



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2023 30 stp
Fakultetet for realfag og teknologi

Småskala energiproduksjon basert på biobrensel og overopphetet damp

Small-scale energy production based on biofuel and
superheated steam

Haakon Hodne Limtun & Fredrik Henriksen Ramen
Maskin-, prosess og produktutvikling

Småskala energiproduksjon basert på biobrensel og overopphetet damp

av

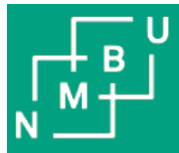
Haakon Hodne Limtun og Fredrik Henriksen Ramen



Masteroppgave i Maskin, prosess og produktutvikling

Fakultet for realfag og teknologi

NMBU Våren 2023



FORORD

Denne mastergradsoppgaven utgjør vårt avsluttende prosjektarbeid i sivilingeniørutdanningen ved Fakultetet for realfag og teknologi, Norges miljø og biovitenskapelige universitet (NMBU). Gradsprosjektet er gjennomført våren 2023 innen masterprogrammet i Maskin, prosess- og produktutvikling ved Institutt for maskinteknikk og teknologiledelse, og har et omfang på 30 studiepoeng per student. Tidligere har begge gjennomført en treårig ingeniørfaglig bachelorutdanning med studieretning Smart produktdesign ved Universitetet i Sørøst-Norge, ved Fakultet for teknologi, naturvitenskap og maritime fag.

I et samfunn med økende forståelse rundt klimaendringer og konsekvensene av de, har det aldri vært mer relevant og viktig med løsninger som vil bidra til å redusere utslipp av klimagasser. Norge som energinasjon er også i endring, der olje- og gassproduksjon trappes ned og fornybare energikilder som vannkraft og biobrensel får en viktigere rolle.

Som maskiningeniørstudenter ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet er dette problemstillinger som danner grunnlag og nysgjerrighet for gradsoppgaven. Ved å benytte kunnskap vi har tilegnet oss gjennom utdanningen, får vi mulighet til å utvikle og konstruere en løsning som vil bidra til å løse disse problemene. Utvikling av dette konseptet har vært spennende og utfordrerne, og har krevd anvendelse av store deler av de ingeniørfaglige kunnskapene vi sitter på. Prosjektarbeidet har også gjort oss enda mer rustet til hva en ny hverdag som maskiningeniører vil by på.

En takk rettes til førsteamanuensisene Odd Ivar Lekang og Jan Kåre Bøe ved Realtek, som har støttet oss som veiledere. Lekang, som også er instituttleder ved Institutt for maskinteknikk og teknologiledelse, har stilt velvillig opp som administrativ hovedveileder for masterarbeidet vårt. Bøe har bistått oss mye både faglig og på mange andre vis gjennom de praktiske delene av prosjektgjennomføringen, og bidratt både til metodisk ryddighet, grundig veiledning og oppfølging gjennom prosjektet.

Vi vil også takke senioringeniør Øyvind Hansen ved Realteks verksted for gode innspill knyttet til produksjon og kostnader. En takk går også til professor emeritus Bjarne Hodne for sitt gode innspill på prosjektets relevans i samfunnskontekst. Til slutt vil vi takk alle som deltok i brukertesting, som kom med gode tilbakemeldinger og råd på hvordan konseptet kunne forbedres.

Ås, 15 mai.2023



Fredrik Henriksen Ramen



Haakon Hodne Limtun

SAMMENDRAG

Jorden befinner seg i en stor klimakrise der behovet for å gå vekk fra fossile brennstoff vokser, samtidig som verdens befolkning opplever energimangel. Global oppvarming er et pressende og komplekst problem fremprovosert av menneskelige aktiviteter, der en stor bidragsyter er forbrenning av fossilt brensel og avskoging. Dette fører til økning av klimagasser i atmosfæren, som videre fanger varmen fra solen og får den gjennomsnittlige temperaturen på jorden til å stige. De negative konsekvensene av denne prosessen er stigende havnivå, hyppigere naturkatastrofer og uforutsigbare værphenomen, samt trusler mot matsikkerheten. For å redusere disse endringen kreves det umiddelbar handling og et globalt samarbeid.

Heldigvis har det blitt satt et økende fokus på å redusere og stoppe disse endringene, da det forskes på nye løsninger som benytter fornybare energikilder til energiproduksjon. Her er land som Norge ledende, der vannkraft står for omtrent 90 prosent av landets kraftproduksjon. Bioenergi er én av flere kilder til fornybar energi, der den lagrede energien kommer fra organiske materialer i form av planteprodukter, gjødsel og skogsavfall, og anses derfor for å være karbon-nøytralt. Denne formen for energi vil spille en viktig rolle i en løsning på den globale oppvarmingen, der bioenergi kan brukes i en rekke former, som biodrivstoff, biomasse og biogass.

Det finnes også ulemper ved denne type energiproduksjon, der en av de største utfordringene er konkurranse om dyrkbart land, særlig i tørre områder. Dette kan føre til habitatødeleggelser og usikkerhet rundt matforsyningen, men vil enkelt kunne løses med god planlegging og forvaltning av de aktuelle områdene. Et annet stort problem er overgangen i det grønne skifte, der økonomi spiller en svært viktig rolle. Dersom bruken av olje, kull og gass fortsetter å ha et økonomisk fortrinn, vil det være vanskelig å gjennomføre drastiske endringer. Derfor vil det være svært viktig med nyteknolog og utvikling av smarte løsninger som kan konkurrere både på effektivitet og pris.

Det er nettopp bioenergi som er grunnlaget for dette gradarbeidet, der det er utviklet et småskala energisystem som benytter biobrensel til å produsere strøm og varme. Prosjektet har tatt utgangspunkt i større bioenergianlegg som ofte benyttes til å levere fjernvarme til store bygninger og boligkomplekser. Gjennom oppgaven har det blitt sett på hvordan disse anleggene kan komprimeres og benyttes i mindre skala, for å konkurrere med eksisterende løsninger. Solceller, vind- og vannturbiner har lenge vært benyttet i mindre skala og ansees derfor som de største konkurrentene sammen med kraftselskaper.

Prosjektets mål har derfor vært å utrede, utarbeide, dimensjonere og designe en systemløsning for småskala energi og elektrisitetsproduksjon basert på lokalt brensel og overopphetet damp og på denne måten dekke energibehovet til private boliger. Dette er gjennomført ved å benytte kjente produktutviklingsverktøy som IPD, Pugh's metodikk og SCAMPER, sammen med analyse- og simuleringverktøy gjennom dataprogrammene *Solidworks* og *Ansys*.

Prosjektet ble delt opp i fire hovedfaser for å sikre god kvalitet og et godt sluttresultat. I første del av prosjektet ble målsettinger, planlegging, litteratursøk og markedsanalyser utført, for å få god oversikt over tidsrammer og aktuelt stoff. Etter et omfattende søk var det lite informasjon å finne om småskala-systemer som leverer strøm mellom 5-10 kW, noe som gjør dette prosjektet til et selvstendig og originalt konsept. Videre begynte utviklingsfasen som la grunnlaget for prosjektet, der produktspesifiseringer og funksjonsanalyser ble utviklet for å utforske forskjellige løsninger. Her ble de mest egnede løsningene selektert til videre konseptutvikling, før komponentene ble 3D-modellert og analysert på bakgrunn av tidligere håndberegninger, i design og konstruksjonsfasen. Til slutt gikk prosjektet over i realiseringsfasen der miljøkrav, produksjonsmetoder og konstanskalkyler ble drøftet og utviklet, før gjennomføring av en omfattende helhetsvurdering og evaluering av prosjektet ble oppsummert i en konklusjon.

Gjennom prosjektet er det utviklet et energisystem som drives av biobrensel, der forbrenning av pellets, flis og ved bidrar til oppvarming av vann, damp og luft. Energisystemet er bygd opp av en rekke ulike komponenter som er slått sammen i 5 forskjellige del-sammenstillinger; A-Bærende elementer, B-Energisystem, C-Dampkjele med matesystem, D-Damp turbin og E-Kledning.

A-Bærende elementer består av en ramme bygd opp av kvadratiske hulprofiler for å sikre en lett og sterk konstruksjon. Videre er det benyttet plater i for å skille de ulike komponentene fra hverandre og sørge for trygg oppbevaring. Aluminiumlegeringen AW-6082 T6 benyttes rammen og AW-6061 T6 benyttes på resterende deler i del-sammenstillingen.

B-Energisystem er hjertet i systemet og sørger for å levere strøm, varmluft og varmtvann. Vann lagres i en dampkjele og varmes opp av forbrenningsvarmen fra brennkammeret, før det når kokepunktet og fordamper. Dampen føres deretter inn i en overoppheter, som sørger for tørr damp slik at damp turbin effektivt kan driftes.

Turbinen skaper så en roterende bevegelse som igjen driver en generator som produserer strøm, der batterier sørger for effektiv lagring. Ved normal drift vil energisystemet levere strøm med nominell effekt på 5,6 kW, der maks effekt vil ligge på 7,2 kW. Videre kan dampkjelen produsere varmtvann med en massestrøm på 0,058 kg/s når systemet er i operativ tilstand. Etter at dampen har blitt utnyttet i turbinen føres den gjennom en kondensator, der dampen kondenseres til vann med en temperatur på om lag 90 °C. Dette gjøres ved hjelp av 15 °C kjølevann som kontinuerlig sirkulerer gjennom kondensatoren. Etter at dampen kondenseres pumpes vannet tilbake til dampkjelen ved hjelp av en vannpumpe, før en ny energisyklus kan begynne.

Energisystemet tilbyr ikke bare strøm, men også oppvarming. Avgassene fra forbrenningen sørger for å drive en «luft til luft»-varmeveksler. Her benyttes kald luft utenfra som føres inn i varmeveksleren og varmes opp av forbrenningsvarmen, før luften deretter blir ført inn til for eksempel en fritidsbolig. Varmeveksleren som har blitt utviklet varmer opp 10 °C kald luft utenfra til en temperatur på ca. 50 °C med en volumstrøm på 0,014 m³/s. Gjennom B-Energisystemer er det blitt benyttet stål i normal og rustfri variant, kobber, aluminium og isolerende brannmursplater.

C-Dampkjele med matesystem tar for seg komponentene som sørger for enkel forbrenning. Delsammenstillingen åpner opp for at energisystemet kan produsere energi uten tilsyn, der matesystemet oppbevarer og mater brennkammeret med pellets og flis ved hjelp av en motorisert skrue. Det er også tatt høyde for manuell mating av brensel i form av ved, der det er konstruert en dør for enkel tilgang til brennkammeret. Matesystemet er bygd opp av komponenter der det er brukt ulike stålvarianter og aluminium.

D-Dampturbin er den mest komplekse delen i systemet og sørger for å omdanne den termiske potensielle energien i dampen til roterende mekanisk energi. Dampturbinen er lagd av rustfritt stål for å sikre god levetid, og rotoren har 23 turbinblader som optimaliserer kraften fra den overopphetedede dampen.

E-Kledning er den siste delsammenstillingen og sørger for at hele systemet er beskyttet fra omgivelsene, slik at det kan stå ute i alle værforhold. Kledningen sørger for at brukeren kan benytte seg av systemet ved hjelp av inspeksjonsluker og dører, der det er benyttet enkle symboler på hver dør for å skape et brukervennlig og oversiktlig system. Kledningen er konstruert i aluminium, der det også benyttes brannmursplater.

Energisystemet har fått navnet BioCommunity og bygger på dette med å utvikle bærekraftige bioenergiløsninger for landlige og fjerntliggende samfunn, samt fremme økonomisk utvikling og miljømessig bærekraft. Systemet vil benytte ved, pellets eller flis som vil kunne gi økonomiske fordeler på sikt og konkurrere med eksisterende løsninger og alternativer. Dersom det kun fyres med bjørkeved, vil det koste 0,20 kr/kWh å drive systemet og om det benyttes pellets vil det koste 0,44 kr/kWh. Med en utsalgspris på 30 000,- vil det ta litt over et år for brukeren å tjene inn beløpet, dersom det brukes i minimum 3 måneder i året, forutsatt det ikke legges inn avanser.

ABSTRACT

Earth is in a major climate crisis where the need to move away from fossil fuels is growing, while the world's population is experiencing energy shortages. Global warming is a pressing and complex problem provoked by human activities, where a major contributor is the burning of fossil fuels and deforestation. This leads to an increase in greenhouse gases in the atmosphere, which further trap heat from the sun and cause the average temperature on Earth to rise. The negative consequences of this process are rising sea levels, more frequent natural disasters and unpredictable weather phenomena, as well as threats to food security. To reduce these changes, immediate action and global cooperation are required.

Fortunately, there has been an increasing focus on reducing and stopping these changes, as research is being done on new solutions that use renewable energy sources for energy production. Norway is the leader here, where hydropower accounts for approximately 90 percent of the country's power production. Bioenergy is one of several sources of renewable energy, where the stored energy comes from organic materials in the form of plant products, fertilizers and forest waste, and is therefore considered to be carbon neutral. This form of energy will play an important role in a solution to global warming, where bioenergy can be used in several ways, such as biofuel, biomass, and biogas.

There are also disadvantages to this type of energy production, where one of the biggest challenges is competition for arable land, especially in dry areas. This can lead to habitat destruction and uncertainty about the food supply, but can easily be solved with good planning and management of the relevant areas. Another major problem is the change in to “the green transition”, where economics plays a very important role. If the use of oil, coal and gas continues to have an economic advantage, it will be difficult to implement drastic changes. Therefore, it will be very important to enjoy and develop smart solutions that can compete both on efficiency and price.

Bioenergy is precisely the basis for this thesis, where a small-scale energy system has been developed that uses biofuel to produce electricity and heat. The project is based on larger bioenergy plants which are often used to supply district heating to large buildings and housing complexes. Through the thesis, it has been seen how these facilities can be compressed and used on a smaller scale, in order to compete with existing solutions. Solar cells, wind and water turbines have long been used on a smaller scale and are therefore considered the biggest competitors along with power companies.

The project's aim has therefore been to investigate, prepare, dimension and design a system solution for small-scale energy and electricity production based on local biomass and superheated steam and in this way cover the energy needs of private homes. This has been carried out by using well-known product development tools such as IPD, Pugh's methodology and SCAMPER, together with analysis and simulation tools through the computer programs *SolidWorks* and *Ansys*.

The project was divided into four main phases to ensure good quality and a good end result. In the first part of the project, objectives, planning, literature searches and market analyzes were carried out, in order to get a good overview of timeframes and relevant material. After an extensive search, there was little information to be found about small-scale systems that deliver power between 5-10 kW, which makes this project an independent and original concept. Furthermore, the development-phase that laid the foundation for the concept began, where product specifications and functional analyzes were developed to explore different solutions. Here, the most suitable solutions were selected for further concept development, before the components were 3D modeled and analyzed based on previous hand calculations, in the design and construction phase. Finally, the project moved into the realization phase where environmental requirements, production methods and steady-state calculations were discussed and developed, before carrying out a comprehensive overall assessment and evaluation of the project, which is summarized in a conclusion.

Through the project, an energy system has been developed that is powered by biofuel, where the combustion of pellets, chips and wood contributes to the heating of water, steam and air. The energy system is made up of several different components which are combined in 5 different sub-assemblies; A-Load-bearing elements, B-Energy system, C-Steam boiler with feed system, D-Steam turbine and E-Cladding. A-Load-bearing elements consist of a frame made up of square hollow profiles to ensure a light and strong construction. Plates are also used to separate the various components and ensure safe storage. The aluminum alloy AW-6082 T6 is used on the frame and AW-6061 T6 is on all remaining parts in the sub-assembly.

B-Energysystem is the heart of the system and provides electricity, hot air and hot water. Water is stored in a steam boiler and heated by combustion in the combustion-chamber, before it reaches the boiling point and evaporates. The steam is then fed into a superheater, which provides dry steam so that the steam turbine can be operated efficiently.

The turbine then creates a rotating movement that in turn drives a generator that produces electricity, where batteries provide storage. In normal operation, the energy system will deliver electricity with a nominal output of 5.6 kW, where the maximum output will be 7.2 kW. Furthermore, the steam boiler can produce hot water with a mass flow of 0.058 kg/s when the system is in operational condition. After the steam has been used in the turbine, it is passed through a condenser, where the steam is condensed into water with a temperature of around 90 °C. This is done using 15 °C cooling water that continuously circulates through the condenser. After the steam is condensed, the water is returned to the steam boiler where a new energy cycle can begin.

The energy system not only offers electricity, but also heating. The exhaust gases from the combustion drive an "air to air" heat exchanger. Here, cold air from outside is used, which is fed into the heat exchanger and heated by the combustion heat, before the air is then fed into, for example, a holiday home. The heat exchanger that has been developed heats up 10 °C cold air from outside to a temperature of approx. 50 °C with a volume flow of 0.014 m³/s.

Through B-Energysystem, steel in normal and stainless versions, copper, aluminum and insulating firewall plates have been used.

C-Steam boiler with feed system deals with the components that ensure easy combustion. The part assembly allows the energy system to produce energy without supervision, where the feed system stores and feeds the combustion chamber with pellets and chips using a motorized screw. Consideration has also been given to the manual feeding of fuel in the form of wood, where a door has been constructed for easy access to the combustion chamber. The feeding system is made up of components where various steel variants and aluminum have been used.

D-Steam turbine is the most complex part of the system and is responsible for converting the thermal potential energy in the steam into rotating mechanical energy. The steam turbine is made of stainless steel to ensure a long life, and the rotor has 23 turbine blades that optimize the power from the superheated steam.

E-Cladding is the last component assembly and ensures that the entire system is protected from the environment, so that it can be left outside in all weather conditions. The cladding ensures that the user can use the system using inspection hatches and doors, where simple symbols are used on each door to create a user-friendly and clear system. The cladding is constructed in aluminium, where firewall boards are also used.

The energy system has been named BioCommunity and builds on developing sustainable bioenergy solutions for rural and remote communities, as well as promoting economic development and environmental sustainability. The system will use firewood, pellets or chips, which will be able to provide financial benefits in the long term and compete with existing solutions and alternatives. If only birch wood is used, it will cost NOK 0.20/kWh to run the system and if pellets are used, it will cost NOK 0.44/kWh. With a retail price of NOK 30,000, it will take a little over a year for the user to earn the amount, if it is used for a minimum of 3 months a year, provided no advances are made.

INNHALDSFORTEGNELSE

	Side:
FORORD	2
SAMMENDRAG	3
ABSTRACT.....	6
INNHALDSFORTEGNELSE	9
1 INNLEDNING	15
1.1 Bakgrunn.....	15
1.2 Forskning og tidligere arbeid på området	17
1.2.1 Fornybar energi i Norge og Norden	17
1.2.2 Ressurser, potensialer og fremtidsmuligheter	17
1.2.3 Teknologit utvikling og gradsarbeid ved NMBU	19
1.2.4 Kortreist strøm ved lokale hybridsystemer.....	21
1.3 Sentrale utviklingstrekk og aktører	23
1.4 Konkurrerende løsninger	24
1.4.1 Nettstrøm	24
1.4.2 Solceller	24
1.4.3 Vindturbiner.....	25
1.4.4 Strømaggregat.....	25
1.5 Markedsbehov og potensiale.....	27
1.6 Tidlig konseptlayout	27
1.7 Oppdragsbeskrivelse	29
1.8 Problemstillinger og teknologiske flaskehalsar	29
1.8.1 Problemstillinger og fokuspunkter	29
1.8.2 Teknologiske flaskehalsar og utfordringer	30
2 PROSJEKTPLANLEGGING	31
2.1 Prosjekt målsettinger.....	31
2.1.1 Hovedmål.....	31
2.1.2 Delmål	31
2.2 Tids og arbeidsplan med milepeler	32
2.3 Tidlige begrensninger for arbeidet.....	33
3 METODEBESKRIVELSE	35
3.1 Terminologi, begreper og formler.....	35
3.1.1 Koordinatsystem.....	35

3.1.2	Begreper.....	36
3.1.3	Symboler.....	36
3.1.4	Formler	41
3.2	Metodebruk og løsningsverktøy	44
3.2.1	Integrated Product Development (IPD).....	44
3.2.2	Integrated Product and Process Development (IPPD).....	45
3.2.3	Pugh's metodikk	46
3.2.4	House of Quality/QFD.....	48
3.2.5	SCAMPER.....	49
3.2.6	Modulisering.....	51
3.2.7	Analysemetodikk	52
3.2.8	Programvarer	53
3.3	Kvalitetssikring	53
3.4	Prosesstrinn	55
4	TEORI OG TEKNOLOGIUTREDNING.....	58
4.1	Grunnlagsteori.....	58
4.1.1	Bioenergi	58
4.1.2	Forbrenning	59
4.1.3	Vanndamp.....	60
4.1.4	Varme og varmekonvertering	61
4.1.5	Energisykluser	64
4.2	Tilgrensende teknologiløsninger.....	66
4.2.1	Forbrenningsmetoder	67
4.2.2	Dampsystemer	70
4.2.3	Overoppheter	73
4.2.4	Varmesystemer (Stirling)	74
4.2.5	Turbinsystemer	76
4.2.6	Kondensator.....	79
4.2.7	Termoelektriske elementer	80
4.2.8	Generator	81
4.3	Andre tilleggssystemer.....	82
4.3.1	Avfallsgasser og forbrenning.....	82
4.3.2	Askesystem	82
4.3.3	Sikkerhetsventiler	82
4.3.4	Vannpumper	83
4.3.5	Vann og damprør	83
4.3.6	Vifter.....	83
4.3.7	Batterier	83

5	PRODUKTSPEISIFISERING.....	84
5.1	Produktmålsetting	84
5.1.1	Hovedmål.....	84
5.1.2	Delmål	84
5.2	Rangering av viktige produkttegenskaper.....	85
5.3	Metriske grensespesifikasjoner og variasjonsbredde.....	87
5.4	Metriske grovspeisifisering for produkttypen.....	87
5.5	Tidlige kostnadsvurderinger	88
6	KONSEPTGENERERING.....	89
6.1	Funksjonsanalyse for produkttypen	89
6.2	Funksjonsalternativer med evaluering	90
6.2.1	Brennkammer og type brensel.....	90
6.2.2	Dampkjele.....	93
6.2.3	Kondensator.....	94
6.2.4	Termisk til mekanisk energi	95
6.2.5	Generator	96
6.2.6	Matesystem.....	97
6.2.7	Plassering av komponenter	99
6.3	Tidligvurderinger av brukspåkjenninger.....	100
6.3.1	Mekaniske belastninger	100
6.3.2	Miljøbelastninger.....	101
6.4	Tidlige grovberegninger.....	101
6.5	Tidlig materialdrøfting.....	103
6.6	Form- og estetikkalternativer	105
6.6.1	Norske tradisjoner.....	105
6.6.2	Formspråk	106
7	EGENSCREENING OG KONSEPTVALG	108
7.1	Utvikling av seleksjonsmatrise	108
7.2	Egen konseptscreening.....	109
7.3	Foretrukne løsnings- og estetikkalternativer.....	111
7.4	Speisifisert konseptvalg	113
8	Grovberegning og dimensjonering.....	115
8.1	Beregningsmål	115

8.2	Beregningstrinn.....	115
8.2.1	Turbin	115
8.2.2	Ideal Rankine syklus.....	119
8.2.3	Dampkjele.....	122
8.2.4	Forbrenning	123
8.2.5	Kondensator.....	124
8.2.6	Varmeveksler.....	125
8.2.7	Rør	126
8.2.8	Priser	127
9	EKSTERN KONSEPTTESTING OG INPUT.....	128
9.1	Målsettinger for testingen	128
9.2	Valg av testpopulasjon.....	129
9.2.1	Brukertesting	129
9.2.2	Eksperttesting	129
9.3	Innhold og form på testskjemaer, kommunikasjonsform	130
9.4	Resultater og resultattolking	130
9.4.1	Resultater – Brukerundersøkelse.....	131
9.4.2	Resultater – Eksperttest	133
10	PRODUKTARKITEKTUR OG KONSEPTDESIGN	135
10.1	Sammenstilling og oversikt.....	135
10.1.1	A-Bærende elementer	136
10.1.2	B-Energisystem	137
10.1.3	C-Dampkjele med matesystem.....	138
10.1.4	D-Dampturbin.....	139
10.1.5	E-Kledning.....	140
10.2	3D-rendering av hovedelementer.....	141
10.2.1	A-Bærende elementer	141
10.2.2	B-Energisystem	142
10.2.3	C-Dampkjele med matesystem.....	143
10.2.4	D-Dampturbin.....	144
10.2.5	E-Kledning.....	145
10.3	Design av komponenter	146
10.3.1	A-Bærende elementer	146
10.3.2	B-Energisystem	149
10.3.3	C-Dampkjele med matesystem.....	153
10.3.4	D-Dampturbin.....	157
10.3.5	E - Kledning.....	159

10.4	Standardkomponenter	164
11	ROBUSTHET, VEDLIKEHOLD OG RESIRKULERING	166
11.1	Materialegenskaper og materialvalg	166
11.1.1	Generelle trykkdeler	166
11.1.2	Dampkjele.....	167
11.1.3	Turbin	168
11.1.4	Ramme.....	169
11.1.5	Kledning og isolasjon	170
11.1.6	Matesystem	171
11.1.7	Varmevekslere	171
11.2	Strukturoptimering ved FEM/CFD-analyser	172
11.2.1	Analysemålsettinger	172
11.2.2	Forutsetninger	172
11.3	Resultater Finit Element Analysis (FEM).....	173
11.3.1	Dampkjele.....	173
11.3.2	Overoppheter	175
11.3.3	Ramme.....	176
11.4	Resultater fra Computational Fluid Dynamics (CFD).....	179
11.4.1	Turbin	179
11.4.2	Kondensator.....	180
11.4.3	Varmeveksler (luft/ luft).....	181
11.5	Bruksslitasje, overflatebehandling vedlikehold og ettersyn	182
11.5.1	Overflatebehandling	182
11.5.2	Vedlikehold og ettersyn.....	183
11.6	Miljøkrav og resirkulering	183
11.6.1	Produksjon av stål og aluminium	183
11.6.2	Livsløpsanalyse	185
12	FREMSTILLING OG PRODUKSJONSKOSTNADER.....	187
12.1	Produksjonsmetoder.....	187
12.2	Kostnads kalkyle for prototype	198
12.3	Kostnadsanalyse for serieproduksjon	200
12.4	Konkurrentanalyse	202
12.4.1	Konkurrans evurdering	202
12.4.2	Lønnsomhetsvurdering	203
13	MARKEDSPRESENTASJON	204

13.1	Logo og merkevare	204
13.2	Renderte framstillinger	205
13.3	Transportemballasje	208
13.4	Tekniske beskrivelser.....	209
14	PROSESSEVALUERING OG DISKUSJON	213
14.1	Læring og kompetanseutvikling	213
14.2	Utrednings og planfasen	214
14.3	Utviklingsfasen	215
14.4	Design og konstruksjonsfasen.....	216
14.5	Analyse og ferdigstillingsfasen.....	217
14.6	Sluttdrøftinger	218
15	KONKLUSJON	220
15.1	Resultater og anbefalinger	221
15.2	Videre arbeid.....	222
16	REFERANSER	225
16.1	Skriftlige kilder	225
16.2	Nettkilder	226
17	VEDLEGG	234

1 INNLEDNING

Innledningsvis etableres de faglige rammene for prosjektarbeidet. Bakgrunnen for prosjektet drøftes, deretter kartlegges markedets behovet, aktører og konkurrerende løsninger. Dette legger grunnlaget for oppdragsbeskrivelsen og videre arbeid.

1.1 Bakgrunn

Bakgrunnen for dette prosjektet er den store klimakrisen jorden befinner seg i og behovet for å kunne gå bort fra fossile energikilder i fremtiden. Energimangelen verdens befolkning nå opplever er resultatene av global oppvarming over flere hundre år, grunnet av økte CO₂-utslipp. Global oppvarming er et fenomen som omhandler den langsiktige økningen av jordens gjennomsnittstemperatur, som har gjennomgått store endringer de siste tiårene forårsaket av oppbygging av drivhusgasser i atmosfæren. Den gradvise temperaturøkningen vil ha stor innvirkning på miljøet på jorden, der blant annet stigende havnivå, økende tilfeller av ekstremvær med uregelmessig nedbørsmengde, samt utryddelse av arter er konsekvenser av dette. Selv om jorden selv produserer disse farlige drivhusgasser er det den menneskelige aktiviteten gjennom forbrenning av fossilt brensel og avskoging, som er drivkraften til den hyppige oppvarmingen av jorden.

