller:**

Legger videre alle formlene over inn i et Excel-ark, og finner stempellengdene ved ekstrem tilfellene.

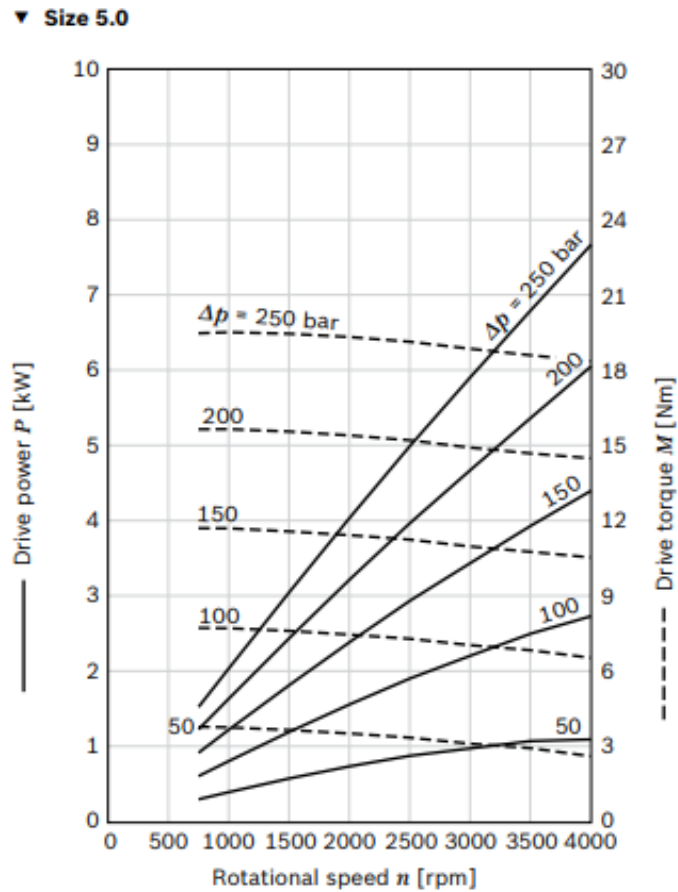
Tabell 8.6 Utregning for stempellengde ved ekstremtilfeller og normaldrift:

Bølgehøyde λ (meter)	Alfa a (grader)	Beta b (grader)	Stempellengde x (mm)
0	0	0	0
0,1	0,95	89,52	8,33
0,2	1,90	89,04	16,66
0,3	2,86	88,56	24,9
0,4	3,81	88,09	33,32
0,5	4,77	87,61	41,65
1,5	14,32	82,83	124,67

Stempellengden (x) må være mer enn 125 mm for å ivareta ekstremtilfellene. Men den vil fungere på et spekter på 8,3 til 41,7 mm. Ser fra Bosch Exroth sine kataloger at sylindere med diameter på 63 mm har en maks stempellengde på 133 mm, noe som er fint innenfor. Får å få lengere stempellengde kan det også velges å forlenge armen fra 0,5 meter til 0,6 meter.

h) **Produsert kraft:**

Fra Bosch Rexroth sine kataloger velges stempelet: «Sylinder Swival eye CDH1:MP3 Ø63» som gir sylinder diameter på 63 mm og tannhjulspumpe: «One direction rotation AZMB Size 5» som gir et motortrykkfall på 250 bar (figur 8.10).

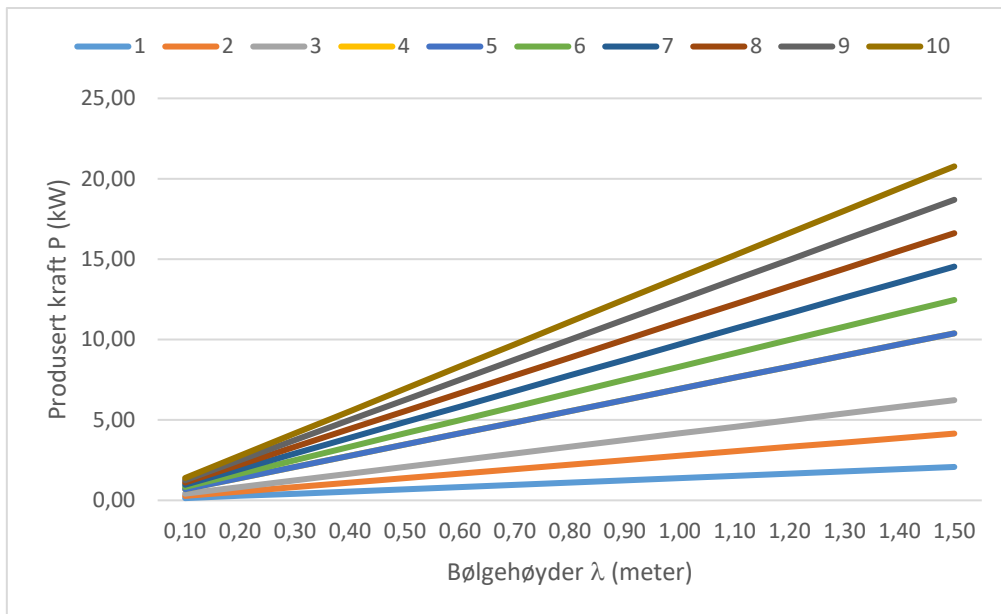


Figur 8.10 Viser Bosch Exroth tannhjulspumpe «One direction rotation AZMB Size 5» flyt og kraftdiagram. ^[65, V7]

Bruker formelen for effekt fra Bosch Exroth sin tannhjulspumpe katalog:

$$P = \frac{q_v * \Delta P * \eta_t}{600}$$

Ser videre på kraften som man får ved bruk av flere pumper ved forskjellige bølgehøyder. (figur 8.11)



Figur 8.11 Viser kraften man får ved forskjellige bølgehøyder ved bruk av 1 til 10 pumper med en 6 meters arm under bryggen.

Ved bruk av 10 pumper begynner man å få 5 kW. Men ved 0,3 meters bølger gir fremdeles ikke en 5 meters stang ved as (figur 8.3) nokk energi. Ved å øke stang lengden for stanglengden as til 0,6 meter vil dette gi nokk energi (tabell 8.7). Om 10 pumper videre benyttes på 8 meters brygger, vil dette gi mindre moment og mindre kraft enn 6 meters brygger.

Tabell 8.7 Viser kraften man får ved normalbruk av 1 og 10 pumper:

Bølge lengder λ (meter)	Effekt produsert av 1 pumpe m/6 m arm P (kW)	Effekt produsert av 1 pumpe m/6 m stang P (kW)	Effekt produsert av 10 pumper P (kW)	Effekt produsert av 10 pumper m/6 m stang P (kW)	Effekt produsert av 10 pumper m/6 m stang og 8 m brygge P (kW)
0,1	0,14	0,17	1,39	1,67	1,25
0,2	0,28	0,33	2,78	3,33	2,50
0,3	0,42	0,50	4,16	5,00	3,75
0,4	0,56	0,67	5,55	6,66	5,00
0,5	0,69	0,83	6,94	8,33	6,25

Ved en 0,6 meters arm ved as og en 6 meters brygge lengde vil dette gi en kraftsammenheng på 1-10.

i) **Beregning for stål dimensjon**

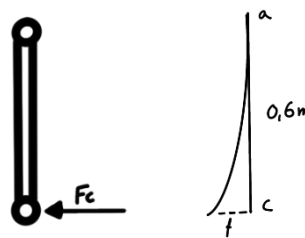
Ved designing av konstruksjonen er det mulig å bruke forskjellige type profiler. De mest relevante er runde-, H- og kvadratiske -hulprofiler. Siden runde profiler lettere kan bøyes og h-profiler ikke like godt tåler vridning, velges det å bruke kvadratiske hulprofiler for konstruksjonen.

For beregning av ståldimensjonene må de største kraft påkjenningene konstruksjonen får tas med i betraktning. I 8.1.4c) er det beregnet hvor mye kraft stemplet blir påført, men denne kraften blir også påført tilbake av stempelet. Ved videre utregning tar vi hensyn til denne kraften F_c . (figur 8.12)



Figur 8.12 Viser forenklet oversiktsbilde over kreftene som oppstår ved systemet.

Først sees det på stav ac og hvor mye den kan bøyes av kraften F_c . (figur 8.13)



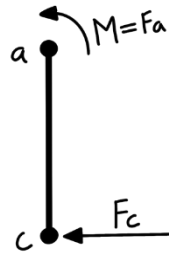
Figur 8.13 Viser forflytningen (f) en bjelke stang vil få av kraft F .

For å beregne forflytning/bøying ved stav ac, brukes E-modulen til stål ($E=210000$ MPa) og henter I for kvadratisk hullprofilbjelke (Stål NS12 143) $40 \times 40 \times 4$ ($I=0,1060 \cdot 10^6$ mm⁴). Bruker formelen fra tekniske tabeller for å beregne bøyingen [66]:

$$f = \frac{F_c \cdot ac^3}{EI \cdot 3} = \frac{30371,76 \cdot 600^3}{210000 \cdot 0,1060 \cdot 10^6 \cdot 3} = 98,24 \text{ mm}$$

Ved bruk av kvadratisk hullprofilbjelke på $40 \times 40 \times 4$ fås det en bøying på 98 mm som er veldig mye.

Videre sees det på hvor mye spennings påkjenning dette profilet for ved c. (figur 8.14)

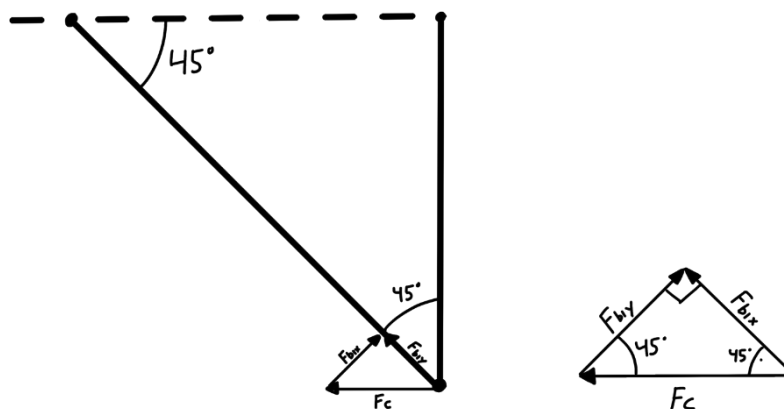


Figur 8.14 Viser momentet og kraften på en bjelke stang.

Henter W for samme kvadratiske hulprofil ($W=5,32 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$) og regner ut for trykket:

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{30371,76 \cdot 600}{5,32 \cdot 10^3} = 3425,4 \text{ MPa}$$

Dette er veldig mye trykk på en bjelke som står loddrett. Om det testes for et kvadratisk hulprofil på $100 \times 100 \times 6$ er $\sigma = 304,2 \text{ MPa}$ og bøyningen $f = 3,5 \text{ mm}$. Ved beregningene ved 8.1.4d) blir det oppgitt ca. 25 mm forflytning ved stemplene. Med dette i betraktning er $3,5 \text{ mm}$ veldig mye. For å unngå bøyning av profilet testes det for en bjelke satt på 45 grader og regner på den. (figur 8.15)



Figur 8.15 Viser kraften fordelt på to bjelker.

Kraften på bjelken (F_{b1}) vil være:

$$F_{b1x} = F_c \cdot \cos 45 = 30371,76 \cdot \cos 45 = 21476,08 \text{ N}$$

$$F_{b1y} = F_c \cdot \sin 45 = 30371,76 \cdot \sin 45 = 21476,08 \text{ N}$$

Bjelken $b1$ blir får en påkjenning på $21,5 \text{ kN}$ i x - og y retning. (figur 8.16)



Figur 8.16 Viser kreftene som fungerer inni en bjelke.

Finner videre et areal som tåler dette trykket, og bruker flytegrensen til stål $\sigma = 200$ MPa under utregning:

$$\sigma_{trykk} = \frac{F_{b1}}{A}$$

$$A = \frac{F_{b1x}}{\sigma_{stål}} = \frac{21476,08}{200} = 107,38 \text{ mm}^2$$

Den minste kvadratiske hulprofil bjelken er på 40x40x3 med et areal på 409,5 mm². Dette er ca. fire ganger så stort. Et slikt profil med en avstiver vil klare å stå imot trykket.

8.1.5 Oppsummering fra beregningene

- *Det velges et stempel med indre diameter på ca. 60 mm.*
- *Det velges en hydraulisk motor for drift av generatoren som opereres ved et turtall mellom 2500 og 3000 r/min ved et arbeidstrykk på 225-250 bar.*
- *Slanger og rør, samt ventiler mm. tilpasses et arbeidstrykk på inntil 250 bar.*
- *Slange og rørforbindelser og volumstrøms begrensning må dimensjoneres ut fra maksimale leveranser til ekstrembølgehøyde inntil 1.5 meter.*

9 OPTIMERING AV KRITISKE ELEMENTER

I dette kapitlet blir det gjennomført FEM-analyser og simuleringer på utvalgte elementer i kraftverket. Resultatene fra analysene brukes for å sammenlikne resultatene fra beregninger og for optimalisering av designet.

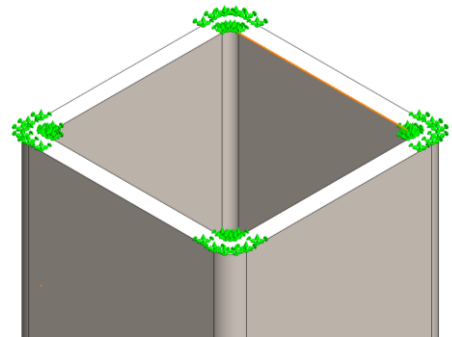
9.1 Simulering på enkel bjelke

I denne delen blir det gjennomført FEM-analyse på en enkle stål bjelke i SolidWorks for å se om en bjelke som står loddrett på bryggen kan tåle kraftpåkjenningene. Her tas det utgangspunkt i den kraften bryggen påkjenner systemet påføres tilbake på systemet. I realiteten vil denne kraften være mye mindre og tilsvarende kraften fra trykket inne i sylindrene. Men for designoptimalisering tas dette som et utgangspunkt.

Innstillinger:

Følgende trinn ble gjort i simuleringen:

- Det ble testet for en kvadratisk hullprofilbjelke på 30x30x3.
- Bjelken ble forlenget med 1 meter slik at den er 6 meter langt, dette ble gjort for å få lengre slaglengde på stemplene.
- Geometrien på toppen av bjelken ble fiksert.



Figur 9.1 Viser fiksert geometri på toppen av bjelken.

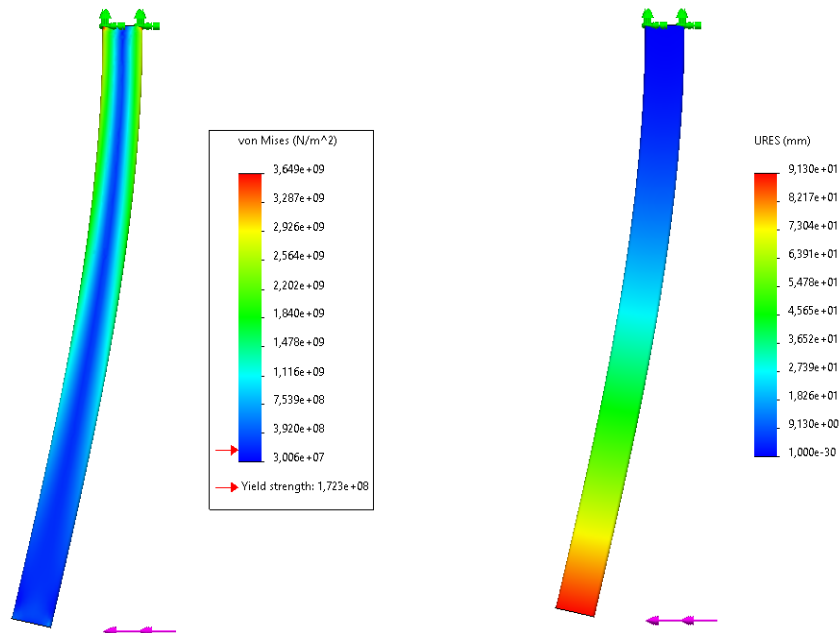
- Det ble lagt inn en horisontalkraft på bunnen av bjelken på 25 309,8 N.



Figur 9.2 Viser kraften på bunnen av bjelken.

- ☑ Materialet ble satt til SolidWork sin standard rustfritt stål (E-modul: $2e+11$ N/m²).
- ☑ Det ble generert automatisk mesh, med mesh parameter på blended curvature-based mesh.

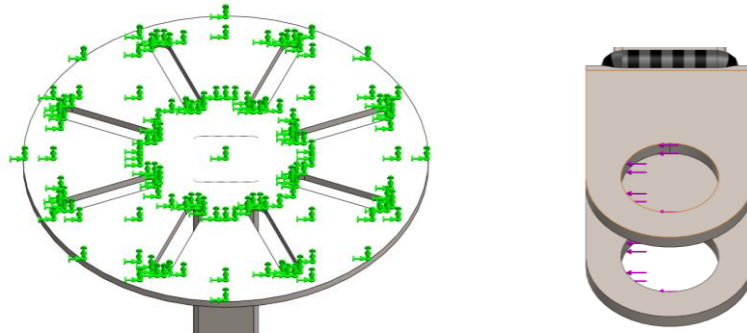
Simuleringen ga følgende resultater:



Figur 9.3 Viser von Mises spenningen og forflytning en 30x30x3 bjelke vil få av kraften den dytter med. Maks spenning 3649 MPa. Maks forskyvning 91,3 mm. Den røde streken på VonMises Diagrammet viser til materialets flytegrense i forhold til maks påkjenninger på konstruksjonen.

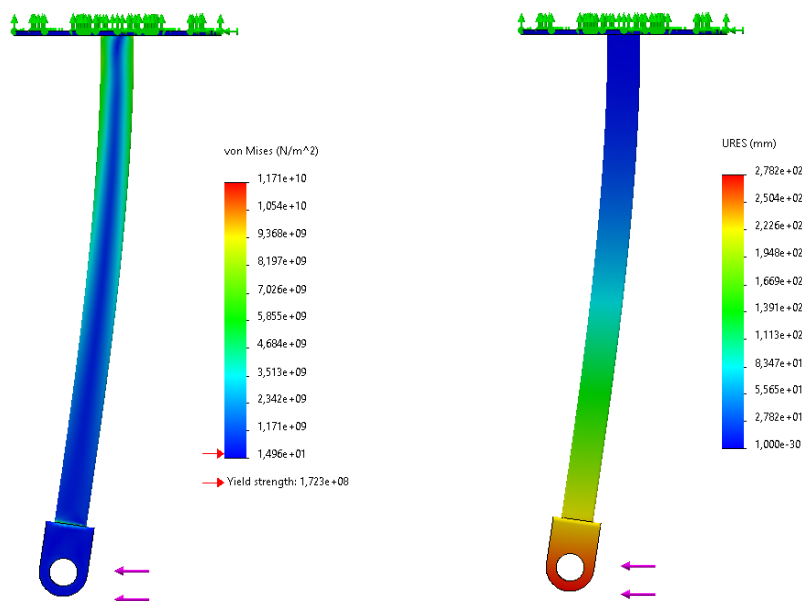
Ser fra resultatene at Maks spenningen er veldig mye og langt over flytegrensen til materialet (røde streken på von Mises plottet på figur 9.3). Forflytningen blir på ca. 91,3 mm noe som tilsvarer tidligere utgreninger på 98,2 mm.

Tester videre samme bjelke igjen med en sveist festplate på toppen og en sveist festedel for stempelet på bunnen. Her fikses hele topplaten som en forenkling, men det egentlige feste vil være med 8 bolter igjennom de 8 feste hullene. Horisontalkraften som er lagt inn på bunnen inni de sirkulære festene er fiksert en renning som en forenkling, mens i virkeligheten vil stempelfeste kunne vri seg noe ved festepunktet.



Figur 9.4 Viser fiksert geometri på toppen og kraften på som påføres på bunnen.

Simuleringen gir følgende resultater:

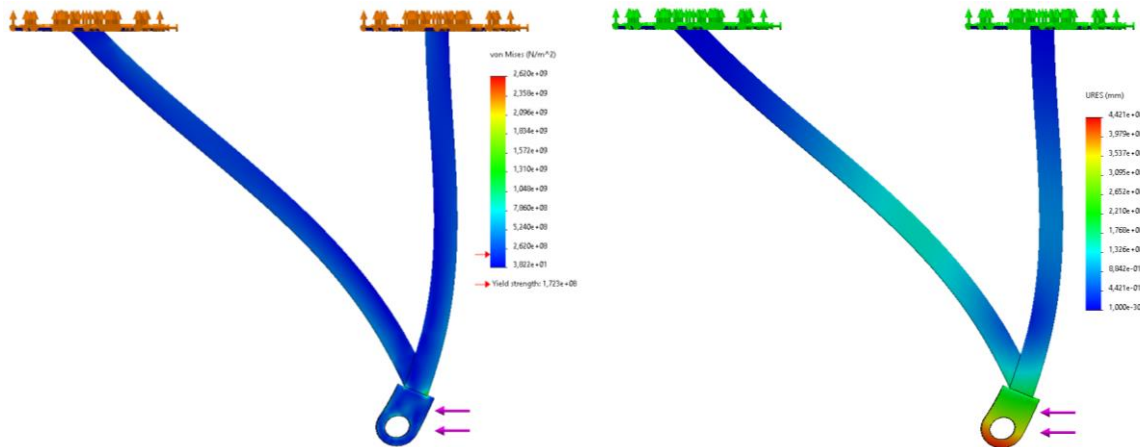


Figur 9.5 Viser von Mises spenningen og forflytning en 30x30x3 bjelke med festeplate på toppen og feste for stempel på bunnen. Maks spenning 1171 MPa. Maks forskyvning 278,2 mm.

Med flere deler og i konstruksjonen er maks spenningen og forskyvningen enda større. For å gjøre denne mindre kan det være mulig å bruke flere bjelkeledd og eventuelt støtter.

9.2 Optimering med flere bjelkeledd og støtter

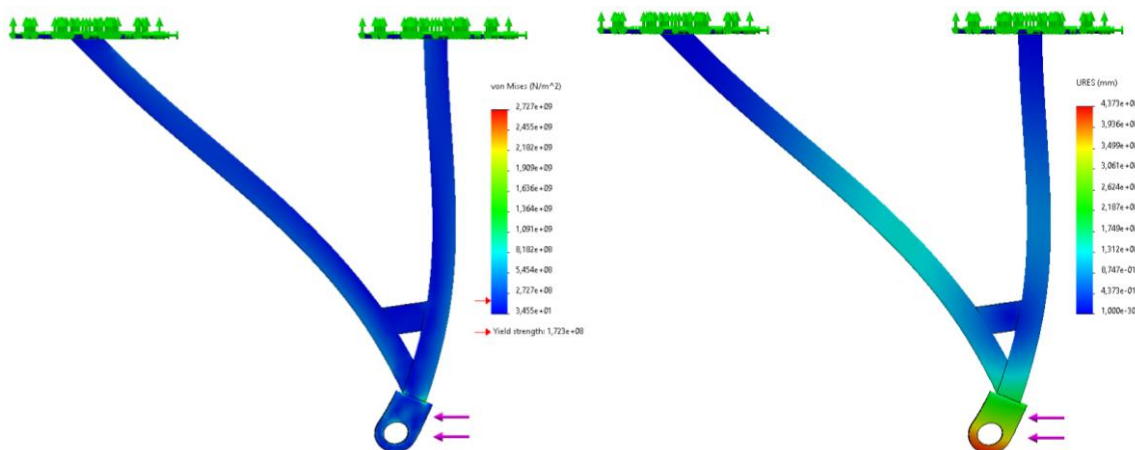
For å få mindre spenning på systemet settes det på 1 ekstra bjelke på 45 grader. Tester bjelkene med de samme parameterne som tidligere og for følgende resultater.



Figur 9.6 Viser von Mises spenningen og forflytning på to 30x30x3 bjelker. Maks spenning 262 MPa. Maks forskyvning 4,42 mm.

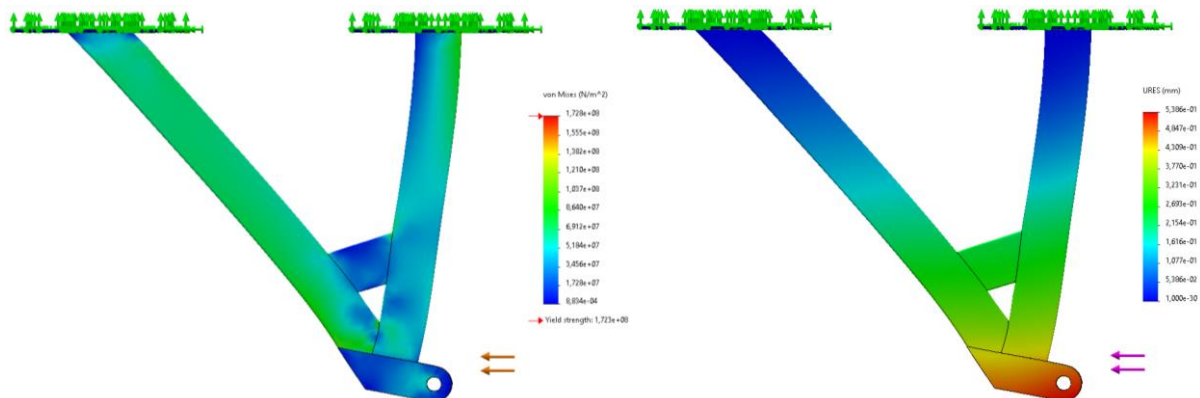
Ser at maks forskyvning har gått drastisk ned til 4,4 mm. Men spenningen ligger fremdeles langt over flytegrensen.

Tester ut samme systemet med plate-støtte i midten og for resultatene:



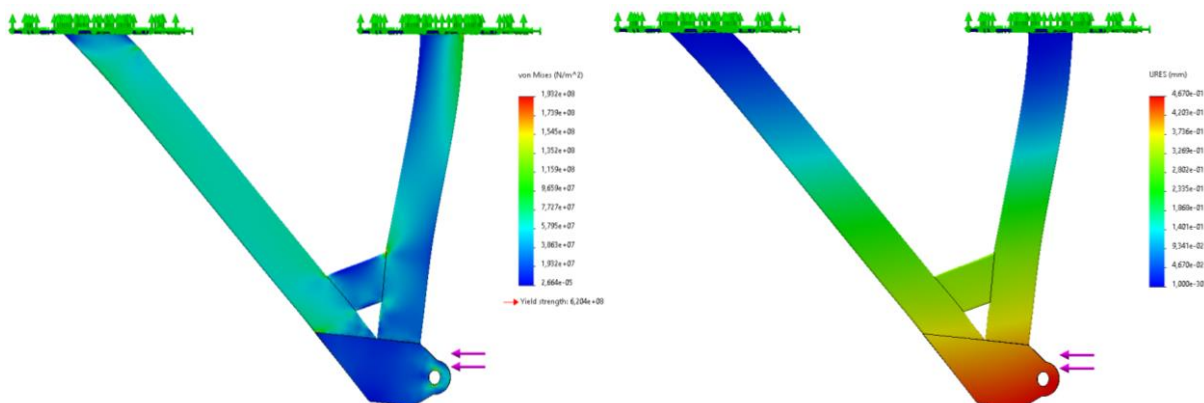
Figur 9.7 Viser von Mises spenningen og forflytning på to kvadratiske hullprofilbjelker med plate-støtte i midten. Maks spenning 272,2 MPa. Maks forskyvning 4,37 mm.

Tester videre for flere variasjoner for bjelketyper og fester metoder for stempelet. Kommer frem til at en rektangulær hullprofilbjelke på 80x50x5, med støtte i midten med samme bjelke type kan fungere.



Figur 9.8 Viser von Mises spenningen og forflytning på et system med rektangulære bjelker på 80x50x5. Maks spenning 17,3 MPa. Maks forskyvning 0,5 mm.

Ser med dette systemet at maks spenning ligger akkurat på flytegrensen. Velger dermed å gjøre feste for stempelet noe større og bytter materialet til Aluminium 6082-T6.

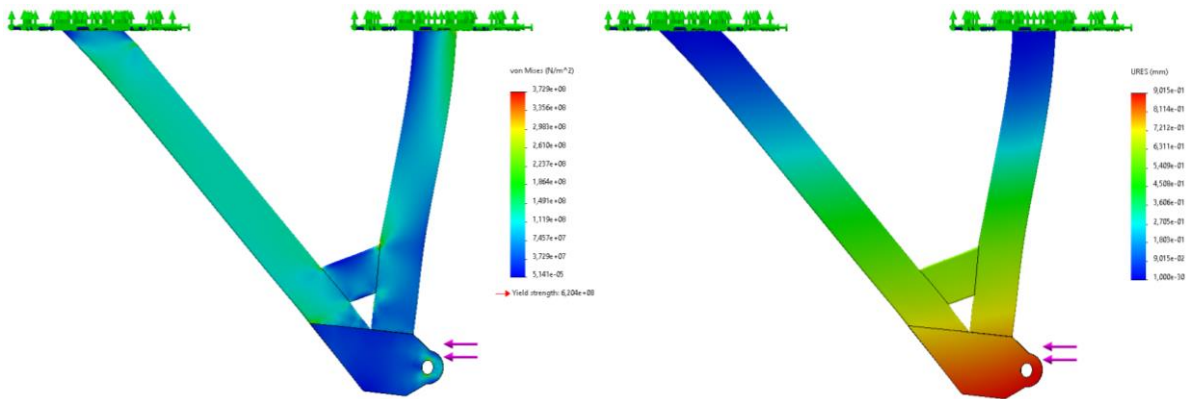


Figur 9.9 Viser von Mises spenningen og forflytning på et system med rektangulære bjelker på 80x50x5 og Aluminium 6082-T6 som materialet. Maks spenning 19,2 MPa. Maks forskyvning 0,46 mm.

Det vil egentlig være ønskelig å kunne designe med en sikkerhetsfaktor på 1,5 ganger kraftpåkjenningen systemet får. Men siden systemet egentlig vil få mye mindre kraft påkjenninger enn det den kan gi og fordi den kraften vi har regnet på tar utgangspunkt i at all vekten til bryggen ligger på tuppen, men ikke jevnt fordelt som den egentlig er, vil det være tilstrekkelig å kunne dimensjonere for de verdiene som er oppgitt.

For å være sikker testet systemet for den kraft påkjenningen den kan få om all vekten samt maks vekten flytebryggen kan bære på 3 personer ligger på tuppen. Dette vil kunne gi en kraft inn på stemplene på 58624,56 N (samme utregning som over).

Dette gir resultatene som er illustrert på neste side i figur 9.10:



Figur 9.10 Viser von Mises spenningen og forflytning på et system med rektangulære bjelker på 80x50x5 og Aluminium 6082-T6 som materialet med maks last på flytebyggen. Maks spenning 37,3 MPa. Maks forskyvning 0,90 mm.

Her er flytegrensen dobbelt så stor som maks spenning og forskyvningen er kun på 0,9 mm. Om stemplene av en eller annen grunn står helt stille kan denne kraften påføres systemet. Men resultatene viser at systemet skal kunne tåle dette. Videre har det blitt sett på for skjær og moment diagrammet for konstruksjonen på SolidWorks, ved videre konstruksjon forbedringer kan disse tas med i betraktning. ^[V2]

10 ROBUSTHET OG MILJØHENSYN

I dette kapittelet blir det redegjort for elementer som påvirker driftssikkerheten og robustheten til bølgekraftverket, samt faktorer som påvirker sikkerheten. Hensikten med kartleggingen er å legge grunnlag for videre optimering og redusering av risiko og vedlikehold og reparasjonsintervaller.

10.1 Tidlig materialdrøfting

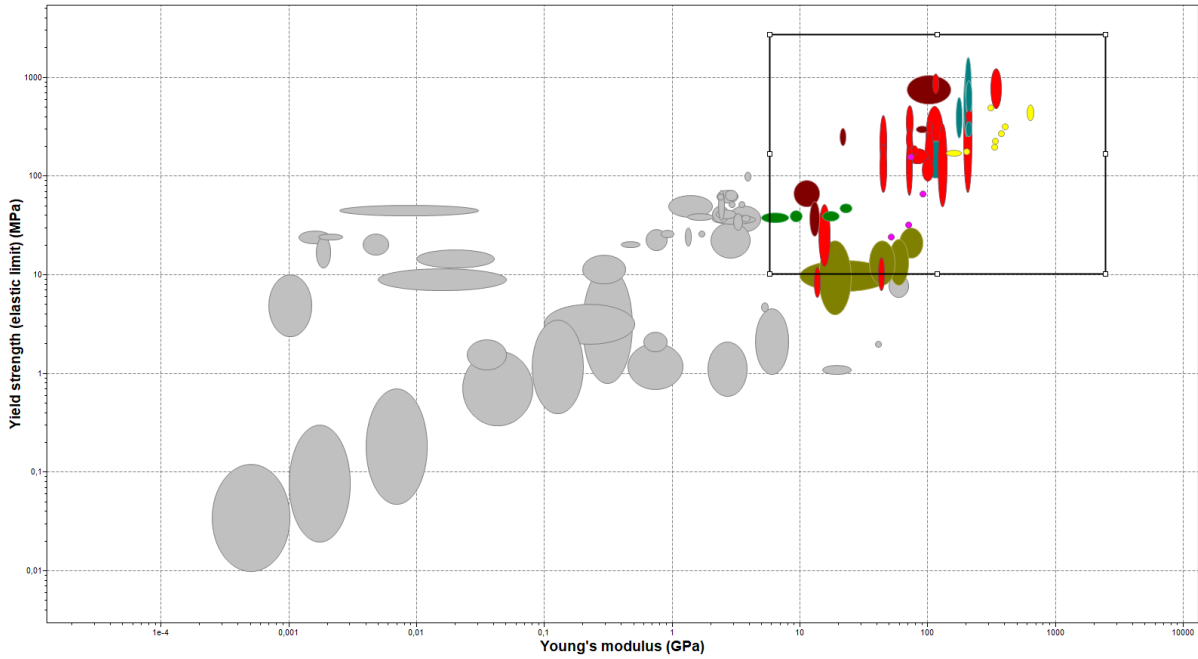
For materialvalg er det viktig at konstruksjonen tåler de påkjenningene den kan stå ovenfor, dette inkluderer trygget fra bryggebevegelsene, og de dynamiske bevegelsene som kan komme fra bølger og vær og vind. Det er viktig at systemet håndterer å få påkjenninger om store båter seiler forbi og det eventuelt kommer noe større bølger mot systemet. Materiellet må også kunne stå imot påkjenninger fra vær og vind og korrosjon.

Materialet som brukes i systemet må derfor være:

- Stiv nok til å ikke bøye seg eller deformeres.
- Ha nok styrke til å kunne dytte på stempelet og stå imot de kraft og trykkpåkjenningene den kan få.
- Det må ha god seighet/dimensjoneringssegenskaper.
- Det må tåle salt vann.
- Det må ikke veie unødige mye og bidra til stor massetreghet.
- Materialkostnadene må ikke være for kostbare

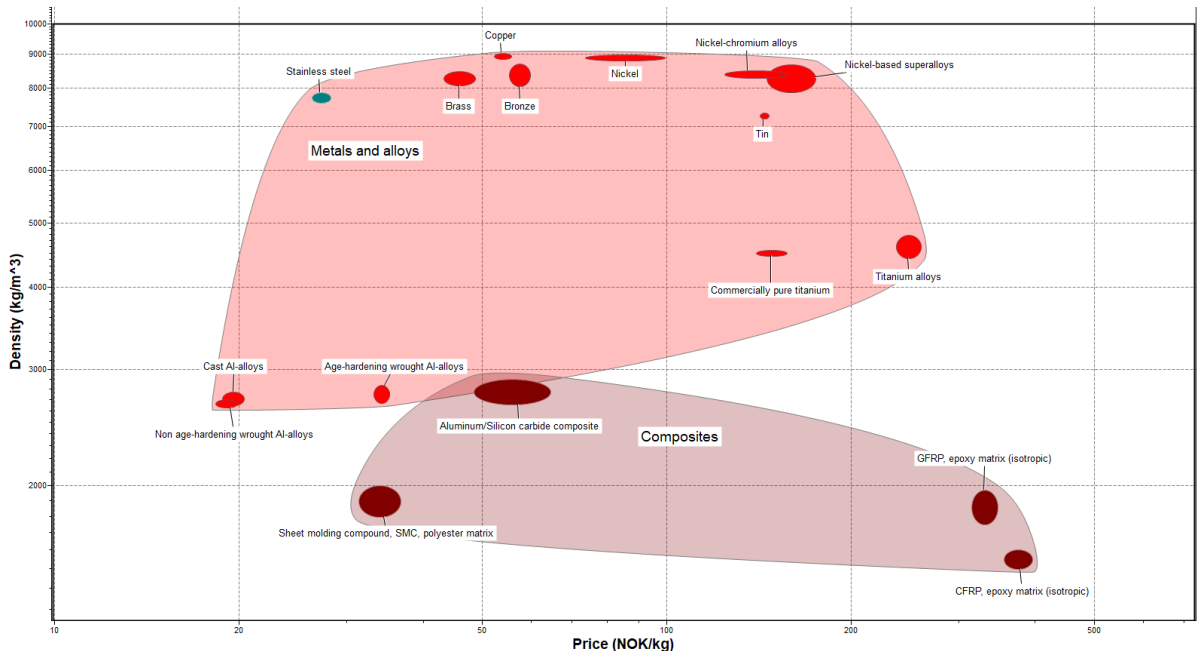
Bruker her programpakken CES EduPack for å komme til riktig materialer som kan håndtere disse kriteriene.

- ☑ Setter opp en Nivå 2 database i Grante EduPack.
- ☑ Setter først opp materialene opp i en Yield strength – Young modulus graf.
- ☑ Setter på kriterier at materialet må tåle mer enn 10 MPA i Yield Strength og mer enn 9 GPa i Youngmodulus skalaen.



Figur 10.1 Viser materialer i et Yield strengt (y-aksen) – Young modulus (x-aksen) skjema. De grå delene er materialer som ikke har nådd kriteriene hittil.

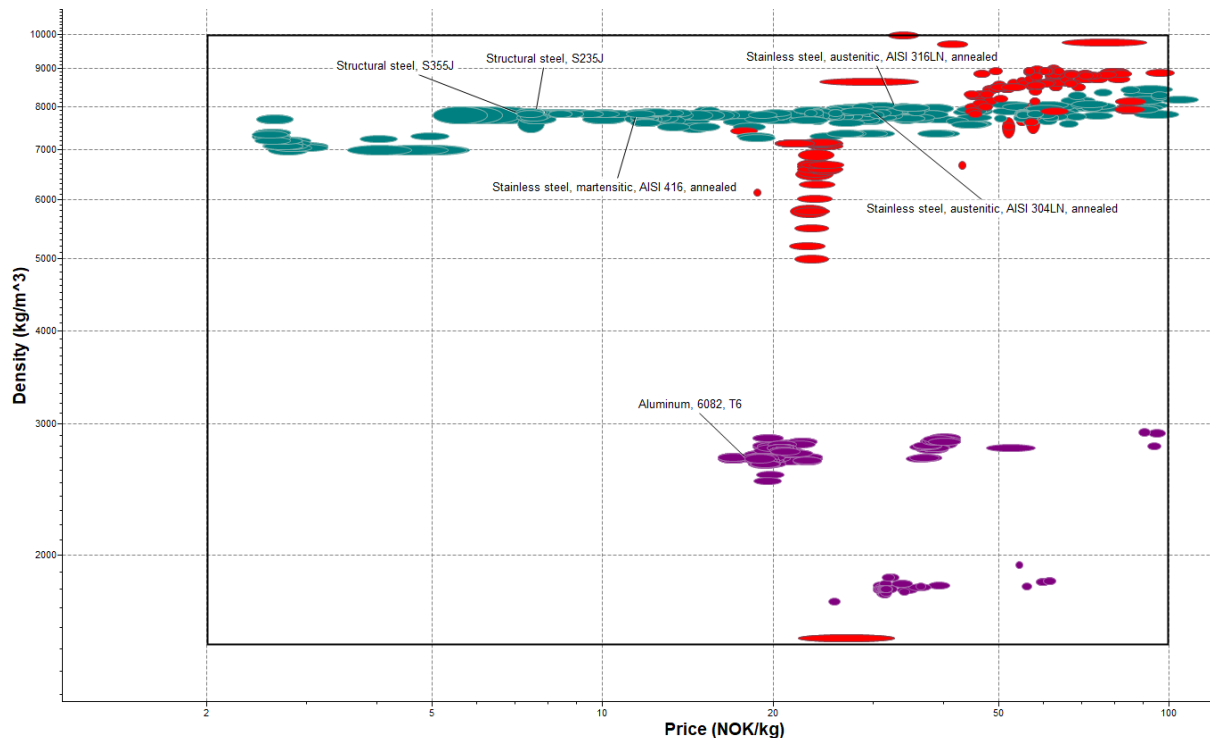
- ✓ Setter inn et kriterium for bruddfasthet på $10 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{0.5}$.
- ✓ Setter kriteriet for at materialet skal ha utmerkede maritime egenskaper.
- ✓ Setter opp graf for Tetthet og pris.
- ✓ Setter høyeste tetthets verdi på $10\,000 \text{ kg/m}^3$, og høyeste prisen på 1000 kr/kg .



Figur 10.2 Viser materialer etter seleksjon i bruddfasthets - pris skjema.

- ✓ Flytter alle valgene over i et Nivå 3 database i Grante EduPack.
- ✓ Setter kriteriet for pris ned til 100 kr/kg .

Får opp at 1258 av 4181 materialer møter kriteriene satt opp. Gjør Research og finner noen materialer som allerede brukes i offshore industrien, og markerer opp disse [67].



Figur 10.3 Viser materialer etter seleksjon i bruddfasthets - pris skjema i CES EduPack Nivå 3 database. Bronse og sink legeringer i rødt. Jern og rustfritt stål er i grønt. Aluminiums legeringer er i lilla. 6 materialer som kan brukes er markert opp med navn.

Av alle disse materialene kan det være gunstig å bruke en form for rustfritt stål. Men dette kan føre til noe mer vekt enn nødvendig (og det er forholdsvis kostbart, regnet i kilo). Om det er mulig å bruke Aluminium 6082, T6 [V10] vil dette kunne være det rimeligste, og mest hensiktsmessige for dette produktet.

10.1.1 Innkapsling

Et system i nærheten av havet kan få flere påkjenninger, i form av saltvann, vær, vind og begroing. Metall konstruksjonen under bryggen kan lages med materialer med hensyn til disse forholdene. Men med et system som har hydrauliske og elektriske komponenten vil det ha behov for innkapsling rund de restriktive leddene for at vann, salt, begroing og fysiske påkjenninger ikke skal skade systemet. For å ha et ryddig system er det fint om disse komponentene er over vannhøyde og hvor disse komponentene ligger i to IP-grad 66 skap. Alle hydrauliske komponenter i et skap og alle elektriske komponenter i et annet.

IP grad er en sertifiserings grad som forteller hvor tett et produkt er mot vann og partikler. Desto høyere tallene er, desto høyere er tettheten. For et anlegg som dette vil IP66 være et logisk valg. Denne sertifiseringen tåler direkte høytrykksspyling og brukes innen industri og verksted, samt alle typer utebelysning. [68]

10.2 Bruksslitasje, vedlikehold og ettersyn

Brukerslitasje:

Bruksslitasje kommer av bruk av et produkt over en viss tid. Slitasje kan ses på forskjellige måter: Dette systemet vil være plassert under vann og brukes 24/7. Delene som er fastmonterte er brakettene, slangene, under bryggen, mens aggregat og el-tavlen ligger beskyttet på land. Delen som er bevegelig er stempelet. Den kjente brukerslitasjen som kan oppstå er knyttet til stempelet. Stempelet vil bevege seg frem og tilbake under hele sin prosess.

Dersom stempelstangen og pakningen ripes og skades av, så vil det kunne oppstå økende bruksslitasje i stempelet. Å skjerme denne delen av innretningen med en ytre mansjett av gummi eller på andre måter vil være aktuelt.

Brakettene vil være festet på bryggen med syrefastebolter. Materialet til braketten er Aluminium 6082 T6 og boltene er syrefaste. Syrefastebolter er sterke materiale som kan skape slitasje på overflaten til braketten. En enkel løsning kan være å legge til flate skiver som hinder direkte slitasje på braketten, men dette skal tas med i videre arbeid for å se om det er en god løsning.

Overflatebehandling:

Brygger blir omringet av enten saltvann eller ferskvann. Det er materialer som har en kjemisk binding som håndterer slike forhold, og andre må overflatebehandles. Overflatebehandling er en viktig faktor fordi produktet vil være plassert under vann fra den dagen den blir installert og når den er i bruk. Brakettene som fester seg til bryggen og holder stempelet i midten mellom dem består av Aluminium 6082 T6. Det er et materiale som ikke korroderer i saltvann eller ferskvann, som i seg selv ikke trenger å overflatebehandles (men som kan elokseres eller plastbelegges om ønskelig).

Stempelets materiale og overflatebehandling er det underleverandøren som skal ta hånd om. I slike vann er det organismer som alger, skjell osv. som vanligvis pleier å feste seg mange ulike overflater under vann. Både brakettene og stempelet vil ha en utfordring med overflateorganismer. En løsning som skal tas i videre arbeid er Sink klosser som plasseres ved brakettene og stempelet. Tanken til dette er for å hindre slike overflaterorganismer til å feste seg til overflaten til brakettene og stempelet.

Under vintertiden dannes det islag over vannoverflaten rundt bryggene. Dette islaget kan gi en påvirkning på konstruksjonens overflate når islaget beveger seg kommer borti overflaten. I videre arbeid skal det undersøkes i hvilken grad islaget kan skade systemet og skape slitasje på overflaten.

Vedlikehold og ettersyn:

Vedlikehold bør utføres i faste intervaller for å sikre seg at kvaliteten, levetiden og sikkerheten blir opprettholdt. Ved slike vedlikeholdsrunder bør deler som har kortest levetid byttes under hvert intervall.

Ettersyn av systemet bør settes som rutine for sikre at systemet fungerer som den skal. Ettersyn kan utføres en gang i måneden hvor man går gjennom komponentene som er i mest bevegelse og kritiske. Det bør utvikles egne prosedyrer for dette som integreres i produktleveransene.

10.3 Form- og estetikkalternativer

Selv om man skal plassere de bevegelige delene med stempelpumpe og braketter på en slik måte at de ikke er umiddelbart synlige, vil designvalg påvirke både produksjon og inntrykk av produktkvalitet. Litt bakgrunn og synspunkter skal det nevnes også om dette.

10.3.1 FFF-grunnregelen

Form følger funksjon (*Form follows function*), også kjent som FFF-grunnregelen var en parole i arkitektur- og designteori i mellomkrigstiden og etterkrigstiden. Slagordet ble først tatt i bruk av den amerikanske arkitekten Louis H. Sullivan i 1896. Formålet med parolen avgjør at det ikke finnes estetiske problemer, men de estetiske problemene finnes heller i form av funksjonelle problemstillinger.^[69,70]

10.3.2 Designteori

Design teorien deles de grunnleggende formfunksjonene opp i to grunnformer: organiske og uorganiske design. Mange design er en kombinasjon og/eller variasjoner av disse to.

Organisk design:

Et organisk design er inspirert av naturen. I et organisk design brukes det ofte runde, ovale og slyngeformede former. Disse formene er ofte tilknyttet glede, romantikk og munterhet. Organiske design tåler ofte også bedre påkjenninger fra naturkrefter.

U-organisk design:

Et u-organiske design er inspirert av mineraler og krystaller. I u-organiske design er det ofte firkanter, trekantene og kombinasjoner av spisse aggressive former.

10.3.3 Fargelære

Fargelæren kan brytes ned i tre grunnleggende kategorier: 1. Fargehjulet, 2 fargeharmoni og 3. hvordan fargene brukes i kontekst.^[71,72]

Fargehjulet:

Fargehjulet er en sirkel basert på primærfargene rødt, gult og blått. Ved å blande primærfargene får man sekundærfargene grønn, oransje og lilla. Ved å blande primær og sekundær farger for man tertiærfarger som gul-oransje, rød-oransje, rød-lilla, blå-lilla, blå-grønn, og gul-grønn. Videre kan det blandes forskjellige mengder av alle disse fargene som da danner forskjellige farge nyanser. Alt dette samlet danner et komplekst fargejul med mange forskjellige farger.

Fargeharmoni:

Fargeharmoni er en visuell opplevelse av farger som er satt sammen som er behagelig for øyne. Visuell harmoni gir fred, energi og en følelse av orden. Det er flere teorier om fargeharmoni. To store variasjoner er blant annet analoge farger: farger som er rett ved siden av hverandre i fargehjulet og komplimentære farger: farger som er på tvers motsatt av hverandre i fargehjulet. Et perfekt utgangspunkt for mange forskjellige fargeharmonier er som regel ute i naturen. Hvor de fleste fargene er i harmoni med hverandre.

Fargekontekst:

Fargekontekst går hovedsakelig ut på hvordan farger oppfører seg i forhold til hverandre og i forhold til forskjellige former. Ved bruk av forskjellige farger kan former fremstå større eller mindre enn det de egentlig er.

10.3.4 For og estetikk bruk for produktet

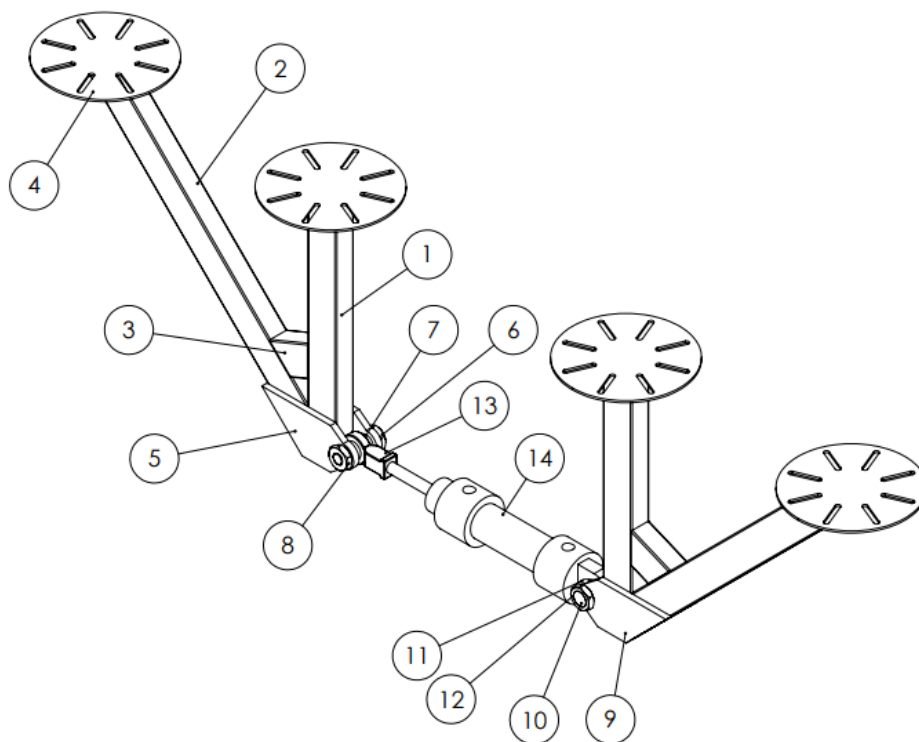
For dette produktet brukes FFF-grunnregelen og utformingen av produktet blir gjort utefra behovet. For at produktet skal kunne tåle mest mulig påkjenninger fra bølger, vær og vindt vil produktet prøves å lages med mest mulig organisk design. Videre i fargebruken brukes ofte minimalistisk farger i moderne arkitektur og for at dette produktet skal gå i et med installerte brygger vil det brukes nøytrale/minimalistiske farger.

11 PRODUKTARKITEKTUR OG KONSEPTDESIGN

I dette kapitlet presenteres bølgekraftkonseptet i sin helhet med oversikt over hovedkomponenter og arkitektur. Konseptdesignet er modellert i SolidWorks, basert på valgte løsningsalternativer fra egenscreeningen. Hensikten med dette er å vise konseptdesignet for vannkraftverket klartest mulig, og hvordan den er bygd opp.

11.1 Sammenstilling for hoved konstruksjonen

Her illustreres bølgekraft konseptet med tilhørende anvisninger av nummer og delnavn i tabeller.



Figur 11.1 Sammenstillingstegning av bølgekraftverket.

Tabell 11.1 Beskriver delene i figur 11.1:

Del nr.	Del Navn	Antall	Del nr.	Del Navn	Antall
1	Bjelke 1	2	8	Bolt 1	1
2	Bjelke 2	2	9	Stempelfeste 2	2
3	Støtte bjelke	2	10	Skrue 2	1
4	Topp feste	4	11	Skive 2	2
5	Stempelfeste	2	12	Bolt 2	1
6	Skrue 1	1	13	Swivel Head (kjøpes)	1

Topp festene til systemet skal kunne festes til bryggen. Her er det laget 8 avlange hull i hver plate for å kunne feste systemet med 8 skruer i hvert ledd om nødvendig. Størrelsene og feste metodene vil avhenge av hvilken brygge systemet installeres på.


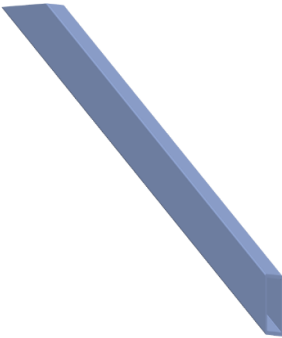
11.2 Hovedelementer i 3D



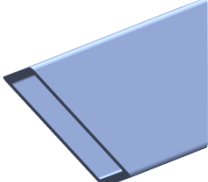
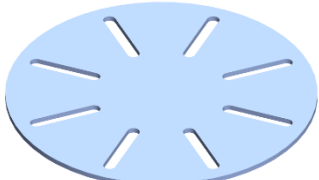
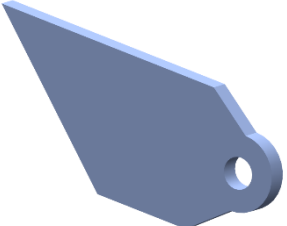
Figur 11.2 Viser hovedelementene i konstruksjonen under flytebryggen, med et detaljert bilde for festeplaten på toppen for flytebryggen og festet til stempelet.

11.3 Design av større del-elementer

Tabell 11.2 Tabellarisk oversikt over større delelementer:

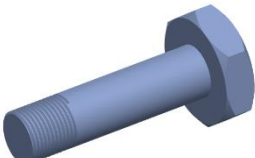
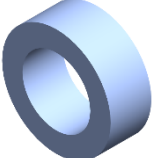
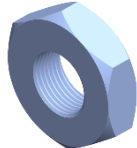
Del nr.	Forklaring
Del 1 Bjelke 1 	Rektangulært hulprofil bjelke 80x50x5.
Del 2 Bjelke 2 	Rektangulært hulprofil bjelke 80x50x5, med skrå kutt oppe og nede.

Tabell 11.2 Forts.

Del nr.	Forklaring
Del 3 Støtte bjelke 	Rektangulært hulprofil bjelke 80x50x5 for støtte med skråkutt på sidene.
Del 4 Topp feste 	Sirkulær topp fester laget av 5 mm metall plate, med 8 feste punkter for skruer for flytebyggen..
Del 5 og 9 Stempelfeste 	Feste for stampelet lages ut av en 15 mm plate. Del 5 og 9 er forskjellig stempelfestediameter foran og bak.

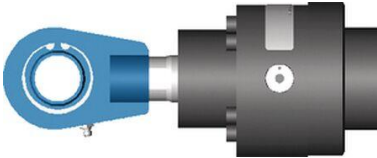

11.4 Mindre komponenter og standardelementer

Tabell 11.3 Mindre komponenter og standardelementer:

Del nr.	Forklaring
Del 6 og 10 Skrue 	Skrue feste for stempel. 2 forskjellige diameter mål for feste foran og bak stampelet.
Del 7 og 11 Skiver 	Skive for å holde stampelet i midten. Målene for denne vil ikke være helt korrekte, siden stempelfeste har et rullelager er det gunstig å lage denne akkurat stor nok til at den treffer lageret og ikke holder igjen stampelet og bevegelse til den.
Del 8 og 12 Bolter 	Kan lages/tilpasses enkle bolter og forbindelser for testing.

11.5 Innkjøps deler

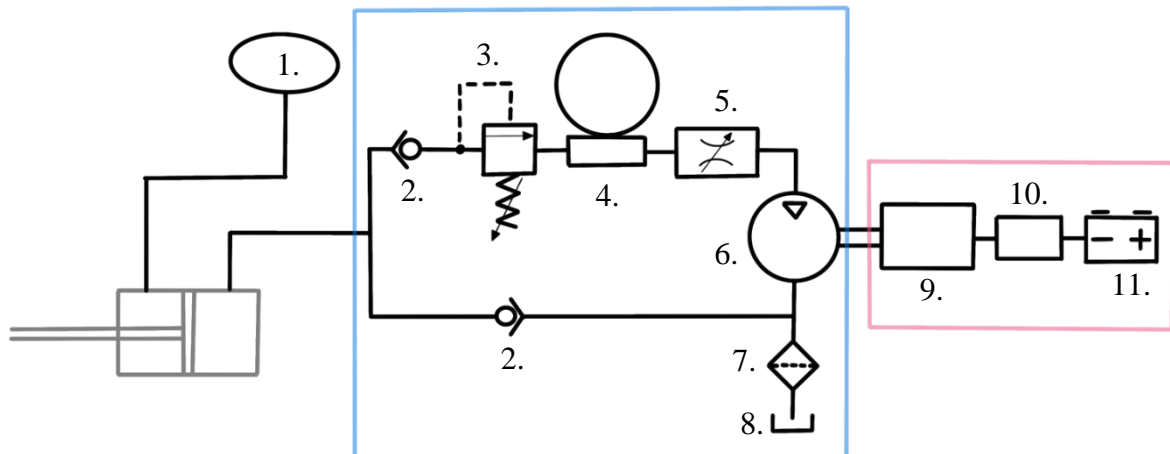
Tabell 11.4 Innkjøps deler:

Del nr.	Forklaring
Del 13 Swivel head ^[V8] 	Feste for stempelet kan fås med ved kjøp av stempel.
Del 14 Stempel ^[V6] 	Bruker SCH1 MP3 stempel fra Bosch Rexroth.
Del 15 Feste skruer og bolter for bryggene	Det er 4 festeplater for systemet, hvor hver plate har hull for 8 feste skruer. Dette vil gi $8 \times 4 = 32$ skuer og bolter per system.
Del 16 Ansatsnipler	Fås med ved kjøp av stempel.