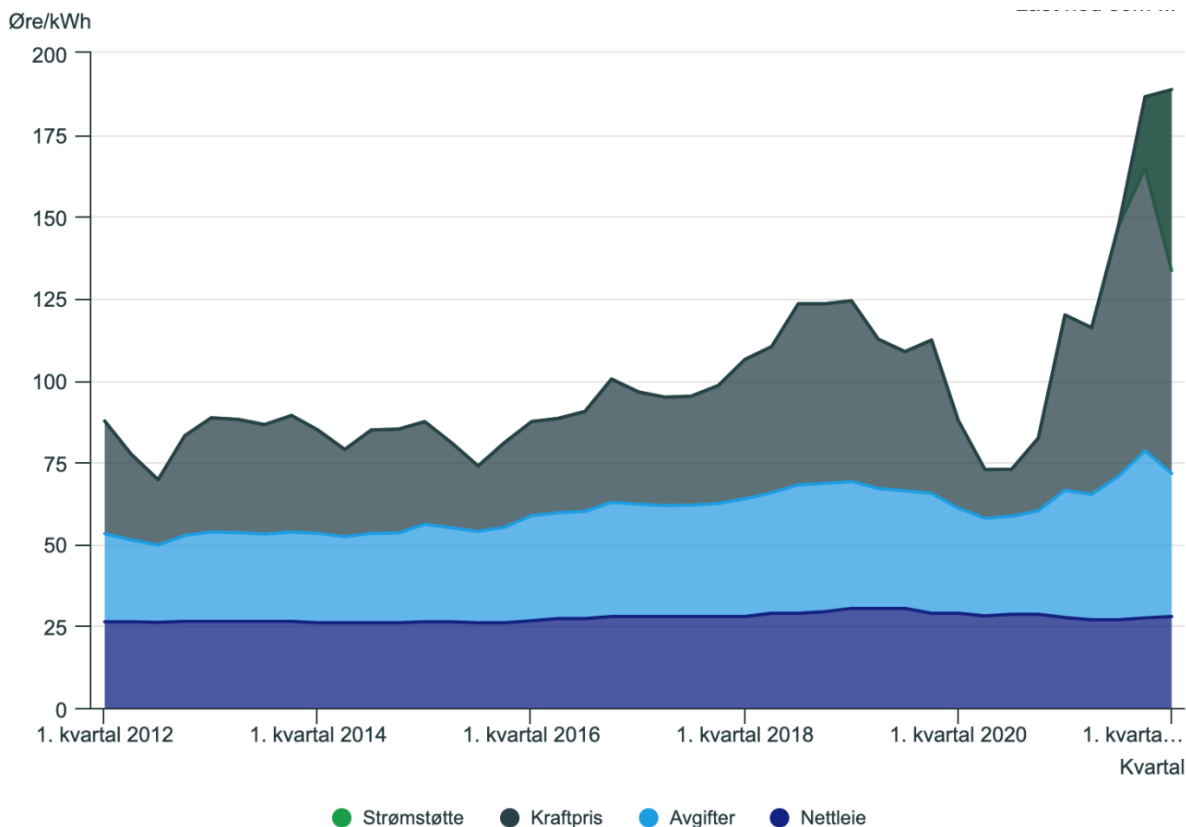
Global oppvarming har blitt et stort problem som krever umiddelbar handling, for å dempe virkningene og forhindre ytterligere skade. Derfor ble blant annet FNs klimapanel IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) opprettet tilbake i 1987, med en oppgave om å utføre regelmessige vurderinger og sammenfatninger av status rundt klimaendringen. Panelet har utgitt totalt seks klimarapporter med hensikt om å gi mest mulig kunnskap om klimasystemet, endring og konsekvenser, samt tiltak for å begrense dem. Som en del av et globalt problem ble det gjennom Parisavtalen i 2015 vedtatt at alle land skal jobbe mot et felles mål om å bremse den globale oppvarmingen og begrense temperaturstigningen med 2 grader.

Det er mange faktorer som påvirker temperaturendringene på planeten, men utslippene knyttet til energiproduksjon utgjør den største andelen på hele 34 % av dagens klimagasser. En reduksjon i utslipp knyttet til energiproduksjon vil være et viktig fokusområde for å begrense den globale oppvarmingen. Derfor er det viktigere enn noen gang å utvikle nyskapende løsninger som utnytter vann, vind, sol og biobrensel som energikilder. Det finnes allerede mange slike bærekraftige anlegg, men bruken av kull, olje og gass er fortsatt en stor del av energisektoren.

I 2022 ble den norske befolkningen vitne til historiske høye strømpriser og det ser ikke ut til at prisene kommer til å stagnere i 2023. Til sammenligning kostet 1 kWh hele 430 øre i august 2022, mens to år tidligere kostet samme mengde kun 5 øre. Årsaken til dette er at prisene på gass og kull har økt voldsomt, som i stor grad skyldes krigen mellom Russland og Ukraina.

Endringen i været har også vært en viktig faktor i strømpris-utviklingen, der lite regn gjør at vannstanden minker og vannmagasiner rundt om i landet må rasjonere.

Høye priser gjør at de fleste må tenke over strømbruken og den fremtidige utviklingen av elektrisitetsforsyningen. Figuren under viser en graf av hvordan strømprisene har endret seg de siste ti årene. (1)



Figur 1: Oversikt over elektrisitetspris, nettleie, avgifter og strømstøtte for husholdninger mellom 2012 og 2022. Det er tydelig å se en markant økning i prisøkning de siste 2 årene. (1)

Ved økende strømpriser eller dårlig utbygd elektrisk infrastruktur, er det naturlig å se på andre måter å produsere billige strøm. Dette kan for eksempel gjøres ved hjelp av fornybare eller fossile energikilder. Nå som verden har iverksatt et grønt skifte, har fornybare energikilder aldri vært viktigere. Bioenergi er et av områdene som har fått økende oppmerksomhet de siste årene på grunn av potensialet til å redusere klimagassutslipp og dermed bekjempe klimaendringene. Bioenergi kommer fra biologiske kilder som planter og organisk avfall. Disse energikildene kan benyttes til å genere og produsere strøm, varme og drivstoff gjennom ulike prosesser som pyrolyse, gjæring og gassifisering.

Det er nettopp bioenergi som skal sees nærmere på i dette prosjektet, der prosjektgruppen skal utforske og utvikle løsninger som utnytter biobrensel til å forsyne én eller flere boliger med strøm.

1.2 Forskning og tidligere arbeid på området

1.2.1 Fornybar energi i Norge og Norden

Forskningsinstitusjonene på Ås utgjør samlet sett de største og mest tradisjonsrike kunnskapsmiljøene i Norge. Ved disse institusjonene legges det vekt på utnyttning av bioresurser knyttet til jordbruk, skogbruk og forvaltning av landarealene i Norge. Fra Campus Ås har det gjennom lange tider vært et tett samarbeid med andre ledende FoU¹-miljøer på området i Norden. Det har også vært mye samarbeid med fagmiljøer i USA, Canada og en lang rekke andre land, spesielt med hensyn til bærekraftig forvaltning og utnyttning av skogressurser. I tillegg til NMBU er en betydelig andel av den norske FoU ekspertisen knyttet til det skogfaglige forskningsmiljøet i Ås. I dag har dette blitt samlet i Norsk institutt for bioøkonomi, NIBIO(2), og utgjør en del av området nordøst på Campus.

En av de største nasjonale FoU-satsingene knyttet til fornybare energikilder og spesielt bioenergi, ble for få år siden etablert på Ås. Det var derfor naturlig at satsningen fikk en sterk tilknytning til NMBU og NIBIO. Det ble dannet et eget senter med navnet «Bio4Fuels», eller «Senter for miljøvennlig energi». Målet for dette senteret er primært er «å utvikle nye typer biodrivstoff som er bærekraftige i et miljøperspektiv, og som vil kunne produseres kommersielt». Forskningscenteret er brukerstyrt og støttes økonomisk av Norges forskningsråd. De store teknologiske FoU-miljøene i Trondheim; NTNU og SINEF, samt IFE og USN er partnere i dette samarbeidet. Bio4Fuels har også etablert et bredt nettverk av partnere fra industri, forskningsinstitusjoner, academia og offentlig etater, både i Norge og internasjonalt (3).

Innen de nordiske landene har mye av energiforskningsarbeidet gjennom årene skjedd ved de nasjonale FoU-miljøene. Det har også blitt utført forskning koordinert som samarbeidsprosjekter ved støtte av Nordisk Ministerråd gjennom Nordisk energiforskning (Nordic Energy Research). Nordisk energiforskning er bredt anlagt med hensyn til ulike typer tradisjonelle og fornybare energikilder. Det har også blitt knyttet kontakter og samarbeid har blitt utført med baltiske forsknings- og kunnskapsmiljøer på fagfeltet. Organisasjonen har i dag sitt hovedsete og sekretariat i Oslo (4).

1.2.2 Ressurser, potensialer og fremtidsmuligheter

Gjennom årene er det blitt publisert en lang rekke forskning- og utredningsrapporter knyttet til potensialet som eksisterer i en større utnyttelse av ulike bioenergi-kilder. Dette gjelder ikke bare i Norge og Norden, mange andre land kan også nevnes her.

¹ FoU: forkortelse for forskning og utvikling.

Det samme gjelder i noen grad også bokverk og andre publikasjoner knyttet til teknologi, utvikling, dimensjonering og bygging av store forbrenningsanlegg, og dette skal bli nærmere berørt senere. Viktighetene av bioenergi, spesielt skogvirke og tremasse som en betydelig energikilde for framtiden i Norge, kommer godt fram i en utredningsrapport fra 2007 fra UMB (som NMBU ble kalt på den tiden). Denne rapporten, som ble skrevet av professorene Trømborg, Bolkesjø og Solberg(5) tar blant annet opp det økonomiske og miljø og virkemiddelpolitiske aspektet av dette. Både med bakgrunn i at man allerede på denne tiden begynte å se stigende energipriser, vesentlig for olje, men også knyttet til behovet for elektrisk energi.

I rapporten pekes det blant annet på potensialet for å øke energiproduksjonen med nærmere 67 prosent, over en syvårs-periode fra datidens energiproduksjon (fra 12 TWh til 20 TWh). I samme rapport som nå er en del år gammel, pekes det spesielt på mulighetene knyttet til oppvarming, men også framtidig produksjon av elektrisk energi.

Prisøkningen på strøm de to siste årene understreker det siste aspektet som nevnes i rapporten med hensyn til konvertering av forbrenningsvarme til strøm. Allerede nå vil dette kunne bli en langt mer lønnsom og økonomisk realitet for flere moderne forbrenningsanlegg, der mange primært er utviklet for å produsere vannbåren varme.

Eidsiva Bioenergi AS på Hamar er et av de første større lokale anleggene som har funnet det lønnsomt å videreutvikle en hybridenergimulighet i større skala. Denne hybridløsningen kombinerer varme og strømproduksjon basert på forbrenning av ulike typer avfall og bioenergiråstoffer. Drift av dampturbiner benyttes for å produsere strømmen. (6)

Når det kommer til tidligere industrielt utviklingsarbeid på energisystemer med ytelser fra 5 til 25 kW, finnes det midlertidig relativt få utviklingsprosjekter og lite litteratur. Biobrenselanlegg med ytelser på over 150 kW finnes det mye litteratur og forskning på, men løsningene er svært kompliserte og de lar seg ikke skalere ned. I Norge ser en stadig at slike anlegg blir utbygget og det er allerede etablert over 200 slike anlegg, som hovedsakelig er tilknyttet treforedlingsindustrien og avfallshåndteringsanlegg. (7)

En noe senere rapport gir et enda bedre bilde av energipotensialet tilknyttet de norske skogsarealene på en litt annen måte. Denne publikasjonen som ser nærmere på verdien av typiske avvirkningsrester som greiner, topper av trær og trevirke fra kantsoner i jordbrukslandskapet kom ut i 2009, og ble skrevet av forskerne Simen Gjølshjøl og Kåre Hobbeltstad ved Norsk institutt for skog og landskap (8). Dette skogforsknings-miljøet er i dag blitt en del av NIBIO med hovedsete på Ås.

Utredningsrapporten som ble bestilt av Mat og landbruksdepartementet, omtaler både fordeling av ulike skogressurser i Norge med hensyn til geografisk fordeling, skogstilstand, så vel som fordeling på ulike treslag. Ved siden av energipotensialet i tilknytning til utviklingen i tilvekst og tradisjonell avvirkning, beregnes også energipotensialet fra topper, greiner og stubber.

Rapporten omtaler dette regnestykket slik: «Den totale tilveksten i norske skoger, unntatt Finnmark, med bark, stubber og røtter, nåler/lauv og greiner er 117 TWh (1Fm³ trevirke gir ca. 2000 kWh). I tillegg til dette kommer gjengroingsarealer, Finnmark fylke, hageskog og uproduktiv mark». Begrepet 1Fm³ trevirke som benyttes i denne beskrivelsen tilsvarer «En fast kubikkmeter» eller 1000 liter fast tremasse, og er en standardisert målenhet (NS 4414) som benyttes for ved. (9)

I konklusjonsdelene av rapporten belyses også økonomien ved økt uttak til energiproduksjon, medregnet økt veibygging og vanlig hogst, samt økt uttak av tremasse fra det som kalles «GROT», dvs. greiner, topper av tre og trevirke fra kantsoner i jordbrukslandskapet. Om dette oppsummerer denne rapporten at: «Ved økt veibygging er et potensiale på 36,9 TWh i norske skoger, pluss dagens avvirkning (i 2009) på 23,9 TWh. Av dette utgjør GROTen 14,7 TWh og stubber/røtter 8,3 TWh». I siste delene av konklusjonen pekes det på at prisene på biobrensel trolig må opp i et nivå på 20-24 øre per kWh (effektiv verdi levert ved energisentral) for å øke uttaket til f.eks. 10 TWh etter datidens energipriser.

Potensialet for en bedre framtidig utnyttelse av kortreist biobrensel fra skogs- og landarealene i Norge, til energiproduksjon er med andre ord betydelig og tilstede i store deler av landet. Sett i ly av den sterke økningen som man nå har sett i strømprisene, og som trolig vil kunne vedvare i flere år framover, åpner dette både for teknologisk nyskaping og ny lokal verdiskaping. Dette vil gjelde både i storskalautnyttelse, men trolig også gjennom etablering av mindre og lokale anlegg for både varme og strømproduksjon, og som også vil kunne nyttiggjøre seg en enda større andel av den lokale biobrenselkategorien GROT.

1.2.3 Teknologitviking og gradsarbeid ved NMBU

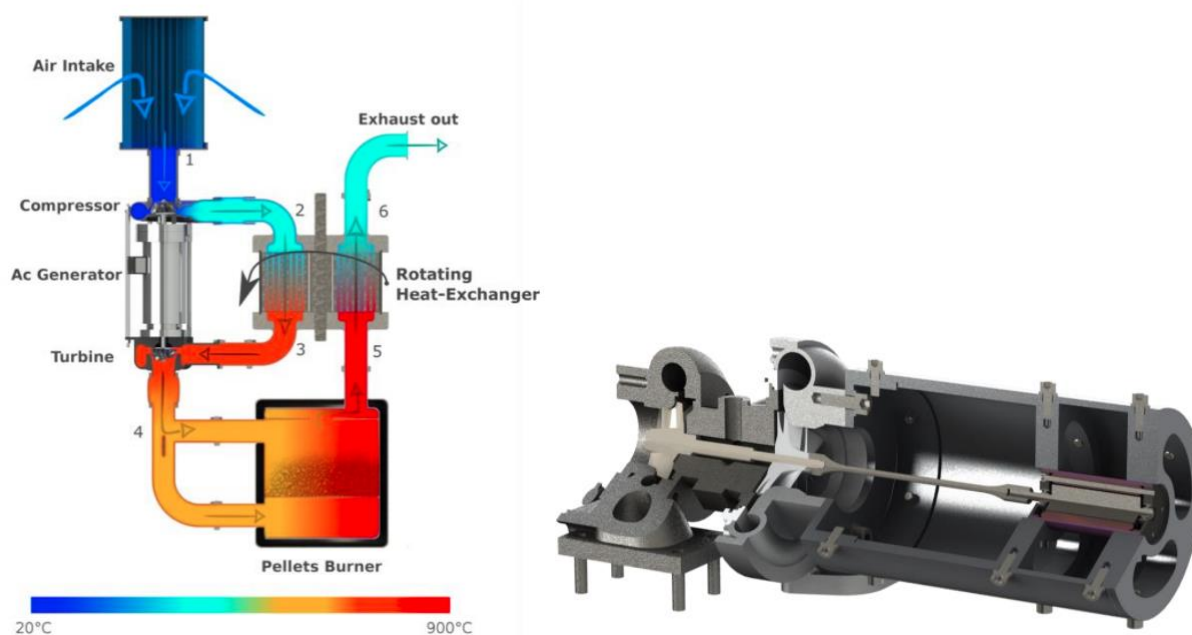
I universitetsmiljøet på Ås har brorparten av det teknologisk rettede FoU-arbeidet gjennom nyere tid foregått i forskningsmiljøene ved Fakultet for realfag og teknologi, og da spesielt i tilknytning til utdanningstilbudet ved Institutt for fysikk. Dette instituttet har i dag ansvaret for studietilbudet i miljøfysikk og fornybar energi ved NMBU, og for laboratoriefasilitetene for anvendt energiforskning ved fakultetet. Spesielt de siste årene er småskala motor- og kjøretøYTEknikk basert på lette materialer, biodrivstoff og lokale energiteknologiløsninger også blitt et fokus i mastergradsarbeidene ved Institutt for maskinteknikk og teknologiledelse ved samme fakultet. Det eksisterer nå en rekke forsknings-artikler, publikasjoner og tidligere gradsarbeider som har blitt gjennomført med fokus på fornybar energi, og spesielt utnyttelse av bioenergi ved NMBU de siste årene. Det vil imidlertid bli for omfattende å gå nærmere inn i alt som nå eksisterer. Men to mastergradsarbeider ved Realtek² i perioden fra 2016 bør likevel nevnes i denne sammenhengen. I begge tilfellene er snakk om mulighetene for varmekonvertering til generering av elektrisk strøm.

² Fakultetet for realfag og teknologi

Disse to prosjektene omfatter også termodynamisk og teknisk underlag, samt utvikling av småskala tekniske løsninger som, om enn i litt ulik grad, også har relevans for enkelte sider av det utviklingsarbeidet som skal gjøres i dette prosjektet.

Det første av disse prosjektene som skal omtales, ble gjennomført av sivilingeniørstudenten Fredrik Nerol Kleven. Dette utviklings-arbeidet ble gjennomført med utgangspunkt i hans egne konseptideer og prototype-utvikling. Masterarbeidet tar for seg «en praktisk og teoretisk tilnærming for å kunne benytte biomasse som energikilde i en gassturbinsyklus» slik han selv ønsket å formulere det. (10)

Konseptløsningen som evalueres i dette arbeidet tar utgangspunkt i restaurering og videreutvikling av en egenprodusert prototype, med eksternt brennkammer for forbrenning av biomasse og en regenerativ gassturbinsyklus, støttet av beregninger og modellsimuleringer. Prototypen det refereres til bestod av et selvkonstruert brennkammer og en roterende varmeveksler som ble tilkopleet en turbolader som ble benyttet som en lavtrykks radial gassturbin. Videre i utviklingsarbeidet ble denne prototypen utrustet med to nye brennkammer for propan, samt en 750 W direktekopleet generatormodul for testing av avgitt effekt og virkningsgrad. Arbeidet til Nerol kunne dessverre ikke avsluttes med mer omfattende forsøk og verifisering på grunn av tekniske og andre uforutsette problemer. Men arbeidet gir et godt bilde av den kreative og tekniske løsningsutviklingen, og flaskehalser man fort støter på i denne typen av prosjekter.



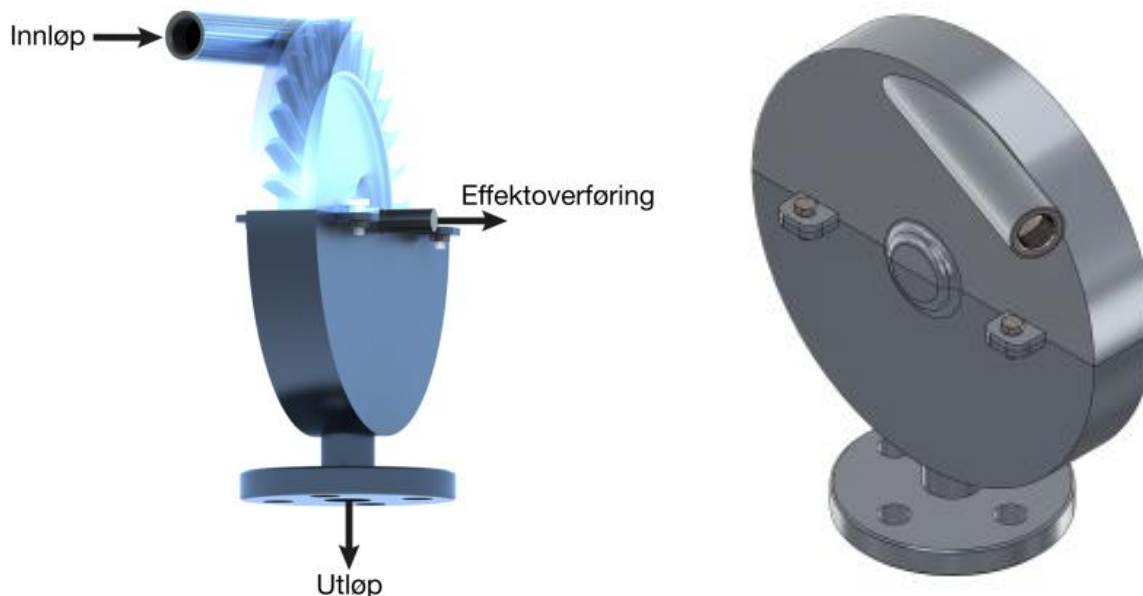
Figur 2: Illustrasjon fra gradsoppgaven til Nerol, der energisyklusen er illustrert på venstre siden og turbinløsningen vises på høyre. (10)

Det andre gradsprosjektet fra dette året som også bør nevnes ble gjennomført av sivilingeniørstudenten Vidar Henriksen.

Oppgavens hovedmål var å utvikle, dimensjonere og utforme det tekniske grunnlaget for å kunne produsere en liten og forholdsvis enkel dampturbin-prototype, som skulle kunne gi 7,5-10 kW elektrisk effekt med tilkoplest strømgenerator. (11) Energikilden var i dette tilfellet overskudds- og eksosvarme fra forbrenningsprosessen i en liten «multifuel-turbin» fra et småbilprosjekt (Dolphin-konseptet) som har vært utredet og konseptutviklet i ulike trinn ved NMBU gjennom en årrekke.

Prosjektet førte til konstruksjonsunderlag, modellverktøy for ytelsesberegninger i Excel, samt tilhørende produksjonstegninger og tekniske anvisninger for produksjon av en liten ett-trinns dampturbinløsning basert på impulsprinsippet. I basisversjon, med en vekt på 1,7 kilo og svært beskjedne ytre mål, var estimert ytelse på drivakselen 10,9 kW mekaniske effekt ved 70000 o/min.

Figuren under viser en illustrasjon av hvordan dampturbinen ser ut og fungerer.



Figur 3: Illustrasjon av hvordan dampturbinen utviklet i masteroppgaven til Henriksen virker. Total størrelse på turbinen vises til høyre og virkningsprinsippet vises til venstre. (11)

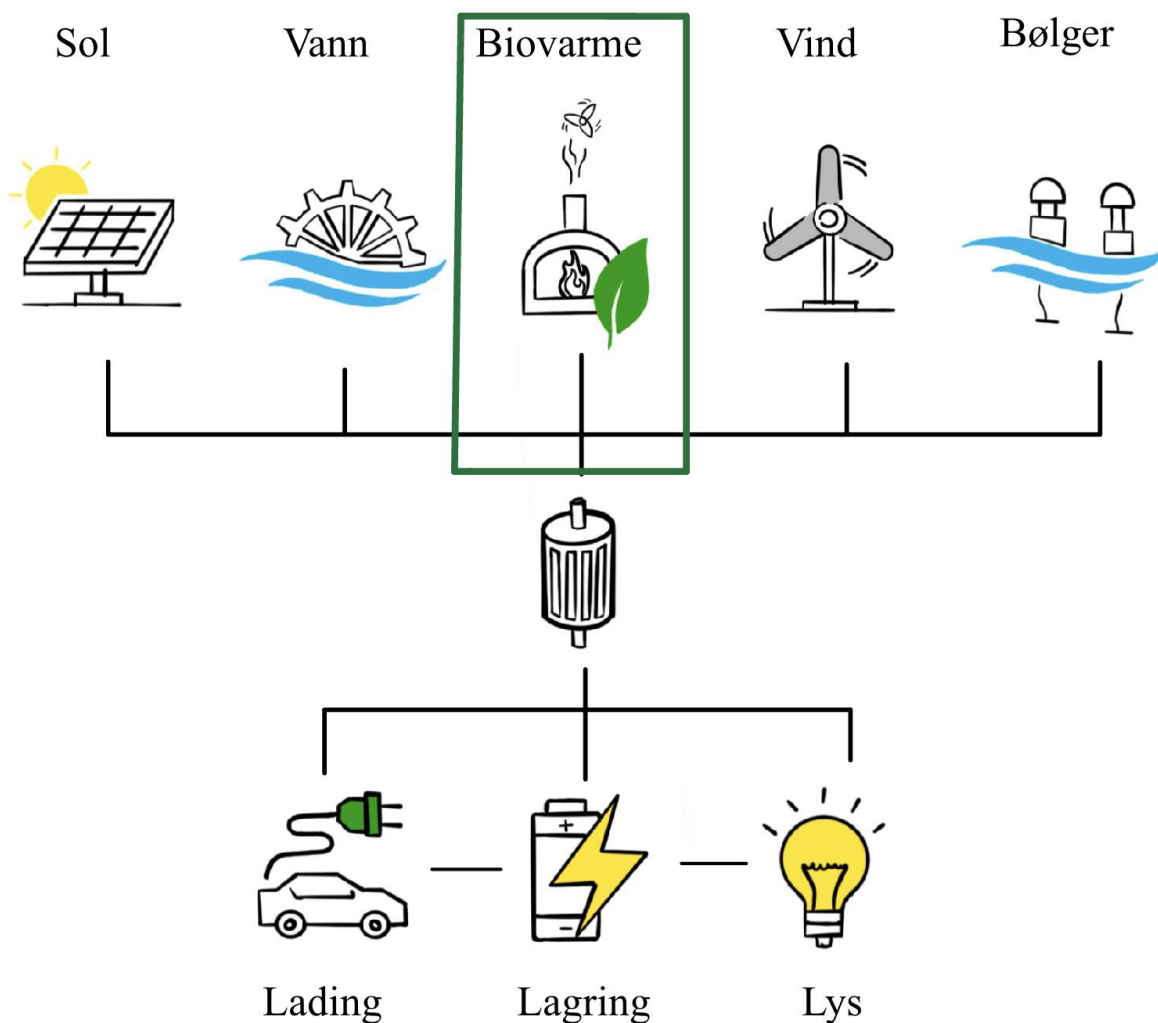
Med en virkningsgrad på tilkoplest strømgenerator omkring 90% vil løsningen som ble utviklet kunne gi 9,8 kW elektrisk effekt ved tilstrekkelig høyt damptrykk. Modellverktøyene som ble utviklet gjør det også mulig å skalere opp eller ned for ulike fysiske og tekniske parametere.

1.2.4 Kortreist strøm ved lokale hybridsystemer

Siden høsten 2021 har det blitt skrevet flere masteroppgaver av medstudenter ved studieretningen i Maskin, prosess og produktutvikling ved NMBU, der det har blitt samlet kunnskap, utviklet og designet små og fleksible el-energisystemer som baserer seg på grønn energi.

Mastergradsstudentene; Sivagami Kandiah, Marianne Sandnes Inderberg, Anne Langmoen Olsen og Partap Singh har utviklet småskala modulløsninger for solcelle-energi, vindkraft, vannkraft og bølgekraft med elektriske basis-ytelser fra omkring 5 kW avgitt elektrisk effekt. (12–15)

Figur 4 illustrerer hensikten til disse småskala anleggene og hvordan de kan kombineres til å produsere strøm til forbrukeren.



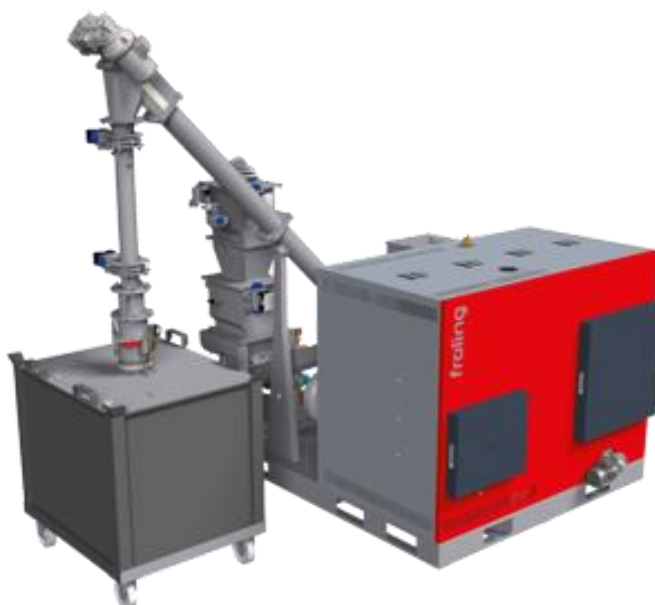
Figur 4: Illustrasjon av ulike småskala energianlegg, der fokusområdet til dette prosjektet er fremhevet i den grønne rammen. (F&H)

Hovedmålene til disse tidligere oppgavene innenfor utvikling av småskala energianlegg var å utrede, dimensjonere og utvikle konstruksjons og produksjonsgrunnlag for småskala anlegg for lokal produksjon i tilknytning til boliger og fritidsboliger. Dette vil derfor bli bakgrunnen og målet for denne prosjektoppgaven også, der det vil bli sett nærmere på mulighetene med å benytte bioenergi til småskala produksjon av elektrisk strøm.