11.6 Systemoppbygging for landdelen av anlegget

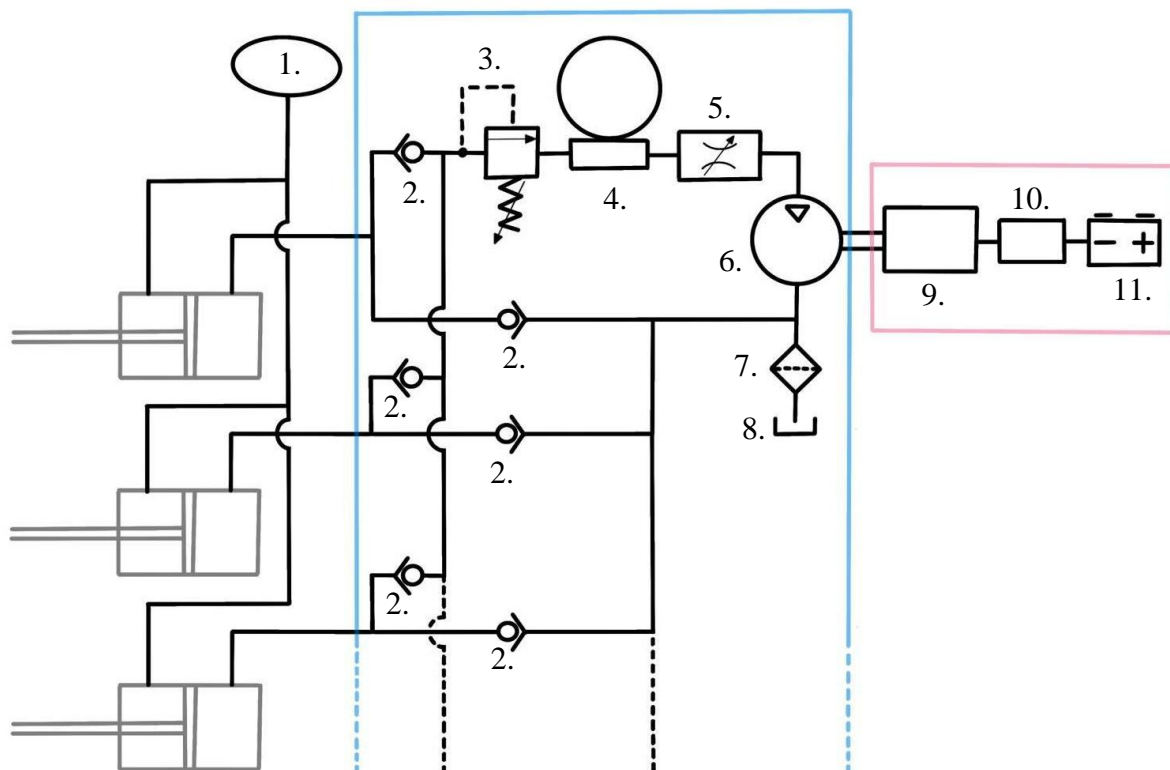
På oversiden av bryggen mot land vil det være 2 IP-grad 66 bokser, en for alt av hydraulikk og en for alt elektrisk. Fra stempelet vil det være 2 slanger som går opp til hydraulikk boksen, hvor slangen fra høyre siden av stempelet vil være koblet til en hydraulikk tank og venstre side vil være for inntak av luft (denne trenger ikke å gå til hydraulikk boksen).

Alle andre hydrauliske komponenter vil være inne i hydraulikkboksen, mens akslingen fra hydraulikkmotoren monteres gjennom boksene festet til hydraulikkmotoren inni hydraulikk boksen på den ene siden og dynamoen inni elektrisitetens boksen på den andre siden. Inni boks nr. 2 vil alt av det elektriske samt omformer, batterier, kabler og sikkerhets brytere være. (figur 11.2)



Figur 11.3 Viser hydraulikkskjema for et stempel og markering for IP66 kasse rundt de hydrauliske komponentene (blått), og IP66 kasse rundt det elektriske (rødt).

Om det skal kobles opp flere systemer etter hverandre vil det kun trenge to ekstra tilbakeslagsventiler per stempel og videre kan alt kobles til samme system som for ett stempel. (figur 11.3)



Figur 11.4 Viser hydraulikkskjema ved flere stempler koblet opp i samme system.

Tabell 11.5 Delforklaring for figur 11.3 og 11.4:

Nummerering	Forklaring
1	Luftfiltrering (pustefilter)
2	Tilbakeslagsventil
3	Trykkbegrensningsventil
4	Akkumulator
5	Treports volumstrømregulator
6	Hydraulisk motor
7	Filter
8	Olje tank
9	Motor (dynamo)
10	Elektrisk omformer
11	Batteri

11.7 Muligheter for modulbygging i større skala, seriesystemer

I figur 11.1 vises systemet for en flytebrygge, vanligvis ved en brygge er det flere flytebrygger ved siden av hverandre, da er det mulig å modulisere systemet og bruke det på flere brygger. Her vil det kreves flere av del 1 til 19 utefra hvor mange systemer som blir koblet opp, men del 20 til 30 trengs det bare 1 av, men størrelsene på disse kan variere utefra hvor mange brygger som blir koblet opp. Hydraulikk skjema vil også være nesten helt likt hvor alt kobles opp mot samme system (figur 11.3).

12 EKTERNESTING/INPUT

Underveis i utviklingsprosessen er det avgjørende å få eksterne innspill som kan være til hjelp videre (IPD). Hensikten med dette er å kvalitetssikre utrednings- og utviklingsarbeidet gjennom kommentarer og tilbakemeldinger på det gjennomførte arbeidet, i tillegg innhente tips og råd for videre utviklingsarbeid.

12.1 Målsettinger for testingen

Viktige innspill må berøre både ingeniørfaglige og potensielle kunde/brukerforhold og gjenspeiles i målsettingene.

12.1.1 Hovedmål for eksperttesting

Følgende hovedmål er formulert for denne delen:

Få tilbakemeldinger på løsningsutredningen for det foreløpige konseptet og de betraktningene som har blitt gjort i beregninger, konstruksjonsforlag og tidlige analyser i utviklingsarbeidet så langt for å kunne gjøre videre forbedringer.

12.1.2 Delmål for eksperttesting

- Gjennomgå løsningsalternativer og vurderingen av dem.
- Få tilbakemeldinger på egenscreening, løsningsvektning vektning og karaktersetting.
- Gjennomgå grunnlagsberegningene og de forutsetningene og antakelsene som er satt.
- Få innspill til videre beregninger, systemlayout mv.
- Få råd og tips til konstruksjon, FEM-analyser og simuleringer.
- Få innspill knyttet til bruksaspekter, løsningsutforming og integrering, samt design, estetikk og andre kundeaspekter mv.

12.2 Valg av testpopulasjon

Testpopulasjonen som benytte for å hente innspill og input er delt i to kategorier, hvorav den første er ingeniørfaglig ekspertise knytte til fagpersonalet ved Fakultet for realfag og teknologi ved NMBU, samt tilgjengelig ekspertise knyttet til elektronikk og elektriske anlegg. Den siste

populasjonen er langt større og omfatter et bredt spekter av personer og grader av praktisk faglig ekspertise som er nådd via nettskjema.

12.2.1 Ingeniørfaglige ekspertpersoner

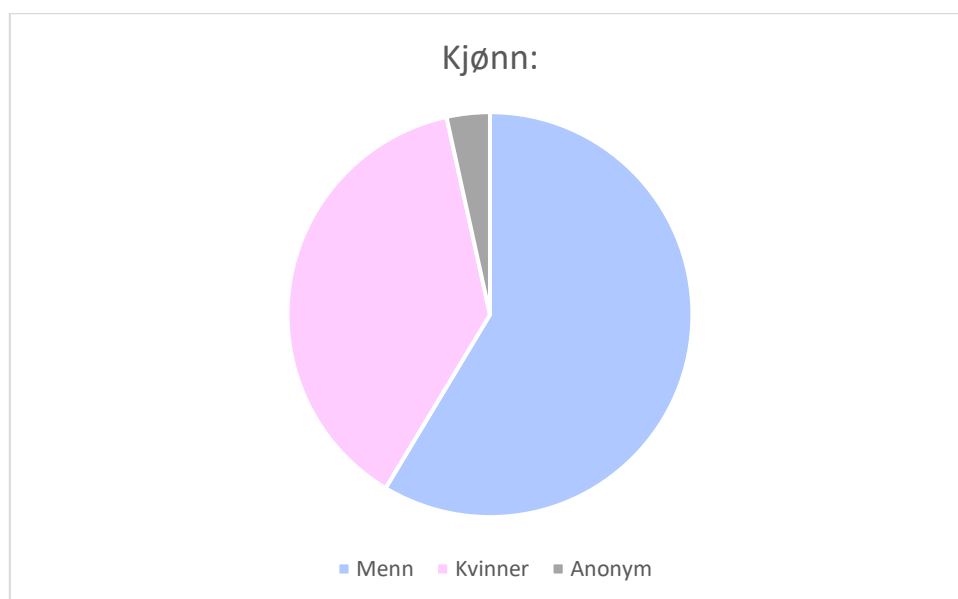
Oppgave problematikk har blitt tatt opp med tre ekspertpersoner, som har bidratt med råd og innspill, både muntlig i intervjuform og i ett tilfelle også skriftlig. To ekspertpersoner fra verkstedet ved NMBU har gitt fysisk tilbakemelding ved oppmøte.. Mens en elektriker har gitt skriftlig notert tilbakemelding, samt noen muntlige forklaringer.

Tabell 12.1 Valg av ekspertpersoner knyttet til ingeniørfaglige vurderinger:

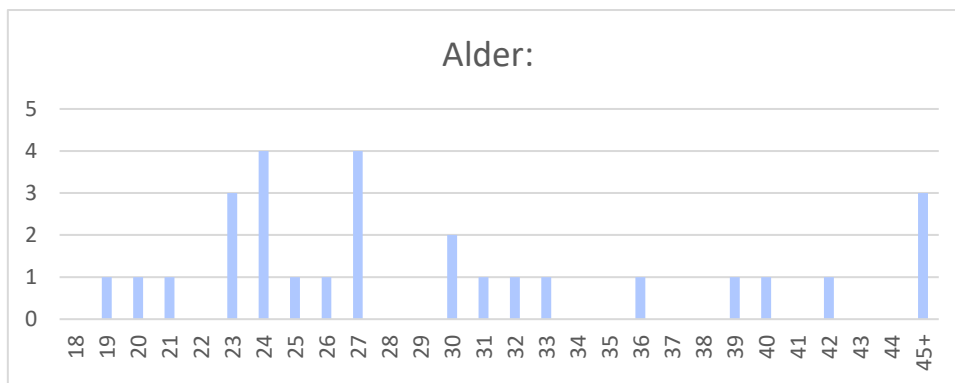
Navn	Tittel	Kompetanseområde	Merknad
Øyvind Hansen	Senioringeniør	Verkstedproduksjon	Verksmester
Øyvind Bergh	Avdelingsingeniør	Verkstedproduksjon	Ingeniør
Balprit Singh	Elektriker/Fagskole student	El-installasjoner og prosjektering	Autorisert

12.2.2 Populasjon for bred eksterntesting (nettskjema)

For eksterntesting for design og produkt idé, har det blitt gjort en kort nett undersøkelse for nære venner og familie. Tabell over alle som har vært med å gjøre eksterntesten ligger under i vedlegg 12. Av disse er det et godt spekter mellom menn og kvinner, med 17 menn, 11 kvinner som har svart på undersøkelsen, de fleste er i aldersgruppen 20-30 og testpersonene er fra flere ulike bakgrunn. I det følgende gis en oversikt over kjønn, alder og yrkestilknytning:



Figur 12.1 Fordeling mellom antall kvinner og menn i undersøkelsen.



Figur 12.2 Viser aldersforskjellen for personer i undersøkelsen.

Tabell 12.2 Oversikt som viser bredden og eksempler på yrker eksterntesterne har:

Yrke/Studie/kompetanse
Siviløkonom
Eiendom & Næring / Karpe
Fashion design esmod
Lærer
Musiker
Musikkproduksjon og låtskriving
Miljøterapeut på ungdomsskole
Sivilingeniør elkraftteknikk
Oslo kommune
Ingeniør
Lege
Artist
Sivilingeniør innenfor maskin, prosess- og produktutvikling
Interiør designer
Elektroingeniør
Forteller
Psykologi
Finanscontroller
Ingeniør
Prosjektleder Ingeniør
Farmasi
Kontorfullmektig
PT/Jus
Sivilingeniør
Forsvaret
Assistent/Medisin
Elektriker/Elkraft student

12.3 Innhold og form på testskjemaer, kommunikasjonsform

For testing ved ekspertpersoner har dette foregått fysisks, hvor dem har gjennomgått deler av oppgaven samt spørsmål og kommet med nyttig innspill. For resterende design testing har dette foregått ved nett spørre skjema med forklaring over oppgaven, samt bilder, med følgende spørsmål:

- Fra 1 til 5: Hva tenkes om ideen?
- Fra 1 til 5: Hva syns du om dette designet?
- Fra 1 til 5: Hva tenkes om funksjonen til produktet?
- Fra 1 til 5: Vil dette være et nyttig produkt?
- Er dette et produkt du tenker kan bli brukt i fremtiden for energi produksjon?
- Om du har en brygge kunne du tenkt deg å bruke dette produktet på bryggen din?
- Hvilke farge(r) mener du produktet bør ha?
- Hva mener du produktet bør hete?
- Hvilke utfordringer ser du med en slik type produkt?
- Andre kommentarer:

Komplett skjema finnes i vedlegg 8 helt bakerst i rapporten for evt. nærmere gjennomsyn.

12.4 Resultater og resultattolking

12.4.1 Resultater fra ekspertpersoner

a) Innspill fra senioringeniør/verksmester Øyvind Hansen:

Hansen har hjulpet med muntlige råd og innspill til design, konstruksjon, design og systemutvikling og optimalisering av konseptet, så vel som viktige aspekter av rapportering. Dette kan gjengis kondensert og refereres på denne måten:

Det er viktig å være oppmerksom på at friksjon i forskjellige ledd, energi kan gå over til varme (bl.a. ved større anlegg/ lednings- og slanglengder, likeledes ved høyere omgivelsestemperaturer). Flere stempler på forskjellige brygger kan få jevnere tilførsel av olje strøm. Videre kan det vurderes med mindre akkumulator.

Det bør også sees på hvor mange brygger/enheter som kan kobles opp mot samme system (dvs. hvor mye systemet håndterer og, hvor mye trykk tap det kan bli ved lengre olje ledninger)

Den tekniske og terminologiske forskjellen på det man kaller «en generator» og «en dynamo»: er at en generator skaper vekselstrøm har en likeretter, Dynamo gir like strøm.

Materialer: bør vurderes ende mer nøye i videre arbeid, slik at et slikt materialene ikke bare varer i f.eks. 2 år, men helst mer enn 10-15 år. Noe som er mer gunstig for brukeren.

Elektronikken og styringssystemer, bør sees på av en energiteknikker og elektroingeniør, som ser på funksjonsdiagram og kontroller. Det kan være f.eks. når batteriet skal lades og stoppes.

Hansen kom med noe innspill angående material og verkstedpriser, bl.a. sveising, montering osv. noe som er gode forslag som kan tas inn delen av produksjonskalkylene som videre arbeid.

For senere bruk og formidling av innholdet og tekniske anbefalinger i rapporten til lesere og prototyping mm er det ønskelig å redusere omfang, bør man unngå overlapp og prioritere teknisk klarhet.

b) Innspill fra avdelingsingeniør Øyvind Bergh:

Øyvind har studert design og 3D utvikling, fem analyser og kraftmekanikk osv. Han har også noe tidligere erfaringer fra båt og brygger og har kommet med gode innspill. Bergh har hjulpet litt med noen muntlige råd og praktiske innspill om design/konstruksjonsoptimalisering som kondenseres på følgende vis:

Konstruksjon og styrke er en noen viktige faktorer. Mange lokale brygger består av strekkmetall og impregneret treverk. Her er må man tenke på trykket/kraften som overføres fra brakettene og mot strekkmetallet/treverket på bryggegulvet. Ved feilberegning av trykk/kraft vil brakettene ved verstefall ødelegge bryggegulvet og skade eventuelt personer på bryggen. Her er det viktig at kraften fra brakettene ikke overstiger strekkmetallets/treverkets fasthetsgrense. Kraften som påføres på bryggen er momentet delt på arm. I dette tilfelle er armen fra flytebrygge opplagringen til hvor punktet hvor braketten er festet. Dersom braketten festes lengere ute på flytebryggen vil kraften som påføres flytebryggen fra braketten minke.

En løsning for å minske sjansen for at kraften overstiger fasthetsgrensen på et punkt på bryggen er fordele kraften på barketten med to punkter (to armer). Ved dette vil kraften være mer vinkelrett mot stempelet. En bjelke (braketten) tåler trykk-påkjenninger mer enn skjær-påkjenninger. Rektangulære hullprofilert materialet tåler mer trykk/kraft, noe som anbefales å bruke på braketten.

Videre vil påkjenningene fra stemplet og konstruksjonen kunne endre kraftbildet ved opplæringen til flytebryggene. Flytebrygge opplagringene er konstruert for at flytebryggen står fritt ved at festes et ekstra ledd på flytebryggen. Dette vil være med på å endre kraftbilde ved opplagringene. Dette er noe man må beregne nærmere på. Ved valg av forskjellige bjelker anbefales det å bruke «Tekniske Tabeller» av Jarle Johannessen og «Maskindeler» av Arne Dørum. Beregning av påkjenninger som skjær og trykk krefter vil ikke være like viktig under produktutviklingsfasen. Grunnet simuleringer som gjøres på SolidWorks og forbedringer ut ifra flytegrense til konstruksjonen.

I tilknytning til beskyttelse av pumpemekanismen anbefales det ikke å lage et gitter kasse rundt stemplet under vann for å hindre at fisker komme borti systemet. Grunnen til dette er at alger vil vokse på gitter arealet og på innsiden av kassen, noe som vil øke sjansen for at algene holder stemplet i å bevege seg. Alger og skjell vokser fort. Et alternativ ved å ikke bruke gitter kasse er å montere anode klosser (sink klosser). Sink forhindrer uønsket vekst av alger og skjell ved konstruksjon.

I videre arbeid må se på hvilke type brygger denne konstruksjonen kan brukes på, og om det må monteres på nye brygge eller etter monteres på en ferdig bygd brygge. Billige brygger har kun et festepunkt, og har mulighet for å vri seg. Denne konstruksjonen vil passe best for bryggene som ikke vrir seg, altså dyrere brygger.

Bergh har nevnt at det er viktig så se på hvilke krav det er satt på de forskjellige havene for brygger og slike konstruksjoner.

Feste boltene som skal holde konstruksjonen på plass under bryggen må analyseres og beregninger videre på. Her at må se på hvilket materiale bryggen består av (strekkmatal l/treverk). Videre må man beregne bevegelsen av konstruksjonen når en båt er parkert/ikke parkert ved bryggen, for å se på om det påvirker stemplets bevegelse og strøm genereringen. Dersom det skulle være høy trykk/kraft fra stampelet, er det mulig å bruke stålplater som feste mellom stampelet og brakettene. Her trengs det ikke å bøye til en plate, men sveise den dirkete på brakettene. Disse stålplatene tåler mye mer og kan bli tykkere dersom det skulle revurderes.

c) **Innspill fra ekstern ekspert, elektriker Balprit Singh**

Singh skriver, samt formidler muntlig følgende inntrykk: «Vil først og fremst si at dette er meget spennende! Første tanken som slår meg, er sikkerhet. Når det gjelder elektroverden er sikkerhet det viktigste. Lovene vi følger er utarbeidet med sikkerhet i tankene. For å unngå at den elektriske energien kommer i kontakt med noe den ikke er ment til vil jeg anbefale å bruke IP 66 og høyere på alt det elektriske utstyret.

Det er også viktig å tenke på korrosjon som oppstår med vann. Det finnes både kabler og utsyr som er laget for offshore (disse kommer også med garantier). Siden dette er så nytt kan jeg trygt si at det ikke finnes noe ferdig produkt for dette. Men jeg vil tro det er mulig og sy sammen diverse elektriske produkter for å få en idé.

Når det gjelder kabler er det viktig å vite hvor mange ampere som vil gå igjennom anlegget. Dette vil bestemme størrelse valg på kablen. Jeg vil anbefale på det sterkeste å plassere det elektriske utstyre i noe form for kapsling nær elementet som vil generere den elektriske energien. For det første vil utstyre være beskyttet for vind og vær. For det andre vil tapet som kommer av lengere strekk minkes.

En tanke som slår meg, er at energien som kommer fra genereringen bør lagres på batterier slik at man får mer kontroll over den elektriske energien. Noen spørsmål og fundere over kan vel være om hva denne energien skal brukes til? Er det AC utstyr eller DC utstyr? Det enkleste vil nok være å bruke DC, siden batteriene leverer DC. Men å bruke en omformer kan også være mulig».

12.4.2 Resultater fra de brede nettundersøkelsene

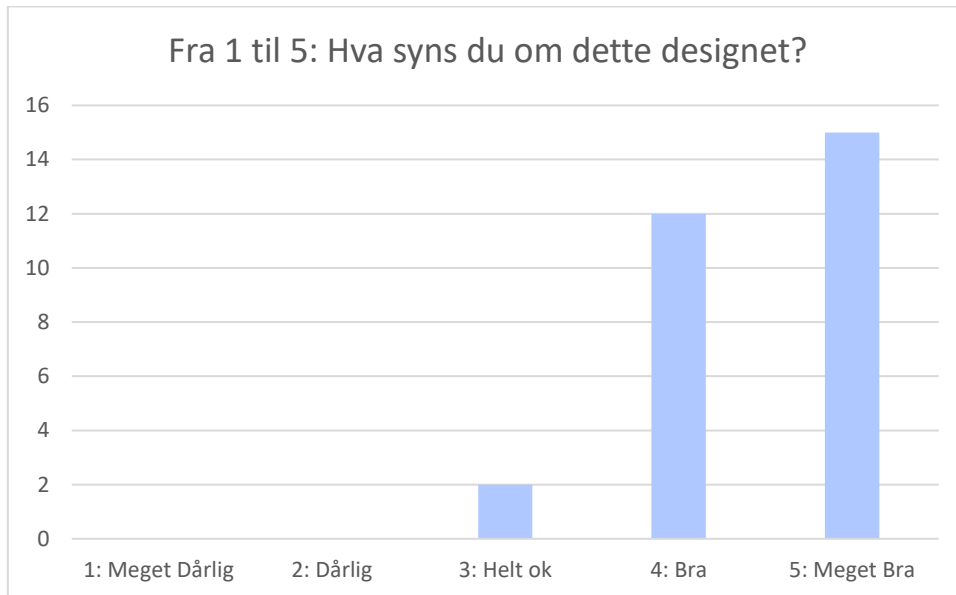
Denne delen av undersøkelsen med eksterninnspill og synspunkter blitt gjennomført i en både variert og stor populasjon og resultatene presenteres trinnvis grafisk med litt kommentarer underveis Fullstendige svar kan finnes i vedlegg 13.

a) **Testing, innspill for idé, design, funksjon og nytte**

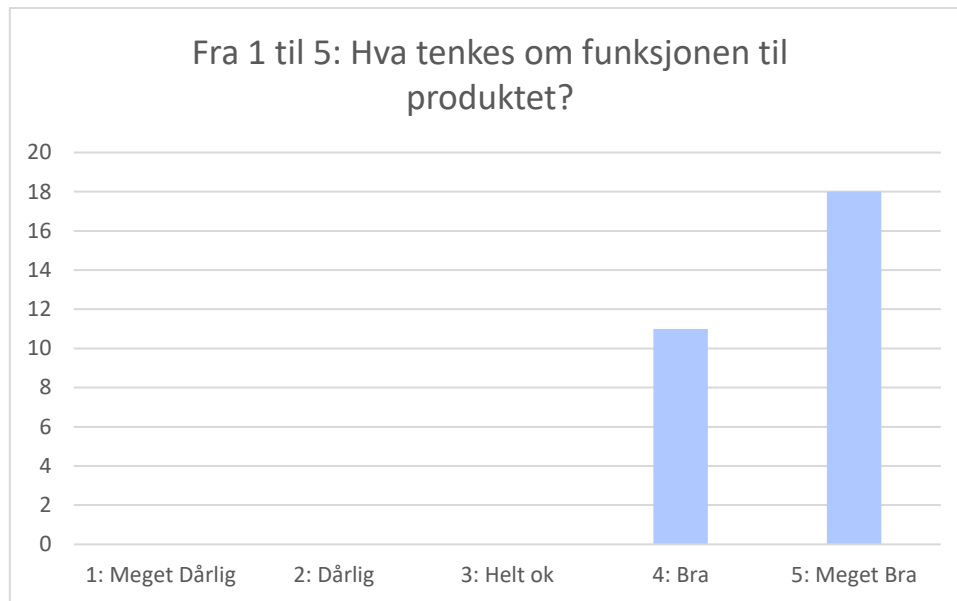
Besvarelsene som er knyttet til spørsmål om disse forholdene framgår fra med neste side:



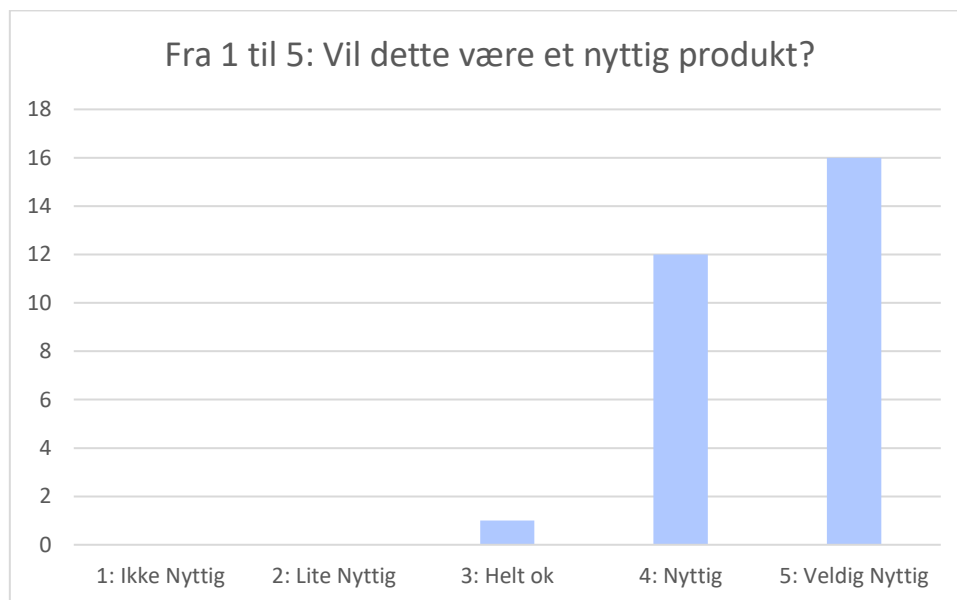
Figur 12.3 Viser resultatene for første spørsmål.



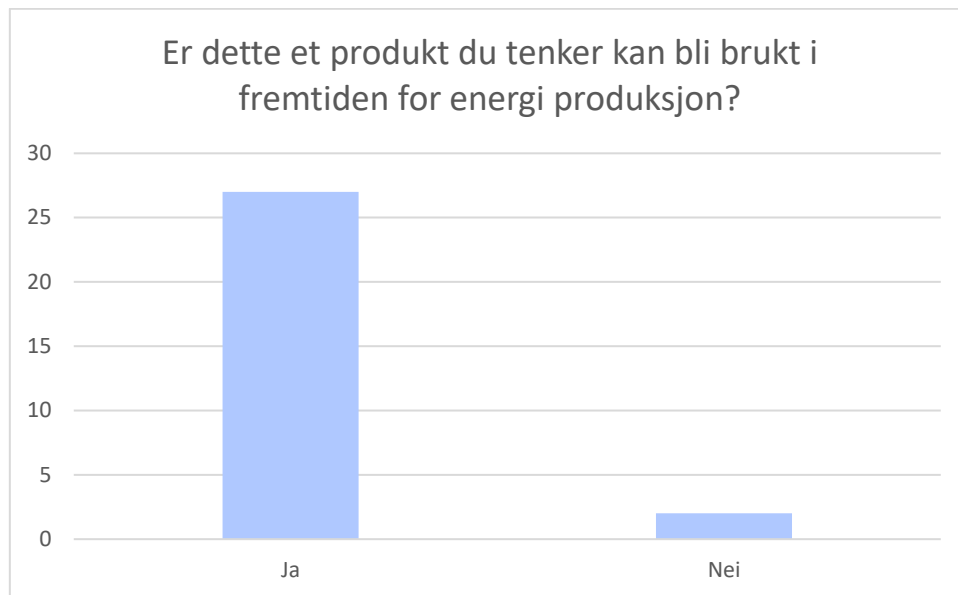
Figur 12.4 Viser resultatene for andre spørsmål.



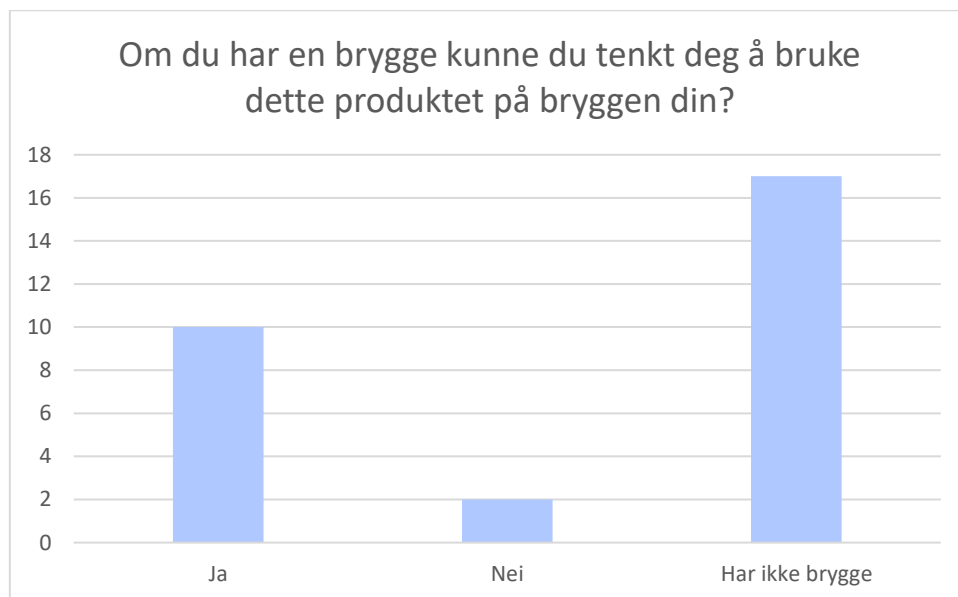
Figur 12.5 Viser resultatene for tredje spørsmål.



Figur 12.6 Viser resultatene for fjerde spørsmål.

b) Testing, innspill for bruk og integrering/innbygging

Figur 12.7 Viser resultatene for femte spørsmål.



Figur 12.8 Viser resultatene for sjette spørsmål.

Merknad: Da undersøkelsen ble sendt ut var det uklart/litt åpent om noen hadde egen brygge. I etterkant viste det seg at ingen eller veldig få hadde dette, så figuren ovenfor illustrerer mest av alt hvor lett det er å formulere spørsmål litt feil, og samtidig behov for å målrette mer mot f.eks. de som man gjerne finner ved fysiske brygger, og som har båter der.

c) Testing, innspill for estetikk, produktnavn og andre forhold

Tabell 12.3 Tabellarisk oversikt som viser resultatene for syvende spørsmål:

Hvilke farger mener du produktet bør ha?
Samme som fagverket rundt
Grått
Grå
Bør ha samme farge og utsende som en vanlig brygge så langt det lar seg gjøre for at det skal appellere til så mange som mulig
Blå
Farge spiller ingen rolle. Nytteverdi
Grå
Blå/svart
Kommer an på regler rundt brygge og båt. Er det ønsket at pumpen skal synes slik at båter ikke slår inn i den burde pumpen være en synlig farge. Et oransje. Ønsker dere å blende pumpen med omgivelsene så er svart/blå en fin farge
Lys farge
Jeg tror grått ville passa bra til det galvaniserte på brygga.
Nøytral farge som ikke synes i omgivelsene
Blå
Sort
Hvit, svart, rød og blå
Nøytral farge, kanskje noe i sammen nyanse som bryggen
Nøytral
Utseende burde være så lite «synlig» eller sjenerende i naturen. Bruke naturlige materialer som tre f.eks. på synlige deler av produktet
Grå
Farge spiller ingen rolle
Blå og Grå
Nøytral farge sammenlignet med bryggen, at den ikke blander inn, men tilpasses etter fargen
Noe som ikke er helt usynlig da du vil at ingen skal kjøre inn i bryggen, men noe lyst kanskje, som er synlig, med mindre den festes til brygger som beskrevet, da kan det være noe nøytralt eller noe som gjør den litt mindre synlig. Avhenger av plassering
Ett fett
Blå
Natur- eller byggmessige farger for å ikke synes. Grønn (gress), grå (betong), blå (vann), brun (jord).
Noe som kamufleres i vannet. Svart/blå/grå

Tabell 12.4 Oversikt som viser resultatene for åttende spørsmål med tanke på produkt:

Hva mener du produktet bør hete?
Wave-o-matic
Pump Awave
Pier Surge
Bølgeenergi
Wavergy
Bryggpumpe
Pier pump, ocean power, eco wave,
Komme
PierPower
Usikkert
Bølgepumpe
Wave
WaveEL, Electric Wave, Dock energi, ECO docking
Pani
GreenWave
Bølgepumpe
Wavey / El Brygge / Bølgetopp
Bølgebrygger
EnergyFlow (flow fordi vannet flyter, og energy pga strøm)
Shockwave
Wave energy
Easy El
Bølge

Figur 12.5 Viser resultatene for niende spørsmål:

Hvilke utfordringer ser du med en slik type produkt?
Produksjonspris og serviceavtale
Prisen?
Kostnad
Produksjonen av mer energi
Mange brygger som må byttes/fornyes. Ikke alltid folk er villige til å ta kostnaden - mao må det støtteordninger på banen :)
Bevaring langsiktig
Korrosjon, tang/tare og annet grums fra båtene? Pris, energilagring. Koble til strømmettet eller ha et microgrid/lokalt energisystem? Er kanskje mindre bølger om sommeren når båter faktisk er ute og ønsker å ta i bruk energien fra pumpene.
Det hver ikke
Korrosjon og kostnader

Figur 12.5 Forts.

Hvilke utfordringer ser du med en slik type produkt?
Kanskje dyrt å installere, usikker på om privatpersoner vil benytte det
Ikke høye nok bølger ofte nok
Vanskelig å utplassere, ikke perfekte forhold med tanke på bølger noen steder
Plassbegrensning og utbygging i stor byen som ikke er langs kysten.
Olje og gass industrien
Vedlikehold pga. vannet. Bør være en mulighet til energilagring.
Hvor synlig er det fra overflaten og hvor mye plass tar produktet
Du er nødt til å ha en strøm akkumulator hvis du tenker å ha en stødig tilførsel med strøm. Prinsippet ditt kan brukes til å lade batterier, gjerne flere av dem, så selv om det ikke er noen bølger en dag, og folk trenger strøm, så tappes det direkte fra batteriene, og du har full kontroll på spenningsområde.
Generere nok strøm og tilpasning av nåværende brygger
Vedlikehold, temperaturendringer med minusgrader (is)
Spørs størrelse mtp. hvor mye plass det kan ta fra en brygge, om det går ut fra bryggen inn i vannet så er det snakk om folk som svømmer, å holde det området unna befolkede områder kanskje. kostnad med produksjon (hakke peil på det så bare et eksempel)
Bevegelig sylinder i vann, smøring, jording og tilgang for evt. vedlikehold.
Grunt vann
Snø og kulde

Figur 12.6 Viser resultatene for tiende spørsmål:

Andre kommentarer:
Veldig bra!
Den er veldig bra Project.
Høres veldig spennende ut. Har jo vært forsket på lenge, men utrolig mange som har faila og gitt opp. Så sykt spennende at du finner en ny løsning på det nærmere land.
Ikke kommentar
Good job!
Veldig interessant!
Utrolig smart produkt. Kunne vært at vi kan få samme effekt av en water beacons / buoys. Hvor det kanskje er enklere å implementere noe slikt. Istedendfor på bryggen hvor det mest sannsynlig er laget ett hinder for at bølgene ikke skal nå ønsket høyde. Og det pga sikkerhet for båten som er ved brygge eller mennesker. Men dette er tanker til en person som ikke har studert dette nok :)
1) Mulighet for energilagring. 2)For å ta produktet på neste steg av bærekraftighet bør materialer som blir brukt for hele produktet være bærekraftig og miljøvennlig. Samtidig tenke på at produktet ikke skader eller er i veien for liv i vannet.
Dritbra tanke, følte den!
Artig tanke flytte sylinder på overflaten så kunne det blitt bra 😊
Burrrrrrrrrraah!
Veldig kult!

Resultatene fra den eksterne nett undersøkelsen for design og produkt idéen gir mange forskjellige svar. De aller fleste er ganske positive til ideen, og mener at det kan være et interessant, smart og spennende produkt som kan bli brukt i fremtiden for energi produksjon. Når det gjelder spørsmålet om hvilke utfordringer produktet kan komme med, så nevner de fleste punkter angående:

- Pris og kostnader.
- Montering og vedlikehold.
- Produktiviteten og lønnsomheten.

13 FRAMSTILLING OG PRODUKSJONS-KOSTNADER


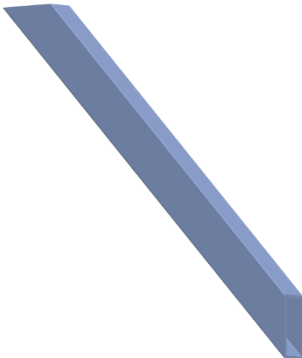
I dette kapittelet gis en noe mer utfyllende beskrivelse av produksjonstrinnene for konseptet. Videre følges dette opp med estimater og grove økonomiske oppstillinger knyttet til kostnadene for utviklingen for produktet og ved ulike nivåer av en evt. framtidig serieproduksjon og bruk til el-energiproduksjon.

13.1 Produksjonsmetoder

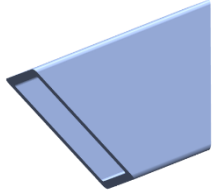
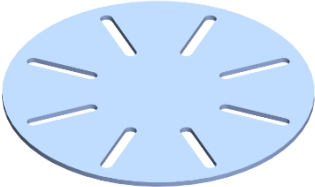
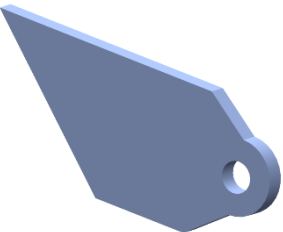
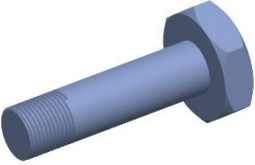

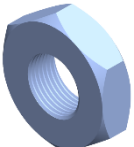
Her gjengis i første rekke produksjonsanvisninger for konstruksjonselementer som er å framstille på verksted eller kjøpes inn. Spesielle elementer knyttet til hydraulikkutrustning og elektrisk system på land legges ut som egen entreprise hos spesialistforening, med spesifisering av ytelser, krav og kostnadsramme.

13.1.1 Hoved konstruksjon

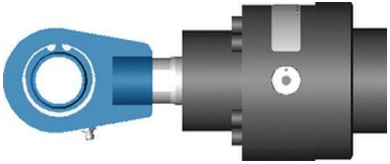

Tabell 13.1 Oversikt over produksjonstrinn knyttet til hoved løsningen med nærmere beskrivelser, se også produktarkitektur, avsnitt 11.3-11.5:

Komponent, (liten tegning)	Beskrivelse	Produksjonsmåte/ bearbeidingsanvisninger
Del nr.	Forklaring	
Del 1 Bjelke 1 	Rektangulært hulprofil bjelke 80x50x5.	Kjøpes inn og kappes til i anviste lengder.
Del 2 Bjelke 2 	Rektangulært hulprofil bjelke 80x50x5, med skrå kutt oppe og nede.	Som ovenfor, men skråskjæres som anvist, Sveises til Del 1.

Tabell 13.1 Forts.

Komponent, (liten tegning)	Beskrivelse	Produksjonsmåte/ bearbeidingsanvisninger
Del nr.	Forklaring	
Del 3 Støtte bjelke 	Rektangulært hulprofil bjelke 80x50x5 for støtte.	Skråkutt på sidene og sveises mellom del 1 og 2
Del 4 Topp feste 	Sirkulær topp fester laget av 5 mm metall plate, med 8 feste-punkter for skruer.	Sveises på toppen av del 1 og en på toppen av del 2.
Del 5 og 9 Stempelfeste 	Feste for stampelet lages ut av en 15 mm plate. Del 5 og 9 er forskjellig stempelfestediameter foran og bak.	Tilpasses mål, platematerial kjøpes inn og skjæres til. Sveises på bunnen av del 1 og 2, en på begge sider, slik at stempelfeste kommer i midten.
Del 6 og 10 Skruer 	Skruer feste for stempel. 2 forskjellige diameter mål.	Kjøpes inn hos, f.eks. Sverre Tingstad eller annen leverandør. Benyttes til feste foran og bak stampelet.
Del 7 og 11 Skiver 	Skive for å holde stampelet i midten. Målene for denne vil ikke være helt korrekte, siden stempelfeste har et rullelager.	Lages/tilpasse slik at den treffer lageret og ikke holder igjen stampelet og bevegelighet til den. Delen bør gis korrekte mål etter at stampelet er kjøpt inn eller fra korrekt informasjon fra leverandør.
Del 8 og 12 Bolter mm. 	Enkle forbindelses-komponenter for testingsformål	Det kan tillages enkle bolter for testing, vil videre være gunstig å kjøpe inn maritime låse bolter.

Tabell 13.1 Forts.

Komponent, (liten tegning)	Beskrivelse	Produksjonsmåte/ bearbeidingsanvisninger
Del nr.	Forklaring	
Del 13 Swivel head ^[V8] 	Endefeste/opplagring for stempelet	Kjøpes inn, f.eks via Bosch Rexroth Norge. Her bør det gjøres videre konsultasjon med leverandør for beste løsning(er).
Del 14 Stempel ^[V6] 	Pumpestempel i hovedmekanismen	Kjøpe inn SCH1 MP3 stempel fra Bosch Rexroth, Bør også gjøre videre konsultasjon for å få delen perfekt utformet for bruksområde.
Del 15 Feste skruer og bolter for bryggene	4 festeplater med 8x4 = 32 skuer og bolter per system.	Skruene og boltene må tilpasses bryggetypen systemet skal installeres på.
Del 16 Ansatsnipler	Metriske nipler som benyttes til slangetilkopling hos stempel.	Fås med ved kjøp av stempel, men viktig å sjekke gjengestandard, metrisk og BSP ved slangetilkopling.

13.1.2 Grovspesifiseringer for eksternhydraulisk og elektrisk anlegg

Hydraulikkanlegg på land med hydraulikkmotor, akkumulator og oljetank, samt løsning for generator, batteri og elektroniske styringssystemer mm. må bestilles og tilvirkes fra en profesjonell aktør som en samleløsning som kan koples direkte til det ytre hydrauliske anlegget ved koping.

Litt grove spesifikasjoner knyttet til dette og med bakgrunn i beregningsarbeidet og de systemillustrasjonene som er gjengitt i Kapittel 11 og Figur 11.3 og 11.4 følger til slutt.

Typiske forhold som må spesifiseres eller gjennomgås nærmere beregnes hos profesjonell totalleverandør, f.eks. Danfoss, Parker, Bosh-Rexroth. Er blant annet:

- Dimensjonering og valg av tilbakeslagsventiler. Type og størrelser.
- Dimensjonering og valg av trykkbegrensningsventil.
- Dimensjonering og valg av tre-ports volums regulator.
- Dimensjonering og valg av akkumulator
- Dimensjonering og valg av tank, filtre og rør og slangediensjoner og typer.
- Øvre typer tilbehør, evt. også standard styrings og reguleringselementer.
- Ulike typer småelementer og deler.

13.2 Kostnadskalkyle for prototype

En prototype er et første fysiske skrittet i en nyskappings- realiseringsprosess for et nytt konsept som dette, der det er lagt inn mye arbeid før man kommer så langt og realiseringen kan gå videre. I det følgende presenteres en del forholdsvis grove kalkyler som vil være nyttige ved evt. vurdering av finansiering videre oppfølging av masterprosjektet.

13.2.1 Egen tidsbruk

Tabell 13.2 Overslag over hovedpostene i eget utviklingsarbeid:

Konseptutvikling:	Timer	Pris [NOK]	Sum [NOK]
Utredning	85	650	55.250
Konseptutvikling	125	650	81.250
Dimensjoneringsarbeid	112	650	72.800
Tegning og 3D-modelering	365	650	237.250
Prosjektrapport	275	650	178.750
Sum konseptutvikling	962	-	625.300

13.2.2 Materialer og komponenter

Tabell 13.3 Grove anslag for materialer og komponenter:

Element:	Mengde (kg)	Pris (NOK/kg)	Sum (NOK)
Hovedanlegg ekskl. Brygge:			
Metall plater, Alu 6082 T6 ^[V11]	3,50	135	472,50
Metall profiler, Alu 6082 T6 ^[V11]	10,1	135	1.363,50
Bolter/skruer/muttere, smådeler	-	175	175,00
Hydraulisk stempel	1 stk.	1.750	1.750,00
Sum hovedanlegg			3.761,00

Tabell 13.3 Forts.

Element:	Mengde (kg)	Pris (NOK/kg)	Sum (NOK)
Eksternhydraulikk og el-anlegg:	-		
Hydraulisk motor	Slås sammen til en felles enhetspris, ønskelig med tilbudspris/fra leverandør under 25.000		24.900,00
Generator/dynamo			
Strøm omformer			
Olje tank			
Olje slanger			
Olje rør			
Sum materialer og komponenter			28.661,00

*) Priser er ca.-priser anslått ut fra kataloger, samt grovanslag knytte til muligheter ved «prototypeavtaler» med importører. Batterilagring holdes utenfor (Er tema for et annet mastergradsarbeid ved NMBU høst 2022).

13.2.3 Verkstedarbeid

Tabell 13.4 Anslag for verkstedarbeid og montering ved eksternt kommersielt drevet verksted, med montering i eksisterende bryggestruktur etter ferdig rapport:

Verkstedbistand	Timer	Pris [NOK]	Sum [NOK]
Sveising	4	1.150	4.600
Maskinering	8	1.150	9.200
Sum verkstedarbeid			13.800
Montering	8	1.900 *)	15.200
Sum verkstedstøtte		-	29.000

*) Gjelder 2 personer, medregnet en assistent til hjelp ved montering. (Realteks internpriser for tilvirkning av prototyper innenfor studieperioden er en del lavere).

13.2.4 Totalkostnader

Tabell 13.5 Verkstedarbeid og montering ved bruk av utstyr og personale ved eksternt verksted (ikke Realteks internpriser), og med montering i eksisterende bryggestruktur:

Konseptutvikling	Sum [i 1000 NOK]
Utrednings og utviklingsarbeid	625.300
Materialer og komponenter	28.661
Verkstedarbeid m. montering	29.000
Sum prototypekostnader	682.961

13.3 Kostnadsanalyser for serieproduksjon

Utviklingskostnadene: Disse må hentes tilbake gjennom et påslag per produsert enhet. Ved å fordele disse initialkostnadene til utvikling av konsepter i et brøkforhold på antall produserte enheter reduseres disse progressivt ved økende produksjonsantall. Dette kan grovt illustreres ved serieutviklingen i tabellen nedenfor

Tabell 13.6 Seriestimat, der utviklingskostnadene fordeles på et økende antall produserte enheter framover i tid:

Konseptutvikling	Sum [NOK]	Sum [NOK]	Sum) [NOK]	Sum [NOK]	Sum [NOK]	Sum [NOK]
Antall enheter	1 stk.	10 stk.	100	1000	10000	100000
Utredning og utviklingsarbeid	625.300	62.530	6.253	625	63	6,3

Ved tilrettelegging og gjennom prosessen med å bygge opp en produksjon er det naturlig å regne litt rente også på investeringen i utvikling. Men for enkelhets skyld inkluderes ikke inn dette i de øvrige seriestimatene nedenfor.

Kostnader for produserte enheter: Det er også mulig å sette opp grove kalkuler for produksjon av større serier av konseptet basert på utviklings- og prototypekostandene slik de framkommer i tabellene foran, men krever at man legger inn visse forutsetninger knyttet til oppbygging, produksjonsteknikk, automasjon og montering, samt innkjøpsrabatter ved større kvanta og volum, som kan variere:

- Et anlegg for produksjon av 5 kW ved liten bølgehøyde (slik det er utredet tidligere vil bestå av 10 bygge-utligger med hver sin pumpemekanisme og braketter, + ett landaggregat med hydrauliskmotor og generator mm.
- Mindre serier, f.eks. 10 anlegg (100 utliggerpumper og 10 aggregater) må produseres omtrent på samme måten som den første prototypen og vil ha begrenset med muligheter for kostnadsreduksjoner (vil trenge startkapital).
- Større serier f.eks. 100 anlegg (1000 utliggerpumper og 100 aggregater) vil gi store muligheter for integrert montering av pumpestempel og braketter hos fabrikk/ bryggeprodusent, likedes framstilling av aggregater hos en større produsent, så her vil man kunne få store besparelser, trolig med en faktor omkring 2,5^[36,51].
- For store serier i industriell skala, omkring 1000 enheter årlig med fabrikkmontering og mye automatstyr der det f.eks. produseres mange ulike marinprodukter vil man kunne enda større besparelser, trolig med en faktor på 4,5^[36,51].

Tabell 13.7 Seriestimat, der utviklingskostnadene og produksjonskostnadene summeres og deretter fordeles på et økende antall produserte enheter framover i tid. En enhet er 10 utliggerpumper + ett landaggregat:

Konseptutvikling	Sum [NOK]	Sum [NOK]	Sum*) [NOK]	Sum**) [NOK]	Sum***) [NOK]
Antall enheter	1	10	100	1000	10000
Utredning og utviklingsarbeid	625.300	625.300	625.300	625.300	625.300

Tabell 13.7 Forts.

Konseptutvikling	Sum [NOK]	Sum [NOK]	Sum*) [NOK]	Sum**) [NOK]	Sum***) [NOK]
Materialer og komponenter	28.661	625.100	2.500.400 (*)	13.891.100 (**)	138.911.000 (**)
Verkstedarbeid m. montering	29.000	2.900.000	5.520.000 (*)	30.666.700 (**)	306.667.00 (***)
Sum totalt	682961	4.150.400	8 645 700	45.183.100	446.203.300
Per enhet	682.961	415.040	86 457	45.183	44.620

- *) Fabrikkmontering, skjer raskt og rundes inn i verkstedarbeid. Benytter for øvrig en «effektiviserings og rabattfaktor/delingsfaktor på 2.5.
- **) Ved større kvanta fra og med 1000 produserte enheter årlig legges det inne en tilsvarende delingsfaktor på 4.5 fra storinnkjøp av materialer som aluminium, komponenter, samt integrasjon i en eksisterende storskala industriproduksjon.
- ***) Hensyn til produksjonsinvesteringer, ytterligere volumgevinster osv. må tas hensyn til ved større serier, men må bli vurdert nærmere i et videre arbeid (Jfr. avgrensinger, Kapittel 2)

13.4 Lønnsomhetsbetraktninger

Politiske signaler og utviklingen i Europa når dette skrives tyder på at man må regne med forholdsvis høye strømpriser i månedene og årene framover, kanskje opp mot 4 NOK kW/h avhengig av statlige støtteordninger. Selv om det er mye usikkerhet knyttet til dette kan man gjøre et grovt teoretisk regnestykke knyttet til el-produksjon fra konseptet som er utviklet, i forhold til seriestimatene som er skissert foran. Legger inn følgende forutsetninger:

- Tid anlegget produserer 5 kW settes forsiktig til en tredjedel av timene et kalenderår, dvs. årlig produksjon blir: $5 \text{ kW} * 365 \text{ dager} * 24 \text{ timer} * 1/3 = 14.600 \text{ kWh}$
- Setter en strømpris på 1.5 NOK (sørlig strøm) som prisbasis ved levering av strøm fra anlegget, dvs. en årsproduksjonsverdi på $14.600 \text{ kWh} * 1.5 \text{ NOK} = 21.900 \text{ NOK per år}$.

Sluttmerknader:

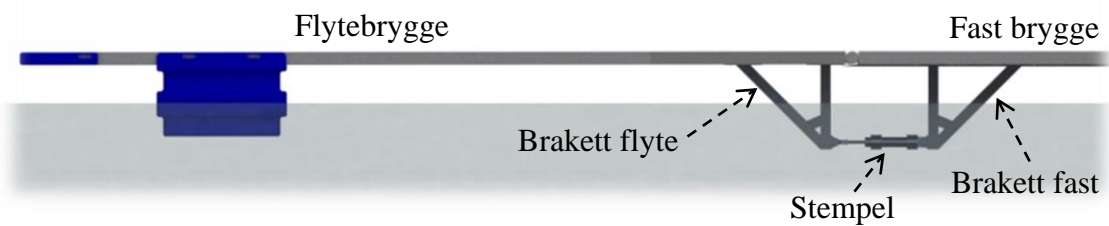
Ut fra dette grove regnstykket og seriestimatene foran for produksjonskostnader vil man måtte la anlegget produsere strøm i $86\,457/21.900 = 3.95$ år før man oppnår balanse ved produksjon av 100 enheter årlig (Jfr. Tabell 13.7) ved liten bølgehøyde og bruk av 10 brygge-utligger. Kommer man opp en produksjon på 1000 enheter får man balanse ved $45.183/21.900 = 2.02$ år. Dette må anses som positivt.

Anlegget gjerne vil også kunne ha lengre driftstid flere steder, kanskje det dobbelte, likeledes finnes det mange lokaliteter med mer vind og bølgehøyde, men disse aspektene og usikkerheten omkring den videre utviklingen i strømprisene får ligge enn så lenge.

14 MARKEDSPRESENTASJON

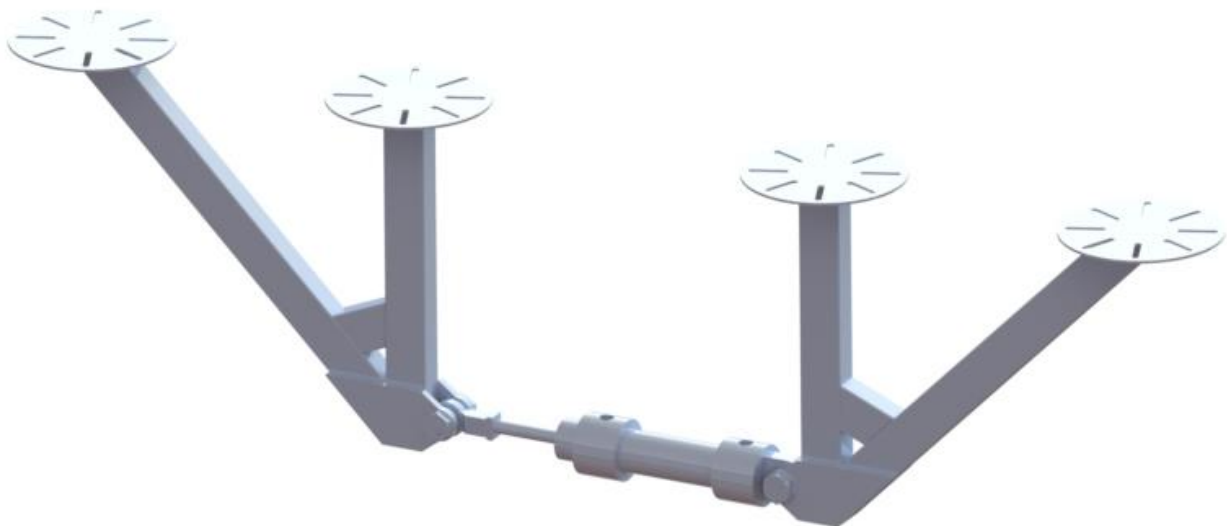
I dette kapitlet presenteres det modulerte vannkraftkonseptet med 3D renderte bilder fra konstruksjons og arkitekturutviklingen slik at man får et bedre inntrykk av designhelhet og funksjon i et vann-miljø.

14.1 Integrasjon av pumpemekanismen



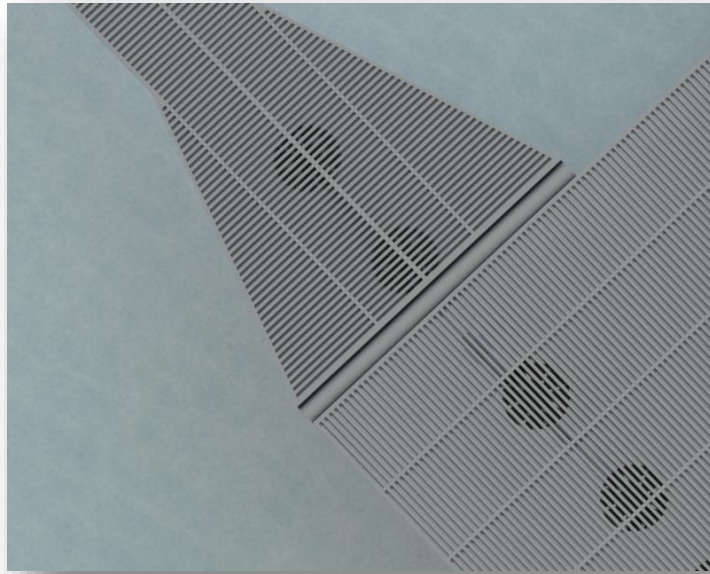
Figur 14.1 Flytebryggen med utligger og pumpemekanismen montert i underkant av bryggekonstruksjonen.