1.3 Sentrale utviklingstrekk og aktører

Før utviklingsprosessen av konseptet begynner, er det hensiktsmessig å få en oversikt over eksisterende aktører og relevant teknologi. Dermed vil en kunne benytte og bygge videre på ideer og løsninger som en vet fungerer fra tidligere, der det også vil bli nødvendig å ta stilling til mulige patenter. Løsninger som benytter fornybar energi som energikilde er fortsatt i utvikling, med et stort marked og en etterspørsel som bare vil øke i tiden fremover. Det finnes allerede en rekke småskala løsninger innenfor sol-, vind- og vanntechnologi, men systemer som utnytter biovarme til å produsere strøm har enn så lenge ikke satt tydelige spor på markedet.

Likevel eksisterer det mange produkter og løsninger når det kommer til produksjon av ren varme. Her finnes det biovarmeanlegg som produserer varme til store bygg som for eksempel ved NMBU, men det finnes også mindre anlegg som blir benyttet på gårder. En ledende bedrift innen biovarmeanlegg er det østeriske selskapet Fröling (16). Bedriften er kjent for sine biovarmeanlegg, som oppnår god effekt ved å benytte ved, pellets og flis. De har også utviklet et produkt som produserer strøm fra biovarmen.



Figur 5: Maskinen "Fröling CHP50", som benytter ved og flis til å produsere strøm ut ifra forbrenningsvarmen. Selve forbrenningen og energiutvinningen skjer i modulen til høyre og matesystemet sees til venstre på figuren. (16)

Figuren over viser løsningen til Fröling. Dette er en maskin som benytter ved og flis til å produsere varme, deretter utnyttes utslippsgassene til å drive en gassmotor som videre generer strøm. Den minste løsningen kan produsere 46 kW strøm og 95 kW varme. Den gjør dette ved å benytte 35 kg/h ved og flis. Produktet har som mål å forsyne større bygninger og kontorer med varme og strøm. Uavhengig av bruksområde er dette en løsning som kan være hensiktsmessig å hente inspirasjon fra til videre konseptutvikling.

1.4 Konkurrerende løsninger

For å få en oversikt over markedet og hva slags type teknologi som allerede benyttes, har det blitt sett nærmere på hvilke løsninger som vil være de mest aktuelle konkurrentene for energisystemet som utvikles i dette prosjektet.

1.4.1 Nettstrøm

Nettstrøm også kjent som nettkraft kan refereres til den elektriske kraften som levers hjem til husstander og bedrifter. Dette gjøres gjennom et nettverk av kraftledninger og transformatorer, som i Norge benytter en vekselstrøm med spenning på 220-240 volt. Fordelen med nettstrøm er at det er en stabil og praktisk energikilde, som åpner opp en rekke muligheter. Det gjør oss i stand til å drive et bredt spekter av enheter og apparater i hverdagen, alt fra belysning og oppvarming til større maskineri og elektronikk. Så lenge prisene holder seg rimelige og stabile vil nettstrøm være vanskelig å utkonkurrere. Derfor vil utvikling av et konsept som kan produsere strøm til en billigere penge enn nettstrøm være en viktig målsetting, spesielt gjennom vinterhalvåret da prisene ofte stiger.

Gjennom 2022 var strømprisene historisk høye, hvor snittprisen i Sørøst-Norge endte på rundt 2 kroner per kilowattime. Til sammenligning var dette tre ganger så dyrt som i 2021 og hele tjue ganger dyrere enn 2020. Det er flere grunner til dette, blant annet fyllingsgrad i vannmagasiner, krigen mellom Russland og Ukraina, energiavtaler med resten av Europa, samt hvordan været gjennom vinterhalvåret er. Per mars 2023 var gjennomsnittsprisen på strøm 1 kr/kWh, der det er estimert at prisene vil holde seg på rundt 80 øre resten av året. (17)

1.4.2 Solceller

Solcellepanel er en løsning flere benytter seg av for å kunne produsere egen strøm. Solceller er elektroniske enheter som konverter sollys direkte til elektrisitet. Solcellene er bygget opp av halvledermaterialer som for eksempel silisium, som absorberer fotoner fra sollys og frigjør elektroner, som igjen skaper en strømning av elektrisk strøm. (12,18)

I dag brukes solceller i mange ulike enheter alt fra kalkulatorer til romfartøy, der teknologien har vært gjennom en kraftig vekst og brukes nå i større skala særlig når det kommer til bruk solcellepanel i boliger og solenergianlegg. En kombinasjon av at solcelleteknologi blir billigere, bedre og mer tilgjengelig, i tillegg til høye strømpriser gjør at solenergi trolig vil vokse enda mer i årene fremover.

Fordelene ved å benytte solcelleanlegg er mange:

- Anleggene vil sørge for at en får energi som er fornybar, for det er ikke en selvfølge hvis en benytter strømmettet. Strømmen kan være importert fra kullkraftverk i andre deler av Europa.
- Økonomisk lønnsomt på lang sikt, spesielt hvis strømprisene øker.
- Solcelleanlegg krever nesten ingen vedlikehold.
- Utbygging av solcellepanel privat vil øke verdien på boligen.

1.4.3 Vindturbiner

Bruk av vindturbiner som energikilde i private boliger er enda noe som er i utvikling, men det kan være svært lønnsomt på de riktige stedene. Vindturbiner er mekaniske systemer som utnytter vindkraften til å generere elektrisitet, ved å benytte blader som roterer rundt en rotor som igjen er koblet til en generator. Vindturbiner kommer i en rekke ulike størrelser, alt fra små private enheter som genererer strøm til enkelt boliger, til turbiner på mange meter og som utgjør store vindparker som kan generere strøm til hele lokalsamfunn. (13)

Et eksempel på en slik vindpark i Norge er Øyfjellet vindpark som ligger i Nordland og er den mest effektive parken i landet med sine 72 vindturbiner som årlig produserer 1320 GWh. (19)

Hovedproblemet til vindturbinene er at de krever en plassering som sørger for å at turbinen blir utsatt for nok vind, for å kunne ha en god effekt, men når forholdene er lagt til rette er fordelene mange. Så lenge det er vind vil turbinen kunne fungere og produsere elektrisitet hele døgnet gjennom hele året. De er spesielt gunstig gjennom vinterhalvåret når Nord-Europa består av mørke dager da for eksempel solceller ikke fungerer optimalt.






1.4.4 Strømaggregat

Et strømaggregat er en løsning som benytter kjemisk energi i form av diesel eller bensin, og omformer dette til elektrisk energi. Slike strømaggregat vil være en stor konkurrerende løsning, ettersom den kan benyttes på flere områder. Slike aggregat benyttes oftest som reservekraft eller nødstrøm og benyttes oftest på steder uten tilgang til nettstrøm.

Aggregatene er praktiske og har ofte en størrelse som gjør de enkle å transportere. Det er en pålitelig energikilde som vil fungere så lenge det er tilgang på drivstoff. I tillegg finnes de i mange ulike størrelser og prisklasser som gjør de enkle å tilpasse ulike brukerbehov.

For å kartlegge markedet, har det i Tabell 1 blitt utført en markedsundersøkelse der ulike aktuelle energikonkurrenter har blitt satt opp mot hverandre og sammenlignet. Faktorer som spiller inn i markedsanalysen er salgspris, effekt og strøm ut av systemet. I markedsanalysen har det blitt fokusert på anlegg med en effekt på om lag 5 kW.

Tabell 1: Oversikt over konkurrerende løsninger, etter utført markedsanalyse.

Produkt	Beskrivelse
<p>Kraftpakke fra hyttetorget.no</p> 	<p>Solcelle kraftpakke (20)</p> <p>Pris: 127 000,- NOK Maks effekt: 5 kW Nettilkobling: 230 V</p> <p>Driftstid: Så lenge det er tilgang på sollys.</p>
<p>Gebe powerman 6000 DS</p> 	<p>Dieselaggregat (21)</p> <p>Pris: 18 000,- NOK Maks effekt: 5 kW Nettilkobling: 230 V</p> <p>Driftstid: 8 timer pr. tank (50% belastning)</p>
<p>Gebe Pm 5500 GL/EL</p> 	<p>Bensinaggregat (22)</p> <p>Pris: 10 000,- NOK Maks effekt: 5,5 kW Nettilkobling: 230 V</p> <p>Driftstid: 13 timer pr. tank (50% belastning).</p>
<p>Magnum 5</p> 	<p>Vindturbin (23)</p> <p>Pris: 20 270,- NOK Maksimal effekt 5 kW Batterilading: 48 V</p> <p>Driftstid: Så lenge det blåser.</p>
<p>Nettstrøm</p> 	<p>Strømlleverandør (24)</p> <p>Pris: 1 kr/kWh – Mars 2023 Nettilkobling: 230 V</p>

1.5 Markedsbehov og potensiale

Med en kraftindustri som i all hovedsak består av godt etablerte vind- og vannkraftanlegg, samt olje, kull og gass kan det være utfordrende å komme inn som ny aktør. Med samtidig økende energipriser og et større fokus på miljøvennlig energiproduksjon, gjør bioenergi-løsninger store fremskritt i konkurransen på energimarkedet.

Markedet innen småskala-energianlegg er fortsatt under utvikling, der stadig ny teknologi blir tilgjengelig. Godt etablerte løsninger som solceller og vindturbiner er produkter som mange allerede har tatt i bruk for å produsere egen strøm. Dette er særlig utbredt i hyttefelt, fritidsboliger, båter, bobiler og områder som ikke har tilgang på strømmettet. Disse produktene fungerer spesielt godt gjennom sommerhalvåret, men finnes det løsninger som vil fungere like godt på vinteren?

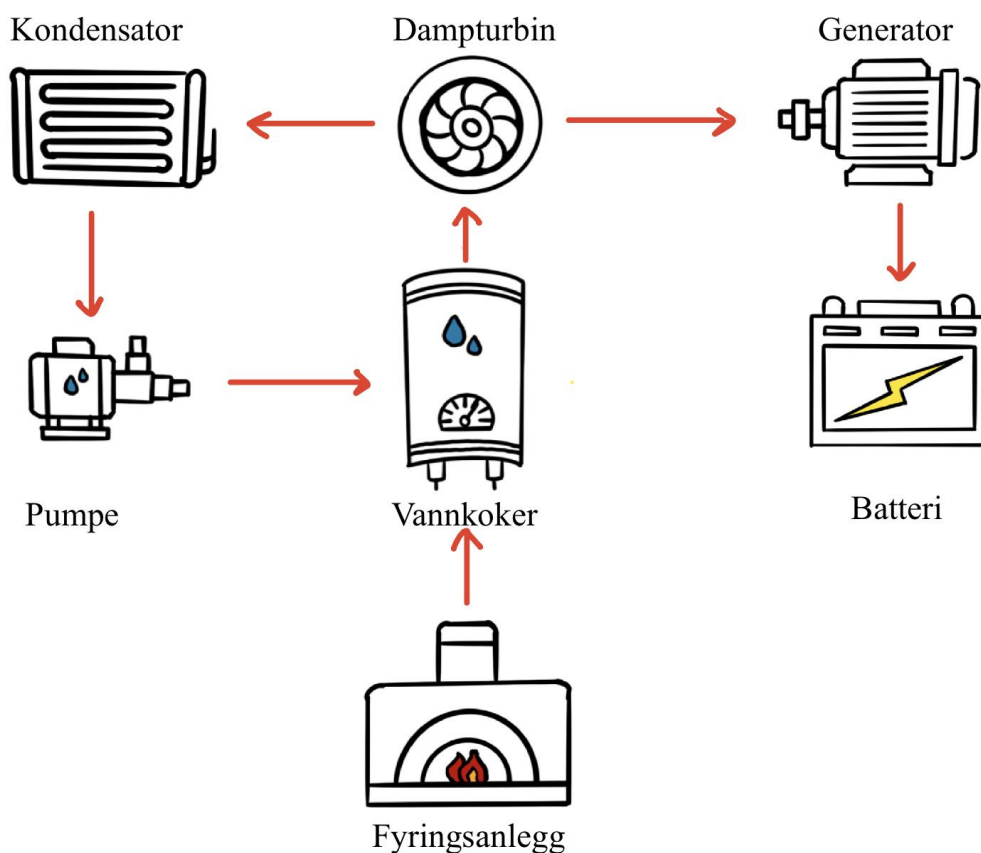
Biobrenselanlegget vil fungere like godt gjennom hele året, men vil tydelig være mest hensiktsmessig å bruke i vinterhalvåret da det også produserer varme. Hensikten med disse småskala-energikraftverkene er å utnytte lokale natur-ressurser for å produsere strøm, i tillegg til å konkurrere med kraftprodusentenes nettstrøm-priser.

Ved kun å benytte solceller eller biobrenselanlegg kan tilgangen til strøm bli begrenset og det kan produseres overskuddsenergi, som en ikke får bruk for. Det kan derfor være svært aktuelt med en kombinasjon av alle disse løsningene. Dersom systemene blir tilgjengelige, kan det fort bli svært aktuelt å produsere strøm med flere systemer, til flere husstander i for eksempel et hyttefelt eller nabolag. Her ligger det et stort potensial, der riktig kombinasjon av småskala-kraftverk (tilpasset området) vil være lønnsomt.

Samtidig finnes det et enormt marked for en slik løsningen rundt over hele verden, særlig i utviklingsland der det ofte er dårlig infrastruktur og variabel tilgang på energi. En kompakt og enkel løsning som i tillegg er enkel å transportere vil også være gunstig. Et slikt lite kompakt energisystem vil fungere svært godt som beredskapsløsninger ved kriser som store strømbrudd, naturkatastrofer eller krig.

1.6 Tidlig konseptlayout

For å skape en god forståelse av hvordan en løsning kan se ut, og hvilke komponenter som er nødvendig å ha med, er det være lurt å sette opp en enkel skisse. Figur 6 på neste side viser en illustrasjon av en enkel systemarkitektur. Her vises det hvordan planløsningen og prosessen i et slikt system kan se ut. På illustrasjonen tas kun de mest elementære komponentene med, dette for å holde den introduserende systematikken oversiktlig.



Figur 6: Systemarkitektur av nødvendige komponenter for konseptet. (F&H)

Figur 6 viser systemarkitektur av et fyringsanlegg som drives av ved, flis eller pellets. Varmen som oppstår ved forbrenning av biomaterialet varmer opp vannet i vannkokeren/dampkjelen. Vannet strømmer kontinuerlig inn i kokeren ved hjelp av en pumpe, som får vann fra kondensatoren. Det kan også være aktuelt med et vannreservoar eller en ekstern vannkilde som sørger for etterfylling av vann, slik at en ikke risikerer at systemet tørrlegges.

Vider koker vannet og blir omgjort til overopphetet damp, som deretter driver en dampturbin. Her omgjøres den potensielle energien i dampen til mekanisk arbeid. Dette arbeidet utnytter dermed generatoren og gjør det om til elektrisk strøm, som til slutt lagres i et batteri. Vanddampen som blir til overs sendes videre inn i en kondensator, som kondenserer dampen om til vann igjen før det sendes i vannkokeren for en ny syklus.

Hver av disse komponentene er komplekse i seg selv, derfor vil det være nødvendig å få en oversikt over hva en kan kjøpe og hva en må utvikle selv. Her vil for eksempel batteriet, generatoren og pumpen være aktuell å kjøpe fra andre leverandører. Elementer som kondensator og rør kan kjøpes eller utvikles selv, alt etter hva som er tilgjengelig på markedet i skrivende stund. Utenom dette må de fleste komponentene tilpasses systemet slit at en gunstig system-størrelse kan oppnås.

1.7 Oppdragsbeskrivelse

Dette mastergradsarbeidet tar for seg et produktutviklingsoppdrag som er gitt som en fri Realtekkoppgave ved NMBU. Prosjektoppdraget går ut på å utrede, utvikle, dimensjonere og designe en systemløsning for småskala energi og elektrisitetsproduksjon basert på lokalt biobrensel og overopphetet damp.

Ettersom verden er i en stor energikrise, er grunnlaget for oppgaven å finne et lokalt alternativ til nettstrøm. Løsningen skal kunne benyttes i alt fra krigssoner og områder med dårlig infrastruktur til bolig- og hyttefelt. Systemløsningen som utvikles i masterarbeidet skal være mest mulig fleksibel med hensyn til flyttbarhet, modulisering og ha et tilpasset energibehov på 5 til 15 kW. Løsningen skal være sikker i bruk, gi en jevn energiproduksjon og lett kunne kombineres med andre lokale tilgjengelige energikilder. Ved å produsere elektrisitet lokalt, får brukeren større kontroll over eget forbruk og strømmen blir mer naturvennlig ettersom en bruker tilgjengelige bioresurser som ellers ikke ville bli benyttet. Gjennom prosjektet skal det benyttes moderne produktutviklingsverktøy, samt andre kunnskaper studentene har tilegnet seg gjennom utdannelsen.

Systemet skal legge stor vekt på brukervennlighet, modulisering og transportvennlighet. Andre fokuspunkter er kostnadseffektivitet, estetikk, miljøproblematikk og bruk av eksisterende teknologi. Så vidt prosjektgruppen vet, eksisterer det ikke løsninger som tilbyr løsningene som skal utvikles i dette prosjektet. Det er derfor viktig at produktet oppfyller gitte kriterier for å sørge for at bruken og løsningene blir riktig fremstilt for et nytt, spennende og raskt voksende marked. Det vil gjennomføres funksjonsanalyser av kritiske komponenter, der simuleringer og visualisering gjennom dataprogrammet *SolidWorks* vil bli benyttet, samt nødvendige styrke og strømnings-beregninger i FEM/CFD-programmer. Til slutt skal utviklingstrinn, tekniske løsninger og anvisninger prosjektet fremstilles og redegjøres for gjennom en rapport.

1.8 Problemstillinger og teknologiske flaskehals

For å kunne få oversikt over hvilke utfordringer som blir nødvendig å ta stilling til, skrives det opp problemer og fokuspunkter. Dette gjøres for å tidlig kunne kartlegge problemstillinger som kan være avgjørende for et vellykket prosjekt.

1.8.1 Problemstillinger og fokuspunkter

Tidlige problemstillinger og fokuspunkter for prosjektet er satt opp under:

- Hvilke energi og brennverdier har ulike typer lokalt brennbart materiale, og vil egne seg best til denne løsningen?

- Hvordan lage et kompakt system som samtidig leverer gode fyringsdynamiske og tekniske egenskaper?
- Hvordan integrere de beste egenskapene fra eksisterende løsninger på markedet til et helhetlig produkt?
- Hvilke løsninger kan benyttes for å oppnå en god kompakt modulær konstruksjon?
- Hvilke materialer bør brukes for å øke levetiden og robustheten?
- Hvilke produksjonsteknikker skal brukes for å redusere CO₂ avtrykket?
- Hvilke løsninger kan benyttes for å utvikle et produkt som er sikkert i bruk?
- Hvordan lage et produkt som er prisgunstig i forhold til et konkurrerende marked (innkjøp, kr/kWh)?

1.8.2 Teknologiske flaskehalsar og utfordringer

- Begrensede kunnskaper om reguleringsteknikk og elektroniske styringssystemer, og man må konsentrere seg om overordnes systembeskrivelser.
- Begrensede kunnskaper om termodynamisk eneregiomsetting og det må derfor legges ekstra innsats i å øke kompetanse på dette.
- Avanserte beregninger på området vil krev støtte av fagfolk, det kan derfor forventes noe forenklae beregninger.
- Begrenset informasjon om eksisterende løsninger på området. Prosjektet blir avhengig av relevant litteratur.
- Begrense prosjektet på de rette stedene for å sikre god kvalitet på leveransen.

2 PROSJEKTPLANLEGGING

For å sikre et godt og målrettet arbeid gjennom gradsoppgaven kreves det en god prosjektplan med et klart hovedmål med underliggende delmål. Kartlegging av milepeler med tilhørende leveransetider er sentralt, da dette sikrer god fremgang og fornuftig bruk av arbeidstid. Av samme grunn defineres det også begrensninger for prosjektet i dette kapittelet, samtidig som en tids- og milepælsplan blir utarbeidet.

2.1 Prosjekt målsettinger

2.1.1 Hovedmål

Hovedmålet til dette prosjektet er formulert slik:

«Å benytte ulike produktutviklingsverktøy til å utrede, utarbeide, dimensjonere og designe en systemløsning for småskala energi og elektrisitetsproduksjon basert på lokalt brensel og overopphetet damp. Alle trinn i utviklingsprosessen skal dokumenteres gjennom en skriftlig rapport, der alt fra idéprosessen til endelig produkt med tekniske anvisninger skal beskrives»

2.1.2 Delmål

Gjennom utvikling av et prosjekt som dette, med et stort overordnet hovedmål, vil det være nødvendig å sette opp trinnvise delmål som viser hva som skal gjøres. Fullføring av delmålene sikrer god fremgang, kontroll over prosjektets utvikling og en oversikt over hva som skal gjøres videre. Fullføringen av delmålene underbygger milepælene i tids- og arbeidsplanen.

1. Utrede bakgrunn og problemstillinger for prosjektet.
2. Gjennomføre prosjektplanlegging og kartlegge relevant metodikk.
3. Kartlegge det teoretiske og tekniske grunnlaget for prosjektet, spesifisere og utrede funksjons og designmuligheter.
4. Utføre konseptgenerering, løsnings- og designvalg og videre gjennomføring av eksperttesting på løsningsalternativene.
5. Utføre grove beregninger, FEM-analyser og simuleringer, samt ferdigstille 3D-modell med tekniske tegninger.
6. Utforme produksjonsanvisninger, kostnadskalkyler, markedsrenderinger for å fremstille løsningsarkitekturen.
7. Gjennomgå, drøfte og analysere viktige miljøkrav og resirkulering.
8. Ferdigstille rapport med konklusjon og tilhørende vurderinger og anvisninger.

2.2 Tids og arbeidsplan med milepeler

Tabell 2: Tabellen viser fremdriftsplanen der milepæler er markert med en hake. (25)

Delmål	Januar	Februar	Mars	April	Mai
1. Gj-ført bakgrunn og oppdragsbeskrivelse	✓				
Bakgrunn					
Oppdragsbeskrivelse					
2. Plangrunnlag og metodikk klarlagt		✓			
Målsettinger og prosjektplan					
Metodisk tilnærming					
3. Funksjons og designmuligheter klarlagt		✓			
Prosesstrinn					
Produktspesifisering					
Funksjonsanalyse					
4. Løsnings-og designvalg klarlagt		✓			
Konseptvalg og ekstern testing					
5. Beregninger, analyser og 3D-modell klarlagt				✓	
3D-moddelering					
Beregninger og analyser					
Materialvalg					
6. Prod-anvisninger og kostnader klarlagt				✓	
Produksjonsmetoder					
Kostnadskalkyler					
7. Miljøkrav og resirkulering klarlagt					✓
Miljøundersøkelse					
8. Ferdigstilt rapport					✓
Rapportering og korrektur					

For å sikre god og jevn flyt i prosjektet er det viktig at tidsplanen holdes. Ved å følge tidsplanen som er satt opp i dette prosjektet vil det være enklere å fullføre gradsarbeidet med et bedre resultat og mindre stress. Delmålene beskriver hva som skal gjøres, mens milepælene beskriver når leveringstiden er på de ulike delmålene. Viktige datoer i dette prosjektet er **15.05.2023**, som er leveringsfristen for rapporten.

Tabell 3: Tabellen viser en oversikt over milepæler og datoer. (25)

Milepæl	Dato
1. Utrede bakgrunn og problemstillinger for prosjektet	20.01.2023
2. Gjennomføre prosjektplanlegging og kartlegge relevant metodikk.	03.02.2023
3. Kartlegge det teoretiske og tekniske grunnlaget for prosjektet, spesifisere og utrede funksjons og designmuligheter.	17.02.2023
4. Utføre konseptgenerering, løsnings- og designvalg og videre gjennomføring av eksperttesting av løsningsalternativene.	28.02.2023
5. Utføre grove beregninger, FEM-analyser og simuleringer samt ferdigstille 3D-modell med tekniske anvisninger.	14.04.2023
6. Utforme produksjonsanvisninger, kostnadskalkyler, markedsrenderinger for å fremstille løsningsarkitekturen.	28.04.2023
7. Miljøkrav og resirkulering.	05.05.2023
8. Ferdigstilt rapport.	15.05.2023

2.3 Tidlige begrensninger for arbeidet

Gradsoppgaven gjennomføres i vårsemestret der det er estimert en arbeidsramme på ca. 900 brutto arbeidstimer per student, det vil si 1800 timer totalt i dette prosjektet. Timene som settes opp til gjennomføring av prosjektet skal innebære alt prosjektrelatert arbeid. Det vil være nødvendig å sette noen begrensninger til oppgaven med tanke på arbeidsmengde, kompetanseområder, men også å avgrense deler av arbeidet for å sikre god og høy kvalitet på det som blir gjort.

Tidlige begrensninger for arbeidet er definert slik:

- Det vil kun gjøres enkle termiske grunnlagsberegninger for systemet, da termolæren er svært omfattende.
- Det vil kun gjøres beregninger på sentrale komponenter.

- Regulerings og styringssystemer vil ikke bli detalj utredet, kun visualisert som overordnet systemlayout.
- Det vil ikke bli gjort rede for strømhåndteringen etter generatoren.
- FEM og CFD- analyser vil være svært enkle.
- Det vil ikke bli gjort utmattende beregninger for vibrasjoner og svingninger i relevante komponenter.
- Det vil kun bli gjort en grov økonomisk analyse.
- Det vil kun gjøres grove utredninger når det gjelder prototyping og masseproduksjon.
- Prototyping og testing av systemet vil ikke bli utført.

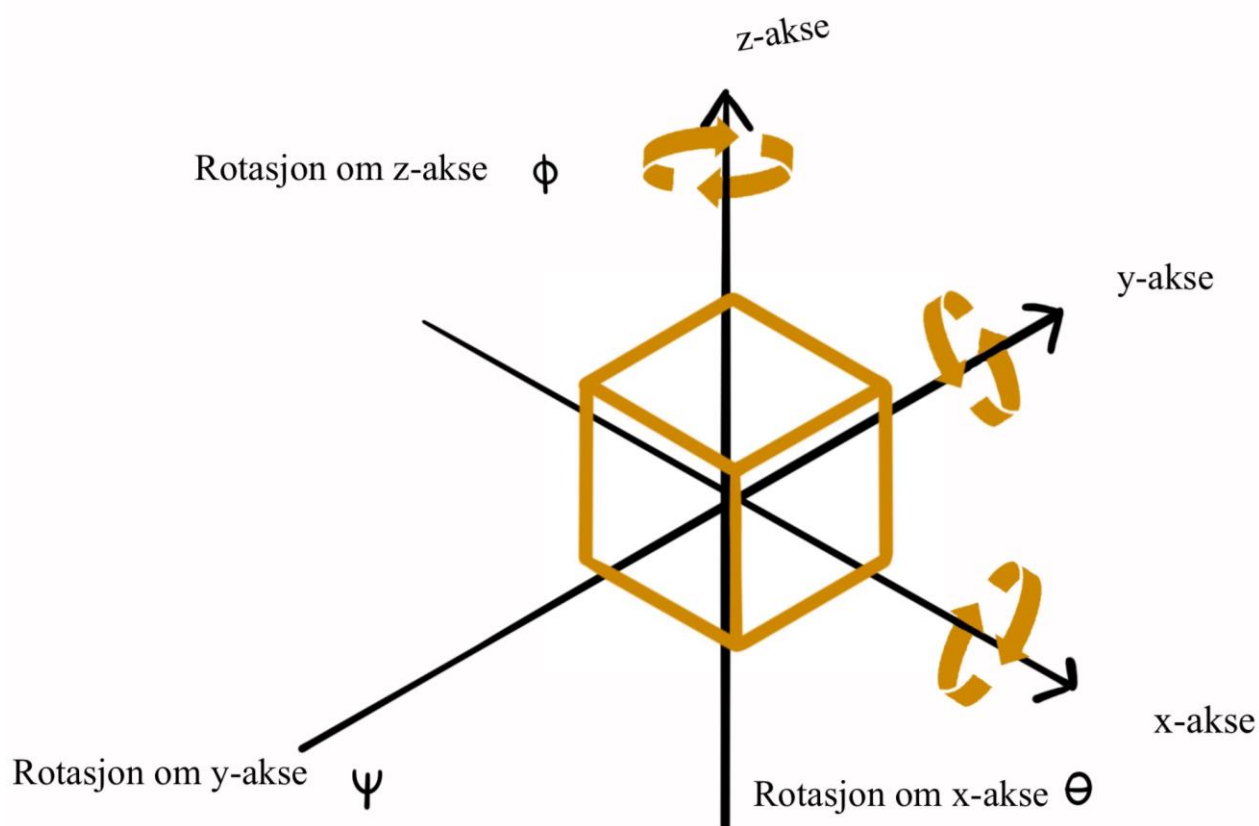
3 METODEBESKRIVELSE

I dette kapitlet dannes en oversikt over aktuell metodebruk, samtidig som ulike terminologi, begreper, formler, verktøy og hjelpemidler beskrives. Dette danner grunnlaget for utviklingsarbeidet og analyser som utføres i gradsopp-gaven.