14.2 Renderte framstilling av grunnkonstruksjon

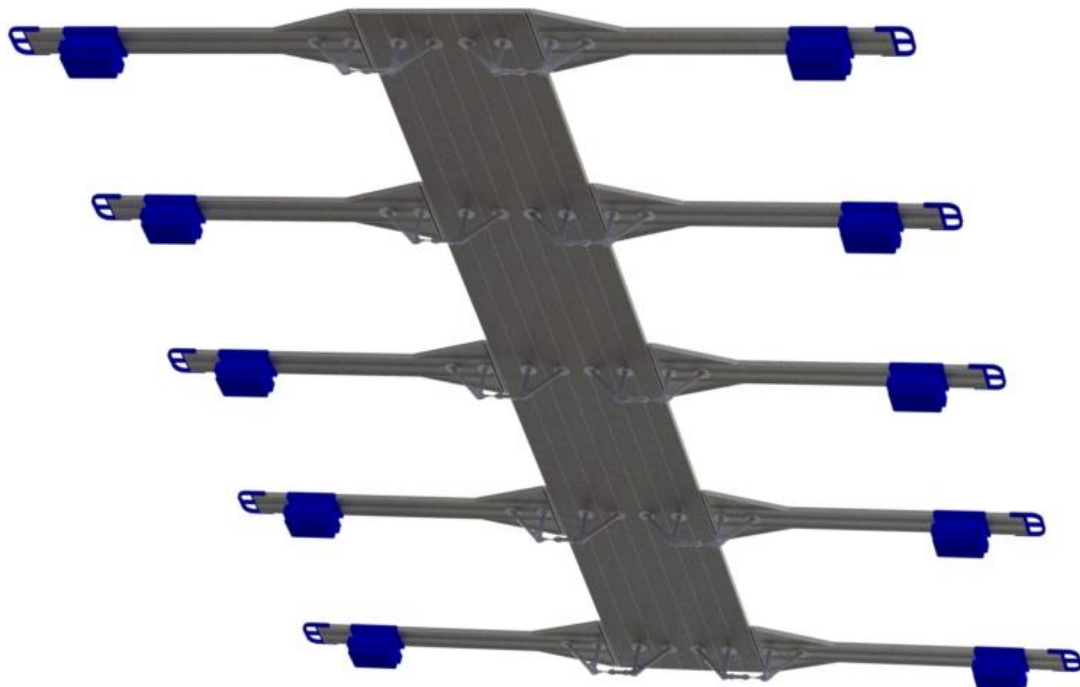


Figur 14.2 Nærbilde av støttebrakettene for konstruksjonen ved flyteutligget- og den faste-bryggen som holder stempelet på plass.

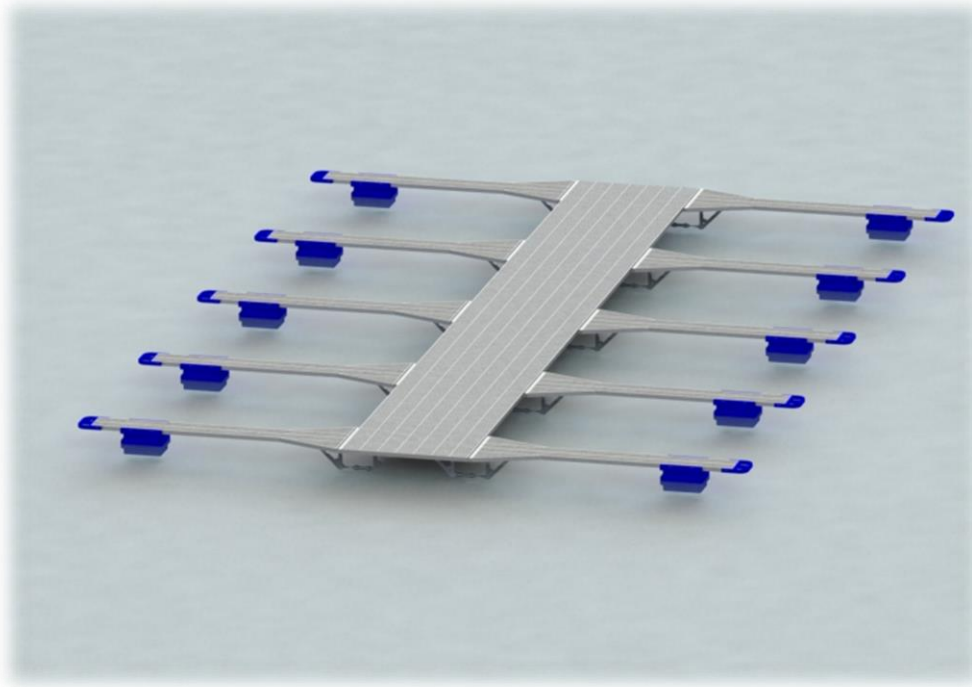
14.3 Integrert i eksisterende miljøer og løsninger



Figur 14.3 Viser konstruksjonen under en brygge, sett ovenfra.

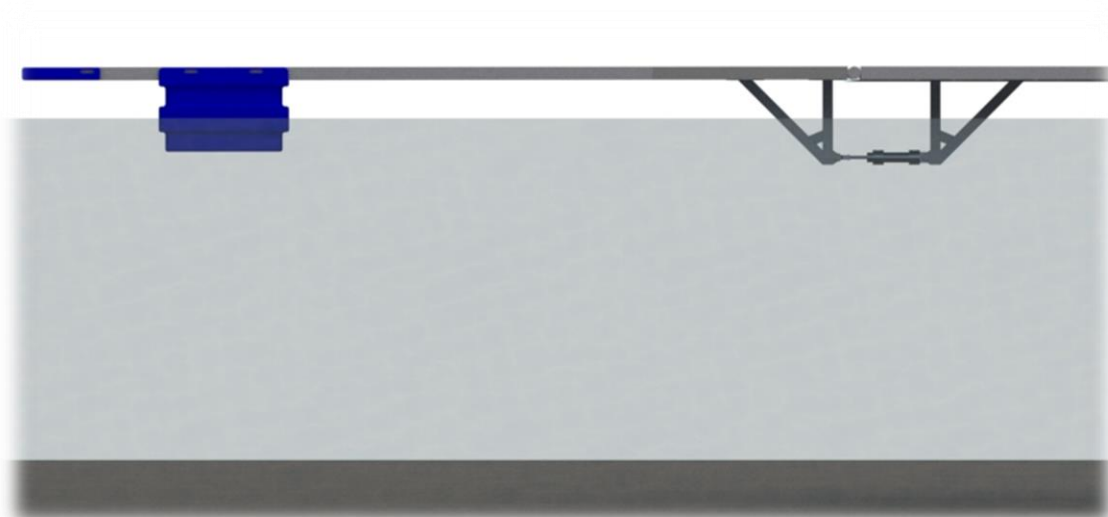


Figur 14.4 Viser konstruksjonen modulisert på 10 flytebrygger bortover sett nedenfra.

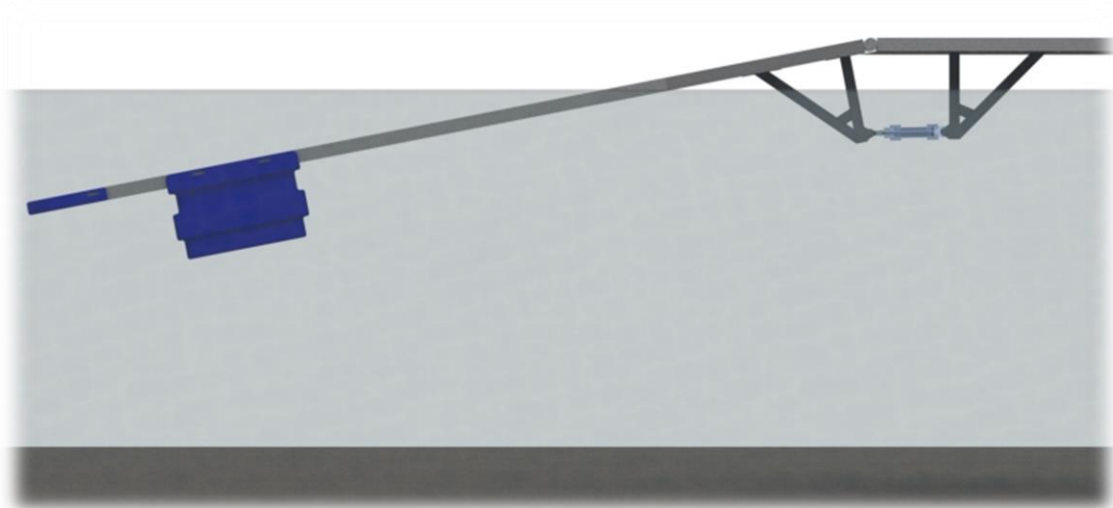


Figur 14.5 Viser konstruksjonen modulisert på 10 flytebrygger bortover sett ovenfra.

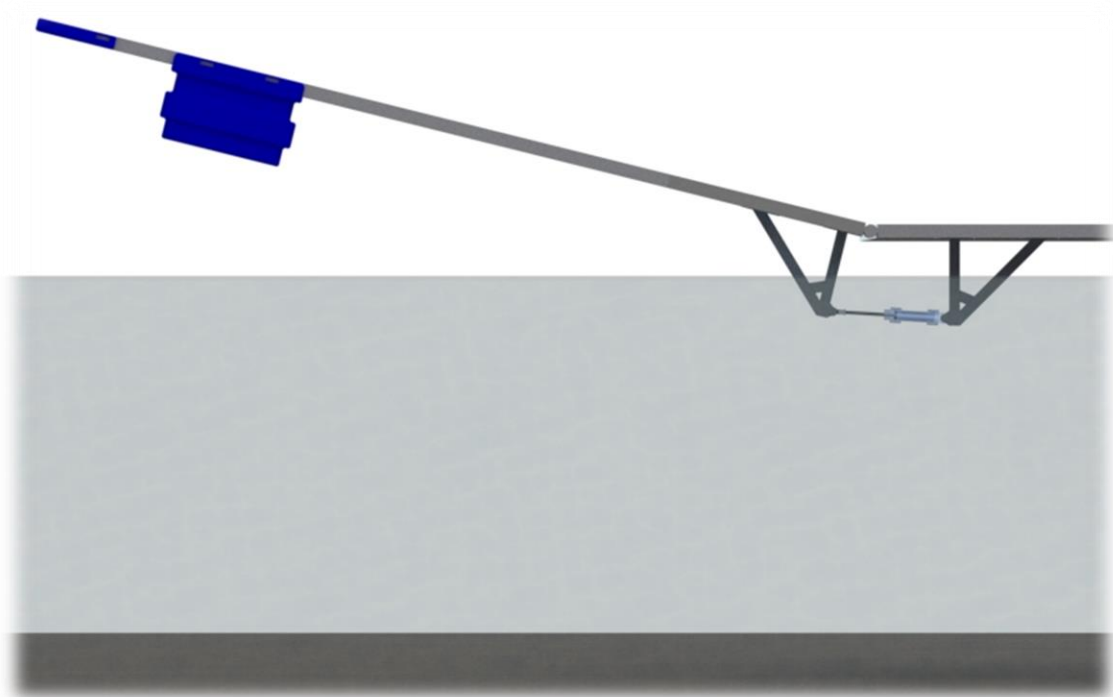
14.4 Illustrasjon av funksjonelle aspekter



Figur 14.6 Viser konstruksjonen på en flytebrygge sett fra siden.



Figur 14.7 Viser maksimale lengden konstruksjonen er laget for, når flytebryggen går ned med en bølge ved ekstremtilfelle, sett fra siden.



Figur 14.8 Viser maksimale lengden konstruksjonen er laget for, når flytebryggen går opp med en bølge ved ekstremtilfelle, sett fra siden.

14.5 Varemerke transportemballasje

Som et nytt produktkonsept må det også tenkes på hva som vil kunne være et aktuelt produktnavn og varemerke med apell til kjøpere og brukere.

14.5.1 Varemerke

For produkt varemerke har det kommet inn masse forskjellige innspill fra ekstern testing skjema ^[V10] samt noen egne ideer. Til slutt har det blitt valgt et navn som har virket mest optimalt for produktet. Produktnavnet /varemerke har blitt satt til å være: **Pier Surge 5000**.

Dette fordi «Pier» på engelsk betyr en «brygge» og «Surge» på engelsk betyr «en plutselig kraftig frem- eller oppover bevegelse, spesielt av en folkemengde eller av en naturlig kraft som tidevannet.» og 5000 som symboliserer energiutbytte på 5 kW et system med 10 brygger kan gi.

Logo designet er tegnet for hånd i programmet Procreate på iPad. Det endelige logodesignet ble slikt:



Figur 14.9 Viser logodesignet for produktet

Varemerke logoen kan ved installering kunne settes på produktet og inngraveres i metallet på braketten. For å gjøre dette kan en svart-hvit logo utnyttes:



Figur 14.10 Viser logo i svart-hvit som kan inngraveres i stål.

Ved forskjellige type overflater kan det være gunstig å bruke forskjellige farge varianter for logoen. Noen forskjellig logo fargevarianter kan sees i vedlegg 14.

14.5.2 Transport

Brakettene og hydraulikstempelet: Leveres på pall, plastpakket, eller ved større anlegg, med lastebil og direkte til f.eks. produsent av denne typen brygger, eller i mindre omfang som tilleggsutrustning for montering lokalt.

Landanlegget: Alt av olje og elektronikk inni IP-66 eller bedre skap for landdelen til anlegget vil måtte være installert av underleverandører, og med tilhørende utrustning for leveranse samlet eller separat ved installasjon av hele anlegg.

14 PROSESSEVALUERING OG DISKUSJON

I dette kapittelet blir utrednings- og utviklingsprosessen gjennomgått for å se på viktige forbedringspotensialer for prosessen, og for resultatene av arbeidet. Dette for å gi oversikt over svakheter og usikkerhetsmomenter i de vurderingene som har blitt gjort i de ulike prosessene.

14.6 Læring og kompetanseutvikling

Høsting av bølgeenergi er et tema som har opptatt mange, både enkeltpersoner, forskningsmiljøer og industri gjennom mange år og det eksisterer et voldsomt omfang av informasjon. Det er dessverre lite å finne av kurs og utdanningstilbud som berører dette temaet ved ingeniør-utdanningene i Norge og kunne danne grunnlag for arbeidet mitt, og det har vært en lang reise for å bygge opp nødvendige kunnskaper. I så måte kan jeg nevne følgende:

- Innledningsvis tok det en del tid å få samlet den informasjonen jeg trengte i form av fagbøker og samtidig førte volumet og bredden etter hvert også til at det ble en omfattende og vanskelig jobb å plukke ut og sette seg inn i det mest relevante.
- Imidlertid var denne prosessen også meget lærerik og har over tid gitt meg spesialkompetanse i et område som ikke så mange andre har fått muligheter til å sette seg inn i.
- Et annet viktig læringselementet i mastergradsarbeidet har vært å få en bedre forståelse av tidsrammen og behovet for god planlegging, også i forhold til uforutsette forhold som Covid-situasjonen denne ettermotvinteren.
- Et annet forhold er at IPD-tankegangen forutsetter kommunikasjon med både veiledere og eksterne krefter, leverandører mm, og i denne perioden har nettkontakt både sine fordeler og begrensninger, og dette har ofte vært et savn.

14.7 Utredningsfasen

Det er lite å finne av kurs og utdanningstilbud som berører dette temaet ved ingeniør-utdanningene i Norge og kunne danne en tidlig basis for arbeidet mitt og likeledes et lett tilgjengelig bibliotek med spesiallitteratur hvor man kunne dykke ned i. Problemstillinger i denne fasen har vært knyttet til:

- Spesielt når det gjelder små systemer i det spekteret som jeg har hatt størst interesse og behov for å finne utredningsgrunnlag har det vært lite spesifikk litteratur og man har derfor vært nødt til å gå inn i grunnleggende fysikk og prøve å bygge en bro til ting man kan henta fra større systemer, eller beslektet teknologi.
- Det eksisterer ekstremt mye informasjon, så utfordringene har vært å finne troverdige og nyttige informasjon. Til å begynne med kunne rammene for dette grads-arbeidet derfor virke litt overveldende, og det har gått ganske mye tid og krefter (også hos

veileder) for å snevre all informasjon til passende bruk. Likeledes å finne hvilke bøker og artikler er passende, samtidig som man har blitt nødt til å prøve å holde seg til rimelige bokinnkjøp.

14.8 Utviklingsfasen

Det er nøye sammenheng mellom lokale bølgeforhold og hvor mye energi man kan høste, og spesifiseringen i utviklingsfasen måtte koples både til dette og potensielle tekniske løsninger på en fornuftig måte, samtidig som det eksisterer et vell av ulike måter å høste energien og overføre den til elektrisk kraft, både i stor og mindre skala. De største utfordringene i denne delen av arbeidet bestod blant annet av:

- I den tidlige delen av spesifiseringsarbeidet var det stor usikkerhet omkring bølgedata, kystområder, f.eks. fjordområder eller mer åpent hav som ville være mest aktuelle å tenke på for å kunne etablere fysiske grunnlagsdata for nærmere spesifisering.
- Det samme gjaldt i hvilken grad det vill være fornuftig å binde seg til eksisterende bryggeløsninger, eller utvikle et mer frittstående konsept. Vandringen mellom ulike måter å betrakte, beskrive og analysere ulike sider av dette ble på flere vis nesten unødig komplisert og tidkrevende.

14.9 Konstruksjons og designfasen

Når man først kom fram til et hoved-valg for løsningskonsept var mye kreativt og til dels utmattende vurderingsarbeid gjort, og man kom over i mer tradisjonell konstruksjons og dimensjoneringsarbeid, men også her skulle det fort vise seg å ligge flere tidkrevende fallgruver.

- Utforende å få gjennomført systemberegninger med hensyn til krefter og bevegelse, overføring av dette til et trykksystem, beregning av hydrauliske elementer og finne fram til en praktisk og designmessig god konstruksjonsløsning.
- Hvilke hydrauliske komponenter trengs det, størrelsen på komponentene, hvilke komponenter som fungerer og ikke fungerer
- Senere i prosessen var det nødvendig å legge inn spesielle brukershensyn og prøve å få kvantifisert dette, hvem er målgruppen og kan bruke dette produktet og gjerne stile seg spørsmålet: Hvorfor er dette ikke brukt før?

14.10 Analyse og ferdigstillingsfasen

Denne delen av utviklingsprosessen har gått noe mer smertefritt, når man ser litt bort fra de tidlige vurderingene og analysene som ble gjort med hensyn til løsningsutredning. Løsningsarkitekturen hos stempel-pumpemekanismen er forholdsvis enkel men visse aspekter kan nevnes:

- Det har blitt mye frem og tilbake med hensyn til dimensjoner, opplagringsdesign og endringer underveis, samt usikkerheter med beregninger, som førte til at ting må tas på nytt.
- Mye hopp mellom spesifikasjoner, utregninger og design med etablering av egne Excel-ark og automatiske utregninger som har tatt tid.
- Nødvendig å få lagt inn tapsforhold og virkningsgrader og få beregningskontrollert hvor mye elektrisitet dette vil skape.
- Mer avansert hydraulikk og elektroteknikk/elektronikk berøres med lite timeomfang i bacheloringeniør- og masterutdanningen i maskin og produktutvikling. Det har ikke dessverre ikke vært tid til mer spesialiserte spesifiseringer og analyser på dette området.
- Økonomiske analyser som gjøres er etter det man vil kalle «grovt skjønn» og forholdsvis grovt kildegrunnlag, oppfølging av en industri-økonom vi kunne gi dette en langt bedre treffsikkerhet.

14.11 Sluttdrøftinger

Man blir aldri helt ferdig med et utviklingsarbeid, noe man ser tydelig av stadig nye oppgraderinger og versjoner av mobiltelefoner. Det samme gjelder dette prosjektet. Forhold jeg gjerne vil peke på avslutningsvis er blant annet:

- Fullstendig risikoanalyse med hensyn til marked og økonomi, HMS, maritime lover forskrifter mv.
- Skade og ødeleggelse risiko, beskyttelse mot vær, frost, vinter og is, gode overflatebehandlinger, indre trykk, elektrisitet ved vann.
- Funksjonssikkerhet og energitap, hvor langt olje kan strømme før trykkfall, hvor nær må trykksystemet være nær bryggen?
- Robusthetsforhold knyttet til påvirkning med båt/uten båt.
at store båter/skip kjører forbi, kjølvannsbølger og større bølger treffer fra siden.
- Videre utviklingspotensial knyttet til større systemer og større brygger som tolerer hardere bølgepåvirkning.
- Gjøre komponenter mindre/større, overføringsmekanismer for å løfte opp stempler, prøve å bruke flere stempler på samme system/brygge, ulike brygger med ulike løsninger.
- Mer konkret markedsundersøkelse for bryggeeiere, kanskje være med på båtmesser.
- Møter med leverandører (hydraulikk-Bosch, elektronikk-Danfoss, Snheider mfl.)
- Muligheter for å implementere eksisterende systemer brygge leverandører
- Vurdere materialvalg, Aluminium sammenliknet med andre type materialer med hensyn til pris, tilvirkning osv. Forhold ved resirkulering og miljøskader.
- Gjøre designforbedring, vurdere fargebruk på hav, estetikk mv.

15 KONKLUSJON

Denne delen av masterrapporten oppsummer og avrunder alle hoved-trinn som har inngått i dette prosjektarbeidet, med en oversikt over måloppfyllelse og viktige resultater som er oppnådd, men også viktige ting man må ha i bakhodet ved en visere oppfølging mm.

Gjennom dette prosjektarbeidet er det blitt utredet grunnlaget for utnytting av bølge-energi med teoretiske og tekniske beskrivelser. Videre er det utviklet og designet et småskalasystem som kan benyttes for lokal produksjon av elektrisk energi fra bølger. Løsningen som er utviklet vil kunne produsere lokal strøm med ytelse inntil ca. 5 kW nyttbar effekt, gjennom å fange bølgeenergi fra forholdsvis små bølgebevegelser omkring et bryggeanlegg med utligger på en mest mulig effektiv måte. I rapporten er alle trinnene i utredningsfasen- og dette utviklingsarbeidet blitt dokumentert.

Produktet som har blitt til i denne utviklingsprosessen er basert på en stempelbasert pumpemekanisme med braketter som vil kunne egne seg for innbygging i eksisterende brygger, men også for modulbygging og fabrikkering i større serier. Produktet er designet for å kunne etableres på flere eksisterende flytebrygger ved samme havn. Eksempelvis vil et slikt system som er utviklet og beskrevet med 10 pumpestempler montert i tilknytning til utliggerne hos moderne flytebrygger, kunne generere 5 kW elektrisk effekt.

Pumpemekanismen som fanger opp bølge-energien er utviklet og dimensjonert å kunne koples opp mot et generator-hus med to IP-grad 66 skap (eller bedre) på land. I det ene skapet vil all oljen fra stemplene ved bølgebevegelse fra flere utligger og brygger kunne samles opp, mens det andre skapet vil være forbeholdt alt det elektriske. Systemløsninger for deler av dette anlegget er og skissert, men krever bistand fra fagekspertise innen oljehydraulikk og elektronikk for å utvikles til å bli fullgodt. Konstruksjonsutviklingen er konseptuelt designet, hvor grov dimensjoneringer er gjort gjennom hånd beregninger og FEM-analyser i Solid-Works.

Det valgte designet er tilstrebet for at konstruksjonen ikke skal være i hinder for brukere og omgivelser. Konseptet vil kunne være brukervennlig ved å være godt avskjermet fra daglig båt og mennesketraffikk, og trolig forholdsvis driftssikkert og teknisk ukomplisert, men enkelte sider av dette kan også bedre vurderes i et videre arbeid.

15.1 Resultater og anbefalinger

Med hensyn til nærmere spesifiseringer og teknisk anbefalinger for løsningene som er utviklet kan det pekes på følgende hovedresultater:

- Det har blitt valgt et produkt som er i to seksjoner, en hoved konstruksjon som skaper hydraulisk trykk og olje til drift, og en landbasert del som inneholder de hydrauliske- og elektriske komponentene.
- Hoved konstruksjonen inneholder 3 ledd, en trekantfeste ledd (brakket flyt) på flytebryggen, en trekantfeste ledd ved fastbryggen (brakett fast), og ett stempel i midten.

- Trekantfeste leddene (brakettene) lages av materialet: Aluminium 6082, T6 materialet.
- Brakettene lages av to 80x50x5 rektangulære hullprofilbjelker og ett 80x50x5 rektangulær hullprofilbjelke for støtte mellom armene. For festing av stemplene som ligger mellom brakettene brukes det 15 mm metallplater og for feste til bryggen brukes det 5 mm plater på toppen av konstruksjonen.
- Alle ledd i trekant feste (brakettene) sveises sammen.
- For stempel brukes SCH1 MP3 stempel fra Bosch Rexroth, med 63 mm indre diameter og mulighet for 300 mm slaglengde (for ekstrem tilfeller).
- Den landbaserte delen inneholder to IP-klasse 66 eller bedre skap. En for det hydrauliske anlegget og ett for det elektriske.
- I det hydraulisk anlegget brukes det en hydraulisk motor for drift av generatoren som opereres ved et turtall mellom 2500 og 3000 r/min ved et arbeidstrykk på 225-250 bar.
- Slanger og rør, samt ventiler tilpasses et arbeidstrykk på inntil 250 bar, og slanger og rørforbindelsene dimensjoneres utefra maksimale leveranser til ekstremløshøyde inntil 1.5 meter.
- For elektrisk effekt generering velges det å bruke en generator med 5 kW effekt, som skal fungerer på 2500 r/min.
- Det hydrauliske- og elektriske- anlegget utarbeides videre av underleverandører, med hensyn til valg som er tatt.
- Systemet i sin helhet har en størrelse med en lengde på ca. 2,5 meter og en dybde på ca. 0,7 meter.
- Et system med 10 bryggeutligger vil kunne levere opp mot ca. 1 liter med olje hvert 4 sekund, som vil tilsvare rundt 5 kW elektrisk effekt.

Med hensyn til detaljering av det hydrauliske anlegget mellom pumpestemplene og oljemotoren som skal drive den elektriske generatoren står det igjen en del dimensjoneringsarbeid som bør gjøres av spesialister. Dette gjelder og oljetank, akkumulator, ventiler og elektrisk utrustning. For overføringsledninger kan det likevel gis følgende anbefalinger:

- For slanger og rør ved anlegget vil det være aktuelt å bruke 1/4, 3/8, 3/4 og 1 tommers rør. ^[V5]
- For samlerørforbindelser benyttes sømløse rør med indre diameter på 3/4 og 1 tomme, ifølge nomogram (dette med en maks strømningshastighet på 6 m/s (Se eksempler på dimensjoneringsnomogram i Vedlegg 5)
- For sugeledninger benyttes det rør med indre diameter på 1/4 og 3/8 tommer. (ifølge nomogram vedlegg 5)
- For tømme/returledninger til tank velges det rør med indre diameter på 3/4 tommer.
- Filtreringsbehov og evt. kondenshensyn mm. må undersøkes nærmere og legges inn i en mer komplett systembeskrivelse.

15.2 Videre arbeid

Mastergradsprosjektet har lagt et tidlig grunnlag, men det bør gjøres en god del videre arbeid før man kan begynne prototype-utvikling og testing, og før produktet etter vert har muligheter for å kunne brukes i det allmenne marked. Det er gunstig at flere deler av produktet blir sett nærmere på av fagpersoner som kan vurdere de elektriske styringssystemene og som har erfaringer med levetidsforhold knyttet til marinhydraulikk.

Ting som må vurderes og jobbes videre med er:

- Det trengs å ta en fullstendig risikovurdering av produktet hvor man ser på identifikasjon av risiko (oversikt over hva slags risiko produktet kan komme med), analyse av risiko (forståelse av risikoene produktet har) og risikohåndteringsplan (plan for å unngå risikoene produktet har).
- Bestemme toleranseverdiene for produktet i henhold til produksjon og tegninger slik at deler og systemet passer med hverandre og omgivelsen det skal monteres på.
- Forske mer på hva som kan få produktet til å korrodere og finne ut hvilke overflatebehandlinger som er passende for ferskvann, saltvann og vann med høy/lav PH-verdi.
- Prosjektore og designe et eksternt system (utenfor brygge områder) som kan generere strøm under ekstremvær.
- Beregne krefter/trykk fra brakettene som påkjenner på bryggen for å forhindre ødeleggelse og skader. Finne ut hvilke fasthetsgrense de forskjellige bryggene kan ha, og tilpasse deres grenser.
- Sveiseberegning på de forskjellige skjøtene på brakettene og hvilke sveistyper som er passende til det valgte materialet. Beregne brudd på bolt og feste på de ulike bryggene.
- Større og mer avansert simulering av krefter bølgene og havet kan påføre bryggene.
- Utføre en fullstendig livssyklusanalyse for å se hvor mange antall svingninger, omdreininger konstruksjonen kan tåle.
- Lage en undersøkelse og teori på bølger ved brygger rundt omkring i Norge, og verdensbasis. Undersøkelsen/teorien bør ha med bølger som er ved kysten, fjorder, tjern og elver.
- Lage en oversikt over hvilke brygger produktet/konseptet kan brukes på. Materialet på bryggene og størrelsen/dimensjonen på bryggene.
- Utføre undersøksanalyser for havne, brygge og båt eiere. Få deres tilbakemeldinger om ideen er produktivt og lønnsomt.
- Det må tas en faglig gjennomgang av de hydrauliske komponentene av fagpersoner for å best utbytte av produktet når det gjelder jevn strøm, kraft og trykk.
- Beregne produktiviteten i forskjellige skalaer og antall komponenter. Finne ut hva som kreves av ekstra komponenter dersom man skal f.eks. installere produktet i en større brygge område.
- Elektronikken og styringssystemer, bør sees på av en energiteknikker og elektroingeniør, som ser på funksjonsdiagram, kapasitet og kontroller. Det kan være f.eks. når batteriet skal lades og stoppes.

- Se på muligheter for skattefradrag for miljøvennlig løsning for brukerne av dette produktet.
- Finne ut kostnader for prototype, salgsplan og masseproduksjon.
- Lage en skalamodell og prototype, og teste produktets lønnsomhet og effektivitet på virkelige brygger.
- Se på flere produktforbedringer og muligheter med større vinkler mellom armene i brakett. Se på andre design av braketten, og beregne på hva de tåler av skjærkraft, moment- og trykk-krefter.

16 REFERANSER

I dette kapittelet oppføres alle skriftlige kilder, personlige meddelelser og nettbaserte kilder som er blitt benyttet i arbeidet og rapporteringen.

16.1 Skriftlige kilder

24. Partap Singh: Semesteroppgave, Fakultet for realfag og teknologi: Bønnebeholder og dispenser, 2021, 73 s.
29. Andersen, E.S, Grude, K., Haug, K.: Goal Directed Project Management: Effective Techniques and Strategies: 4th Edition, Kogan Page, London, UK., 2009, 272 s.
30. Brautaset, Knut: Innføring i oljehydraulikk, 1. Utgave, Universitetsforlaget, Oslo, 1983, 340 s.
31. Eversheim, W.: Innovation Management for Technical Products: Systematic and Integrated Product Development and Production Planning (RWTH-edition), 1st edition, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, Tyskland, 2009, 444 s.
33. Pugh, S.: Total Design: Integrated Methods for Successful Product Engineering, Pearson Education, Essex, United Kingdom, 1991, 296 s.
34. Dieter, G. E., Schmidt, L.: Engineering design, Fifth Edition, McGraw-Hill International Edition, New York, USA 2013, 825 s. + vedlegg.
35. Michalko, M.: Thinkertoys: A Handbook of Creative-Thinking Techniques, 2nd Edition, Ten Speed Press, Berkeley, USA, 2006, 416 s.
36. Baxter, M: Product Design (Design Toolkits), 2nd Reprint, CRC Press, (1995)/ Nelson Thorne Ltd, Cheltenham, United Kingdom, 2001, 308 s.
40. Eklas Hossain, Slobodan Petrovic: Renewable Energy Crash Course, Springer, 2021, 136 s.
41. Pecher, A. & Kofoed, J.P: Handbook of Ocean Wave Energy, Ocean Engineering and Oceanography, Springer Open, Springer International Publishing AG, Sveits, 2016, 288 s.
51. Bøe, J. K: Kompendium til emnet TIP300 - Konsept og produktrealisering, Ås 2022, 268 s
66. Jarle Johannessen: Tekniske tabeller, J.W. Cappelens Forlag A/S 2002, Utgave nr 2, Opplag nr. 10, 158 s.

16.2 Nettkilder

1. Energiforbruk, fra Energi og Klima, sist åpnet: 06.05.2022
<https://energiogklima.no/klimavakten/fossilavhengigheten/>
2. FNs bærekraftsmål 7, FN-Sambandet, sist åpnet 06.05.2022
<https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/ren-energi-til-alle>
3. Norges klima mål, Miljøstatus, sist åpnet 06.05.2022
<https://miljostatus.miljodirektoratet.no/miljomal/klima/>

4. Bærekraft ved NMBU, NMBU, sist åpnet 06.05.2022
<https://www.nmbu.no/om/berekraft>
5. Strømpriser, Statistisk sentralbyrå, sist åpnet 08.03.2022
<https://www.ssb.no/energi-og-industri/energi/statistikk/elektrisitetspriser>
6. Bølgekraft Danmark, Energistyrelsen, sist åpnet 06.05.2022
<https://ens.dk/ansvarsomraader/boelge-vandkraft/fakta-om-boelge-vandkraft>
7. Bølgekraft Danmark, Experimentarium, sist åpnet 06.05.2022
<https://www.experimentarium.dk/klima/boelgeenergi/>
8. Tap I strømmettet, Energipolitisk.no, sist åpnet 06.05.2022
<http://energipolitisk.no/temasider/tap-i-nettet/>
9. Bølger i Oslofjorden, Bølgevarsel Barentswatch, sist åpnet 06.05.2022
https://www.barentswatch.no/bolgevarsel/point/10.6311_59.2149
10. Bølger i Oslofjorden, Yr.no, sist åpnet 06.05.2022
<https://www.yr.no/nb/kyst/tabell/1-33071/Norge/Viken/B%C3%A6rum/Oslofjorden>
11. Flyte brygge, TriaMarina, sist åpnet 06.05.2022
<https://triamarina.no/>
12. Bølgeenergi, UngEnergi, sist åpnet 06.05.2022
<https://ungenergi.no/energikilder/hav-og-vannkraft/bolgeenergi/>
13. Bølgekraft prinsipper, Aquaret, sist åpnet 06.05.2022
<https://aquaret.com/>
14. Eco Wavepower sin løsning, Eco Wavepower, sist åpnet 08.07.2022
<https://www.ecowavepower.com/>
15. OIST Wave Energi Project sin løsning, Okinawa Institute of Science and Technology Graduate University, sist åpnet 08.07.2022
<https://groups.oist.jp/qwmu/oist-wave-energy-project>
16. Viser AquabuOY sin løsning, Aqua Energy Group, sist åpnet 08.07.2022
<https://www.aquaenergygroup.com.au/#design>
17. Viser AquabuOY sin løsning, University of Strathclyde, sist åpnet 08.07.2022
https://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web_sites/14-15/Wave_Energy/point-absorber.html
18. Viser Wavepiston sin løsning, Wavepiston, sist åpnet 08.07.2022
<https://www.wavepiston.dk/#aau>
19. Viser Waveroller sin løsning, Waveroller, sist åpnet 08.07.2022
<https://aw-energy.com/waveroller/>
20. Vannkraft, Store Norske Leksikon, sist åpnet 08.07.2022
<https://snl.no/vannkraft>
21. Vindkraft, Store Norske Leksikon, sist åpnet 08.07.2022
<https://snl.no/vindkraftverk>
22. Strømpriser, NRK, sist åpnet 11.08.2022
<https://www.nrk.no/nyheter/strompriser-1.11440753#:~:text=Mens%20snittprisen%20p%C3%A5%20str%C3%B8m%20i,3%2C9%20kroner%20per%20kWt>
23. Strømpriser, E24, sist åpnet 11.08.2022

- <https://e24.no/olje-og-energi/i/dnL27q/naa-koster-stroemmen-over-dobbelt-saa-mye-i-soer-norge-som-i-nord>
25. Konverteringskalkulator, Inch Calculator, sist åpnet 11.08.2022
<https://www.inchcalculator.com/kw-to-kwh-calculator/>
 26. Ladeveiledning, Tocn, sist åpnet 11.08.2022
<https://www.tocn.no/ladeveiledning/>
 27. Strømforbruk, Fjordkraft, sist åpnet 11.08.2022
www.fjordkraft.no/strom/stromforbruk/elektriske-apparater/
 28. Norges første elbåthavn, Kruser, sist åpnet 11.08.2022
<https://kruser.no/norges-forste-elbathavn-er-apnet-pa-aker-brygge>
 32. NPD-Solutions, «The Principles of Integrated Product Development», sist åpnet 09.07.2022
<http://www.npd-solutions.com/principles.html>
 37. Havbølger, SNL, sist åpnet 09.05.2022
<https://snl.no/havb%C3%B8lger>
 38. Kjennetegn på en bølge, NDLA, sist åpnet 19.05.2022
<https://ndla.no/nb/subject:1:bb834c76-d1e4-46c4-8c0a-8f978bd2c956/topic:6:dbc23651-7216-4610-bc38-dde58f013724/topic:2:2fc22d3b-beb8-45cf-9c14-a409d36190ff/resource:1:187139>
 39. Bølger, SNL, sist åpnet 09.05.2022
<https://snl.no/b%C3%B8lge>
 52. Bølgedannelse, Yr, sist åpnet 09.05.2022
https://www.yr.no/artikkel/hvordan-blir-bolgene-til_-1.7582297
 53. Oppdrift, snl, sist åpnet 09.05.2022
<https://snl.no/oppdrift>
 54. Arkimedes lov, snl, sist åpnet 09.05.2022
<https://snl.no/arkimedesloven>
 55. Energi, snl, sist åpnet 09.05.2022
<https://snl.no/energi>
 56. Mekanisk energi, snl, sist åpnet 09.05.2022
https://snl.no/mekanisk_energi
 57. Potensiell energi, snl, sist åpnet 09.05.2022
https://snl.no/potensiell_energi
 58. Kinetisk energi, snl, sist åpnet 09.05.2022
https://snl.no/kinetisk_energi
 59. Trykk-fysikk, snl, sist åpnet 09.05.2022
https://snl.no/trykk_-_fysikk
 60. Hydrostatisk trykk, snl, sist åpnet 09.05.2022
https://snl.no/hydrostatisk_trykk
 52. Hvorfor bølgeenergi ikke er gunstig, MinuteEarth Youtube, sist åpnet 09.05.2022
<https://www.youtube.com/watch?v=PMRiKmgxrh0>
 53. T. Wildi, «Electrical Machines, Drives, and Power Systems, » Sixth Edition, Upper Saddle River, New Jersey, USA, Pearson Prentice Hall, 2006, s. 71-74
 54. Wikipedia, «Generator», sist åpnet 10.07.2022

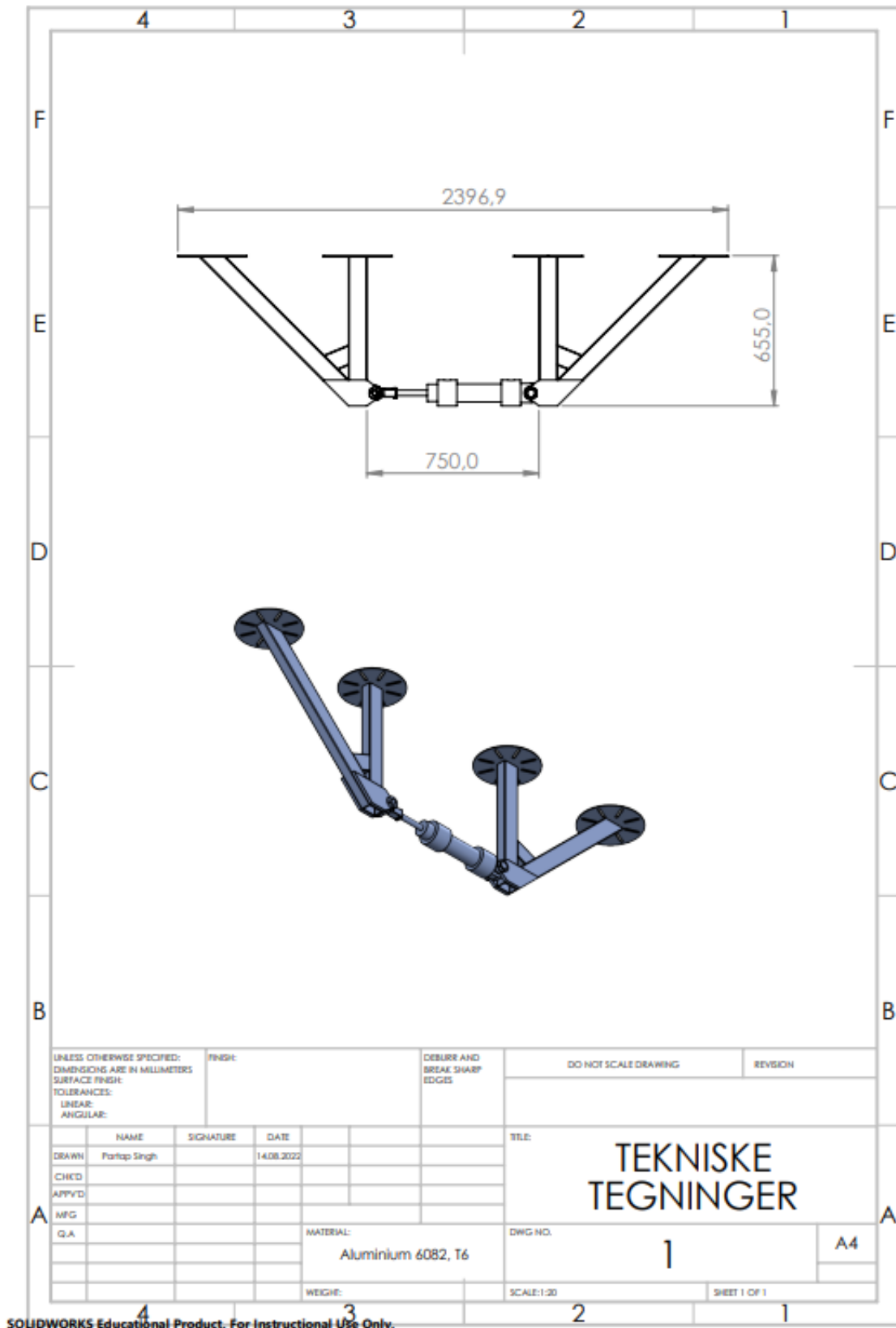
- <https://no.wikipedia.org/wiki/Generator>
55. Generator effekt, Science Direct, sist åpnet 11.08.2022
<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/generator-efficiency>
56. Dynamo, biltema, sist åpnet 11.08.2022
<https://www.biltema.no/en-no/car---mc/car-spares/electrical-system/generators/universal-generators-12-v-2000020862>
57. Omformer, seatronic, sist åpnet 11.08.2022
<https://seatronic.no/sterling-dynamo-til-batteri-4-steps-digital-splitter-lader-130a-12v>
58. Batteri, seatronic, sist åpnet 11.08.2022
<https://seatronic.no/ritar-12v-50ah-lifepo4-litiumbatteri>
59. Hydraulikk, snl, sist åpnet 11.08.2022
https://snl.no/hydraulisk_sivilisasjon
60. Trykkakkumulatorer, engineer. decorexpro, sist åpnet 11.08.2022
<https://engineer.decorexpro.com/no/vodosnab/nasosy/chto-takoe-gidroakkumulyator.html>
61. Diesellaggregat, Bauhaus, sist åpnet 11.08.2022
https://www.bauhaus.no/aggregat-al-ko-6500d-c?gclid=Cj0KCQjw0JiXBhCFARIsAOSAKqBo0JChq347Axb187dwYtIseOYW9R1TvMJxUQSzyv8Pq7jlfwVoBKgaAuzZEALw_wcB#go-to-description
62. Ventiler, oljehydraulikk.no, sist åpnet 11.08.2022
<https://www.oljehydraulikk.no/blogs/news/del-6-ventiler-volumstromsregulator>
63. Bølgehøyder, kystverket, sist åpnet 11.08.2022
<https://www.kystverket.no/contentassets/0c0d63671a2d46b4b700a0a2f823e188/molo-handbok-enkeltsider.pdf>
65. Tannhjulspumpe, boschrexroth, sist åpnet 11.08.2022
https://www.boschrexroth.com/documents/12605/25209234/re14027_2016-03.pdf/b2cf0d1f-4698-8d14-3ff8-637d38bda9f9
67. Offshore strukturer, Levstal Group, sist åpnet 11.08.2022
<https://levstal.com/no/metallteknikk/offshore-konstruksjoner/>
68. Velg riktig IP-klassifisering, sist åpnet 11.08.2022
<https://www.byggghjemme.no/reportasjer-og-guider/velg-riktig-ip-klasse/>
69. FFF-grunnregel: Wikipedia, besøkt 11.08.2022
https://no.wikipedia.org/wiki/Form_f%C3%B8lger_funksjon
70. FFF-grunnregel: Interaction Design, besøkt 11.08.2022
<https://www.interaction-design.org/literature/article/aesthetics-and-form-need-to-hold-hands>,
71. Fargelære: UX Planet, besøkt 11.08.2022
<https://uxplanet.org/10-color-meanings-to-help-you-choose-the-best-colors-for-your-next-design-538991a93fe2>
72. Fargelære: Colormatters, besøkt 11.08.2022
<https://www.colormatters.com/color-and-design/basic-color-theory>,

15 VEDLEGG

Tabell 18.1 Oversikt over vedlegg til rapporten

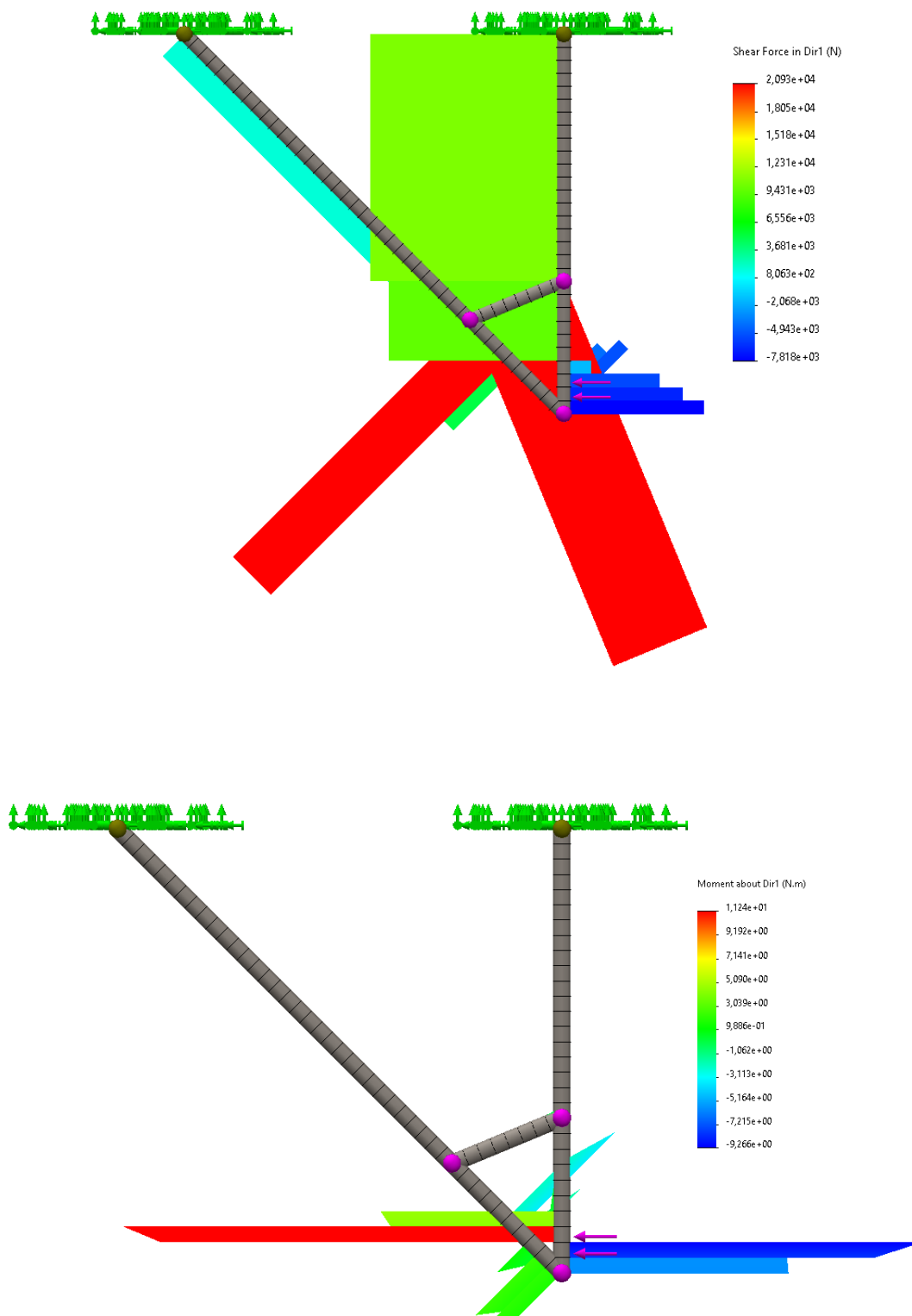
Vedlegg nr.	Viser/Omfatter:	Side:
V1	Sammenstillingstegning med hovedmål (lengde, bredde og høyde)	163
V2	Skjær og momentdiagram (Viser skjær og momentdiagram fra SolidWorks for braketten i konstruksjonen)	164
V3	Formelsamling, hydraulisk kraft og effektoverføring	165-166
V4	Brygge data & bilder fra TriaMarina	167
V5	Nomogram for valg av slange og rørtverrsnitt i hydraulikkanlegg (Fra Tess)	168-169
V6	Utklipp fra datablad for stempel CDH1: MP3 fra Bosch Rexroth (Viser valgt stempel, dimensjoner, og trykk stempelet tåler)	170-173
V7	Utklipp fra datablad for tannhjulspumpe: Onedirectional AZMB size 5 fra Bosch Rexroth (Viser valgt tannhjulspumpe utregningsfaktorer, samt verdier)	174-176
V8	Utklipp fra datablad for Swival Head: Plain clevis SCA fra Bosch Rexrot (Viser valgt Swival Head og dens dimensjoner)	177-179
V9	Eksempel blad for maritime kabler fra Lapp	180
V10	Aluminium 6082, T6 informasjon (fra Ansys)	181-185
V11	Aluminium Profilpriser (Fra Stena Stål) (Viser rektangulære aluminiums hulprofiler på aluminiumsplate priser, hentet den 11.08.2022)	186
V12	Ekstern testing: Skjema	187-189
V13	Ekstern testing: Besvarelser	190-191
V14	Logofarger (Viser noen forskjellig logo farge alternativer)	192

Vedlegg 1: Sammenstillingstegning med hovedmål



SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

Vedlegg 2: Skjær og momentdiagram for braketten



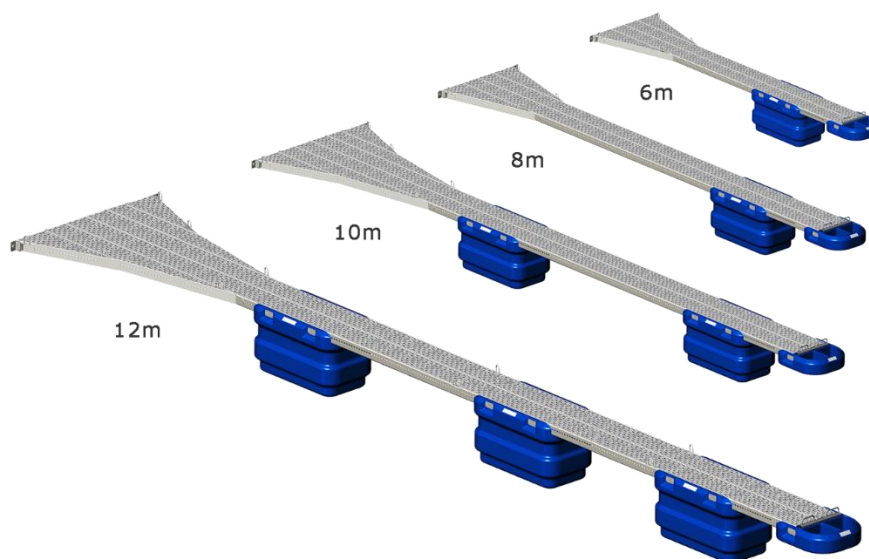
Vedlegg 3: Bryggedata & bilder fra TriaMarina

UTRIGGER MED SIKKERHET I FOKUS



Utrigger er designet for å bidra til en sikker og funksjonell havn. Den har solid bæreevne og flere personer kan ferdes på en uttrigger samtidig. Alle ombordstigningsplattformer har lukkede hjørnefelt for å hindre fall i sjø. Fenderkassen ytterst på uttrigger har en støtdempende funksjon for båter ved innsegling til båtlassen.

- Utrigger og 30 cm gangbar fortøyningsbom kan enkelt utvides fra 6 til 8 meter
- Sklisikker overflate tilsvarende brygge og fortøyningsbom
- Ingen åpne hjørnefelt (trapes)
- God oppdrift gjør at flere personer trygt kan ferdes på uttriggeren samtidig
- Utrigger leveres komplett med fenderkasse som i tillegg til å beskytte båten, har rom for fortøyninger
- Lydløse torsjonshengsler
- Tilrettelagt for TriaMarina sidefender
- Kan festes til andre typer brygger eller k



SE TABELL FOR STØRRELSER OG VEKT

Lengde	Bredde	Egenvekt	Oppdriftsv.	Belast.	Båtstørrelse
6 meter	0,6m	258 kg	580 liter	3 pers.	17' – 24'
2 meter*	0,6m	58 kg			
8 meter	0,6m	316 kg	580 liter	3 pers.	24' – 31'
10 meter	0,6m	475 kg	1160 liter	4 pers.	31' – 36'
12 meter	0,6m	673 kg	1740 liter	5 pers.	36' – 42'
12 meter**	1,1m	1065 kg	2250 liter	5 pers.	36' – 42'

* forlengelse | ** HD | Pers. = 80 kg

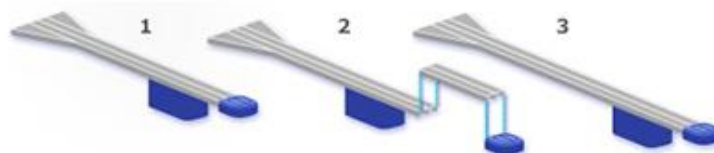
Fortøyningsbom



Utrigger



God bæreevne + hele og gangbare hjørnefelt (trapes)



Enkel utvidelse: Utrigger forlenges fra 6 til 8 meter



Fenderkassen er særdeles robust og holdbar

Vedlegg 4: Formelsamling, hydraulisk kraft og effektoverføring

Omregningstabell for trykk:

	Pa	μbar	hPa	bar	N/mm ²	kp/mm ²	at	kp/m ²
1 Pa = 1 N/m ²	= 1	10	0.01	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	-	-	0.10197
1 μbar	= 0.1	1	0.001	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	-	-	0.0102
1 hPa = 1 mbar	= 100	1000	1	0.001	0.0001	-	-	10.197
1 bar	= 10 ⁵	10 ⁶	1000	1	0.1	0.0102	1.0197	10197
1 N/mm ²	= 10 ⁶	10 ⁷	10000	10	1	0.10197	10.197	101972

Formler for pumper:

Formler for motorer:

Generelle formler:

$$p = 10 \frac{F}{A} \text{ (bar)}$$

$$Q_P = \eta_{Pv} \frac{V_P n_P}{1000} \text{ (l/min)}$$

$$Q_M = \frac{1}{\eta_{Mv}} \frac{V_M n_M}{1000} \text{ (l/min)}$$

$$v = 16,667 \frac{Q}{A} \text{ (m/s)}$$

$$T_P = \frac{1}{\eta_{Pmh}} \frac{V_P \Delta p_P}{2\pi \cdot 10} \text{ (Nm)}$$

$$T_M = \eta_{Mmh} \frac{V_M \Delta p_M}{2\pi \cdot 10} \text{ (Nm)}$$

$$P = 1,0472 \cdot 10^{-4} T \cdot n \text{ (kW)}$$

$$P_P = \frac{1}{\eta_{P \text{ tot}}} \frac{Q_P \Delta p_P}{600} \text{ (kW)}$$

$$P_M = \eta_{M \text{ tot}} \frac{Q_M \Delta p_M}{600} \text{ (kW)}$$

Formler for stempler:

Symboler og enheter:

$$Q_S = 0,06 \frac{A_1 v_S}{\eta_{Sv}}$$

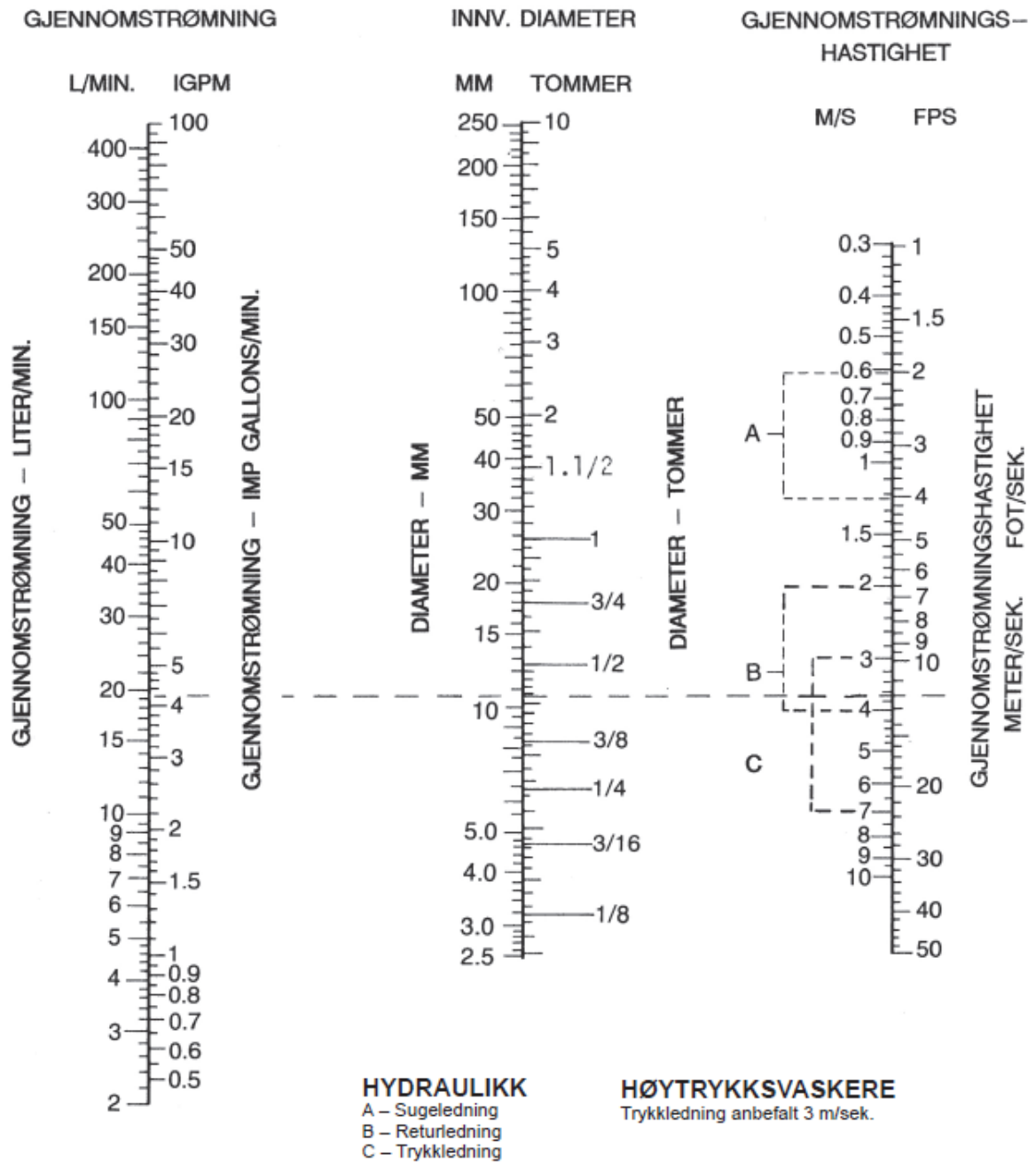
$$F_S = 0,1 \eta_{Smh} (p_1 A_1 - p_2 A_2)$$

$$P_S = \frac{F_S v_S}{1000} \text{ (kW)}$$

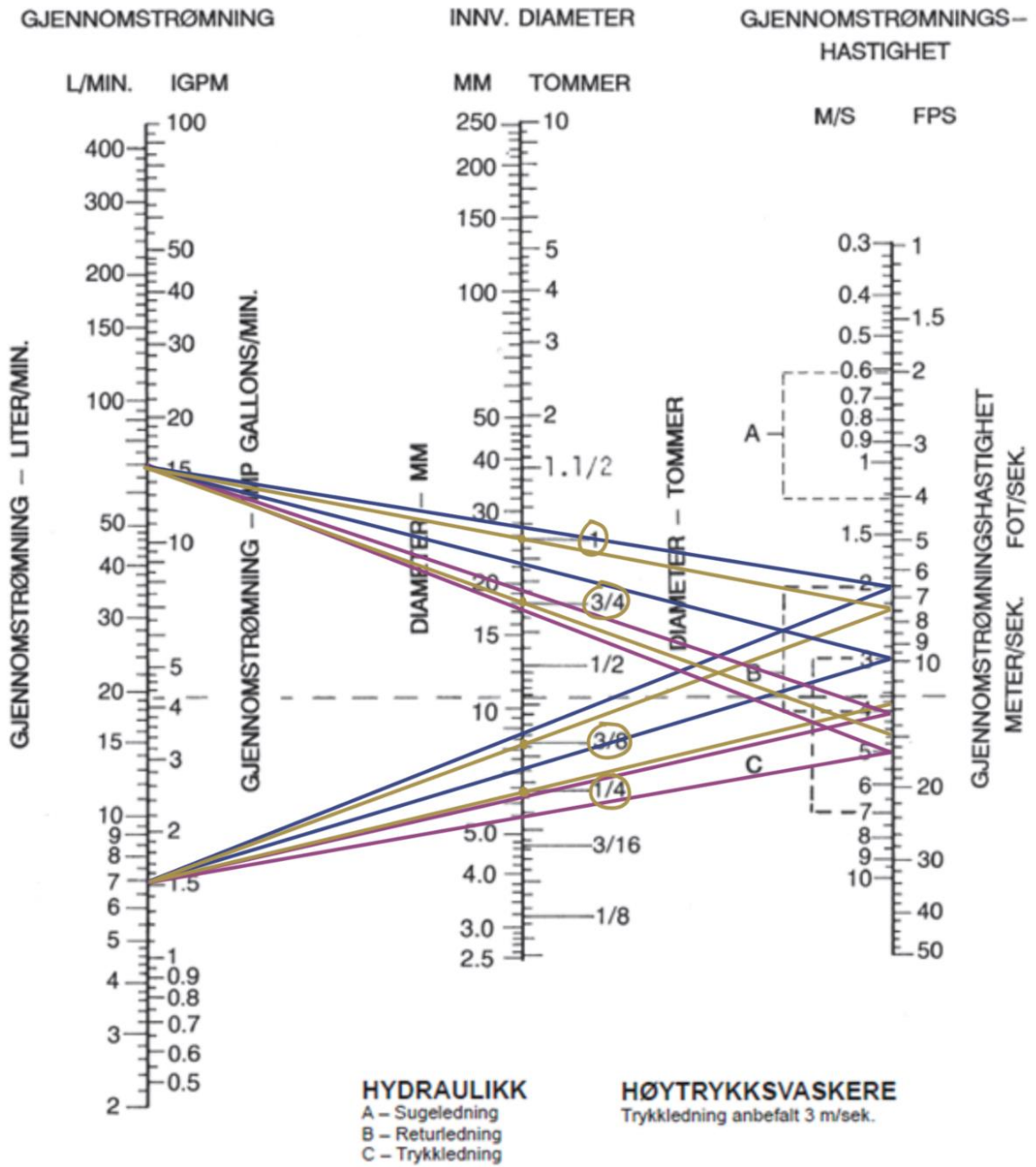
Symbol	Størrelse	Enhet
A	areal	mm ²
d	diameter	mm
F	kraft	N
n	turtall	rev/min
p	trykk	bar
P	effekt	kW
Q	volumstrøm	l/min
T	moment	Nm
v	hastighet	m/s
V	fortrengningsvolum	cm ³ /rev

Vedlegg 5: Nomogram for valg av slange og rørtversnitt i hydraulikkanlegg (Fra Tess)

SLANGEDIMENSJONERING, NOMOGRAM



SLANGEDIMENSJONERING, NOMOGRAM



Vedlegg 6. Utklipp fra datablad for stempel CDH1: MP3 fra Bosch Rexroth

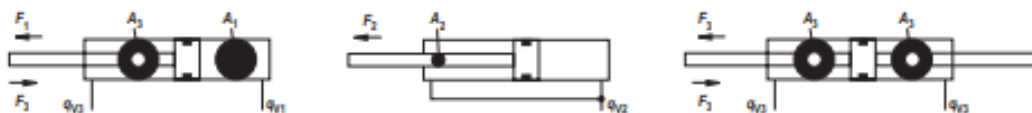
14/84 Series CDH1 /CGH1 / CSH1 | Hydraulic cylinder mill type

Technical data

(For applications outside these values, please consult us!)

Diameters, areas, forces, flow

Piston	Piston rod	Area ratio	Areas			Force at 250 bar ¹⁾			Flow at 0.1 m/s ²⁾			Max. available stroke length
			Piston	Rod	Ring	Pressure	Diff.	Pulling	Off	Diff.	On	
ØAL mm	ØMM mm	ϕ A_1/A_3	A_1 cm ²	A_2 cm ²	A_3 cm ²	F_1 kN	F_2 kN	F_3 kN	q_{v1} l/min	q_{v2} l/min	q_{v3} l/min	mm
40	22	1.43	12.56	3.80	8.76	31.40	9.50	21.90	7.5	2.3	5.3	2000
	28	1.96		6.16	6.40		15.40	16.00		3.7	3.8	
50	28	1.46	19.63	6.16	13.47	49.10	15.40	33.70	11.8	3.7	8.1	2000
	36	2.08		10.18	9.45		25.45	23.65		6.1	5.7	
63	36	1.48	31.17	10.18	20.99	77.90	25.45	52.45	18.7	6.1	12.6	2000
	45	2.04		15.90	15.27		39.75	38.15		9.5	9.2	
80	45	1.46	50.26	15.90	34.36	125.65	39.75	85.90	30.2	9.5	20.7	2000
	56	1.96		24.63	25.63		61.55	64.10		14.8	15.4	
100	56	1.46	78.54	24.63	53.91	196.35	61.55	134.80	47.1	14.8	32.3	3000
	70	1.96		38.48	40.06		96.20	100.15		23.1	24.0	
125	70	1.46	122.72	38.48	84.24	306.75	96.20	210.55	73.6	23.1	50.5	3000
	90	2.08		63.62	59.10		159.05	147.70		38.2	35.4	
140	90	1.70	153.94	63.62	90.32	384.75	159.05	225.70	92.4	38.2	54.2	3000
	100	2.04		78.54	75.40		196.35	188.40		47.1	45.3	
160	100	1.64	201.06	78.54	122.50	502.50	196.35	306.15	120.6	47.1	73.5	3000
	110	1.90		95.06	106.00		237.65	264.85		57.0	63.6	
180	110	1.60	254.47	95.06	159.43	636.17	237.65	398.52	152.7	57.0	95.7	3000
	125	1.93		122.72	131.75		306.80	329.37		73.6	79.1	
200	125	1.64	314.16	122.72	191.44	785.25	306.80	478.45	188.5	73.6	114.9	3000
	140	1.96		153.96	160.20		384.90	400.35		92.4	96.1	
220	140	1.68	380.1	153.9	226.2	950.3	384.8	565.5	228.1	92.4	135.7	6000
	160	2.12		201.0	179.1		502.6	447.7		120.7	107.4	
250	160	1.69	490.8	201.0	289.8	1227.2	502.7	724.5	294.5	120.7	173.8	6000
	180	2.08		254.4	236.4		636.2	591.0		152.7	141.8	
280	180	1.70	615.7	254.4	361.3	1539.4	636.2	903.2	369.4	152.7	216.7	6000
	200	2.04		314.1	301.6		785.4	753.9		188.5	180.9	
320	200	1.64	804.2	314.1	490.1	2010.6	785.4	1225.2	482.5	188.5	294.0	6000
	220	1.90		380.1	424.2		950.3	1060.3		228.1	254.4	



¹⁾ Theoretical static cylinder force
(without consideration of the efficiency and admissible load for attachment parts such as swivel heads, plates, or valves, etc.)

²⁾ Stroke velocity

16/84 Series CDH1 /CGH1 / CSH1 | Hydraulic cylinder mill type

Overview types of mounting: Series CDH1 / CGH1

CDH1 MP3; see page 18, 19



CDH1 MP5; see page 20, 21



CDH1 MF3; see page 22, 23



CGH1 MF3; see page 22, 23



CDH1 MF4; see page 24, 25



CGH1 MT4; see page 26, 27

CDH1 MT4; see page 26, 27



CDH1 MS2; see page 28, 29

CGH1 MS2; see page 28, 29



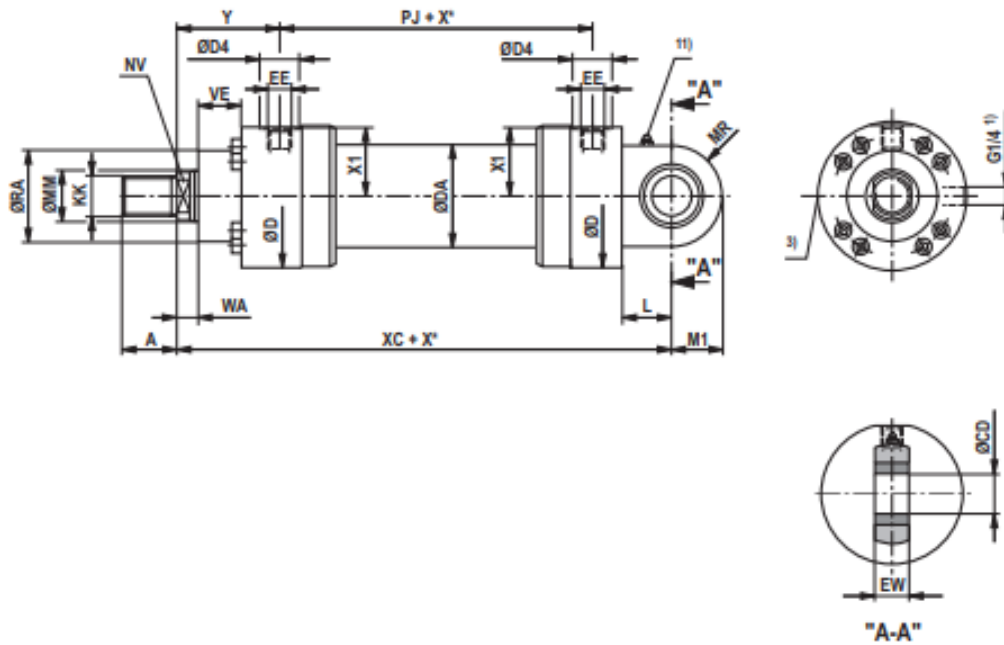
Bosch Rexroth AG, RE 17332, edition: 2021-07

18/84 Series CDH1 /CGH1 / CSH1 | Hydraulic cylinder mill type

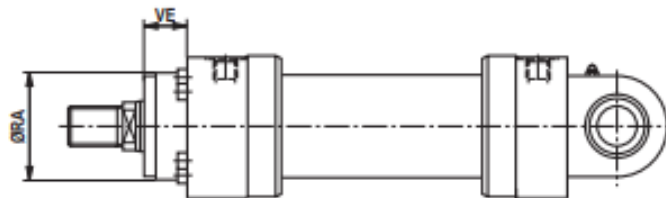
Dimensions

Swivel eye at base CDH1: MP3 (dimensions in mm)

CDH1 MP3; ØAL 40 - 200 mm



CDH1 MP3: with seal design "A", "B" and ØAL 160 - 200 mm



Bosch Rexroth AG, RE 17332, edition: 2021-07

Dimensions

Swivel eye at base CDH1: MP3 (dimensions in mm)

ØAL	ØMM	KK ⁵⁾	A ⁵⁾	KK ⁶⁾	A ⁶⁾	NV	ØD	ØDA	ØD4 ²⁾	EE ^{4, 16)}	EE ^{4, 17)}	Y	PJ
40	22/28	M16x1,5	16	M18x2	30	16/22	88	52	34	G1/2	M22x1,5	79	120
50	28/36	M22x1,5	22	M24x2	35	22/30	102	62	34	G1/2	M22x1,5	87	120
63	36/45	M28x1,5	28	M30x2	45	30/36	120	78	42	G3/4	M27x2	100	133
80	45/56	M35x1,5	35	M39x3	55	36/46	140	95	42	G3/4	M27x2	104	146
100	56/70	M45x1,5	45	M50x3	75	46/60	170	125	47	G1	M33x2	124	171
125	70/90	M58x1,5	58	M64x3	95	60/75	206	150	58	G1 1/4	M42x2	135	205
140	90/100	M65x1,5	65	M80x3	110	75/85	226	170	58	G1 1/4	M42x2	156	219
160	100/110	M80x2	80	M90x3	120	85/95	265	190	65	G1 1/2	M48x2	185	240
180	110/125	M100x2	100	M100x3	140	95/110	292	210	65	G1 1/2	M48x2	199	264
200	125/140	M110x2	110	M110x4	150	110/120	310	235	65	G1 1/2	M48x2	205	278

ØAL	ØMM	X1	WA	XC	L	MR	M1	ØCD ^{H11}	EW ^{-0.4}	ØRA ⁷⁾	VE ⁷⁾	ØRA ⁸⁾	VE ⁸⁾
40	22/28	41	14	252	32.5	31	28	25	23	52	40	52	20
50	28/36	48.5	18	265	37.5	36	32.5	30	28	65	40	65	16
63	36/45	56.5	22	302	45	42	40	35	30	75	45	75	17
80	45/56	67	20	330	50	52	50	40	35	95	45	95	13
100	56/70	82	30	385	60	65	62.5	50	40	115	55	115	20
125	70/90	99	32	447	70	70	70	60	50	135	60	135	17
140	90/100	109.5	35	490	75	82	82	70	55	155	70	155	22
160	100/110	129	40	550	85	95	95	80	60	200	80	200	80
180	110/125	142.5	40	610	90	113	113	90	65	220	90	220	90
200	125/140	152	40	645	115	125	125	100	70	235	95	235	95

ØAL = piston Ø

ØMM = piston rod Ø

X* = stroke length

1) Bleeding: With view to the piston rod, the position is offset by 90° in relation to the line connection (clockwise)

2) Ø D4 max. 0.5 mm deep

3) Throttle valve only with end position cushioning "E" (180° for bleeding)

4) Flange connections see separate table pages 42 and 43

5) Thread design "G"

6) Thread design "A"

7) Dimensions for cylinders with seal design M, T, G, L, R, S and V

8) Dimensions for cylinders with seal design A and B

11) Standard version "W"

Grease nipple, cone head form A according to DIN 71412

16) Line connection "B" and "C"

17) Line connection "M"

Vedlegg 7. Utklipp fra datablad for tannhjulspumpe: Onedirectional AZMB size 5 fra Bosch Rexroth

2 **AZMB** | External gear motor
 Functional description

Functional description

General

If pressurized oil is fed into the motor, a torque can be obtained from the shaft leading out of the housing. Motors can be either for one direction of rotation or reversible.

Gear motor for one direction of rotation

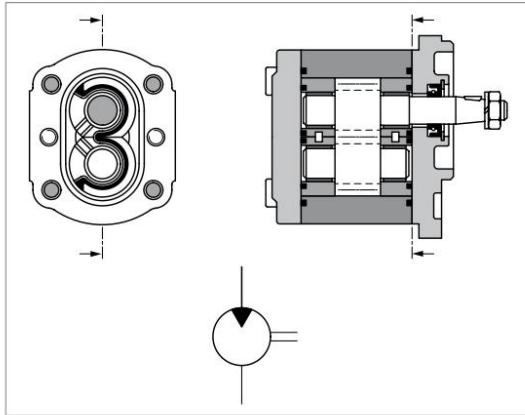
These gear motors are designed asymmetrically, i.e., fixed high-pressure and low-pressure ends. This means they cannot be reversed. Motors require a special start-up sequence to ensure good efficiency. Any leakage oil is drained internally. The shaft seal limits drainage pressure.

Reversible gear motor

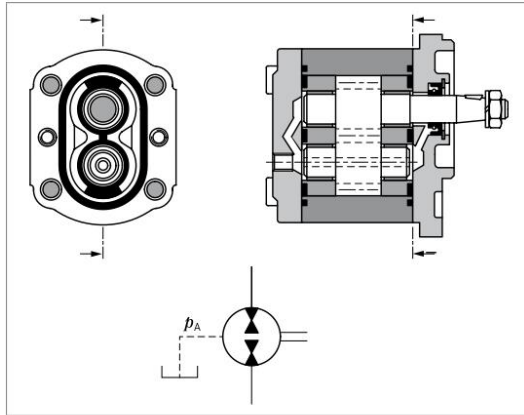
The displacement principle of external gear motors is the opposite of that of pumps. Reversible motors are an exception to this concept. Due to their symmetrical layout, the high-pressure and low-pressure chambers are separate from the bearing and shaft seal chambers. Any leakage oil is drained through a separate drain port in the housing cover. This drainage allows the motor to run in reverse, making series connections possible. Standard motors and pumps can only withstand up to approx. 3 bar due to the connection between the shaft seal and the low-pressure end.

The figure shows a reversible motor for four-quadrant operation, i.e., output torque and drive torque in both directions (hydraulic motor functions as a pump when the load is reversed).

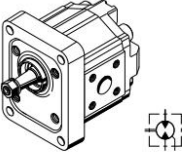
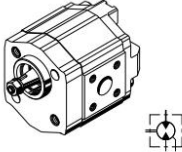
▼ Gear motor for one direction of rotation



▼ Reversible gear motor

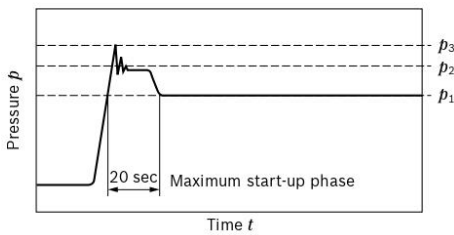


▼ Product overview AZMB preferred types

Version	
	
AZMB-32...UHO20PL, page 11	AZMB-32...UCP20PL, page 12

AZMB-3x		NG	2.5	3.1	4.0	4.5	5.0	6.3	7.1
Geometric displacement per revolution	V_g	cm ³	2.5	3.15	4.0	4.5	5.0	6.3	7.1
Maximum drain port pressure ¹⁾	abs.	p_L	bar	3	3	3	3	3	3
	On start-up	p_L	bar	10	10	10	10	10	10
Minimum motor input pressure ²⁾	abs.	p_{min}	bar	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Maximum continuous pressure		p_1	bar	220	220	220	220	220	200
Maximum intermittent pressure		p_2	bar	250	250	250	250	250	230
Motor output pressure		p_A	bar	For reversible motors: ≤ working pressure For non-reversible motors: max. 3 bar absolute, 10 bar on start-up					
Minimum speed		n_{min}	rpm	750	750	750	750	750	750
Maximum speed	At p_1	n_{max}	rpm	5000	4000	4000	4000	3500	3500

▼ Pressure definition

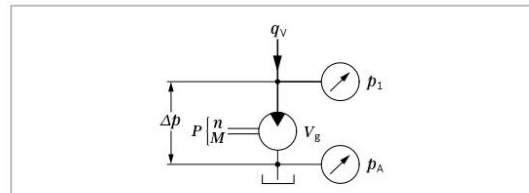


- p_1 Maximum continuous pressure
- p_2 Maximum intermittent pressure
- p_3 Maximum pressure peak

Design calculations for motors		
Inlet flow	$q_v = \frac{V_g \times n}{1000 \times \eta_v}$	[l/min]
Rotational speed	$n = \frac{q_v \times 1000 \times \eta_v}{V_g}$	[rpm]
Torque	$M = \frac{V_g \times \Delta p \times \eta_{hm}}{20 \times \pi}$	[Nm]
Power	$P = \frac{2 \pi \times M \times n}{60000} = \frac{q_v \times \Delta p \times \eta_t}{600}$	[kW]
Pressure	$\Delta p = \frac{M \times 20 \times \pi}{V_g \times \eta_{hm}}$	[bar]
	$\Delta p = \frac{P \times 600}{q_v \times \eta_t}$	[bar]
Displacement	$V_g = \frac{q_v \times 1000 \times \eta_v}{n}$	[cm ³]
	$V_g = \frac{M \times 20 \times \pi}{\Delta p \times \eta_{hm}}$	[cm ³]

Key

- V_g Displacement per revolution [cm³]
- Δp Differential pressure [bar] ($\Delta p = p_1 - p_A$)
- n Rotational speed [rpm]
- q_v Inlet flow [l/min]
- M Torque [Nm]
- P Power [kW]
- η_v Volumetric efficiency²⁾
- η_{hm} Hydraulic-mechanical efficiency²⁾
- η_t Total efficiency ($\eta_t = \eta_v \times \eta_{hm}$)²⁾

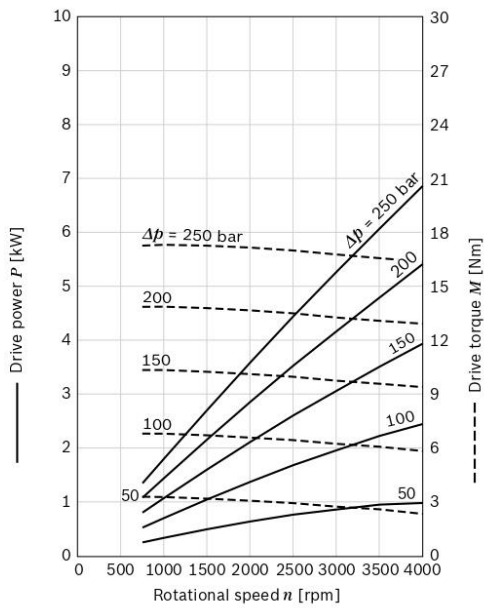


Notice

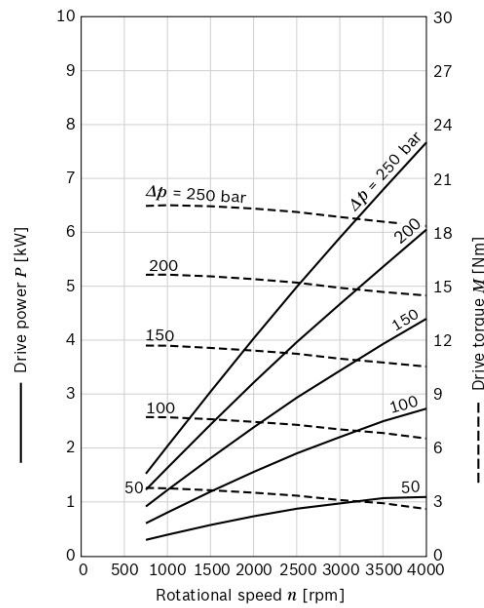
On the following pages you can find diagrams for a rough calculation.

1) For reversible motors
2) Parameter as a decimal, e.g., 0.9

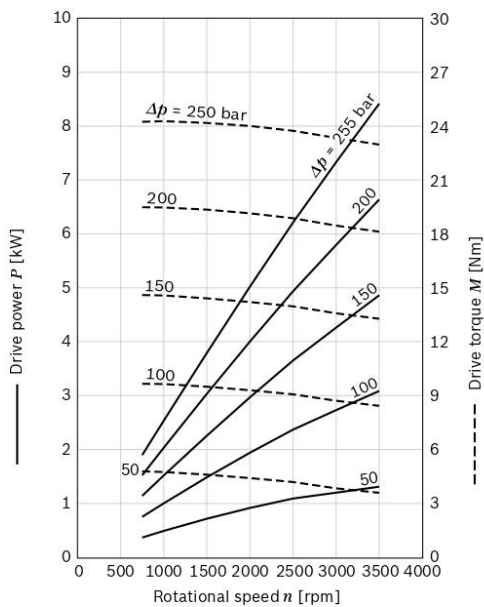
▼ Size 4.5



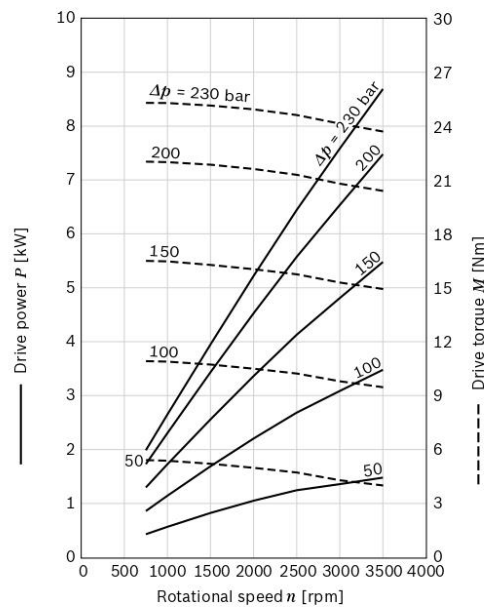
▼ Size 5.0



▼ Size 6.3



▼ Size 7.1



Notice

Characteristic curves measured at $v = 32 \text{ mm}^2/\text{sec}$ and $\theta = 50 \text{ }^\circ\text{C}$.