3.1 Terminologi, begreper og formler

Delkapitlet definerer koordinatsystemet som benyttes i prosjektet. Videre gjøres det rede for symboler, formler og begreper som er benyttet i prosjektarbeidet.

3.1.1 Koordinatsystem



Figur 7: Illustrasjon av koordinatsystemet som brukes i dette prosjektet. Det beskriver de ulike aksene og rotasjonsretningene. (F&H)

Koordinatsystemet vist på Figur 7, beskriver rotasjonsretningene knyttet til konseptet ved å benytte de tre koordinataksene x, y og z. Positiv dreie- og rotasjonsretning er definert med utgangspunkt i høyrehåndsregelen og sett fra origo. Dette er vist med de oransje rotasjonspilene.

3.1.2 Begreper






Tabell 4: Oversikt over nyttige tekniske begreper som blir brukt i prosjektet.

Begreper	Beskrivelse
CAD	«Computer aided Design», programmer for å utvikle digitale tredimensjonale objekter, renderinger av objektet og tekniske tegninger,
CAM	«Computer aided manufacturing» er bruk av programvare for å kontrollere maskinverktøy i produksjon av arbeidsstykker frembrakt i CAD.
CAE	«Computer aided engineering» er bruken av programvare for å hjelpe med tekniske analyseoppgaver.
FEM	«Finite Element Method», programmer som brukes for å utføre styrkeberegninger.
CFD	«Computational Fluid Dynamics» er en analyseform som ser på hvordan væsker og gasser oppfører seg i ulike domener.
NS/EN/ISO	Norske versjoner av europeiske (EN), internasjonale standarder (ISO) som effektiviserer og kvalitets-sikrer arbeidet som gjøres.



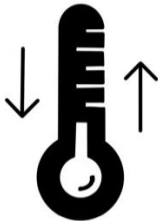
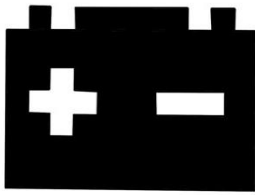

3.1.3 Symboler

Grafiske symboler

Tabell 5: Oversikt over grafiske symboler som blir benyttet i prosjektet. (F&H)

Symbol	Merknad	Beskrivelse
	Rød pil	Varmt vann, damp eller luft.
	Blå pil	Kaldt vann eller luft.
	Svart pil	Avfallsgasser
	Kryss	Figuren forsetter på neste side.
 (F&H)	Flamme	Symboliserer døren til brennkammeret.

Tabell 5 forts.

Symbol	Merknad	Beskrivelse
 (F&H)	Søppelkasse	Symboliserer døren til askeskuffen.
 (F&H)	Turbin	Symboliserer døren til turbinen.
 (F&H)	Temperaturforskjell	Symboliserer døren til kondensator og varmeveksler.
 (F&H)	Batteri	Symboliserer døren til det elektriske rommet.
 (F&H)	Påfyll av pellets	Symboliserer døren til pelletsbeholderen.

Formel og beregningssymboler

Tabell 6: Oversikt over symboler som har blitt benyttet i prosjektarbeidet.

Symbol	Beskrivelse	SI-enhet/avledninger
Mekanikk og fysiske dimensjoner		
F	Kraft	N
g	Tyngdeakselerasjon	m/s^2
m	Masse	kg
L/l	Lengde	mm
ΔL	Endring i lengde	mm
H/h	Høyde	mm
B/b	Bredde	mm
D	Ytre diameter	mm
d	Indre diameter	mm
r	Radie	mm
A	Areal	mm^2
V	Volum	mm^3
V_{yt}	Volum ytre dampkjele	mm^3
V_{it}	Volum indre dampkjele	mm^3
$V_{a/l}$	Volum aske/lufthull	mm^3
V_d	Volum dør	mm^3
V_{tot}	Totalt volum i dampkjele	mm^3
ρ	Massetetthet	kg/m^3
M	Moment	Nmm
η	Virkningsgrad	1
W	Arbeid	kW
v	Fart	m/s
Termodynamikk		
ΔU	Endring i indre energi	J
ΔQ	Endring i varme	J
ΔW	Utført arbeid	W
ΔS	Endring i entropi	kJ/kgK
ΔT	Endring i temperatur	$^{\circ}C$
Δq	Tilført varme	J
C_m	Spesifikk varmekapasitet	J/kgK
C_n	Molar varmekapasitet	$J/MolK$
n	Mol	g
C_p	C_n under konstant trykk	$J/MolK$

Tabell 6 forts.

Symbol	Beskrivelse	SI-enhet/avledninger
Termodynamikk		
C_v	C_n under konstant volum	$J/MolK$
T	Celsiustemperatur	$^{\circ}C$
T_1	Celsiustemperatur punkt 1	$^{\circ}C$
T_2	Celsiustemperatur punkt 2	$^{\circ}C$
C	Varmekapasitet	J/K
c	Spesifikk varmekapasitet	$J/(kg \times K)$
q	Spesifikk fordampingsvarme	J/kg
Q	Varme	kJ
η	Virkningsgrad	1
V	Volum	mm^3
ρ_{damp}	Tetthet	kg/m^3
P	Trykk	Bar
\dot{m}	Massestrøm	kg/s
\dot{Q}	Strømningsvolum	m^3/s
h	Entalpi	kJ/kg
h_f	Entalpi væskeform	kJ/kg
h_g	Entalpi gassform	kJ/kg
S	Entropi	kJ/kg
S_f	Entropi væskeform	kJ/kg
S_g	Entropi gassform	kJ/kg
x_a	Tørrhetsfaktor	1
ϕ	Varmeoverføring	kW
B_B	Brennverdi bjørk	MJ/kg
B_P	Brennverdi Pellets	MJ/kg
C_p	Spesifikk varmekapasitet	J/kgK
O	Varmestrømningshastighet	kJ/s
h_e	Fordampingsvarme	kJ/kg
B_B	Brennverdi bjørk	kJ/kg
B_P	Brennverdi pellets	kJ/kg
$m_{Bj\ddot{o}rk}$	Nødvendig mengde bjørk	kg/h
$m_{Pellets}$	Nødvendig mengde pellets	kg/h
v_L	Nødvendig luftmengde	m^3/s
Q_P	Oppvarmingseffekt	kW
Turbin		
U	Bladhastighet	m/s

Tabell 6 forts.

Symbol	Beskrivelse	SI-enhet/avledninger
Turbin		
V_{x2}	Innløps-hastighet	m/s
V_{u2}	Absolutt hastighet	m/s
W_{u2}	Relativ hastighet	m/s
W_2	Relativ strømningshastighet	m/s
β_2	Innløpsvinkel	$^\circ$
μ	Friksjonstap i turbinblad	1
W_3	Relativ strømningshastighet	m/s
W_{x3}	Aksial hastighet	m/s
W_{ux}	Relativ hastighet	m/s
V_{u3}	Absolutt hastighet	m/s
α_3	Utløpsvinkel	$^\circ$
V_3	Utløpshastighet	m/s
Termodynamikk		
ω	Spesifikt arbeid	J/kg
$W_{\text{ønsket}}$	Ønsket turbinarbeid	kW
α_4	Vinkel bakside blad	$^\circ$
r_{blad}	Radius turbinblad	mm
r_{rotor}	Radius turbinrotor	mm
r_{eff}	Effektiv turbinradie	mm
B_{blad}	Bredde turbinblad	mm
H_{blad}	Høyde turbinblad	mm
n_{blad}	Antall turbinblader	1
n_{rotor}	Turtall	RPM
V_{Til}	Tilgjengelig volum turbin	mm^3
V_{blad}	Volum per turbinblad	mm^3
Material/konstruksjonsegenskaper		
ReH	Flytespenning	MPa
Rm	Strekkefasthet	MPa
ε	Forlengelse	%
ρ_{mat}	Material-tetthet	kg/m^3
E	Elastisitetsmodul	GPa
G	Skjærmodul	GPa
T_{Smelt}	Smeltepunkt	$^\circ C$
n_k	Sikkerhetsfaktor	1
σ_{till}	Tillat spenning	MPa

Tabell 7: Oversikt over aktuelle omregningsfaktorer for ikke-SI-enheter.

Omregningsfaktorer for ikke-SI-enheter	
Størrelse	Enhet
Plan vinkel	$1^\circ = \pi/180 \text{ rad}$
Fart	$1 \text{ km/t} = 1/3,6 \text{ m/s}$
Temperatur	$0^\circ\text{C} = 273,15 \text{ K}$
Energi	$1 \text{ kWh} = 3,6 \times 10^6 \text{ J}$
Trykk	$1 \text{ atm} = 1,01325 \times 10^6 \text{ Pa}$ $1 \text{ Bar} = 10^5 \text{ Pa}$

3.1.4 Formler

Tabell 8: Relevante hoved-formler som benyttes i prosjektarbeidet.

Beskrivelse	Formel	Indeks
Mekanikk og fysiske dimensjoner		
Massestrøm i rør	$\dot{m} = \rho Av$	(3.1)
Areal sirkel	$A = \pi r^2$	(3.2)
Volum	$V = L \times B \times H$	(3.3)
Termodynamikk		
Entropi punkt 4	$S_4 = S_{f-0,5 \text{ Bar}} + x_4 \times (S_{g-0,5 \text{ Bar}} - S_{f-0,5 \text{ Bar}})$	(3.4)
Entalpi punkt 4	$h_4 = h_{f-4} + x_4 \times (h_{g-4} - h_{f-4})$	(3.5)
Energi tilført pumpe	$W_{\text{inn-pumpe}} = \dot{m}(h_2 - h_1)$	(3.6)
Energi inn, dampkjele	$\phi_{\text{inn-dampkjele}} = \dot{m}(h_3 - h_2)$	(3.7)
Energi ut turbin	$W_{\text{ut-turbin}} = \dot{m}(h_4 - h_3)$	(3.8)
Energi ut kondensator	$W_{\text{ut-kondensator}} = \dot{m}(h_1 - h_4)$	(3.9)

Tabell 8 forts.

Beskrivelse	Formel	Indeks
Termodynamikk		
Virkningsgrad system	$\eta = \frac{W_{total}}{\phi_{inn}}$	(3.10)
Varmeoverføring	$\phi = \dot{m}C_p(T_2 - T_1)$	(3.11)
Varmestrømningshastighet	$O = \dot{m} \times h_e$	(3.12)
Forbrennings-mengde	$m = \frac{P}{B_B \times B_p}$	(3.13)
Luftmengde	$v_L = \frac{Q_p}{\rho \times C_p \times \Delta T}$	(3.14)
Turbin		
Bladhastighet	$U = \frac{1}{2} V_2 \sin(\alpha_2)$	(3.15)
Innløps-hastighet	$V_{x2} = V_2 \cos(\alpha_2)$	(3.16)
Absolutt hastighet	$V_{u2} = V_2 \sin(\alpha_2)$	(3.17)
Relativ hastighet	$W_{u2} = V_{u2} - U$	(3.18)
Relativ strømningshastighet	$W_2 = \sqrt{W_{x2}^2 + W_{u2}^2}$	(3.19)
Innløpsvinkel	$\beta_2 = \tan^{-1} \left(\frac{W_{u2}}{W_{x2}} \right)$	(3.20)
Relativ strømningshastighet	$\frac{1}{2} W_3^2 = \frac{1}{2} (1 - \mu) W_2^2$	(3.21)
Aksial hastighet	$W_{x3} = W_3 \cos(\beta_3)$	(3.22)
Relativ hastighet	$W_{u3} = W_3 \sin(\beta_3)$	(3.23)
Absolutt hastighet	$V_{u3} = U + W_{u3}$	(3.24)
Strømningsvinkel	$\alpha_3 = \sqrt{V_{x3}^2 + V_{u3}^2}$	(3.25)
Utløpshastighet	$V_3 = \sqrt{V_{x3}^2 + V_{u3}^2}$	(3.26)

Tabell 8 forts.

Beskrivelse	Formel	Beskrivelse
Turbin		
Spesifikt arbeid	$\omega = U(V_{u2} - V_{u3})$	(3.27)
Arbeid	$W_{\text{ønsket}} = \dot{m}\omega\eta_G$	(3.28)
Strømningsvolum	$\dot{Q} = \frac{\dot{m}}{\rho}$	(3.29)
Strømningsvolum/RPM	$\dot{Q}_{RPM} = \frac{Q \times 60s}{n_{rotor}}$	(3.30)
Vinkel bakside turbinblad	$\alpha_4 = 90^\circ - \alpha_2$	(3.31)
Radie turbinblad	$r_{blad} = \frac{B_{blad}}{2 \sin(\beta_2)}$	(3.32)
Rotor radie	$r_{rotor} = r_{eff} - \frac{H_{blad}}{2}$	(3.33)
Tilgjengelig volum	$V_{Til} = \pi B_{blad} \times ((r_{rotor} + H_{blad})^2 - r_{rotor}^2)$	(3.34)
Antall turbinblader	$n_{blad} = \frac{V_{Til} - \dot{Q}_{RPM}}{V_{blad}}$	(3.35)
Generelle konstruksjonsformler		
Tillatt spenning	$\sigma_{till} = \frac{R_e H}{\eta}$	(3.36)
Moment	$M = F * L$	-
Hookes' lov	$\sigma = E \frac{\Delta L}{L}$	-
Strekk/trykkspenning	$\sigma_{strekk/trykk} = F/A$	-
Skjærspenning	$\tau_s = \frac{F}{A}$	-
Bøyepening	$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b}$	-
Jevnførings-spenning	$\sigma_j = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1\sigma_2 + 3\tau_{12}^2}$	-
Bernoullis likning (friksjonsfri fluid)	$p_1 + \rho gh_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = p_2 + \rho gh_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2$	-

3.2 Metodebruk og løsningsverktøy

For å sikre en god produktutviklingsprosess der tidsplanen holdes samtidig som målene oppnås, benyttes relevant produktutviklingsmetodikk. Metodikken bidrar til å ta riktige valg i prosessen, samtidig som arbeidet kvalitetssikres. Dette delkapittelet beskriver metoder og verktøy som benyttes gjennom prosjektoppgaven.

3.2.1 Integrated Product Development (IPD)

«Integrated Product Development» handler om å danne en oversikt over elementer som organisering, samspill og planlegging. Dette er elementer som er svært aktuelle i en god og effektiv utviklingsprosess. Ved å bruke IPD-prosessen aktivt gjennom prosjektarbeidet vil en klare å holde oversikt og kontroll på hva som har blitt gjort og hva neste steg i utviklingsprosessen er. Ved å organisere et prosjekt på en slik måte sitter en ofte igjen med et bedre sluttprodukt.

Tabell 9: Bruk av IPD-hovedelementene under prosjektet. (26,27)

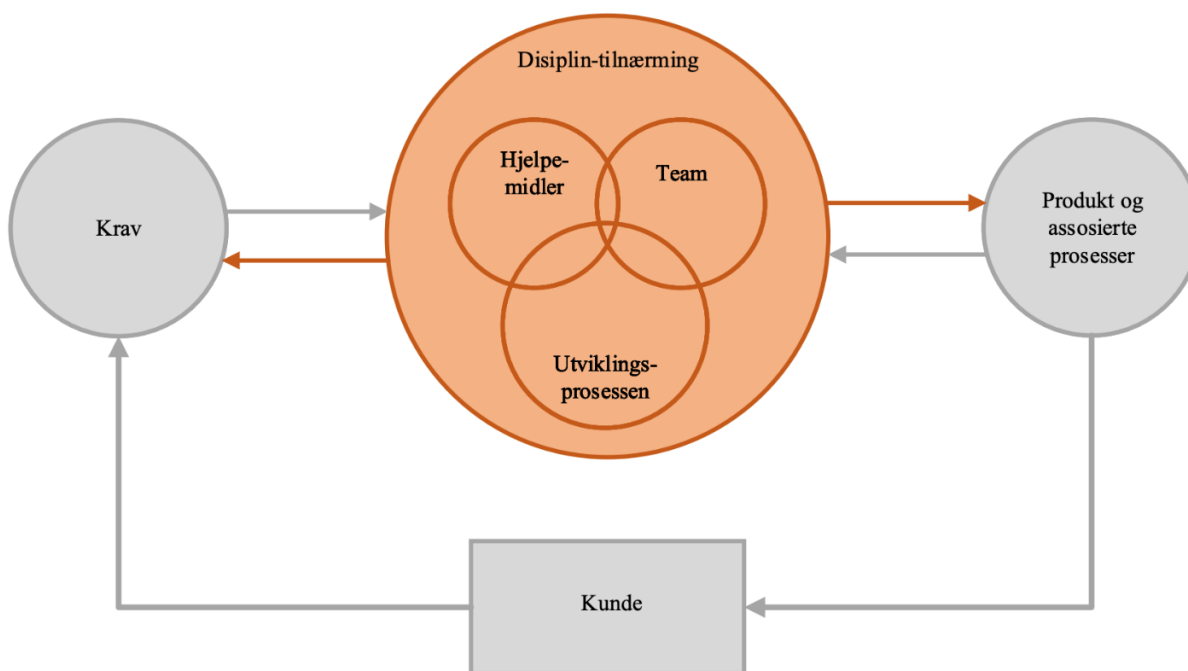
Element	Hva	Hvordan	Hvor
1	Kartlegging av kundenes behov og markedets krav.	Konkurrerende løsninger, markedsbehov og potensiale er elementer som er relevant å se på.	Kap. 1
2	Planlegging og styring av produktutviklingsprosessen.	Utvikling av prosjektplan, hoved- og delmål, samt oppgavebegrensninger utarbeides i denne fasen av prosjektet.	Kap. 2
3	Bruk av produktutviklingsgrupper og teamarbeid.	Ved å benytte faglitteratur og internett, sammen med veiledning og eksperttesting.	Alle (kap. 9)
4	Integrasjon av prosessdesign.	Vurdere faktorer når det kommer til materialvalg, produksjonsmetode, kostnader, miljø og livssyklus.	Alle
5	Styring av tidsbruk og prosjektkostnader fra starten.	Kartlegging av ressurser og prosesser som vil bli brukt gjennom prosjektet.	Kap. 2 og 3.
6	Involvering av leverandører tidlig i prosessen.	Utforming av konsept som åpner opp for bruk av standardkomponenter for å redusere kostnader.	Kap. 4, 5, 6, 7 og 8.
7	Utvikling av et robust design.	Dimensjonere produktet etter grunnleggende beregninger og sikkerhetsfaktorer. Fokuserer på materialvalg, levetid og bruksområdet.	Kap. 6, 7, 8, 9 og 10.

Tabell 9 forts.

Element	Hva	Hvordan	Hvor
8	Integrering av CAE, CAD, CAM og relevante dataverktøy i utviklingsprosessen.	Konseptet tegnes som 3D modell i CAD, analyseres med CAE og preppes for videre utvikling med CAM.	Kap.10, 11 og 13.
9	Datasimulering av produktets egenskaper og framstillingsprosessen.	FEM analyser skal utføres på de mest hensiktsmessige komponentene.	Kap. 11
10	Generering av en mest mulig effektiv tilnærming til utviklingsarbeidet.	Vurdere eksisterende løsninger og tidligere arbeid, samt produktegenskaper og flaskehalsar.	Kap. 1, 4 og 5.
11	Kontinuerlig forbedring av utviklingsprosessene.	Ved å sette rammer og begrensinger for prosjektet, samt kontinuerlig diskutere trinnene i prosessdiagrammet.	Alle

3.2.2 Integrated Product and Process Development (IPPD)

IPPD er en videreutvikling av IPD der det legges større vekt på kunden og markedet. Metodikken legger også større vekt på produktassosierte prosesser, samtidig som den fokuserer på kartlegging og forbedring av utviklingsmetoder, organisatorisk, administrativ og økonomis tankegang. IPPD er i all hovedsak mer utbredt i større organisasjoner, men metodikken vil tas i bruk i dette prosjektet ved hjelp av Quality Function Deployment (QFD), prosesstrinn-diagrammet og drøfting.



Figur 8: Viser IPPD-tankegangen med produkt, der kunden er i fokus (omarbeidet etter (28)).

3.2.3 Pugh's metodikk

Pugh's metodikk er danner grunnlaget for å utvikle og teste ut ulike ideer på en effektiv og praktisk måte. Metoden sørger for at en oftere ender opp med gode løsninger, samtidig som det gjøres på en enklere måte. Videre går metodikken ut på å tidlig gjennomføre en grov konseptgenerering, ved å bruke informasjonsinnhenting, studier og systematisering av viktige egenskaper hos eksisterende løsninger, deretter spesifisere vurderings- og valgkriterier. Pugh's metodikk kan deles inn i tre følgende hovedprinsipper:

Designkjernen

Designkjernen starter med å kartlegge markedet og kundenes behov, før en går over til utvikling av spesifikasjoner for produktet, konseptutvikling og konseptdesign, detaljdesign og til slutt produksjon og salg. Prinsippet går ut på at produktutviklingen begynner i et behov som i de fleste tilfeller vil passe inn i et eksisterende marked, eller skape et marked på egenhånd.

Produktspesifisering

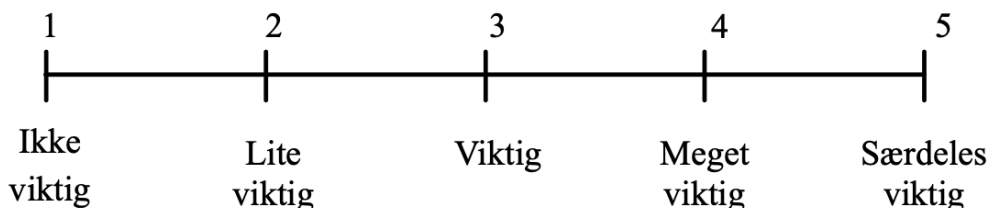
Ut ifra beskrivelsen av markeds- og kundebehovene formuleres det spesifikasjoner til produktet. Dette danner en ramme som inneholder alle stadiene fra designkjernen og vil være med på å skape kontroll og videre føringer for de totale utviklings- og designaktivitetene.

Konseptvalg/ Styrte konvergens

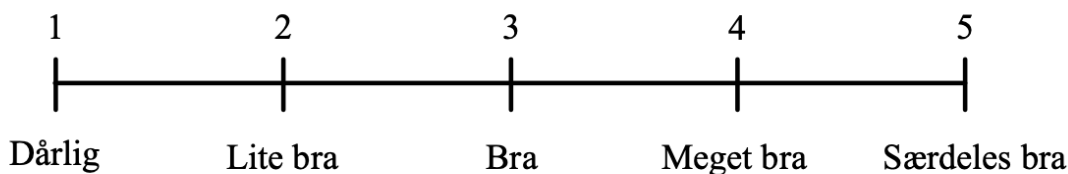
Her tas «metoden for styrt konvergens» i bruk. Metoden bruker et system med evalueringsmatriser sammen med en trinnvis evalueringsprosess for å komme frem til de beste delementene i et produktkonsept. I sin enkleste forstand blir det satt en karakter på konseptene fra -1 til 1. Karakterene viser hvor godt designløsningen oppfyller det gitte kriteriet. Løsningene summeres og rangeres før en velger ut den løsningen som egner seg best i forhold til kravene som er satt opp.. Den mest komplekse og krevende versjonen av Pugh's seleksjonsmetodikk er en utvidelse av den enkleste formen, som beskrevet over. Denne versjonen benytter rangering av viktighet kombinert med en skala for kvalitet, noe som brukes senere i prosjektet og nærmere forklares ved hjelp av følgende punkter:

- I. Det første som gjøres er utarbeidingen av aktuelle kriterier. Videre rangeres kriteriene etter skalaen om viktighet, der poengene strekker seg fra 1 = ikke viktig til 5 = Særdeles viktig. Skalaen om viktighet sees på Figur 9.
- II. Videre etableres det en verdiakse, som skal brukes for å rangere hvor godt de ulike løsningsalternativene oppfyller de gitte kriteriene. Poengene strekker seg fra 1 = dårlig til 5 = særdeles bra. Skalaen kan sees på Figur 10.
- III. Etter at kriterier og løsningsalternativer har blitt rangert, ganges scoringene for hvert kriterium sammen.

IV. Hver kolonne summeres, og en totalsum for hvert konsept genereres. En ser da hvilken løsning som oppnår den høyeste poengsummen og dermed er best kvalifisert ut ifra de satte kriteriene. (29)

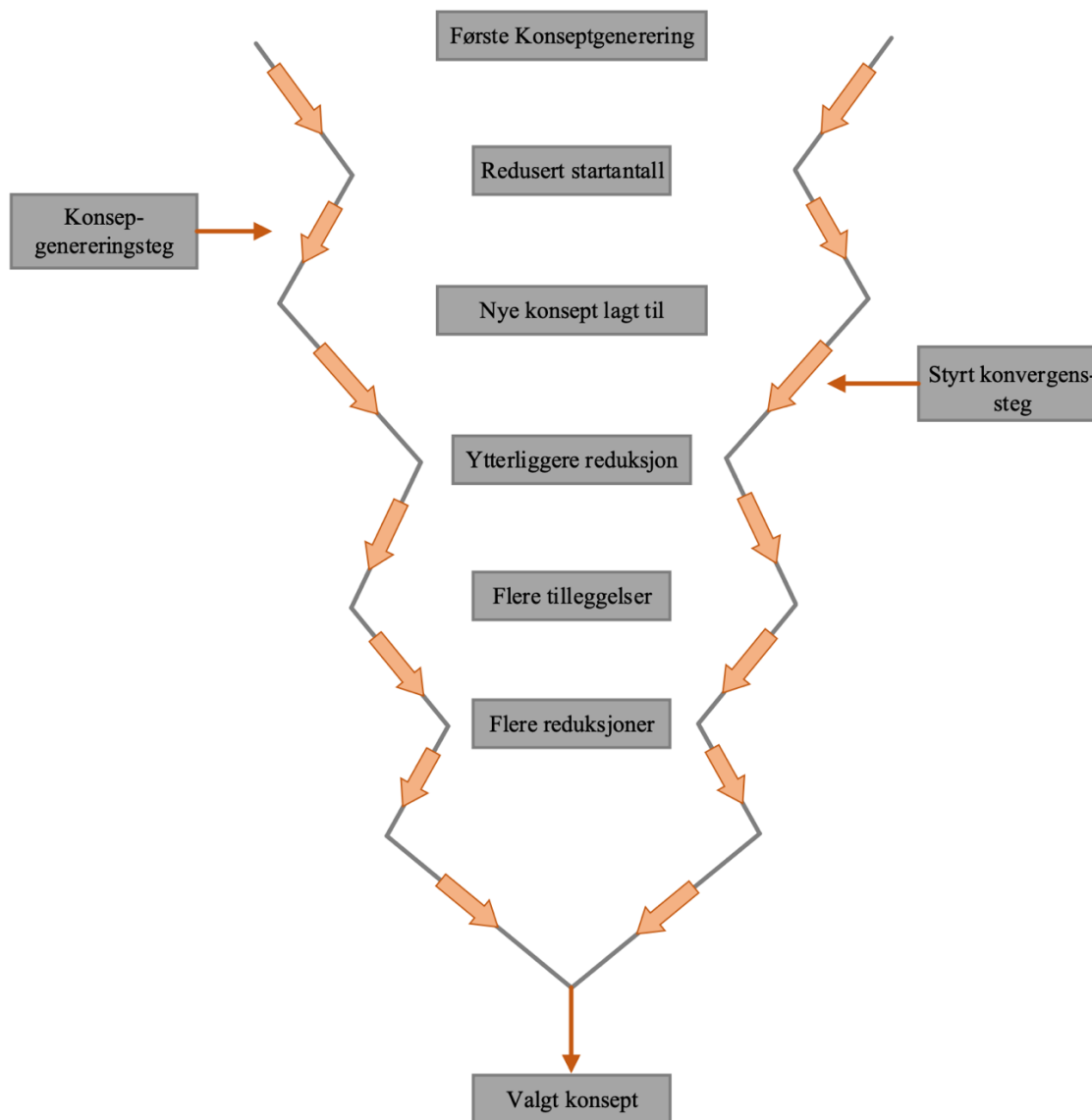


Figur 9: Poengskala for å bestemme hvor viktige de ulike kriteriene er (omarbeidet etter (29)).



Figur 10: Poengskala for å bestemme hvor godt de ulike løsningsalternativene oppfyller de gitte kriteriene (omarbeidet etter (29)).

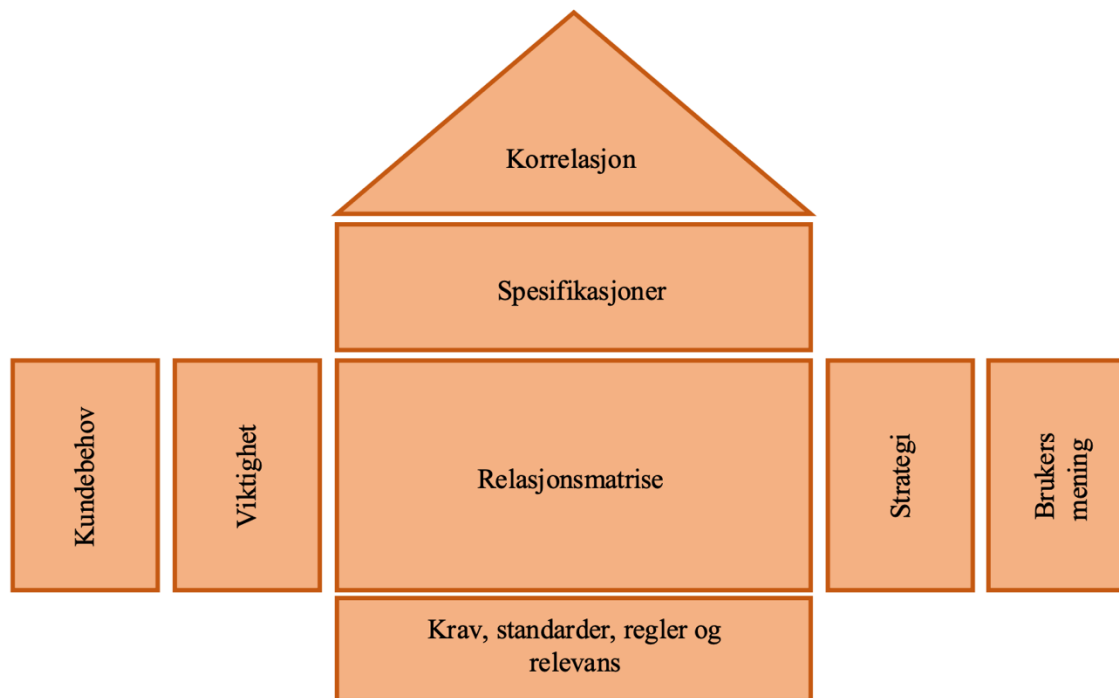
Diagrammet på Figur 11 viser tankegangen med «Styrt konvergens», der en trinnvis selekterer ut mindre egnede konseptforslag ved hjelp av Pugh's matrisescreening. Diagrammet viser også hvor det introduseres nye løsningsforslag. Disse vurderes så opp mot de eksisterende løsningene og selekteringen fortsetter til en sitter igjen med den beste løsningen. Diagrammet kan sees på neste side.



Figur 11: Diagram av hvordan tankegangen med styrt konvergens fungerer. (omarbeidet etter (29)).

3.2.4 House of Quality/QFD

House of Quality metoden ble utviklet av Yoji Akao i Japan i 1966, og ble først tatt i bruk av den velkjente bedriften Mitsubishi i 1972 under utvikling av tankskip. Det å benytte seg av Quality Function Deployment (QFD) er en strukturert måte å drive produktutvikling og realiseringsprosesser på. Begrepet går ut på å definere kundebehov eller kundekrav, og deretter overføre disse inn i ulike kvalitetssikringsystemer for videre utvikling. På denne måten skapes det en god oversikt over de ulike behovene og kravene, der resultatet gjør at det blir enklere og mer effektivt å finne frem til den beste løsningen. Kort oppsummert handler QFD om å sette kunden i fokus.



Figur 12: Illustrasjon av "House of Quality" med de elementene som er relevante for dette prosjektet (omarbeidet etter (30)).

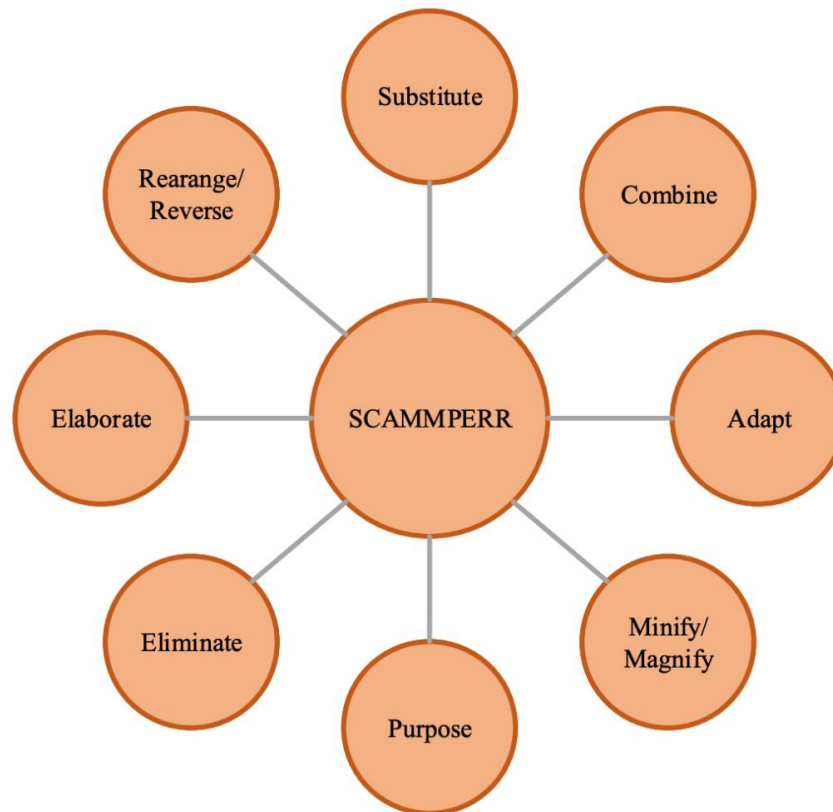
House of Quality er et verktøy som benytter QFD som grunnmur. Verktøyet illustreres ved hjelp av et hus- formet blokkdiagram med en rekke ulike kombinasjonsmuligheter. Huset samler ulike metodiske tilnærminger og elementer.

Elementene i diagrammet bygger på spørsmålene; hva og hvordan. På denne måten kan en identifisere og klassifisere de ulike ønskene til kunden og hvilken betydning disse har for produktet, både teknisk og designmessig ved kriterievekting og et matrisesystem. Videre sammenlignes ønskene/kravene med relevante tekniske aspekter og dermed kan en se elementer ved produktet som må prioriteres. (30)

3.2.5 SCAMPER

Osbornes SCAMPER er en kreativ prosess som oftest tas i bruk dersom en støter på problemer eller utfordringer i utviklingsprosessen. Metodikken kan også brukes for å oppnå det mest gunstige resultatet i forhold til målene eller kravene som er satt. SCAMPER eller SCAMMPERR er i all hovedsak en forkortelse på syv til ni bokstaver, der hver av bokstavene beskriver et eller flere trinn. Disse trinnene kan benyttes for å danne nye løsninger en ikke hadde tenkt på i utgangspunktet.

SCAMMPERR står for: Substitute, Combine, Adapt, Modify, Minify/Magnify, Purpose, Eliminate, Elaborate, Rearrange, Reverse. (31,32)



Figur 13: SCAMMPERR-diagram. En oversikt over alle forkortelsene i metodikken. (F&H)

De ulike begrepene er beskrevet under:

- **Substitute:** Ved å bytte ut prinsipper, elementer eller komponenter for å oppnå samme resultat med en annen fremgangsmetode.
- **Combine:** Ved å kombinere elementer eller å få elementer til å utføre flere handlinger kan man forbedre et allerede eksisterende produkt.
- **Adapt:** Ved å endre på et produkt for å få det til å utføre en handling som er annerledes enn den opprinnelige oppgaven til produktet.
- **Minify/Magnify:** Minske eller øke den fysiske størrelsen til produktet.
- **Purpose:** Endre intensjonen til produktet.
- **Eliminate:** Ta vekk funksjoner og elementer for å gjøre produktet enklere, men fortsatt utføre opprinnelig funksjoner.
- **Elaborate:** Legge til funksjoner eller elementer.
- **Rearrange:** Omorganisere plasseringene til elementene i produktet.
- **Reverse:** Endre orienteringen til ulike elementer eller hele produktet.

3.2.6 Modulisering

Modulisering er en teknikk som benyttes for å vurdere hvordan et produkt kan bygges opp eller organiseres. Dette gjøres ved å systematisk utforske hvordan ulike elementer kan gjøres om til «byggeklosser», slik at de kan standardiseres og brukes om hverandre. For å oppnå dette er det sentralt å se på symmetri, sammenføyningsmuligheter og hvordan elementene kan standardiseres. Når dette er oppnådd kan delene settes sammen på ulike måter og lett erstattes dersom de skulle bli ødelagt. (33)

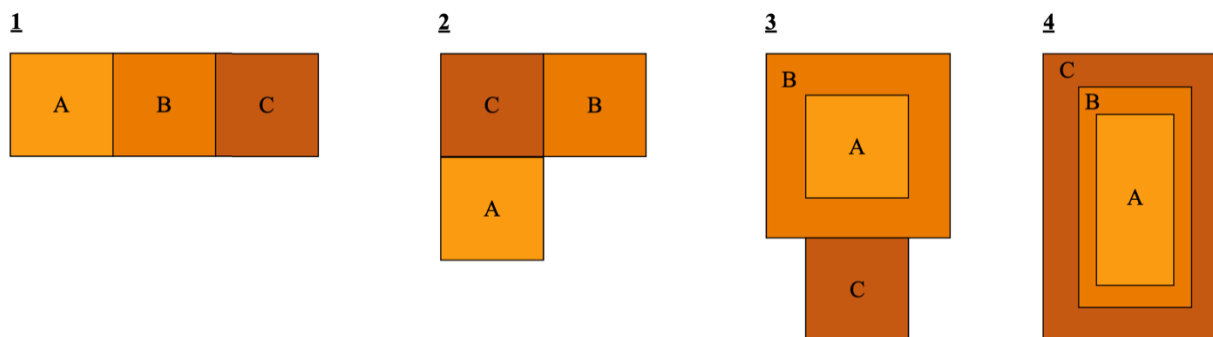
Fordeler med modulisering:

- Forenklet produksjon.
- Forenklet logistikk i form av lagerhold, emballasjeproduksjon og transport.
- Gir en stor fordel dersom produktet må vedlikeholdes.
- Standardisert enhet.

Alle punktene over fører til lavere kostnader både hos produsent og kunde.

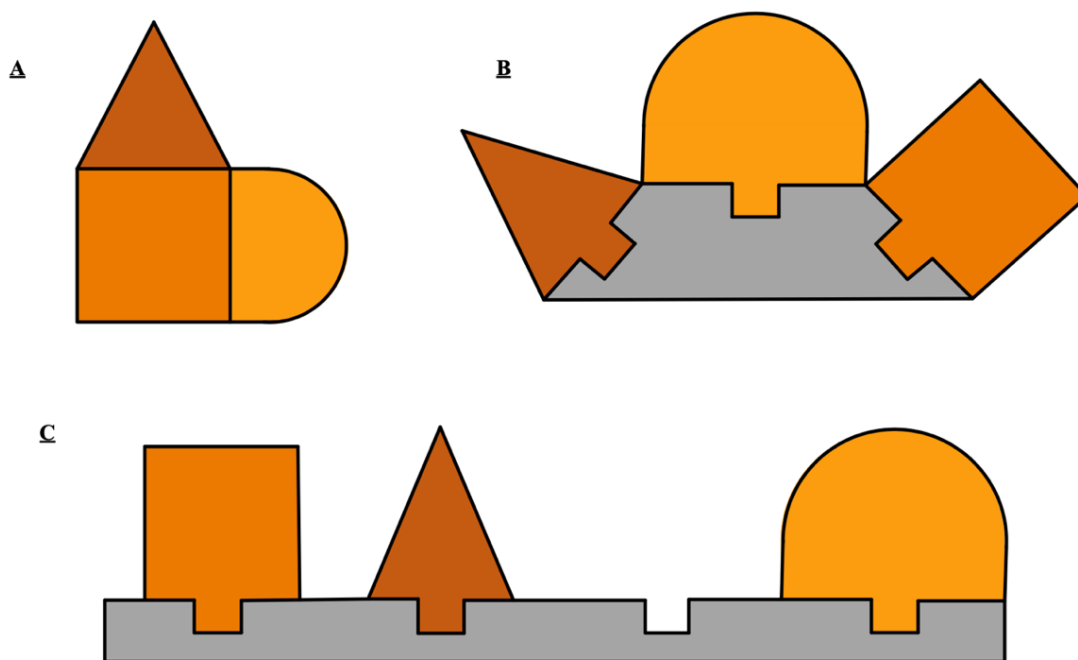
I dette prosjektet kan modulisering være å ha ulike hoveddeler som videre plasseres inni en annen modul. Brennkammer, dampkjele, turbin, generator, kondensator og matesystem er modulenheter, som videre plasseres på sine respektive steder i forhold til hverandre. Ved å gjøre dette kan plassen utnyttes optimalt samtidig som ødelagte deler enkel kan byttes.

Hovedprinsippet med modulisering er at elementer kan settes sammen på fire hovedmåter, elementene kan orienteres i alle akseretningene (x, y, z). De fire hovedmåtene er lineær, vinkelrett, delvis integrert og integrert sammenstilling, som er illustrert på Figur 14



Figur 14: Grunnprinsipp ved modulbygging, 1-lineær sammenstilling, 2-vinkelrett sammenstilling, 3-delvis integrert sammenstilling og 4-integrert sammenstilling (omarbeidet etter (33)).

I tillegg til hovedprinsippene for modulisering finnes det også skinne og seksjonsmonterte modulløsninger også kalt «buss-systemer», som vises på Figur 15. Denne viser tre ulike modulsystemer, A, B og C. A har en kvadratisk sentermodul der andre moduler kan plasseres på en av sidene. Denne type seksjonssystem gjør også at en kan koble flere sentermoduler sammen og dermed gjøre systemet større. B viser et skissemodul-system med et trapes som base, her kan bare en type modul passe i hver retning fra trapes-skinne. C viser et «buss-system», hvor en kan plassere ulike moduler i forskjellige rekkefølger og dermed danne mange ulike kombinasjoner. Skinne i bunn kan ha flere former av ulik lengde og dermed tilpasses ulike scenarier. (33)



Figur 15: Illustrasjon av skinnemodus-prinsippet, med ulike konfigurasjoner. (omarbeidet etter (33)).

3.2.7 Analysemetodikk

Finite Element Method (FEM)

FEM er en numerisk beregningsmetode, som ofte også kalles FEA (Finite Element Analysis). Ved å benytte denne type styrkeberegninger kan en finne ut av hvor mye en kompleks del tåler. Analyseprogrammet deler komponenten som skal analyseres opp i mange små elementer, også kalt «mesh», der resultatene ofte presenteres i farger for å indikere hvor de største kreftene er lokalisert. Dersom en skulle utført disse beregningene for hånd, ville de vært svært avanserte. I dette prosjektet vil det utføres FEM-analyse på kritiske komponenter i sammenstillingen, de vil også fungere som en kontroll opp mot håndberegninger. (34,35)

Computational Fluid Dynamics (CFD)

CFD er en analyseform som tar for seg hvordan væsker oppfører seg ved å bruke numeriske utregningsmetoder. Ved å benytte CFD kan en analysere komplekse problemer og for eksempel finne ut av hvilke design som gir best resultat etter gitte krav. I ingeniørsammenheng brukes ofte CFD i hydraulikk og aerodynamiske analyser. I dette prosjektet skal CFD benyttes for å se hvordan varme i både luft, vann og damp oppfører seg i brennkammer, en eventuell varmeveksler og i dampturbinen. (36)

3.2.8 Programvarer

Gjennom prosjektet har det blitt tatt i bruk en rekke ulike programvarer og hjelpemidler. Tabell 10 gir en oversikt over hva som ble brukt og til hvilket område.

Tabell 10: Oversikt over programvarer som ble brukt gjennom prosjektet.

Verktøy	Anvendelse
Microsoft Office (Word, Excel, PowerPoint, Visio, Teams)	Rapportering, tabeller, diagram, figurer, presentasjoner og møtevirksomhet.
SolidWorks 22/23 (Student)	FEM/CFD-analyser, 3D modeller, tekniske tegninger og fotorenderinger.
Procreate (Version 5.2.6)	Tegneprogram for iPad.
ANSYS Workbench/Mechanical R1	Brukes til å utføre styrkeberegninger på konstruerte deler. FEM-analyser.
Granta EduPack 2022	Brukes til sammenligning og seleksjon av mest gunstige materialer.
Notability (Version 11.8.4)	Noteringsprogram for iPad.

3.3 Kvalitetssikring

For å kvalitetssikre utviklingsprosessen i prosjektet, samt kontrollere at alt er gjort på en fornuftig og korrekt måte, brukes hjelpemidler som standarder, faglitteratur og ekstern kompetanse.

Relevante hjelpemidler under dette prosjektet:

- NS/EN/ISO9001 (Standard for kvalitetsstyring, spesielt kapittel 7 (2000) og Kapittel 8 (2015)).
- NS/ISO128 (Omfattende standard-serie for teknisk tegning).
- Kilder for utvikling skal primært være fagbøker.

- Produksjon og kostnadsanalyser skal kontrolleres ved hjelp av eksperttesting.
- Beregninger skal utføres etter metoder som har blitt tilegnet etter undervisning på NMBU.
- Formler hentes fra «Formler og tabeller» og «Tekniske tabeller» (37,38)
- Ekspertbruk- for å kvalitetssikre valg av løsninger vil gruppen støtte seg på fagpersonell ved fakultetet for RealTek, NMBU og RealTeks verksted.

Utviklingsprosessen og utviklingen av produktet skal følge hovedtrekkene knyttet til kvalitetssikring iht. ISO 9000 og 9001, spesielt kapittel 7 (2000) og kapittel 8 + vedlegg (2015).

For kildesikring legges det til grunn fagbøker fra anerkjente forlag, fagartikler og vitenskapelige artikler med fagfelle vurdering for utgivelser. Nettkilder vil bli sjekket kvalitetsmessig så langt som mulig.

Forskrifter og lover:

For å sikre at energisystemet som blir utviklet i denne rapport er lovlig å sette i produksjon må det overholde en rekke lover og forskrifter. Det er derfor satt opp en oversikt over noen aktuelle lover og forskrifter, som vil bli tatt hensyn til i utviklingsprosessen.

- Energiloven – LOV-2021-06-18-138.
Lov om produksjon, omforming, overføring, omsetning, fordeling og bruk av energi m.m. av olje- og energidepartementet. (39)
- Forskrift om elektriske forsyningsanlegg- FOR-2005-12-20-1626
Justis- og beredskapsdepartementet. (40)
- Forskrift om brannforebygging- FOR-2015-12-17-1710
Justis- og beredskapsdepartementet. (41)

Struktur og referansebruk

Overordnet IMRAD-struktur benyttes som rapporterings-stil, da dette er den standardiserte nasjonale/internasjonale strukturnormen for masterarbeid. IMRAD står kort forklart for introduksjon, metode, resultat og diskusjon.

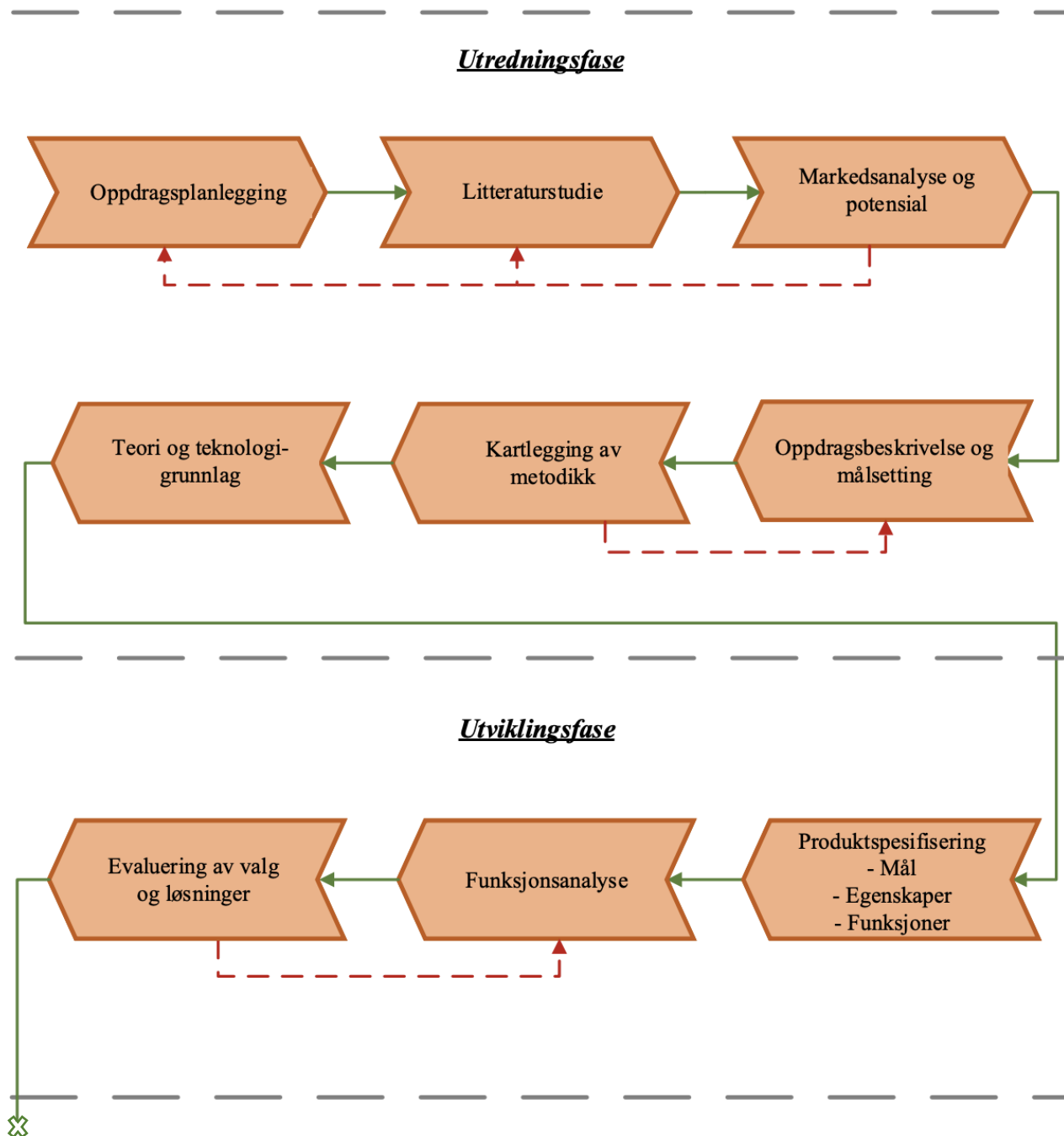
I denne gradsoppgaven benyttes Vancouver-nummersystemet for litteraturhenvisninger. Nummersystemet benytter seg av parenteser med referansenummer imellom og vises på følgende måte: (*referansenummer*).

Figurer og tabeller i rapporten er beskrevet med tilhørende figur- og tabelltekst. For egne illustrasjoner og figurer benyttes (F&H), som referer til begge forfattere /masterstudentenes fornavn (Fredrik og Haakon).

Figurer som er egenproduserte, men samtidig deler store likhetstrekk med figurer i litteraturen, benyttes følgende referering: «Omarbeidet etter (*referansenummer*)».

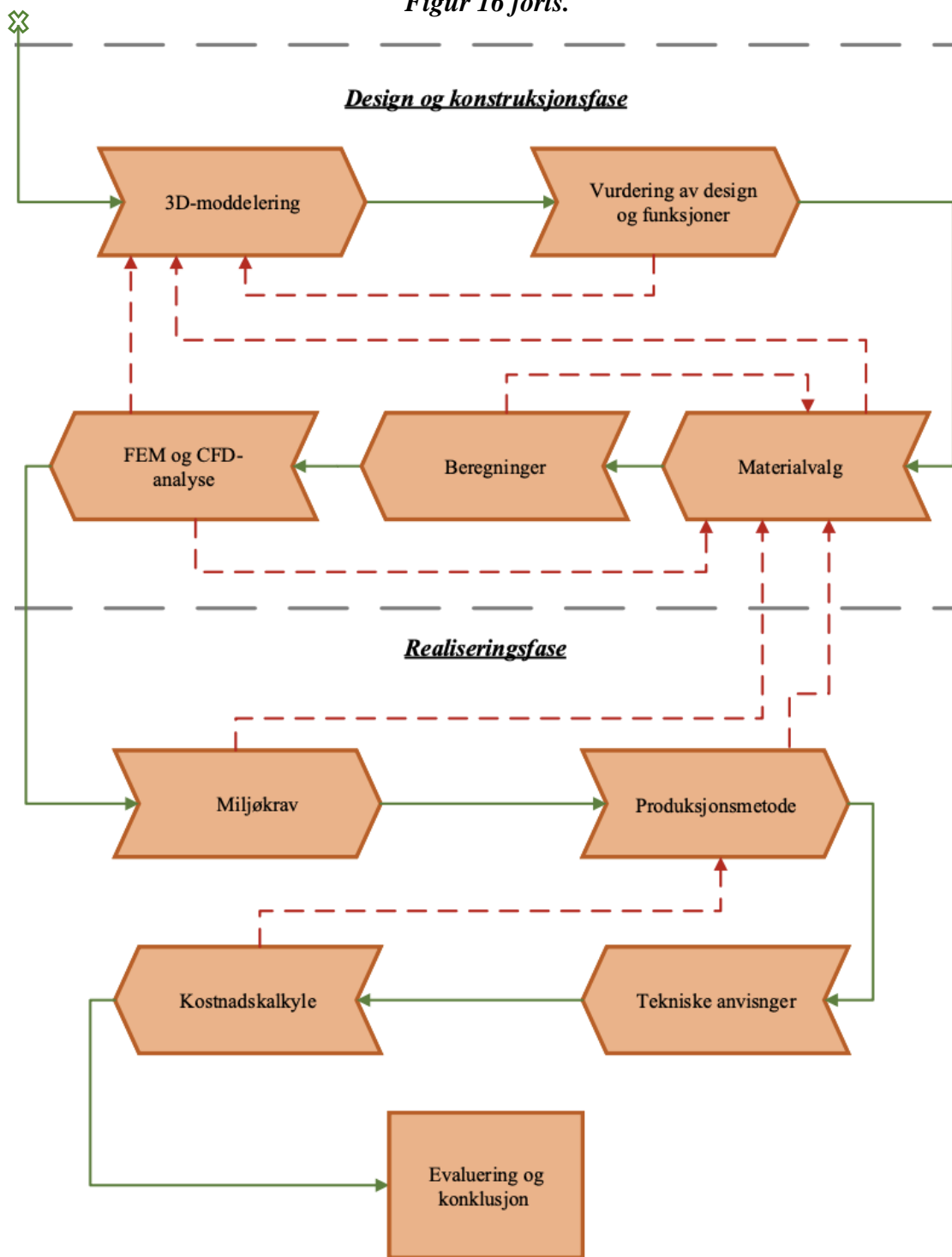
3.4 Prosesstrinn

Gjennom utviklingsprosessen er det viktig å vurdere om løsningen tilfredsstillende oppfyller kravene og målene en har satt. Hvis ikke, må en gå tilbake i prosessen å ta noen nye valg. Utviklingsprosessen til prosjektet er derfor illustrert skjematisk, der hvert trinn avhenger av hverandre.



Figur 16: Skjematisk fremstilling av prosesstrinnene i prosjektet i henhold til tankegangen man finner i ISO 9001, samt IPD. (F&H)(26)

Figur 16 forts.



Hensikten med diagrammet er å gjøre det oversiktlig dersom en trenger å gå tilbake til tidligere aktiviteter for å utbedre prosessen. I skjemaet er det brukt grønne og røde stiplede piler, de grønne indikerer overgang til ny aktivitet og de røde viser hvor det kan være aktuelt å gå tilbake i prosessen for å utbedre eller endre konseptet.

Prosesstrinn-skjemaet består av fire ulike faser. De fire fasene er:

Utredningsfase

I utredningsfasen defineres bakgrunnen og rammene til prosjektet, samtidig som prosessen med å definere konseptet starter. Videre blir det lagd en prosjektplan og aktuell metodikk utredet.

Utviklingsfase

I utviklingsfasen defineres viktige produktspesifiseringer. Funksjonsanalyse og evaluering av løsninger vil være sentrale punkter i denne fasen.

Design- og konstruksjonsfase

I design- og konstruksjonsfasen vil konseptet begynne å ta form. Det endelige designet gjøres om til en 3D-modell og videre endringer av designet kommer til å prege denne fasen. Deretter kan det være mye rom for forbedringer i forhold til materialer, design og FEM-analyser, evaluering av arbeid er derfor essensielt.

Realiseringsfase

I realiseringsfasen gjelder det å ferdigstille prosjektet, miljø skal diskuteres sammen med produksjonsmetoder og kostnadskalkyle. Tekniske tegninger og anvisninger skal også lages.

4 TEORI OG TEKNOLOGIUTREDNING

I teori og teknologiutredningen utredes teori og teknologiske løsninger som er relevant for utviklingsarbeidet. Stoff om bioenergi, energisykluser og teknologiløsninger sees nærmere på for å øke kunnskap på området og legger grunnlaget for videre konseptutvikling.

4.1 Grunnlagsteori

For å få en helhetlig forståelse av hvordan konseptet kan løse problemet og innfri ønskede funksjoner og krav, er det viktig å forstå teorien og få oversikt over relevant teknologi. Et prosjekt som dette bygger på en rekke ulike kjemiske, mekaniske og elektriske løsninger som må harmonere i et sluttprodukt.

4.1.1 Bioenergi

Bioenergi er en fornybar energikilde som primært brukes til oppvarming. Bioenergi er energi lagret i organisk materiale og defineres som alt som kan råtne. Det finnes ulike metoder å produsere energi på ved hjelp av biomasse, som enkelt deles inn i tradisjonell og moderne bioenergi.

Før bruk av vannkraft og fossilt brensel var tradisjonell bioenergi den viktigste energiressursen på jorden. Denne type energiutvinning kan fremdeles ses på som svært viktig, særlig i utviklingsland hvor moderne infrastruktur ikke strekker til. Moderne bioenergi tar for seg et bredt spekter av teknologiske løsninger, som kan utnytte biomasse. Eksempler på dette er kraftverk som brenner biologisk avfall eller pelletsovner som en kan finne i mange private hjem.

Bioenergi var lenge den viktigste energikilden i Norge, før det ble benyttet vannkraften fra elvene ved bruk av vannturbinen. Nå kommer kun 6 % av Norges energiproduksjon fra biomasser, der vannkraft står for nesten 90 % av all den norske kraftforsyningen. Norges klima skaper gode vilkår til tilvekst av biomasse, der veksten har potensiale til en energiproduksjon på omtrent 245 TWh per år. I dag utnyttes kun 15 TWh til å produsere energi og dersom mer kunnskap og ressurser blir brukt på området, vil denne type energiutvikling ha et stort potensiale i fremtiden. (42)

Fordeler ved bioenergi:

- Biomateriale vokser kontinuerlig frem på en naturlig måte.
- Utslipp av karbondioksid regnes som CO₂-nøytralt.
- Biomasse som treverk har relativt lang levetid og har mange bruksområder før det kan benyttes som brensel.
- Bioenergi er alltid tilgjengelig i motsetning til sol- og vindenergi.

Ulempene ved bioenergi:

- Blir det benyttet mer biomasse til energiproduksjon en hva naturens bæreevne tillater, vil dette få konsekvenser, som matmangel, større CO₂ utslipp og økt drivhuseffekt.
- Det kreves høye investeringskostnader for å produsere energi med biomasse.
- Betinget fornybar resurs.

I Norge benyttes nesten halvparten av all bioenergi i private hjem, ved bruk av den tradisjonelle vedfyringen, gjerne med gammelt utstyr med dårlig virkningsgrad. Ved å forbedre forbrenningsteknikkene og benytte biomateriale i form av flis, briketter og pellets med et lavere fuktighetsnivå, vil en renere og mer effektiv forbrenning skje. (42–44)

4.1.2 Forbrenning

Den enkleste måten å produsere bioenergi på, er gjennom direkte forbrenning. Forbrenning er en eksoterm kjemisk reaksjon mellom et stoff og oksygen. Videre er en eksoterm prosess en kjemisk reaksjon der det frigjøres varme ved at produktet som dannes har lavere energi enn i opprinnelig form. Eksempler på dette er forbrenning av næringsstoffer i kroppen eller å brenne ved i peisen. (45)(46)

Forskjellig biomasser har ulik effekt og brennverdi som påvirker energiutvinningen. Brennverdi er den mengden energi som frigjøres når et materiale brenner fullstendig opp. I tabellen under er det sammenlignet brennverdi av ulike materialer:

Tabell 11: Oversikt over brennverdien til ulike kjente energivarer. (47)

Materialer	Brennverdi (MJ/kg)	Tetthet (kg/m ³)
Bjørk	18,6	637
Gran	19,2	470
Furu	19,5	520
Treflis	6,8	160
Pellets	16,9	600-800
Bensin	43,9	740
Diesel	43,1	850
Hydrogen	119,9	70,8 (væskeform)
Kull	28,1	700-1100
Bio-oljer (rapsolje)	37,0	910
Parafin	43,1	800

Tabell 11 viser hvor mye mer energi som frigjøres i for eksempel bensin sammenlignet med ulike tresorter. Her kan en for eksempel se på egenskapene til tresortene bjørk, furu og gran som er de mest utbredte sortene i Norge.

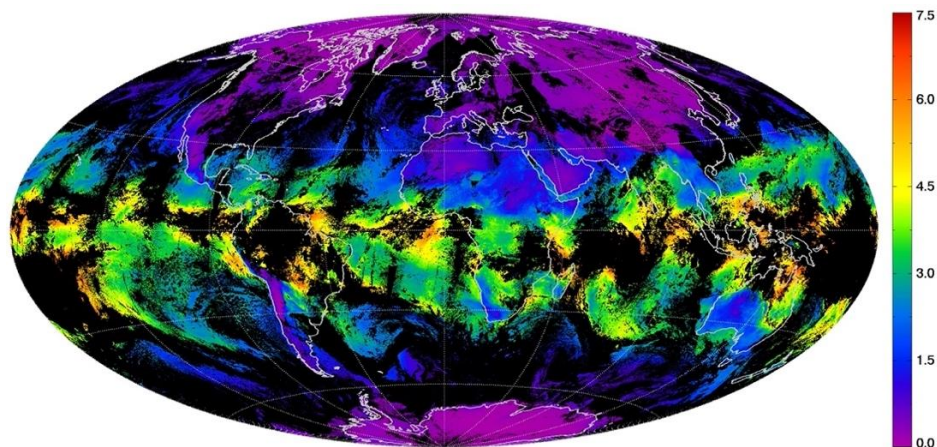
Ved å benytte furu som brensel vil forbrenningen frigi mest energi, men sammenlignet med bjørk vil en trenge større mengder for å oppnå samme energiutvinning, grunnet tettheten til tresorten. Dette er faktorer som vil være hensiktsmessig å ta til vurdering ved valg av brensel, i tillegg til hvilken form brenselet kommer i, om det er flis, pellets eller ved.

Bioenergi kan produseres på forskjellige måter, i tillegg til direkte forbrenning finnes det tre andre metoder.

- *Gassifisering* er en termokjemisk prosess som involverer oppvarming av fast biomasse opp til 1000 grader. Prosessen gjør om massen til en syntesegass som består av en blanding av metan, hydrogen, karbonmonoksid, karbondioksid og nitrogen. Denne gassen kan videre brukes direkte til varme eller kraftformål.
- *Pyrolyse* er en prosess som kan ligne på gassifisering. Det fungerer på samme måte at biomassen varmes opp, men med lite tilgang på oksygen. Produktet av denne prosessen er biomasse i fast, flytende eller gassform. Et eksempel er biokull.
- *Anaerob nedbrytning* er biologisk nedbrytning av biomassen i et oksygenfritt miljø. Dette er naturlige prosesser som skjer i sumper eller søppelfyllinger. (48)

4.1.3 Vanndamp

Vanndamp er gassfasen til vann og er en del av vannets kretsløp på jorden. Vann fordamper og blir til vanndamp, som deretter kondenserer til vann igjen. Vanndamp er en usynlig gass, som kun blir synlig dersom det skjer en kondensasjon. Dampen står for den største delen av jordens naturlige drivhuseffekt. Kretsløpet til vannet på jorden holdes i gang av atmosfæren og dette gjøres ved at det kun kan være en gitt mengde vanndamp i luften til enhver tid. Hvor mye vanndamp som kan være i luften samtidig bestemmes av temperaturen og trykket. Figur 17 viser hvor mye vanndamp (estimert) som kan være i atmosfæren på en gang.



Figur 17: Oversikt over hvor og hvor mye vanndamp som kan være i luften av gangen, på verdensbasis. Verdiaksen til høyre gir en oversikt over hvor mye vanndamp som befinner seg hvor. (49)

Vandamp er også ansvarlig for de ulike værphenomenene, som lyn og orkaner. Lyn dannes ved at skyer skaper statisk elektrisitet i atmosfæren. Hvor mye statisk elektrisitet en sky kan holde på avhenger av hvor mye vandamp som er i skyen. Vandampen fungerer også som en isolator i skyene slik at de ikke blir utladet. Skyene kan dermed fortsette å generere statisk elektrisitet.

Vandamp benyttes ofte som et varmebærende element i dampindustrien. Den kan både benyttes til varmetekniske produksjonsformål og til tekniske apparater i hjemmet. Vandamp har og en del fordeler over andre type gasser, da det er en klar sammenheng mellom metningstrykk og temperatur. Denne sammenhengen gjør det mulig å kontrollere temperaturen ved hjelp av trykkregulering, noe som gjør at vandamp kan benyttes på mange forskjellige områder.

Vandamp kan benyttes i alle temperaturer, den kan overopphetes og produsere høye trykk slik at dampen kan benyttes i turbinanlegg.

Vandamp har gjennom historien blitt benyttet i industri og transport, ved utviklingen av dampmaskiner. Disse maskinene fungerer ved at vann blir opphetet til damp under trykk, denne dampen virker på et stempel og setter det i bevegelse. I moderne tid benyttes vandamp til å produsere strøm ved hjelp av dampturbiner. De ulike systemene som benytter seg av damp sees nærmere på senere i kapitlet. (49–51)

4.1.4 Varme og varmekonvertering

Termodynamikk

Termodynamikk omfatter den delen av fysikken som omhandler varme, arbeid, energi og sammenhengen mellom disse. Termodynamikk kan deles inn i «klassisk termodynamikk» og «statistisk termodynamikk». Den klassiske termodynamikken baserer seg på to ubeviselige hovedsetninger, mens den statistiske termodynamikken mener at alle stoffer er bygd opp av atomer og molekyler. (52)

Den klassiske termodynamikkens hovedsetninger er som følger:

1. Energi kan ikke oppstå eller forsvinne, men bare overføres fra en form til en annen.

Termodynamikkens første lov omtales ofte som energiloven og kan uttrykkes matematisk som:

$$\Delta U = \Delta Q + \Delta W$$

Prinsippet om energibevaringsloven ble først etablert av Herman von Helmholtz og Rudolf Clausius, to tyske fysikere som levde på 1800-tallet. Energibevaringsloven handler om at energi i et system kan utveksles med omgivelsene i form av arbeid (W) eller varme (Q). Som vist i den matematiske formelen over, sier energiloven at ved å tilføre en varmemengde (ΔQ), vil denne være lik summen av endring i indre energi (ΔU) og arbeidet som blir utført (ΔW). (53)

2. Entropien³ S , kan aldri minke for en spontan prosess, det er dermed umulig at entropien reduseres i et isolert system.

Termodynamikkens andre lov sier at hvis systemet blir tilført varme, vil endingen av entropien alltid tilfredsstillende ulikheten. Termodynamikkens andre lov kan uttrykkes matematisk med følgende ulikhet:

$$\Delta S \geq \frac{\Delta Q}{T}$$

I ulikheten er ΔS endring i entropi, ΔQ endring i varme og T er temperaturen til systemet. Det matematiske uttrykket kalles også Clausius ulikhet, etter Rudolf Clausius kom frem til den på midten av 1800-tallet.

I isolerte systemer er $\Delta Q = 0$, dette fører til at entropien i systemet aldri kan avta. Den kan derimot være ved en konstant maksimal verdi $\Delta S = 0$. (54,55)

Varmekapasitet

Varmekapasiteten til et stoff er varmen som trengs for at temperaturen til stoffet skal øke med 1 kelvin. Varmekapasiteten er også et mål som sier noe om hvor mye energi en kan tilføre et stoff, for å oppnå en viss temperatur. Den sier også noe om hvor stor økning i temperatur et stoff kan få når det blir utsatt for en gitt mengde energi.

Varmekapasiteten til et stoff er definert ved formelen:

$$C = \frac{\Delta q}{\Delta T}$$

Der Δq er den tilførte varmen, ΔT er endringen i temperaturen og C er Varmekapasiteten. (56)

Spesifikk varmekapasitet

Varmekapasitet har sammenheng med massen til stoffet. Desto større masse stoffet har, jo større varmekapasitet vil enheten ha. Det er derfor aktuelt med et uttrykk for varmekapasitet, der en tar hensyn til massen i kilogram.

Den spesifikke varmekapasiteten er derfor definert som:

$$C_m = \frac{C}{m}$$

Der C er varmekapasiteten og m er massen til stoffet. (56,57)

³ Entropi beskriver hvordan varme kan omgjøres til nyttig arbeid. Et eksempel på økende entropi er is som smelter i et vannglass.

Molar varmekapasitet

Det er også mulig å uttrykke varmekapasitet på molekylært nivå ved å benytte materialkonstanter for å finne varmekapasiteten uavhengig av mengde stoff. Varmekapasitet med hensyn på materialkonstanten er definert som:

$$C_n = \frac{C}{n}$$

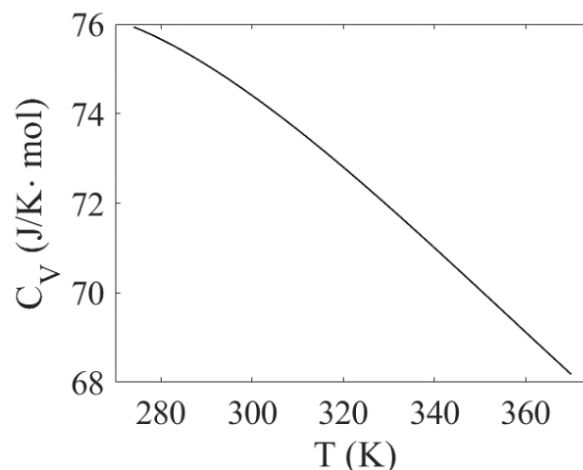
Der C er varmekapasiteten og n er antall mol stoffet består av. (56)

Varmekapasiteten til gasser

Varmekapasiteten til en gass bestemmes av hvor mye varme som tilføres et system som står under konstant trykk eller volum. Molar varmekapasitet ved konstant trykk uttrykkes med C_p , mens konstant volum uttrykkes med C_v . (56)

Varmekapasiteten til væsker

Varmekapasiteten til væsker er vanskelige å beregne, dette er fordi molekylene hverken er frie (som i gass), eller arrangert i en fast struktur (som i et fast stoff). Varmekapasiteten til væsker blir oftest målt under trykk ettersom det er enklere å holde de i et fast stadium mens temperaturen varierer. Den molare varmekapasiteten til en væske, avtar ofte med temperaturen, som er relatert til væskens viskositet. Når temperaturen blir høyere, blir væsken mer tyntflytende og molekylene blir dermed mer mobile og en får derfor høyere varmekapasitet. Når temperaturen synker, vil det motsatte skje. Dette kan sees på Figur 18. (56)



Figur 18: Figuren viser den molare varmekapasiteten til vann (C_v) som funksjon av temperatur(T). (56)

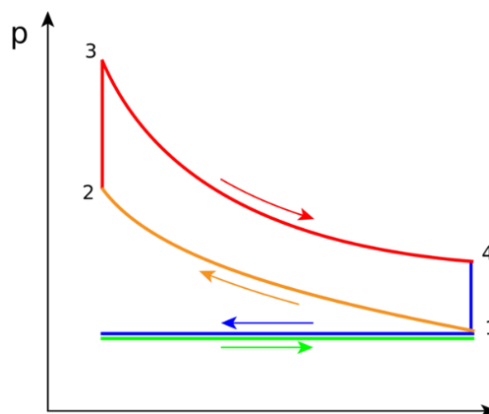
4.1.5 Energisykluser

Termodynamisk syklus

En termodynamisk syklus består av en rekke forskjellige sammenkoblede termodynamiske prosesser. Syklusen skjer i et lukket system, der variabler som trykk, volum og temperatur endres gjennom prosessen. En termodynamisk prosess returnerer alltid til utgangspunktet, hvor den kan begynne syklusen på nytt. Under blir det sett på ulike sykluser som er aktuelle for dette prosjektet. (58,59)

Otto-syklus

Otto-syklusen er en termodynamisk prosess som beskriver hvordan en intern forbrenningsmotor fungerer. Det er denne prosessen som er mest brukt i moderne 4-takers bensin- og dieselmotorer. Otto-syklusen beskriver hva som skjer med en gass når den blir utsatt for endringer i temperatur, trykk og volum når varme blir tilsatt og fjernet fra prosessen. Et trykk/volum-diagram kan sees under på Figur 19, som består av fire prosesser.



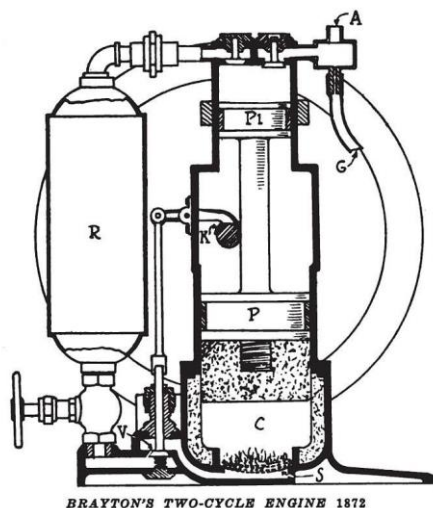
Figur 19: Figuren viser et trykk/volum-diagram av idealprosessen i en Otto-syklus. (60)

Prosessene i en Otto-syklus er som følger:

- Prosess 0-1: Luft dras inn i forbrenningskammeret.
- Prosess 1-2: En adiabatisk kompresjon av luften skjer når stempelen beveger seg oppover i sylinderhuset.
- Prosess 2-3: En konstant volum-varmeoverføring til luften fra en ekstern kilde (bensin) skjer mens stempelen er i øvre posisjon. Det er i denne prosessen bensinen og luften antennes.
- Prosess 3-4: En adiabatisk ekspansjon skjer.
- Prosess 4-1: Fullføring av syklusen og overskuddsvarme fjernes fra systemet. Stempelen er nå i bunnsposisjon. (60)

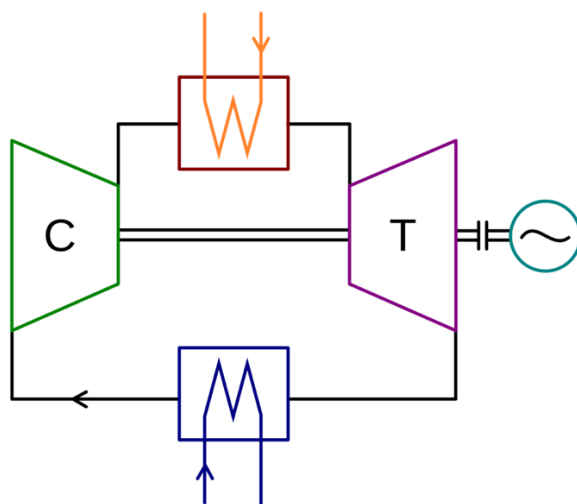
Brayton-syklus

Brayton-syklusen er en termodynamisk syklus som beskriver hvordan varmemotorer fungerer. Denne type motorer benytter luft eller en annen gass for å fungere. De originale Brayton-motorene er stempelmotorer som består av en kompresjons-side og en ekspansjon-side, men moderne gassturbiner og jetmotorer følger også samme prinsipp. Syklusen er oppkalt etter George Brayton, en amerikansk ingeniør og den blir oftest benyttet som en åpen syklus. På figuren under sees prinsippet av en Brayton-motor.



Figur 20: Illustrasjon av en to-syklus Brayton motor, lagd av George Brayton. (61)

Brayton-syklusen kan også benyttes i en lukket syklus der arbeidsluften resirkuleres i systemet. Luften som kommer ut fra turbinen blir sendt gjennom en lav-temperaturs varmeveksler, før den reintroduseres i kompressoren. Videre går den gjennom en høy-temperaturs varmeveksler før den igjen havner i turbinen. En skjematisk illustrasjon av den lukkede prosessen kan sees under på Figur 21.(61)



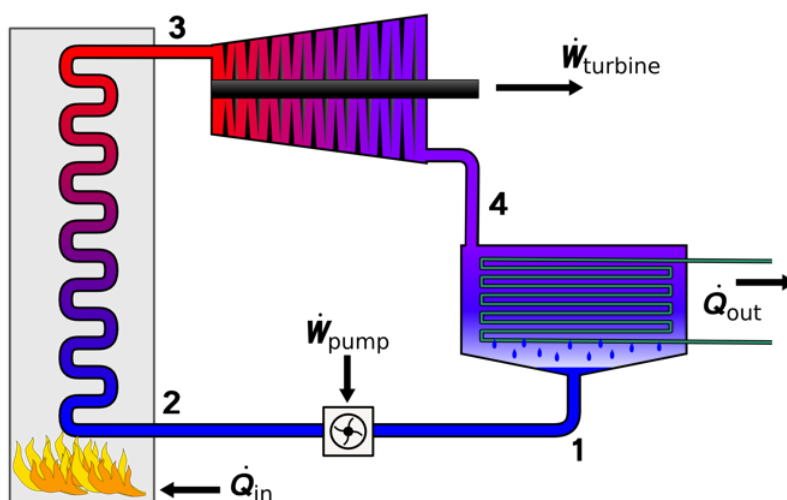
Figur 21: Skjematisk illustrasjon av en lukket Brayton-syklus. C = kompressor, T = turbin, W = høy-temperaturs varmeveksler og M = lav-temperaturs varmeveksler. (61)

Rankine-syklus

Rankine-syklusen er en idealprosess i et varmesystem som omdanner varme til mekanisk arbeid. Prosessen er oppkalt etter den skotske professoren William John Macquorn Rankine. Disse varmesystemene kan for eksempel være dampturbiner og dampmotorer. Syklusen skjer i en lukket krets, der det blir tilført varme utenfra ved hjelp av en ekstern forbrenningsmotor. Dette skjer ofte ved hjelp av en dampkjele der vann blir omformet til overopphetet damp, som deretter blir sendt inn i arbeidssystemet.

Etter at dampen har gått gjennom turbinen og utført arbeidet, blir den sendt inn i en kondensator der dampen kondenseres til vann. Til slutt blir vannet pumpet inn i dampkjele eller starten av systemet hvor prosessen kan begynne på nytt.

Rankine-syklusen er den vanligste syklusen for å omdanne varme til elektrisk energi. Prosessen benyttes oftest i kull og kjernekraftverk. Prosessen kan sees under på Figur 22. (62,63)



Figur 22: Skjematisk fremstilling av hvordan rankine-syklusen fungerer. Vann varmes opp til damp som går inn i en turbin, dampen kondenseres før en pumpe driver den inn i en dampkjele slik at prosessen kan gjenta seg. (63)

4.2 Tilgrensende teknologiløsninger

I dette delkapittelet drøftes relevante teknologiløsninger som vil egne seg til energisystem-konseptet. Dermed skapes en oversikt over hvilke teknologiløsninger som kan benyttes for et optimalisert system, tilpasset de betingelsene og utfordringene som er satt.

4.2.1 Forbrenningsmetoder

Gass

Gass kan benyttes som oppvarmingskilde ved at den brennes. Når gass brennes oppnås det høy temperatur på kort tid og forbrenningen er samtidig fullstendig som gjør at det ikke utvikles røyk. I tillegg danner forbrenning av gass mindre karbondioksid en forbrenning av kull og olje. Det å brenne gass for oppvarming er både billig og enkelt. (64)

En gassbrenner fungerer ved at gass og luft blandes i en dyse, hvor blandingen videre blir antent av en ekstern flammekilde (fyrstikk, lighter eller en gnist). Under på Figur 23 sees det et eksempel på hvordan en gassbrenner for oppvarming fungerer.



Figur 23: Enhet som viser hvordan forbrenning av gass kan skje. (65)

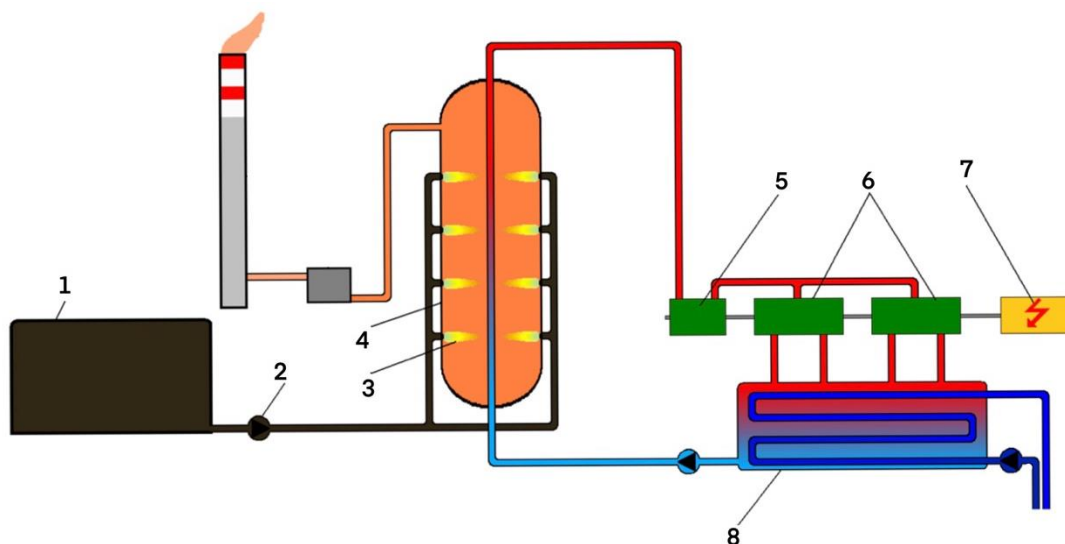
Gassbrenneren fungerer ved at gassen og luft blandes i et forbrenningskammer, der den blir antent. Samtidig som gassen brenner i brennkammeret blåses det kald luft utenfra over en varmeveksler. Varmen fra forbeningen overføres dermed til den friske luften gjennom varmeveksleren og varm luft pumpes videre ut i varmeanlegget. (65)

Olje

Olje kan i noen tilfeller benyttes til fying, der det brukes destillasjons- eller restprodukter fra raffineringen av råolje. En oljebrenner skal sikre god og effektiv blanding av luft og olje slik at forbrenningen blir fullstendig. Det å fyre med olje er i utgangspunktet svært miljøbelastende og

forbrenningen må derfor kontrolleres nøye. På bakgrunn av dette er det forbudt å fyre med olje både privat og offentlig.

Et oljefyringsanlegg kan ha ulike utforminger, på Figur 24 vises det hvordan olje kan fyres med for å produsere strøm.



Figur 24: Illustrasjon av hvordan et oljefyringsanlegg kan se ut. Anlegget benytter olje for å produsere strøm. Tallene viser komponentene i systemet: 1-oljetank, 2-pumpe, 3-brenner, 4-brennkammer, 5 og 6-trubin, 7-generator og 8-kondensator. (66)

Olje brennes hovedsakelig på to ulike måter, ved hjelp av en fordampingsbrenner eller en forstøvingsbrenner.

Forstøvingsbrennere

For store varmebehov brukes forstøvingsbrennere. Denne forbrenningsmetoden benyttes i alt fra små sentralvarmeanlegg til store kraftverk. I forstøvingsbrennere forstøves oljen til små dråper, før den deretter blandet med luft og blir antent. Forstøving er en prosess der en væske blir presset gjennom en dyse slik at den blir omgjort til små dråper, dette skjer ved hjelp av et trykk i motsatt ende av dysen.

Fordampingsbrennere

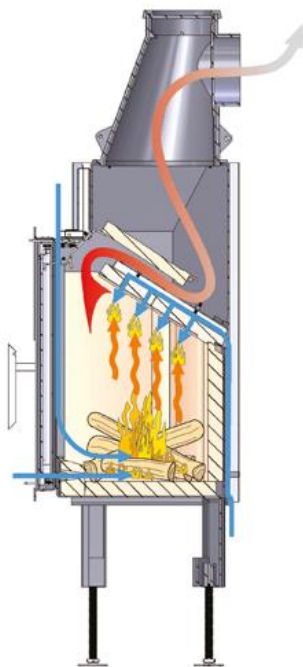
For små varmebehov kan fordampingsbrennere benyttes. Denne type brenner kan deles opp i to ulike kategorier: skallbrennere og pottebrennere. Forbrenningen skjer ved at oljen fordampes og blandes med luft før den antennes. I disse brenneriene benyttes lett fyringsolje eller parafin. (66,67)

Biobrensel

Vedfyring

Det å fyre med ved er en svært enkel og trygg måte å varme opp hus og hytter på. En vedovn fungerer ved å ha et enkelt brennkammer, som sørger for tilstrekkelig lufttilgang slik at en kontrollert forbrenning kan skje. Moderne vedovner utnytter opp mot 80 prosent av energien fra veden, i motsetning til gamle ovner der denne prosenten betydelig lavere. En optimal forbrenning av ved skjer i temperaturintervallet 600-800 °C, der det fyres jevnlig med tilstrekkelig ved for å sikre fullstendig utnyttelse.

Rentbrennende vedovner er ovner som utnytter avgassene etter primærforbrenningen. Det dannes da en sekundærforbrenning, ved hjelp av luft som ofte er forvarmet. På Figur 25 er det illustrert hvordan den sekundære luften kommer inn i bakkant av brennkammeret, hvor den så blandes med avgassene fra den opprinnelige forbrenningen og en sekundærforbrennings skjer. (68)

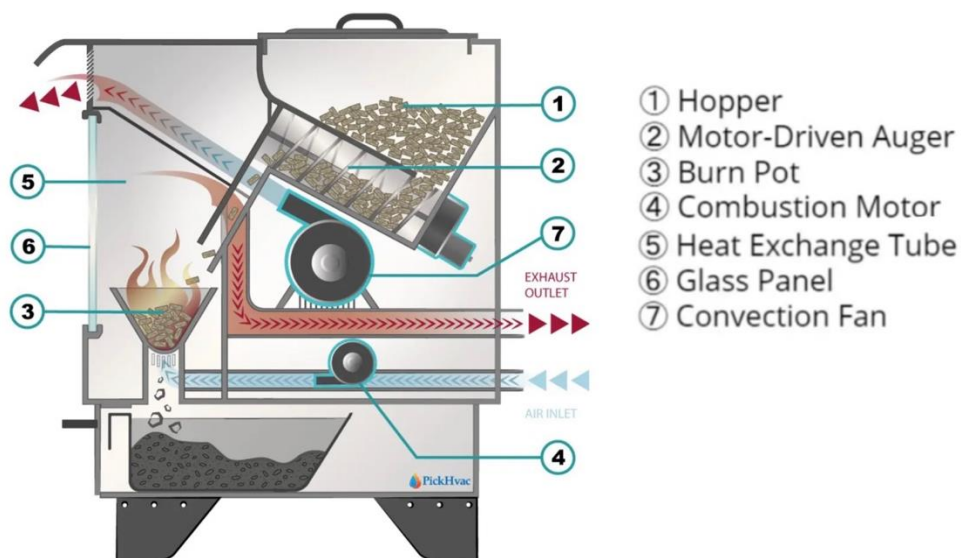


Figur 25: Illustrasjon av hvordan en rentbrennende ovn fungerer. Der blå piler er kald luft og rød pil er avgasser fra forbrenningen. (69)

Flis og pellets

Pellets er tørr flis som er presset sammen til små sylindrer med en diameter på opp til 8 millimeter. Den høye tettheten gjør at pellets har god brennverdi og ved bruk av pelletskaminer kan opp mot 90 prosent av energien utnyttes. I tillegg vil pellets gi enda lavere partikkelutslipp enn vedfyring.

Fyring med pellets vil være en av de rimeligste fyringsalternativene og gjør muligheten for enkel automatisk fyring, der matesystemer står for en jevn og kontrollert varmeutvikling aktuell. Ulempen ved pelletsovn er at de krever elektrisitet når brenselet skal antennes. Ovnene kan derfor ikke benyttes dersom strømmen blir borte, eller det ikke finnes tilgang i utgangspunktet.



Figur 26: Skjematisk fremstilling av hvordan en pelletsovn er oppbygd. Blå pil viser kald luft og rød pil viser avgasser fra forbrenningen. (70)

Figur 26 viser hvordan en pelletsovn fungerer. Pellets lagres i et separat område og mates kontinuerlig inn i et brennkammer. En jevn strøm med luft tilføres ved hjelp av en vifte og holder forbrenningen i gang. Videre drives den overopphetede luften ut og varmer opp rommet, mens avfallsgassene sendes ut gjennom pipen. Systemet fungerer på en relativ enkel og oversiktlig måte. Det krever også lite overvåking og vedlikehold og et slik system vil egne seg godt i dette prosjektet. (70)

4.2.2 Dampsystemer

En dampkjele er et system som produserer damp ved å varme opp vann. Den varmer opp vannet ved å brenne ulike typer brensel eller benytte elektriske varmeelementer. En dampkjele kan også beskrives som en varmeveksler, som produserer damp. Dampen som produseres kan brukes til utvendige applikasjoner.

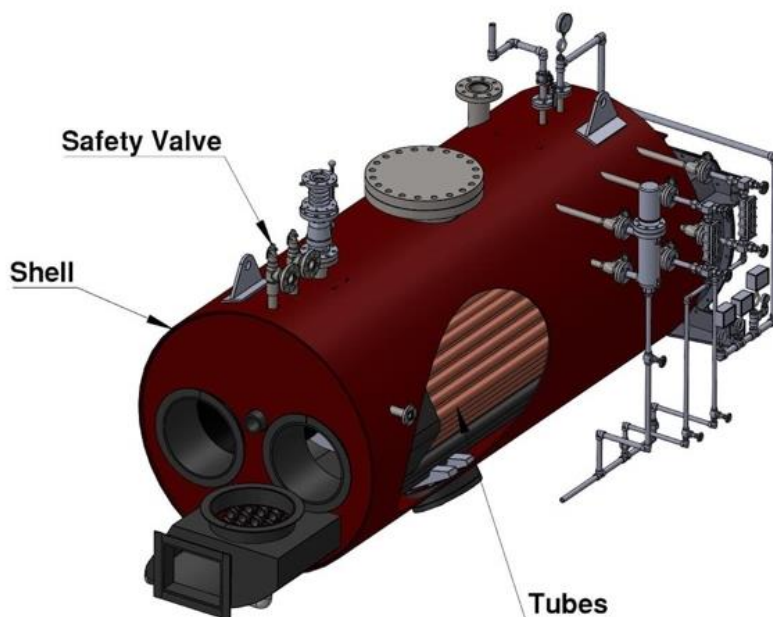
Etter at dampen har blitt brukt til ønsket formål, returneres den til kjelen med lavere temperatur, der den varmes opp på ny. Dampkjeler kan variere fra små og kompakte systemer, til store anlegg. Det finnes en rekke ulike dampkjeler og det skal derfor sees på de mest aktuelle anvendelsene for prosjektet.

Dampkjeler blir definert etter en rekke faktorer, der konstruksjon, type brensel og trykket de produserer er essensielt. Moderne dampkjeler er også preget av en rekke sikkerhets-tiltak, noe en ikke hadde da de først ble introdusert.

Ut ifra hvor og hva dampkjelen skal brukes til vil ulike brenselstyper og størrelser benyttes. Den største forskjellen her er miljøvennlighet og effektiviteten til systemet. (71)

Varmtvanns-kjele

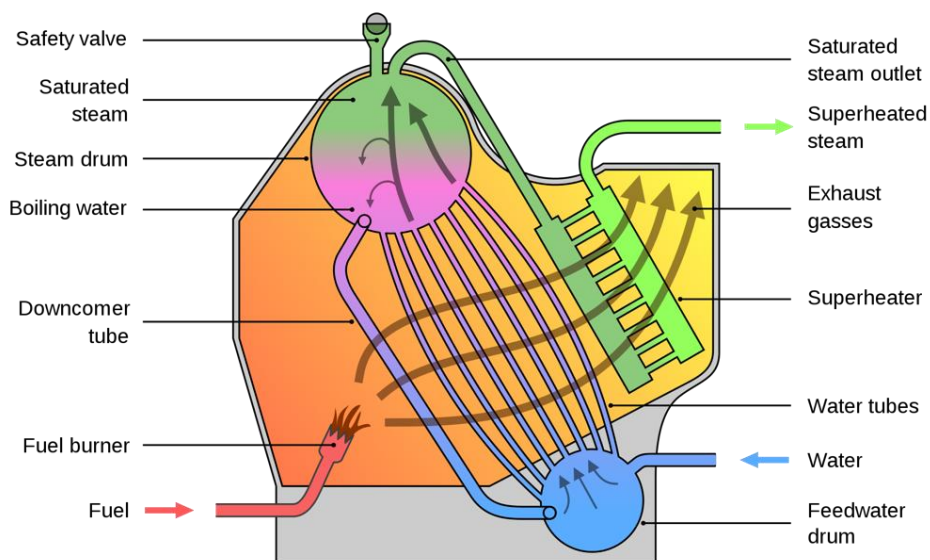
Varmtvannskjeler fungerer omtrent som en vanlig varmtvannstank, der en tank blir fylt med vann. Gjennom tanken går det så en rekke rør som sørger for å drive avgassene fra forbrenningsområdet ut til pipen. Når avgassene går gjennom rørene skjer det en varmeoverføring til vannet, som fører kjelen produserer damp. Figur 27 viser hvordan en varmtvannskjele kan se ut.



Figur 27: Illustrasjon av hvordan en varmtvannskjele kan se ut. (71)

Vannrørs-kjeler

I vannrørskjeler passerer det rør gjennom et brennkammer, i disse rørene går det vann. Varmen som frembringes av forbrenningen varmer rørene, noe som fører til vannet bli omgjort til damp. Denne kjeletypen produserer overopphetet damp med svært høyt trykk. (72) Overopphetet damp er damp som har en høyere temperatur enn kokepunktet med et gitt trykk. Denne type dampkjele benyttes ofte sammen med dampturbiner fordi den overopphetedede dampen er svært tørr. Dersom dampen skulle være våt ville turbinbladene ta skade av vanndråpene.



Figur 28: Illustrasjon av oppbygningen av en vannrørskjele. (73)

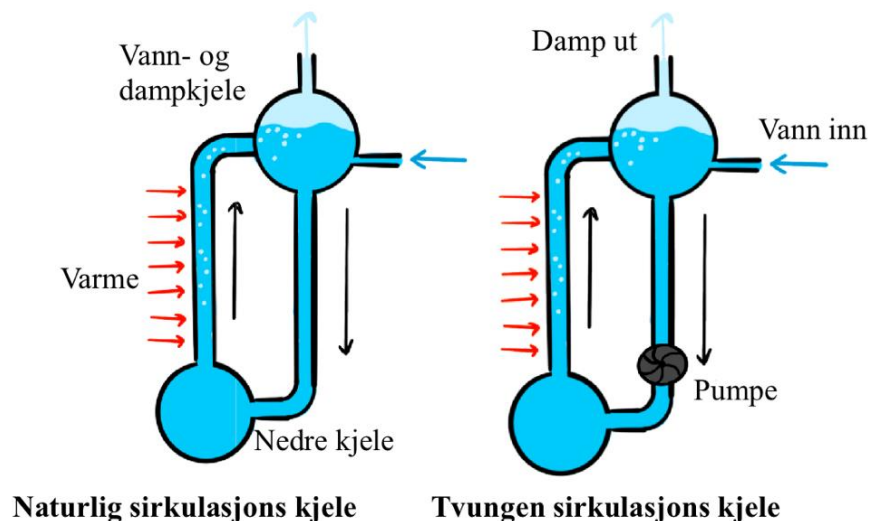
Figur 28 viser hvordan vannrørskjele-systemet fungerer. Systemet består i hovedsak av to tanker som er koblet sammen med rør. I den nederste tanken er det et vannreservoar og den øvre er et dampreservoar. Vannet stiger oppover fra vannreservoaret til dampreservoaret når vannet øker i temperatur. Når det kommer opp til den øvre tanken vil det ha nådd kokepunktet og den mettede dampen⁴ som skapes sendes videre til overopphetings-enheten⁵. I denne enheten blir den mettede dampen gjort om til overopphetet damp, som videre kan brukes til å drive dampmaskiner. Det varme vannet som ikke gjøres om til mettet damp, returneres til vannreservoaret ved hjelp av et større returrør. (73–75)

Tvungen sirkulasjonskjele

En såkalt tvungen sirkulasjonskjele er et system som fungerer på samme måte som en ordinær sirkulasjonskjele, men som benytter et pumpe-system til å sirkulere vannet gjennom kjelen. I en vanlig sirkulasjonskjele er sirkulasjonen av vannet avhengig av differensialtrykket, som er forårsaket av endringen av tetthet i vannet når det varmes opp. En tvungen sirkulasjonskjele sørger for at vannet tvinges gjennom uten å vente på temperaturforskjell. Vann tvinges gjennom stålrørene i et hyppigere tempo og på denne måten er systemet i stand til å produsere damp mye raskere enn en naturlig sirkulasjonskjele.

⁴ Mettet damp er damp med metningstrykk, maksimal tetthet og trykk ved en gitt temperatur. (74)

⁵ En overopphetingsenhet er en enhet som omgjør mettet damp til overopphetet damp.

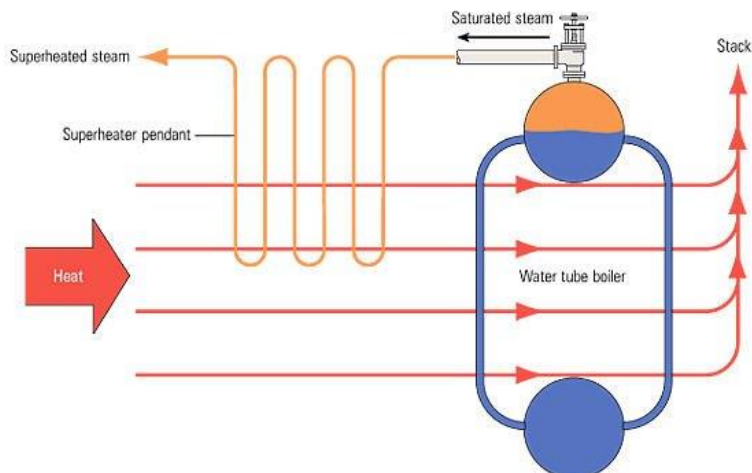


Figur 29: Illustrasjon av en naturlig og en tvungen sirkulasjonskjele. Forskjellen mellom systemene kan sees på høyre tegning, der en pumpe sørger for tvungen sirkulasjon. (F&H.

Andre fordeler ved en slik løsning er at det skapes mer formfrihet til systemet, da damprørene kan bygges der det ønskes ettersom den tvungne sirkulasjonen sikrer flyt dit det trengs. Rørene i systemet kan i tillegg ha tynnere vegger, siden det ikke vil oppstå like stort trykk som i en ordinær vannrørskjele. Systemet kan dermed være mindre, lettere og sørge for raskere varmeoverføring. De negative sidene til et slik system er at det krever flere komponenter, da pumpen ofte fører med seg flere komponenter eller styringsenheter.. I tillegg vil en slik løsning kreve mer strøm og konstant tilgang på vann. (76)

4.2.3 Overoppheter

En overoppheter i et dampsystem er i og for seg en varmeveksler, som benyttes for å omgjøre mettet damp til overopphetet damp. Overoppheterer benyttes i dampsystemer der tørr damp trengs for å drive en turbin eller en annen form for dampmotor. En slik type damp benyttes ofte for å øke levetiden på komponentene i systemet, ettersom det ikke er noe vann i dampen. Vanndråper under trykk kan gjøre store skader, særlig på turbinblader. Det finnes flere ulike overoppheterer, der radiant og konveksjon er de mest aktuelle. En radiant overoppheter er en enhet som befinner seg i direkte kontakt med brenselsflammen, mens konveksjonsenheten får varmen sin fra avgassene til forbrenningen. En konveksjons-overoppheter sitter som oftest i pipeløpet i en dampkjele. Figur 30 på neste side viser skjematisk hvordan en overoppheter benyttes i et dampsystem. (75)

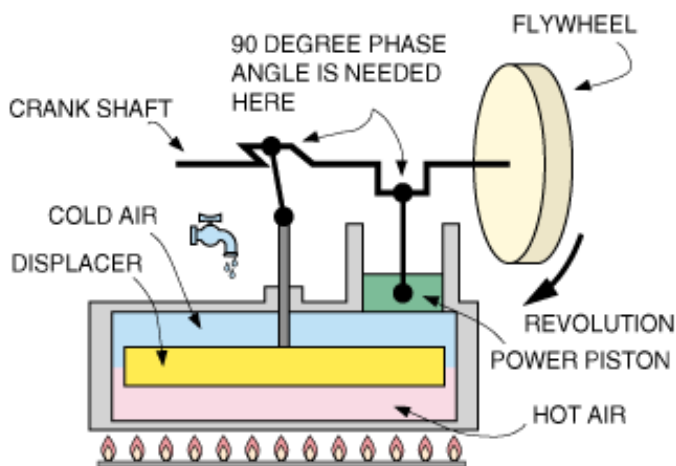


Figur 30: Skjematisk oversikt over et dampsystem med overopphetingsenhet. (77)

4.2.4 Varmesystemer (Stirling)

En Stirling-motor er et lukket regenererende system, som benytter ekstern varme for å drive de indre komponentene til motoren. Et lukket system i dette tilfellet betyr at det er et termodynamisk system der arbeidsgassen forblir i systemet til enhver tid. I Stirling-motorer blir en gass varmet opp fra en utvendig energikilde, som fører til at gassen utvider seg. Denne siden kalles den varme siden av motoren. Gassen blir så flyttet til et annet sted i motoren, der den komprimeres og kjøles ned. Denne siden av motoren kalles den kalde siden. Videre flytter stempelet på riktig tidspunkt, gassen mot den varme siden av motoren og stempelet drar samtidig ut mekanisk energi. Gassen som har blitt brukt i prosessen går tilbake til der den startet, for å bli brukt på nytt.

Stirling-motorer har ofte regeneratore, dette er varmevekslere som beholder og resirkulerer mye av den varmen som er igjen i systemet etter endt syklus. Under på Figur 31 er det illustrert hvordan en Stirling-motor kan se ut. (78,79)

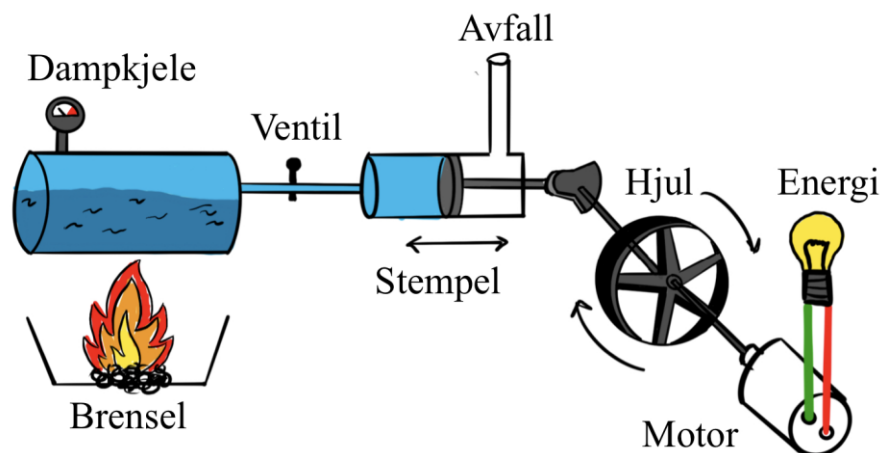


Figur 31: Illustrasjon av hvordan en stirlingmotor er bygd opp.(78)

Stempelsystemer

En dampmotor er en motortype som benytter varme og trykk fra damp, for å utføre mekanisk arbeid. Dampmotoren benytter kraften i den varme dampen til å dytte et stempel i en sylindereblokk. Kraften som påføres stempelet overføres ofte til en roterende kraft ved hjelp av en rekke veivstenger, til en veivaksling som gir en roterende bevegelse. En dampmotor er avhengig av ekstern forbrenning for å fungere, de omtales derfor som eksterne forbrenningsmotorer. Historisk sett har dampmotoren vært svært sentrale i oppgaven med å modernisere industrien. De ble benyttet i skip, traktorer, fabrikker og tog. Fordelen med en slik dampmotor er at de generer et stort moment, som gjorde det mulig å drive blant annet tungt landbruk, samt tog- og skipsvirksomhet. I dag benyttes det svært sjeldent dampmotorer, da virkningsgraden er lav i forhold til interne forbrenningsmotorer som benytter bensin og diesel.

På Figur 32 er det illustrert hvordan et stempelsystem er bygd opp og fungerer.



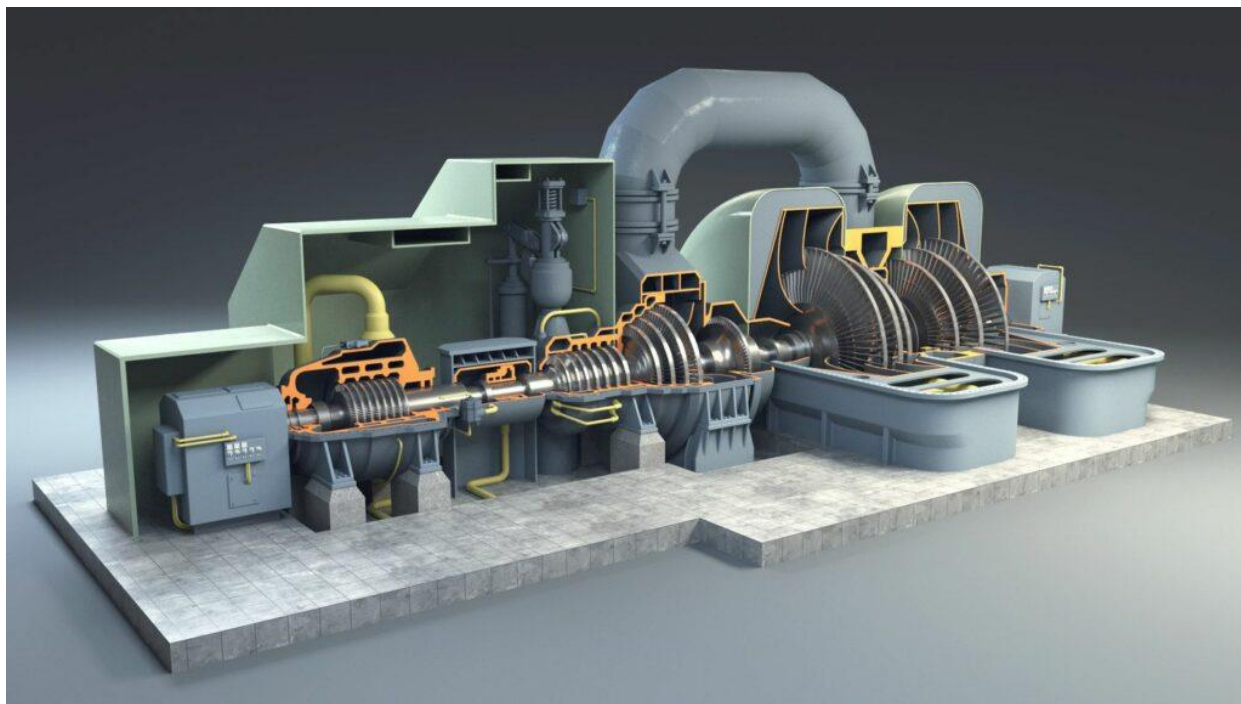
Figur 32: Figuren viser en dampmaskin der dampen fra kjelen entrer sylinderen gjennom ventilen, stempelet presses dermed fremover. Dette skaper rotasjon på hjulet som videre kan drive en generator og produsere strøm. (F&H)

I en dampmotor sirkuleres ofte vanddampen og vannet i en lukket krets, slik at en slipper å kontinuerlig fylle vann for å drive motoren. Det er naturlig med noe tap i form av lekkasjer i dampsystemet, noe som fører til at etterfylling må skje på et tidspunkt. Prosessen er en ideell termodynamisk syklus som kalles Clausius-Rankine-prosessen. I syklusen blir vann varmet opp til damp under trykk i en dampkjele. Videre benyttes den varme dampen til å drive en dampmotor eller en dampturbin, slik at mekanisk arbeid skapes. Etter at arbeidet har blitt utført, har trykket og temperaturen til dampen falt går dampen videre inn i en kondensator som gjør den om til vann. Vannet går tilbake i dampkjelen hvor prosessen kan begynne på nytt. (80–82)

4.2.5 Turbinsystemer

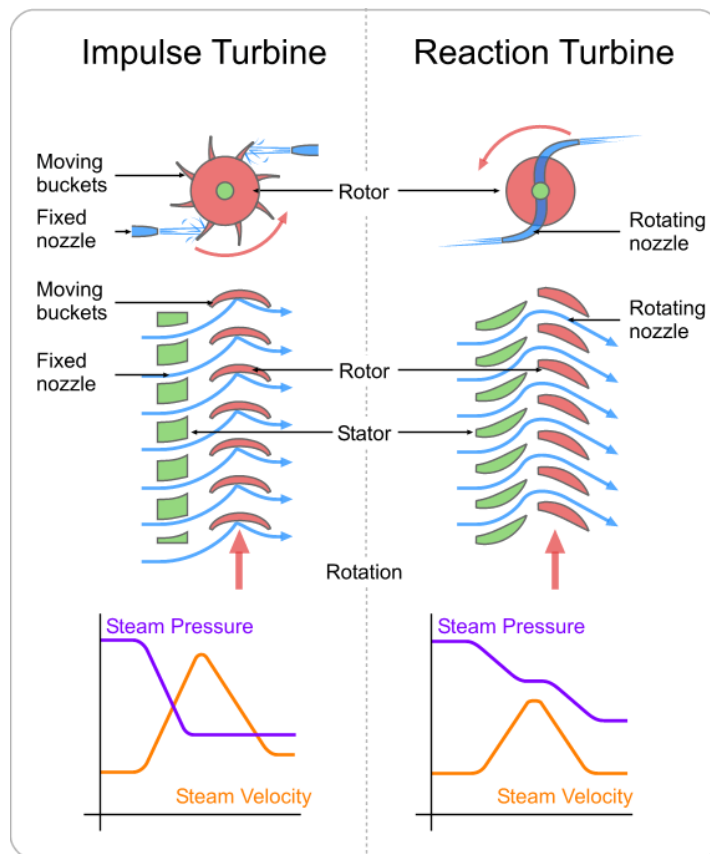
Den moderne dampturbinen vi kjenner i dag ble oppfunnet i 1884 av Charles Parsons. Han bygde den første turbin-modellen og koblet det opp mot en dynamo som sammen kunne generere 7,5 kilowatt strøm. Dampturbinen til Parsons viste seg å være enkel å oppskalere og ble derfor en sentral løsning i de fleste kraftverk. Gjennom Parsons levetid ble systemet oppskalert med en faktor på titusen. Senere har det blitt utviklet andre varianter av dampturbiner, som kan generere strøm fra mindre enn 0,75 kW til 1500 MW. (83)

En dampturbin er en mekanisk innretning som isolerer termisk energi i form av overopphetet damp og gjør det om til mekanisk energi. Innretningen benytter damp til å danne roterende krefter, som videre kan benyttes til å produsere strøm. Det finnes en rekke ulike dampturbiner til ulik bruk og mange forskjellige produsenter. Under skal det sees på noen turbinsystemer. Figur 33 viser hvordan en dampturbin kan se ut.



Figur 33: Figuren viser en dampturbin med både høy- og lavtrykksdel, samt generator. (84)

Dampturbiner klassifiseres i ulike kategorier etter faktorer som konstruksjon, størrelse og arbeidstrykk. I bunn er det hovedsakelig to forskjellige typer dampturbiner, disse kalles impulssturbiner og reaksjonsturbiner. Moderne dampturbiner benytter ofte begge turbin typene i et system. I tillegg til de to hovedtypene finnes det undertyper som er basert på impuls- og reaksjonsturbiner. Videre finnes det også flere forskjellige konfigurasjoner, alt etter bruksområde. Hovedforskjellen på de to turbinsystemene beskrives på neste side og er illustrert på Figur 34.



Figur 34: Skjematisk fremstilling og forklaring av impuls- og reaksjonsturbiner. (85)

Impulsturbiner

I impulsturbiner blir den overopphetedede dampen skutt ut av fastmonterte dyser mot turbinbladene. Når dampen blir skutt ut av dysene, ekspanderer den, dette gjør at mesteparten av energien i dampen blir omgjort til kinetisk energi. Den overopphetedede dampen treffer så turbinbladene, slik at det påføres krefter på sammenstillingen. Dette gjør så at turbinakslingen begynner å rotere. I impulsturbiner kan det være flere fastmonterte dyser, for å gi større effekt i turbinen.

Hovedtrekket til denne type turbin er trykkfallet mellom hvert stadium⁶. Dette fører til at turbinbladenes størrelse må økes betraktelig utover i rotor-sammenstillingen. Ettersom det er et høyt trykkfall mellom stadiene brukes mye av den potensielle energien opp svært fort. Dersom større blader brukes, kan færre stadier bli tatt i bruk og en mindre innretning trengs for å utnytte energien i den overopphetedede dampen. Dette gjelder derimot ikke for dampturbiner som skal levere lavere effekter. Her benyttes mindre blader i flere stadier. Dette skal øke effektiviteten ved lavere rotasjonshastigheter.

⁶ Et stadium i en dampturbin består av en rotor og en stator.

Reaksjonsturbiner

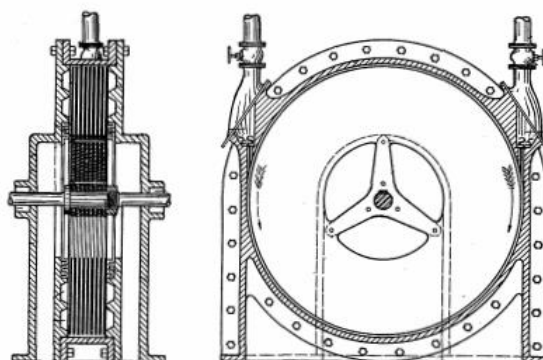
I reaksjonsturbiner blir dampen skutt ut av dysene på rotorbladene, som så omgjør den potensielle energien i den overopphetede dampen til kinetisk energi. Dampen påfører så krefter på den roterende delen av turbinen og turbinen vil rotere.

Etter denne prosessen har skjedd i et stadium⁷ vil temperaturen og trykket til dampen synke, som gjenspeiler arbeidet som har blitt utført på den bevegelige delen av turbinen. I reaksjonsturbiner skjer det et lavt trykkfall mellom hvert stadium og dampen kan derfor benyttes i flere like rotortrinn. Reaksjonsturbiner er lettdrevne og trenger lavere arbeidstrykk enn impulsturbiner. Ettersom det kreves lavere arbeidstrykk kan denne type gasturbin være mindre enn impulsturbiner, grunnet mindre turbinblader.

Dampen som er igjen etter høytrykkstadiet i en impulsturbin sendes ofte inn i en reaksjonsturbin, for å utnytte all energien i dampen. Om reaksjonsturbiner skal benyttes til å produsere strøm, vil det kreves omtrent dobbel så mange stadier i turbinen, som i en impulsturbin. Dette gjør reaksjonsturbinen større og tyngre enn impulsturbinen, men i gjengjeld vil den være mer effektiv med lik termisk overføring. (84–88)

Tesla-turbin

En Tesla-turbin er en bladløs turbin som består av flere sirkulære skiver som sitter inntil hverandre. Turbinen drives av grenselagseffekten⁸, og turbinotypen kan også betegnes som en grenselagsturbin.



Figur 35: En Tesla-turbin med flere parallellmonterte skiver og flere fastmonterte dyser. (89)

Som vist i Figur 35 består Tesla-turbinen av flere skiver som er montert i en parallell konfigurasjon, en senter-aksel og én eller flere fastmonterte dyser.

⁷ En dampturbin består av rotor og statorer i et forseglet kammer. Rotoren er den delen med turbinblader som roterer, mens statorer er den delen av turbinene som står stille.

⁸ Et grenselag er det væske eller gasslaget som ligger nærmest en fast overflate i forbindelse med strømming av stoffet. Grenselagseffekt er effekten som oppstår på bakgrunn av kraftoverføringen i grensesjiktet.

Disse dysene tilfører turbinen væske eller gass under trykk ved skivenes ytre radie. Væsken eller gassen presses så inn mellom de parallellmonterte skivene og drar de med seg rundt.

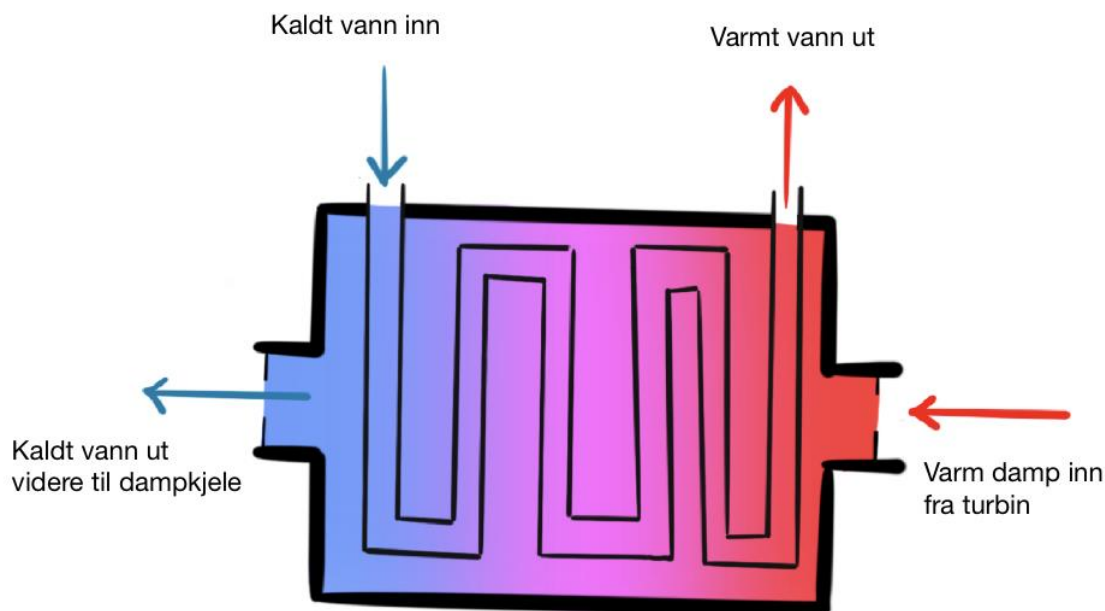
Tesla-turbiner opererer med en svært høy hastighet, som fører til at turbinen må være nøye produsert og balansert om ikke det skal oppstå store oscillasjoner. Turbin-skivene bør også være svært tynne, samtidig som liten klaring mellom dem ønskes.

Videre må skivene ha høy overflatenøyaktighet for å oppnå størst mulig energioverføring. Dette er fordi energioverføringen avhenger av skivens overflate-glatthet, jo finere overflate skivene har desto høyere energioverføring har de. (89,90)

4.2.6 Kondensator

Jobben til en kondensator er å gjøre om damp til væske ved bruk av avkjølt vann eller kald luft. Kondensatorer kan lages på mange ulike måter og størrelser, fra små enheter til store industrianlegg. Kondensatorer benyttes i systemer som har med varmeutvikling å gjøre, der typiske eksempler er varmekraftverk og varmeanlegg.

Figuren under viser damp som føres inn i en kondensator, der det strømmet kaldt kjølevann i en rekke rør. Når den varme dampen kommer i kontakt med disse rørene vil det skapes en varmeoverføring, der dampens temperatur reduseres og kjølevannet vil oppvarmes. Når dampen får en temperatur under hundre grader, vil den kondensere og bli til vann.



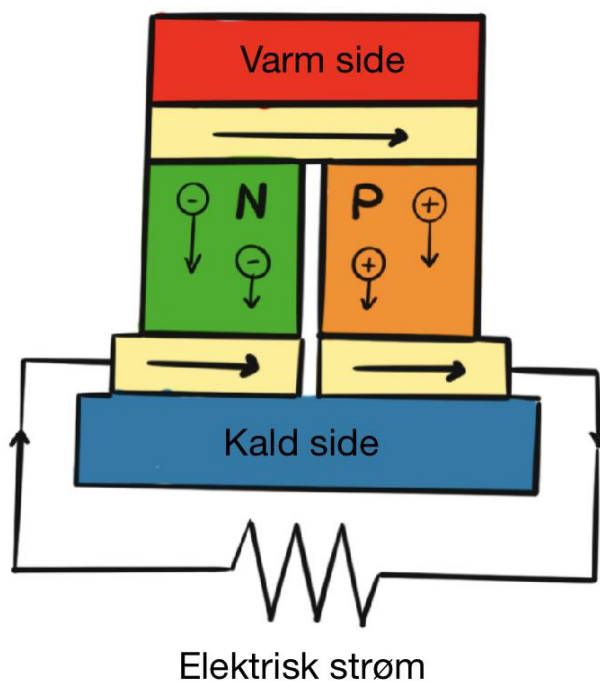
Figur 36: Illustrasjon av en overflatekondensator, der varm damp entrer på høyre side, blir kjølt ned av kjølevann og forlater kondensatoren som vann. (F&H)

Det finnes forskjellige måter å gjøre damp om til væske på, der de to vanligste metodene er ved bruk av overflatekondensatorer eller blandingskondensatorer. Figur 36 viser oppbygningen av en overflatekondensator, som utelukkende brukes i turbinsystemer. (91,92)

4.2.7 Termoelektriske elementer

Termoelektriske elementer er elementer som genererer strøm ved å utnytte temperaturforskjeller. For å få til dette benyttes to elementer laget av dopede halvledere, altså en negativt ladet elementtype med et overskudd av elektroner og en side med et underskudd av elektroner.

Når den ene siden av det termoelektriske materialet holdes mot en varmekilde, skapes det mer elektron-bevegelser på den varme siden enn den kalde. Denne ubalansen gir to motsatte elektriske felt som vil gi grunnlaget til å skape elektrisk strøm.



Figur 37: Prinsippskisse av et termisk element, der kald og varm side vises. (F&H)

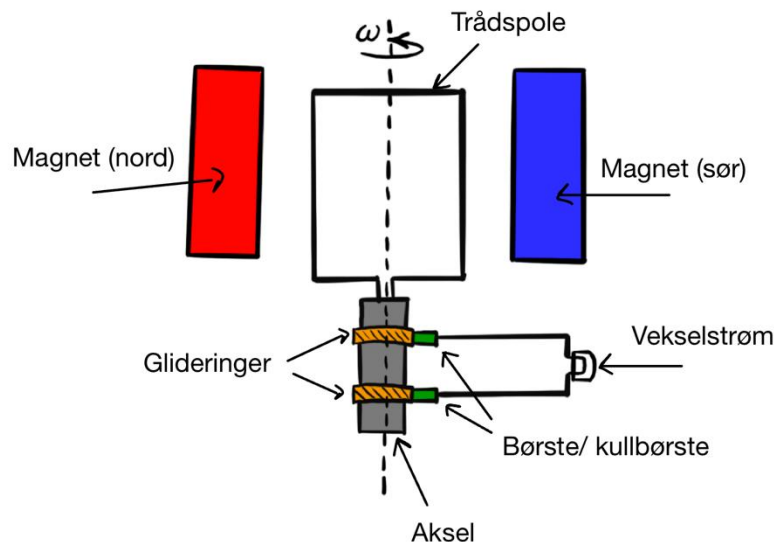
Figuren ovenfor viser kald og varm side, og elementene som befinner seg mellom. Disse termoelektriske cellene fungerer, men i microskala. Selv om teknologien lenge har vært kjent, er dette fortsatt et område der det foregår mye forskning og utvikling for å systemene til å fungere i større skala. (93)

4.2.8 Generator

En generator er en innretning som omdanner mekanisk energi til elektrisitet. Denne innretningen kan sees på som motor med motsatt effekt, der motoren lader batterier istedenfor å bruke strøm. Den første elektriske generatoren ble oppfunnet av den engelske forskeren Michael Faraday i 1831, der oppdagelsen av induksjon var sentralt for utviklingen av generatoren.

Generatorene bygger på prinsippet om elektromagnetisk induksjon, som sier at et skiftende magnetfelt i en trådspole vil skape elektrisk strøm. En generator består hovedsakelig av en roterende komponent kalt en rotor, som vil være festet til en ekstern energikilde, og en stasjonær komponent kalt stator som huser feltviklingen som setter opp et magnetisk felt. Rotoren roterer i det magnetiske feltet i statoren og skaper endringer i det magnetiske feltet, som igjen skaper strøm. (94,95)

Generatorer kan deles inn i to hovedgrupper, likestrøms-generatorer og vekselstrøm-generatorer, der hovedforskjellen er hva slags strømtype som kommer ut av generatoren. Figuren nedenfor illustrerer hvordan rotasjonen fra turbinen skaper et skiftende magnetfelt i trådspolen og skaper strøm.



Figur 38: Illustrasjon over oppbygningen av en generator, med beskrivelser av de ulike komponentene. (F&H)

4.3 Andre tilleggssystemer

Tidligere i kapittelet har det blitt sett på en rekke tekniske løsninger som kan være aktuelle for prosjektet. For at energisystemet skal fungere trengs det også andre tilleggssystemer, dette sees nærmere på i de kommende del-kapitlene.

4.3.1 Avfallsgasser og forbrenning

Biobrensel som ved, flis og pellets inneholder lite skadelige stoffer, derfor vil rensing av avfallsgassene først og fremst dreie seg om å redusere uønskede partikler. Her finnes det en rekke forurensningsforskrifter for regulering av utslipp, der de vanligste tiltakene er elektrofilter, tekstilfilter og multisyklonanlegg. I kapittel 27 i forbrenningsforskriften beskrives utslippskrav til biobrenselanlegg over 1 MW. For anlegg under 1 MW stilles det ingen spesielle krav, da det kun tas enkle grep for å redusere uønsket utslipp. Dermed vil det ikke være nødvendig å ta stilling til avfallsgassene fra dette systemet, da biobrenselet ikke inneholder skadelige stoffer og det ikke finnes regler og krav for anlegg på denne størrelsen. (96)

4.3.2 Askesystem

Når det organiske materiale har gjennomført en forbrennings-syklus vil det ligge igjen avfall i form av aske. Asken består av materialer som ikke er organiske i form av mineraler og kjemiske forbindelser, som kun vil ta opp plass i brennkammeret. For å optimalisere forbrenningsprosessen og gjøre plass til stadig nytt biobrensel, vil det være nødvendig å fjerne aksen. Samtidig er det fordelaktig at asken samles på ett sted, før det kastes.

Det ulike måter å brennkammeret rent, både manuelt og automatisk, der den enkleste og billigste metoden vil være å la tyngdekraften gjøre jobben. Her vil samme løsning som benyttes i de noen vedovner være godt egnet, der det benyttes en bunnplate med små hull som gjør at asken vil falle gjennom når brenselet har brent opp. På undersiden vil det deretter være en askesamler i form av en skuff som enkelt kan tømmes manuelt.

4.3.3 Sikkerhetsventiler

For å unngå overtrykk i dampkjelen vil det være nødvendig med sikkerhetsventiler. Slike ventiler er har en åpningsmekanisme som slipper ut overtrykk dersom det oppstår. Her finnes det en rekke ulike utforminger, men hovedprinsippet bygger på et lokk som holdes tett på plass ved hjelp av en vekt eller en fjær. Hvis dampkjelen overstiger et bestemt trykk, vil lokket bevege seg å åpne opp for overtrykket. Når trykket da har blitt redusert vil lokket automatisk lukke seg igjen.

4.3.4 Vannpumper

Vann vil være en veslig del av en systemet som dette, og vil kreve kontinuerlig sirkulasjon. Dampkjelen vil fordampe vann og frakte dampen ut i systemet, dermed vil det være nødvendig med etterfylling av vann slik at prosessen ikke stopper. Dampkjeler blir ofte bli utsatt for høyt trykk, som gjør at vann må pumpes inn i kjelen igjen for å kunne motstå dette trykket.

Vann vil også bli nødvendig som kjøleelement i for eksempel en kondensator. Dette vil kreve kontinuerlig gjennomstrømming av nytt kjølig vann, som vil drives av en pumpe. Samtidig vil det være høydeforskjeller i slike systemer som gjør det nødvendig med en pumpe for å transportere vann dit det skal.

4.3.5 Vann og damprør

For å kunne transportere damp og vann, vil det være nødvendig med et nettverk av rør. Her vil det være viktig å velge rør etter behov, der noen rør må tåle høye temperaturer mens andre ikke. Den overopphetede dampen vil ha en temperatur på over 300 grader, mens kjølevannet vil kun ha en temperatur rundt 10-20 grader.

4.3.6 Vifter

I energisystemet vil det være nødvendig med to ulike vifter med hver sin oppgave.

For å optimalisere forbrenningen vil det være hensiktsmessig med en vifte i pipen som setter fart på forbrenningen. Fordelen med god luftsirkulasjon er at forbrenningen blir mer stabil og rentbrennende, som fører til bedre utnyttelse av veden. En slik vifte vil også forebygge oppbygning av sot i brennkammer og pipe.

Den andre viften vil benyttes til utlufting og fjerning av varme og fuktighet i energisystemet. Majoriteten av komponentene vil produsere varme, der sirkulasjon av kald luft vil kjøle og tørke interne områder. Det kan også oppstå lekkasjer fra turbinen der fuktighet bør holdes unna de elektriske komponentene.

4.3.7 Batterier

Hovedfunksjonen til systemet er å skape strøm, derfor vil det være nødvendig med et lagringssted dersom produksjonen av strøm er høyere en behovet. I tillegg vil flere av komponentene som, vannpumpene og vifter kreve strøm for å fungere. Et par batterier kan sørger for korttidslagring av strøm, samtidig som de holder kritiske funksjoner i gang.

5 PRODUKTSPEISIFISERING

I produktspesifiseringen skal de viktigste egenskapene, med krav og tidlige fysiske mål, samt tekniske og økonomiske grenseverdier for produktet kartlegges og vurderes. Hensikten er å danne et godt grunnlag for riktige valg for utvikling, dimensjonering og utforming av konseptløsningene senere i prosessen. Samtidig skal kundens ønske og behov ivaretas på best mulig måte.

5.1 Produktmålsetting

Produktmålsettingen deles i to primære mål, hovedmål og delmål. Hovedmålet definerer det gruppen ønsker å oppnå med konseptet, mens delmålene er delt inn i underkategorier som sees på som viktige for utviklingen av konseptet.

5.1.1 Hovedmål

Følgende hovedmålsetting er definert for produktet (kunden og brukerens krav):

Hovedmålet for produktet er å produsere lokal strøm, ved å benytte lokale bioresurser. Produktet skal tilpasses slik at en kan benytte mange forskjellige resurser, alt etter brukerens behov og ønske. Systemløsningen skal være driftssikker, brukervennlig, flyttbar og det skal enkelt kunne kobles på andre moduler til systemet.

5.1.2 Delmål

Følgende delmål er definert for produktet:

Konstruksjons- og teknologidelmål:

- Konstruksjonen skal dimensjoneres med tilstrekkelige sikkerhetsfaktorer.
- Systemet skal være konstruert for å oppfylle krav fra standarder, lover og forskrifter.
- Systemløsningen skal være konstruert slik at den tåler å stå ute i forskjellige værforhold.
- Systemets mekaniske og elektroniske deler skal være driftssikre.

Brukermål:

- Systemet skal være brukervennlig og på den måten ikke kreve omfattende opplæring.
- Systemet skal enkelt kunne tilpasses kundens behov ved å introdusere ulike modulløsninger.
- Systemet skal være trygt å håndtere.

- Systemet skal være enkelt å transportere.

Designmål:

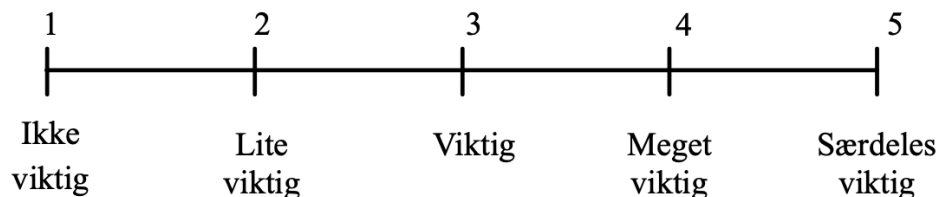
- Produktet skal designes etter prinsippet «Form Follows Function» (FFF).
- Produktet skal designes slik at det lett kan transporteres.
- Produktet skal ha et design som ivaretar krav fra relevante lover og forskrifter.
- Produktet skal designes slik at det er lett å bruke, samtidig som at rutinemessig vedlikehold enkelt kan utføres.

Økonomiske mål:

- Systemet skal designes slik at standardiserte deler kan benyttes.
- Systemet skal designes slik at produksjonskostnader kan holdes nede.
- Systemets størrelse skal være slik at det er kostnadseffektivt å transportere.
- Det skal være en god økonomisk investering å ta i bruk systemløsningen.

5.2 Rangering av viktige produktegenskaper

De viktigste produktegenskapene skal kartlegges ved hjelp av delmålene utarbeidet i forrige delkapittel. Delmålene presenteres sammen med utvalgte underkriterier i Tabell 12, hvor de videre blir rangert med Pugh's metodikk etter skalaen for poenggivning. Skalaen vises under på Figur 39 og Tabell 12 vises på neste side. Poengene strekker seg fra 1 til 5, der 1 er «ikke viktig» og 5 er «særdeles viktig». Den endelige rangeringen sørger for at de viktigste områdene blir fokusert på i design og utviklingsprosessen. (29)



Figur 39: Poengskala for å bestemme hvor viktige de ulike kriteriene er (omarbeidet etter (29)).

Tabell 12: Rangering av de ulike produkttegenskapene, der Pugh's metodikk er benyttet. (29)

Delmål	Kriterier	Poenggivning	Begrunnelse
Konstruksjon og teknologi	Funksjoner	3	Systemet skal tilby en rekke funksjoner gjennom en modulbasert løsning.
	Ergonomi	1	Delene som skal benyttes av bruker skal være ergonomisk tilpasset.
	Kompleksitet	3	Systemet skal ha lav kompleksitet for å sikre god levetid og redusere produksjonskostnader.
Bruker	Ulike løsninger	4	Systemet skal tilby flere ulike løsninger og funksjoner som kan kobles til ved hjelp av moduler.
	Størrelse	4	Størrelsen til systemet skal være slik at det lett kan transporteres. Det skal også være av en størrelse som gjør at det er enkelt i bruk.
	Vekt	3	Vekten til systemet skal være slik at det enkelt kan flyttes rundt på.
Design	Enkel i bruk	5	Designet skal være slik at det enkelt kan brukes av brukeren. Funksjonene skal være enkle og intuitive.
	FFF	2	Designet skal være preget av prinsippet «Form Follows Function». Designet til systemet bærer preg av funksjonene.
	Lover og forskrifter	5	Designet skal innfri lover og forskrifter slik at det er trygt i bruk.
Sikkerhet	Trygg i bruk	5	Systemet skal være trygt å bruke. Det skal dimensjoneres med gode sikkerhetsfaktorer.
	Vedlikehold	4	Vedlikehold av systemet skal holdes til et minimum.
	Lover og forskrifter	5	Systemet skal følge alle relevante lover og forskrifter.
Økonomi	Standardisering	4	For å sørge for at systemet enkelt kan repareres og være prisgunstig skal det benyttes standardiserte komponenter.
	Produksjonskostnader	4	Produksjonskostnadene skal holdes nede for å gi et prisgunstig produkt.

Tabell 12 forts.

Delmål	Kriterier	Poenggivning	Begrunnelse
Økonomi	Transport	4	Systemet skal være av en størrelse slik at det kan transporteres billig.
	Fordelaktig	5	Det skal være fordelaktig for bruker å kjøpe og bruke systemet.

5.3 Metriske grensespesifikasjoner og variasjonsbredde

For å bestemme de metriske grensespesifikasjonene blir markedsundersøkelsen tatt i betraktning, samtidig som produktet vil tilpasset etter hvor det skal plasseres.

Tabell 13: Oversikt over de metriske grensespesifikasjoner for systemløsningen.

Spesifikasjon	Min	Maks	Foretrukket	Enhet
Lengde	1000	1500	1200	mm
Høyde	200	1400	1200	mm
Bredde	500	1000	800	mm
Vekt	100	400	200	kg
Ytelse(nominell)	3	20	10	kW
Antall generatorer	1	3	1	-

5.4 Metriske grovspesifisering for produkttypen

Her skal de metriske grovspesifikasjonene for produkttypen bestemmes. Målene er kun en tidlig bestemmelse og det kan regnes med at de endres utover i konseptutviklingen. De metriske grovspesifikasjonene er basert på grensespesifikasjonene bestemt i forrige kapittel og vises under i Tabell 14.

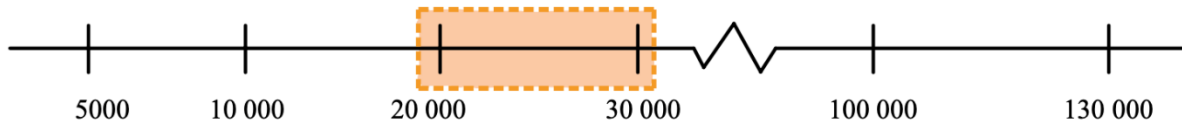
Tabell 14: Oversikt over de metriske grovspesifiseringene for energisystemet.

Indeks	Spesifikasjon	Dimensjon	Enhet
<i>L</i>	Lengde	1200	mm
<i>H</i>	Høyde	900	mm
<i>B</i>	Bredde	800	mm
<i>m</i>	Vekt	200	kg
<i>L</i>	Ytelse(nominell)	10	kW
<i>n</i>	Antall generatorer	1	-

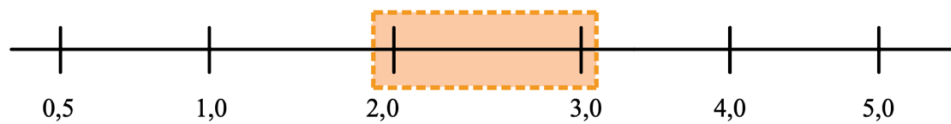
5.5 Tidlige kostnadsvurderinger

De tidlige kostnadsvurderingene handler om å estimere en aktuell utsalgspris på konseptet. Ettersom denne estimeringen kan være en utfordring, vil det være aktuelt å se på hvor konkurrerentene har prislågt seg. Konseptet vil derfor sammenlignes med de eksisterende løsningene funnet i den tidlige markedsundersøkelsen, som tilbyr samme effekt. Prisene på de konkurrerende løsningene blir brukt som utgangspunkt i estimeringen.

Det blir utført to forskjellige kostnadsvurderinger, en for utsalgspris og en for pris per kilowatt time. Figur 40 og Figur 41 viser illustrasjoner av prisspennet på ulike løsninger og prisspennet på strømmen. Prisområdene er markert i oransje, utsalgsprisen strekker seg fra ca. 20 000 til 30 000 kroner og strømprisen strekker seg fra 2 til 3 kroner per kWh.



Figur 40: Figuren viser en akse med aktuelt prisområde for kjøpesummen til energisystemet. (F&H)



Figur 41: Figuren viser en akse med aktuelt prisområde for krone per kWh. (F&H)

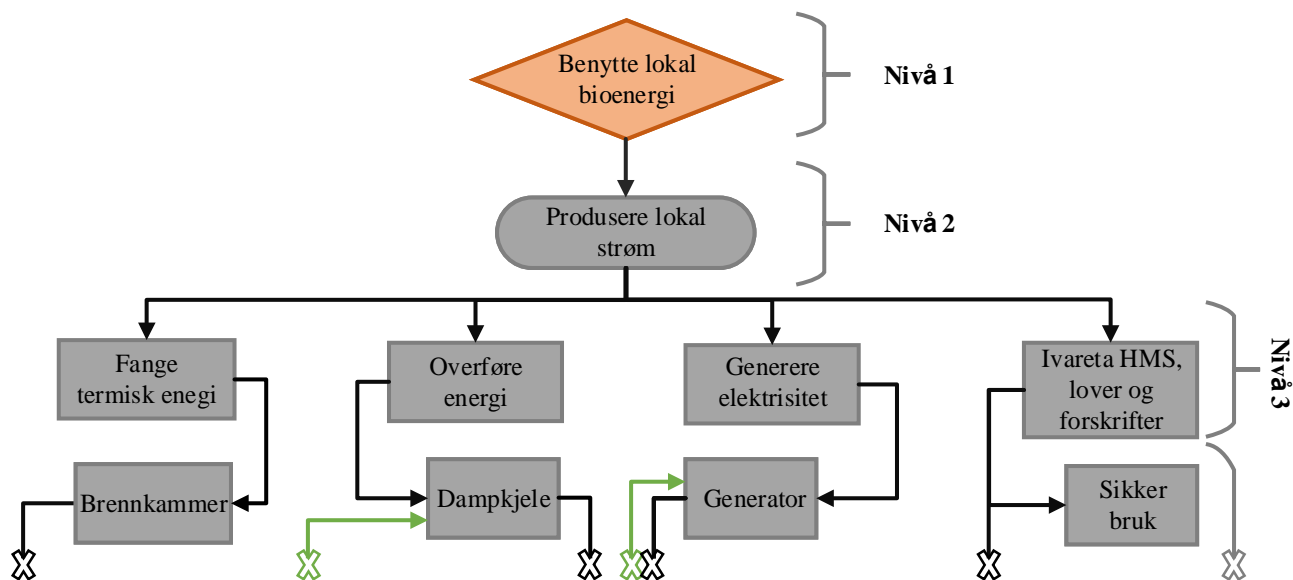
6 KONSEPTGENERERING

I denne