$P = f(n, p)$, incl. η_t ———
 $M = f(n, p)$, incl. η_{hm} - - - - -

Vedlegg 8. Utklipp fra datablad for Swival Head: Plain clevis SCA fra Bosch Rexroth

Mounting elements 3/44

Mounting element overview

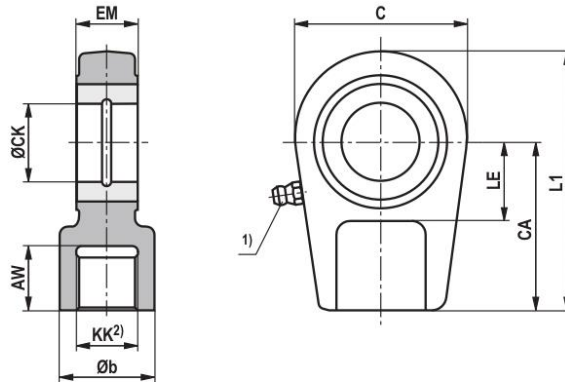
Assembly (symbolic representation)	Denomination / type	To be attached to series	Page
	Plain clevis CSA	CDH1/CGH1/CSH1 CDH3/CGH3/CSH3	24, 25
	Swivel head CGA		26, 27
	Swivel head (clampable) CGAK		28, 29
	Swivel head (clampable) CGAS		30, 31
	Fork clevis (clampable) CCKB ISO 8132	CDH2/CGH2/CSH2 CDM1/CGM1/CSM1	32, 33
	Swivel head (clampable) CGKD ISO 8132		34, 35
	Trunnion bracket CLTB ISO 8132		36, 37
	Clevis bracket (clampable) CLCA ISO 8132 form B		38, 39
	Clevis bracket (clampable) CLCD ISO 8132 form A		40, 41

RE 17042, edition: 2013-07, Bosch Rexroth AG

24/44 Mounting elements

Dimensions: Plain clevis CSA for series CDH1/CGH1/CSH1 and CDH3/CGH3/CSH3
(dimension in mm)

AL-Ø 40 ... 200 mm



Series		Type	Material no.	AW	Øb	C	CA	ØCK H11	EM -0,4
CDH1 / CGH1 / CSH1 ØAL	CDH3 / CGH3 / CSH3 ØAL								
40	-	CSA 16	R900303150	17	28	56	50	25	23
50	40	CSA 22	R900303151	23	34	64	60	30	28
63	50	CSA 28	R900303152	29	44	78	70	35	30
80	63	CSA 35	R900303153	36	55	94	85	40	35
100	80	CSA 45	R900303154	46	70	116	105	50	40
125	100	CSA 58	R900303155	59	87	130	130	60	50
140	125	CSA 65	R900303156	66	93	154	150	70	55
160	140	CSA 80	R900303157	81	125	176	170	80	60
180	160	CSA100	R900303158	101	143	206	210	90	65
200	180	CSA110	R900303159	111	153	230	235	100	70
-	200	CSA120	R900303160	125	176	265	265	110	80

Bosch Rexroth AG, RE 17042, edition: 2013-07

Dimensions: Plain clevis CSA for series CDH1/CGH1/CSH1 and CDH3/CGH3/CSH3
(dimension in mm)

Series		Type	KK	LE	L1	m ³⁾ kg	C ₀ ⁴⁾ kN	F _{adm} ⁵⁾ kN
CDH1 / CGH1 / CSH1 ØAL	CDH3 / CGH3 / CSH3 ØAL							
40	–	CSA 16	M16x1,5	25	80	0,43	72	25,9
50	40	CSA 22	M22x1,5	30	94	0,7	106	38,2
63	50	CSA 28	M28x1,5	40	112	1,1	153	55,1
80	63	CSA 35	M35x1,5	45	135	2,0	250	90,0
100	80	CSA 45	M45x1,5	55	168	3,3	365	131,4
125	100	CSA 58	M58x1,5	65	200	5,5	400	144,0
140	125	CSA 65	M65x1,5	75	232	8,6	540	194,4
160	140	CSA 80	M80x2	80	265	12,2	670	241,2
180	160	CSA100	M100x2	90	323	21,5	980	352,8
200	180	CSA110	M110x2	105	360	27,5	1120	403,2
–	200	CSA120	M120x2	115	407,5	40,7	1700	612,0

ØAL = piston Ø

¹⁾ Lubricating nipple, cone head form A according to DIN 71412

²⁾ The plain clevis must always be screwed against the shoulder of the piston rod

³⁾ **m** = weight of plain clevis in kg

⁴⁾ **C₀** = static load rating of the plain clevis

⁵⁾ **F_{adm}** = maximum admissible load on the plain clevis during oscillatory or alternating loads



Notice!

The specified dimensions are maximum values and may differ depending on the manufacturer.

The following values are excluded: CA, CK, EM, KK

Vedlegg 9. Eksempel blad for maritime kabler fra Lapp



Tekniske data ROFLEX®		
Lederoppbygging Fintrådet, klasse 5 IEC 60228	Ytterkappe PUR, orange farge	Driftsspennning U₀/U ≤ 1 mm ² 300/500 V ≥ 1,5 mm ² 0,6/1 kV
Ledermerking Opp til 5 ledere: Fargekodet Fra 6 ledere: Nummermerking	Bøyeradius 8 x kabeldiameter	Testspennning 3,5 kV
G = med gul/grønn jordleder X = uten jordleder	Temp. område -40°C til +90°C	Brannegenskaper Halogenfri, ingen giftige gasser.
Lederisolasjon Tverrbundet EPR	Temp. område fast -50°C til +80°C	

▶ ROFLEX® Halogenfri og nedsenkbar

Halogenfri og UV-bestendig styre, kraft- og tilkoblingskabel. Svært slitesterk og kuttbestandig kabel med meget god mekanisk bestandighet. **Nedsenkbar ned til 200 meter.** Typiske bruksområder er byggeplasser, håndverktøy, bryggeanlegg og fiskemærer.



Info

Halogenfri, UV-bestendig og nedsenkbar!
Ingen avfarging!
Kan leveres som 1-leder opptil 400 mm²
1 leder dobbeltisolert
Kan også leveres som funksjonssikker variant



Elnr.	Art.nr	Type	Ytterdia	Vekt kg/km
Uten jordleder				
1070800	83071650	ROFLEX® 2 X 0,75 mm ²	6	46
1070820	83090826	ROFLEX® 2 X 1 mm ²	7	55
1070830	83090830	ROFLEX® 2 X 1,5 mm ²	7,6	69
1070890	83090860	ROFLEX® 1 X 50 mm ²	17	620
1070892	83090861	ROFLEX® 1 X 95 mm ²	24	1150
Inkludert jordleder				
1070801	83071651	ROFLEX® 3 G 0,75 mm ²	7	56
1070802	83071652	ROFLEX® 4 G 0,75 mm ²	8	68
1070803	83071653	ROFLEX® 5 G 0,75 mm ²	8	85
1070805	83071654	ROFLEX® 7 G 0,75 mm ²	10	119
1070808	83071660	ROFLEX® 12 G 0,75 mm ²	12	174
1070810	83071664	ROFLEX® 18 G 0,75 mm ²	14	258
1070812	83071667	ROFLEX® 21 G 0,75 mm ²	16	320
1070814	1111500	ROFLEX® 25 G 0,75 mm ²	18	357
1070821	83090827	ROFLEX® 3 G 1 mm ²	7,4	66
1070831	83090831	ROFLEX® 3 G 1,5 mm ²	8,2	85
1070832	83090832	ROFLEX® 4 G 1,5 mm ²	9	110

Vedlegg 10. Aluminium 6082,T6 informasjon

General information

Ansys Name	Aluminum alloy, wrought, 6082, T6
Designation	
Aluminum, 6082, T6, wrought	
Condition	T6 (Solution heat-treated and artificially aged)
UNS number	A96082
EN name	EN AW-6082 (EN AW-Al Si 1MgMn)
EN number	3.2315
Typical uses	
General purpose high duty applications, structural frames, pylons, towers, bridges.	
Included in Materials Data for Simulation	✓

Composition overview

Compositional summary

Al95-98 / Si0.7-1.3 / Mg0.6-1.2 / Mn0.4-1 (impurities: Fe<0.5, Cr<0.25, Zn<0.2, Cu<0.1, Ti<0.1, Other<0.15)	
Material family	Metal (non-ferrous)
Base material	Al (Aluminum)

Composition detail (metals, ceramics and glasses)

Al (aluminum)	95,2	-	98,3	%
Cr (chromium)	0	-	0,25	%
Cu (copper)	0	-	0,1	%
Fe (iron)	0	-	0,5	%
Mg (magnesium)	0,6	-	1,2	%
Mn (manganese)	0,4	-	1	%
Si (silicon)	0,7	-	1,3	%
Ti (titanium)	0	-	0,1	%
Zn (zinc)	0	-	0,2	%
Other	0	-	0,15	%

Price

Price	* 17,8	-	20,1	NOK/kg
Price per unit volume	* 4,76e4	-	5,48e4	NOK/m ³

Physical properties

Density	2,67e3	-	2,73e3	kg/m ³
---------	--------	---	--------	-------------------

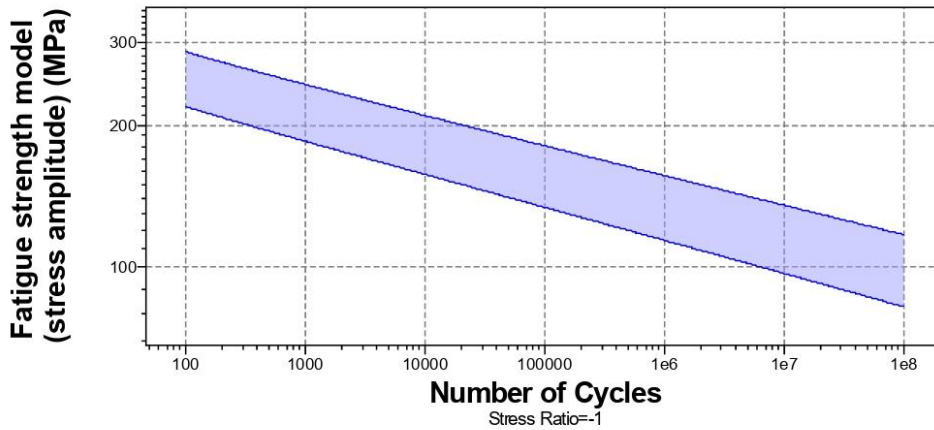
Mechanical properties

Young's modulus	70	-	74	GPa
Specific stiffness	25,9	-	27,5	MN.m/kg
Yield strength (elastic limit)	240	-	280	MPa
Tensile strength	295	-	344	MPa
Specific strength	88,8	-	104	kN.m/kg

Values marked * are estimates.
ANSYS, Inc. provides no warranty for this data.

Elongation	8	-	11,5	% strain
Tangent modulus	864			MPa
Compressive strength	* 240	-	280	MPa
Flexural modulus	* 70	-	74	GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	* 240	-	280	MPa
Shear modulus	25,3	-	26,6	GPa
Shear strength	194	-	227	MPa
Bulk modulus	* 70	-	74	GPa
Poisson's ratio	0,325	-	0,335	
Shape factor	25,8			
Hardness - Vickers	95	-	105	HV
Hardness - Brinell	91	-	100	HB
Elastic stored energy (springs)	402	-	543	kJ/m ³
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	* 106	-	124	MPa
Fatigue strength model (stress amplitude)	* 97,1	-	135	MPa

Parameters: Stress Ratio = -1, Number of Cycles = 1e7cycles



Impact & fracture properties

Fracture toughness	* 30	-	36	MPa.m ^{0.5}
Toughness (G)	12,6	-	17,9	kJ/m ²

Thermal properties

Melting point	575	-	650	°C
Maximum service temperature	130	-	150	°C
Minimum service temperature	-273			°C
Thermal conductivity	169	-	175	W/m.°C
Specific heat capacity	* 882	-	918	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	22,5	-	23,7	µstrain/°C
Thermal shock resistance	143	-	170	°C

Values marked * are estimates.
ANSYS, Inc. provides no warranty for this data.

Thermal distortion resistance	* 7,22	-	7,68	MW/m
Latent heat of fusion	384	-	393	kJ/kg

Electrical properties

Electrical resistivity	3,8	-	4	μohm.cm
Electrical conductivity	43,1	-	45,4	%IACS
Galvanic potential	* -0,79	-	-0,71	V

Magnetic properties

Magnetic type	Non-magnetic
---------------	--------------

Optical, aesthetic and acoustic properties

Transparency	Opaque
Acoustic velocity	5,09e3 - 5,24e3 m/s
Mechanical loss coefficient (tan delta)	* 1e-4 - 0,002

Critical materials risk

Contains >5wt% critical elements?	Yes
-----------------------------------	-----

Processing properties

Metal casting	Unsuitable
Metal cold forming	Acceptable
Metal hot forming	Acceptable
Metal press forming	Acceptable
Metal deep drawing	Limited use
Machining speed	101 m/min
Weldability	Good
Notes	Preheating is not required, post weld heat treatment is required

Durability

Water (fresh)	Excellent
Water (salt)	Acceptable
Weak acids	Excellent
Strong acids	Excellent
Weak alkalis	Acceptable
Strong alkalis	Unacceptable
Organic solvents	Excellent
Oxidation at 500C	Unacceptable
UV radiation (sunlight)	Excellent
Galling resistance (adhesive wear)	Limited use

Notes

Aluminum alloys perform poorly when self-mated but can be processed without galling when mated with steels.

Flammability	Non-flammable
--------------	---------------

Corrosion resistance of metals

Values marked * are estimates.
ANSYS, Inc. provides no warranty for this data.

Stress corrosion cracking	Not susceptible
Notes	Rated in chloride; Other susceptible environments: Halide, water

Primary production energy, CO2 and water

Embodied energy, primary production (virgin grade)	* 184	- 203	MJ/kg
Embodied energy, primary production (typical grade)	* 112	- 132	MJ/kg
CO2 footprint, primary production (virgin grade)	* 13,1	- 14,5	kg/kg
CO2 footprint, primary production (typical grade)	* 8,13	- 9,48	kg/kg
Water usage	* 1,12e3	- 1,24e3	l/kg

Processing energy, CO2 footprint & water

Roll forming, forging energy	* 7,56	- 8,36	MJ/kg
Roll forming, forging CO2	* 0,567	- 0,627	kg/kg
Roll forming, forging water	* 4,78	- 7,17	l/kg
Extrusion, foil rolling energy	* 14,8	- 16,4	MJ/kg
Extrusion, foil rolling CO2	* 1,11	- 1,23	kg/kg
Extrusion, foil rolling water	* 7,89	- 11,8	l/kg
Wire drawing energy	* 54,8	- 60,6	MJ/kg
Wire drawing CO2	* 4,11	- 4,55	kg/kg
Wire drawing water	* 20,7	- 31	l/kg
Metal powder forming energy	* 22,2	- 24,5	MJ/kg
Metal powder forming CO2	* 1,77	- 1,96	kg/kg
Metal powder forming water	* 24,2	- 36,3	l/kg
Vaporization energy	* 1,55e4	- 1,71e4	MJ/kg
Vaporization CO2	* 1,16e3	- 1,28e3	kg/kg
Vaporization water	* 6,46e3	- 9,69e3	l/kg
Coarse machining energy (per unit wt removed)	* 1,57	- 1,73	MJ/kg
Coarse machining CO2 (per unit wt removed)	* 0,117	- 0,13	kg/kg
Fine machining energy (per unit wt removed)	* 11,4	- 12,6	MJ/kg
Fine machining CO2 (per unit wt removed)	* 0,854	- 0,944	kg/kg
Grinding energy (per unit wt removed)	* 22,3	- 24,6	MJ/kg
Grinding CO2 (per unit wt removed)	* 1,67	- 1,85	kg/kg
Non-conventional machining energy (per unit wt removed)	* 155	- 171	MJ/kg
Non-conventional machining CO2 (per unit wt removed)	* 11,6	- 12,8	kg/kg

Recycling and end of life

Recycle	✓		
Embodied energy, recycling	* 32,3	- 35,7	MJ/kg
CO2 footprint, recycling	* 2,54	- 2,8	kg/kg
Recycle fraction in current supply	42,8	- 47,3	%
Downcycle	✓		
Combust for energy recovery	✗		
Landfill	✓		

Values marked * are estimates.
ANSYS, Inc. provides no warranty for this data.

Biodegrade ✖

Notes

Other notes

Prices of Aluminum alloys fluctuate greatly and are dependent on batch size, unit size, forming methods, etc.

Keywords

0.6003; 17305 to NS 17305; 3.2315; 3.2315/AlMgSi1 to DIN 1725-1; 3.4552.00/AlSi1Mg to JUS C.C2.100; 4212-00 to SIS 144212; 4212-02 to SIS 144212; 4212-04 to SIS 144212; 4212-10 to SIS 144212; 424400; 6082; 6082 to AS 2848.1; 6082 to BS 1471; 6082 to BS 1472; 6082 to BS 1473; 6082 to BS 1474; 6082 to NF A50-411; 6082A; 63511 (Al-SiMgMn); 64430 to IS 733; 64430 to IS 736; A2014PC; ALCAN B51S; AlMgSi1 to MSZ 3714/1; AlMgSi1 to ONORM M3430; AlSi1Mg to ISO/R 827; AlSi1Mg to ISO/R 829; AlSi1Mg to ISO/TR 2778; AlSi1MgMn to ISO 209-1; Alcoa 920; AlmgSi 1 (410) 6100; Anticorodal-090; Anticorodal-110; Anticorodal-112; Baw 6082; EN AW-6082 (EN AW-Al Si1 MgMn); EN AW-6082 to CEN EN 573-3; EN AW-6082A to CEN EN 573-3; HG30 to IS 739; HT30; Impalco M39/2; Kaiser Alloy 6082 T4; Kaiser Alloy 6082 T6; UNSA96082; X6080

Standards with similar compositions

- Australia:
6082 to AS 2848.1
- Austria:
AlMgSi1 to ONORM M3430
- Europe:
EN AW-6082 to CEN EN 573-3, EN AW-6082A to CEN EN 573-3
- France:
6082 to NF A50-411
- Germany:
3.2315/AlMgSi1 to DIN 1725-1
- Hungary:
AlMgSi1 to MSZ 3714/1
- India:
64430 to IS 733, 64430 to IS 736, HG30 to IS 739
- International:
AlSi1Mg to ISO/R 827, AlSi1Mg to ISO/R 829, AlSi1Mg to ISO/TR 2778, AlSi1MgMn to ISO 209-1
- Norway:
17305 to NS 17305
- Sweden:
4212-00 to SIS 144212, 4212-02 to SIS 144212, 4212-04 to SIS 144212, 4212-10 to SIS 144212
- UK:
6082 to BS 1471, 6082 to BS 1472, 6082 to BS 1473, 6082 to BS 1474
- USA:
6082, 6082A, UNS A96082
- Yugoslavia:
3.4552.00/AlSi1Mg to JUS C.C2.100
- Tradenames:
ALCAN B51S, ALCOA 920, ALMGSI 1 (410) 6100, ANTICORODAL-090, ANTICORODAL-110, ANTICORODAL-112, BAW 6082, IMPALCO M39/2, KAISER ALLOY 6082 T4, KAISER ALLOY 6082 T6

Links

- ProcessUniverse
- Producers
- Reference
- Shape
- Structural Sections

Values marked * are estimates.
ANSYS, Inc. provides no warranty for this data.

Vedlegg 11. Aluminiums profilpriser (Fra stena Stål)



STENA STÅL

[PRODUKTER](#)
[WEBORDER](#)
[HÅLLBARHET](#)
[PRISLISTOR](#)

AL-Rör rekt. 80x60x3 mm 6060/6063 6 m

ALUMINIUM

LISTPRIS	LEGERINGSTILLÄGG	VIKT	ARTIKELNUMMER
161.4 kr/kg	0,00 kr/kg	2.17 kg/m	205218

AL-Rör rekt. 80x60x4 mm 6060/6063 6 m

ALUMINIUM

LISTPRIS	LEGERINGSTILLÄGG	VIKT	ARTIKELNUMMER
161.4 kr/kg	0,00 kr/kg	2.85 kg/m	205219



STENA STÅL

[PRODUKTER](#)
[WEBORDER](#)
[HÅLLBARHET](#)
[PRISLISTOR](#)

AL-Plåt 5x2000x1000 mm 1050A H14/H24 Halvhård

ALUMINIUM

LISTPRIS	LEGERINGSTILLÄGG	VIKT	ARTIKELNUMMER
132.37 kr/kg	0,00 kr/kg	27 kg/st	204731

AL-Plåt 5x2500x1250 mm 1050A H14/H24 Halvhård

ALUMINIUM

LISTPRIS	LEGERINGSTILLÄGG	VIKT	ARTIKELNUMMER
132.37 kr/kg	0,00 kr/kg	42.2 kg/st	204734

Vedlegg 12. Ekstern testings: Skjema

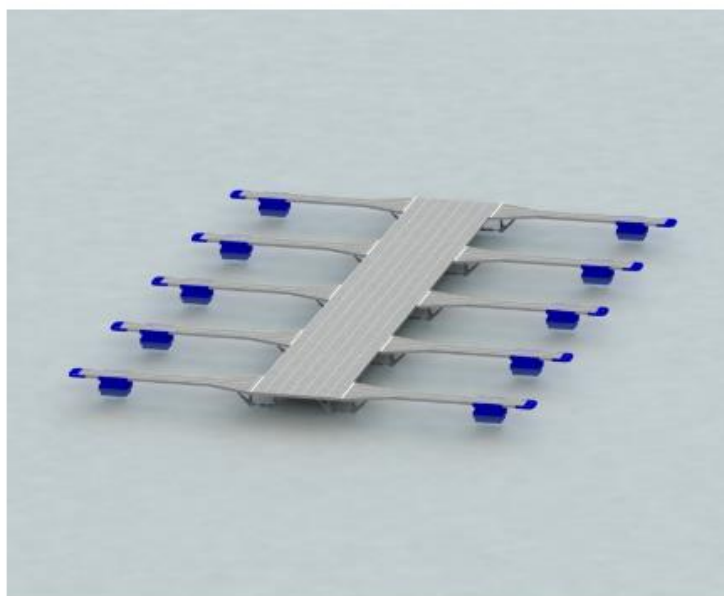
Undersøkelse

Master oppgave

Navn (Lov å være anonym)	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	Fornavn	Etternavn
Kjønn	<input type="radio"/> Mann	<input type="radio"/> Kvinne
Alder	<input type="text" value="ex: 23"/>	
Yrke/Studie	<input type="text"/>	

Masteren går ut på å se om det er mulig å lage et småskala kraftverk som henter energi fra bølgekraft.

Med økende strømpriser og mer behov for elektrisitet går oppgaven ut på å prøve å hente inn lokalenergi fra bølger, ved for eks. Oslo fjorden. Her er det ikke snakk om store bølger men bølgehøyder fra 0,1 til 0,5 meter. Ideen er å sette en hydraulisk pumpe under en flytebrygge (eks. vis en 6 meters brygge). Fra utregninger viser det seg at 10 slike pumper kan levere over 5 kW med elektrisk energi. Dette tilsvarer at et system med 10 pumper (som i første bilde under) kan lade en tesla på 1 time.



Designet sett fra siden:

Ser at flytebyggen (til venstre) ligger i havet og dupper opp og ned. Flytebyggen er festet til en fastmontert brygge til høyre. På innsiden av flytebyggen er det festet 2 bjelker for systemet. Tilsvarende er det et feste under den faste bryggen. Mellom festene er det et stempel som blir trykket inn og ut når flytebyggen går opp og ned.



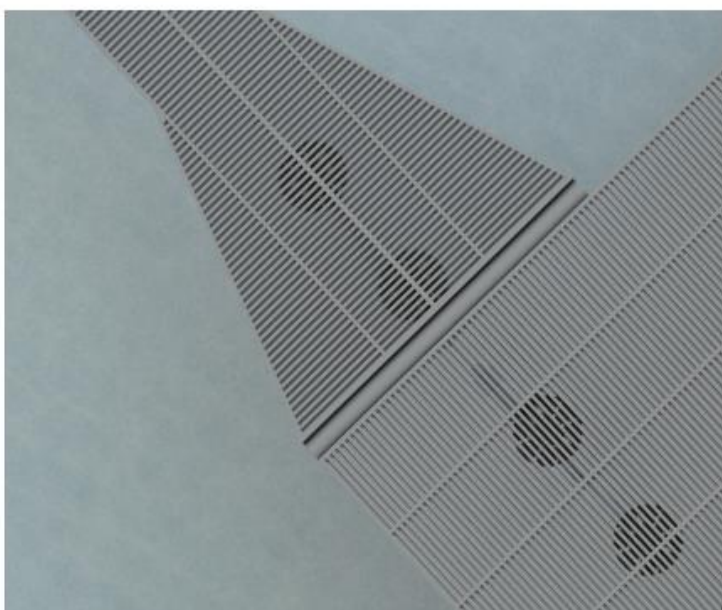
Designet uten bryggen:

Viser feste for flytebyggen på venstre side, stempelet i midten og feste for den faste bryggen til høyre.



Designet sett fra oversiden av en brygge:

Viser hvordan konstruksjonen vil se ut fra oversiden av en brygge. Konstruksjonen vil i liten grad synes eller være i veien.



Fra 1 til 5: Hva tenkes om ideen?

1: Meget Dårlig
 2: Dårlig
 3: Helt ok
 4: Bra
 5: Meget Bra

Fra 1 til 5: Hva syns du om dette designet?

1: Meget Dårlig
 2: Dårlig
 3: Helt ok
 4: Bra
 5: Meget Bra

Fra 1 til 5: Hva tenkes om funksjonen til produktet?

1: Meget Dårlig
 2: Dårlig
 3: Helt ok
 4: Bra
 5: Meget Bra

Fra 1 til 5: Vil dette være et nyttig produkt?

1: Ikke Nyttig
 2: Lite Nyttig
 3: Helt ok
 4: Nyttig
 5: Veldig Nyttig

Er dette et produkt du tenker kan bli brukt i fremtiden for energi produksjon?

Ja
 Nei

Om du har en brygge kunne du tenkt deg å bruke dette produktet på bryggen din?

Ja
 Nei
 Har ikke brygge

Hvilke farge mener du produktet bør ha?

Hva mener du produktet bør hete?

Hvilke utfordringer ser du med et slikt type produkt?

Andre kommentarer:

Send

Vedlegg 13. Ekstern testing: Besvarelser

Formavn	Efternavn	Kjønn	Alder	Yrke/Studie	Sp1	Sp2	Sp3	Sp4	Sp5	Sp6	Sp7	Sp8	Sp10	Andre kommentarer:
NA	NA	NA	NA	NA	5	4	4	5	Ja	Ja	Samme som fagverket rundt	Wave-o-matic	Produksjonspris og serviceavtale	
NA	NA	Kvinne	32	NA	4	4	4	4	Ja	Har ik	Har ik			
NA	NA	Kvinne	27	Siviløkonom	4	4	5	4	Ja	Har ik	Grått			
L	T	Kvinne	33	Eiendom & Næring / Karpe	5	5	5	5	Ja	Ja	Grå	Pump Awake	Prisen?	Veldig bra!
Pawandeep	Singh	Mann	24	Fashion design esmod	5	5	5	5	Ja	Har ik	Bør ha samme farge og utseende som en vanlig brygge så langt det lar seg gjøre for at det skal appellere til så	Pier Surge	Kostnadd	
Dharinderjeet Kaur	Singh	Kvinne	55	Lærer	5	5	5	5	Ja	Ja	Blå	Bølgeenergi	Produksjonen av mer energi	Den er veldig bra projekt.
Frode	Hove	Mann	36	Musiker	5	4	5	4	Ja	Har ik	Farge spiller ingen rolle. Nyttverdi	Wavergy	Mange brygger som nå byttes/forvres. Ikke alltid folk er	
Kashayar	Aishar	Mann	23	Musikkproduksjon og låtskriving	4	4	4	5	Ja	Har ik	Grå	Bryggpumpe	Bevaring langsiktig	
Yousef	Kadem	Mann	27	Miljøterapeut på ungdomsskole	4	4	4	4	Ja	Har ik	Blå/svart			
Sinran	Sandhu	Kvinne	24	Sivilingeniør elkraftteknikk	5	4	4	4	Ja	Har ik	Kommer ann på regler rundt brygge og bår. Er det ønsket at pumpen skal synes slik at båter ikke slår inn i den burde pumpen være en synlig farge. Et oransje. Ønsker dere å blende	Pier pump, ocean power, eco wave,	Korrosjon, tung/tare og annet grums fra båtene? Pris, energilagring. Koble til strømmetett eller ha et microgrid/lokalt energisystem? Er kanskje mindre bolger om sommeren	Høres veldig spennende ut. Har jo vært forsket på lenge, men utrolig mange som har faila og gitt opp. Så sykt spennende at du finner en ny løsning på det nærmere land.
Harinder psal	Singh	Mann	61	Oslokommun	5	5	5	5	Ja	Ja	Lys farge	Komme	Det hver ikke	Ikke kommentar
Øyvind	Hansen	Mann	51	Ingeniør	5	4	5	4	Ja	Har ik	Jeg tror grått ville passa bra til det galvaniserte på brygger.	PierPower	Korrosjon og kostnader	
Ramnit Kaur	Brar	Kvinne	42	Lege	5	5	4	4	Ja	Nei	Nøvtral farge som ikke synes i	Usikkert	Kanskje dyrt å installere, usikker på	Good job!
Anne	Bredeli	Kvinne	20	Artist	5	5	5	5	Ja	Ja	Blå	Bølgepumpe	Ikke høye nok bolger ofte nok	Veldig interessant!

Vedlegg 14. Logo farger

PS 5000

PS 5000

PS 5000

PS 5000

PS 5000

PS 5000



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway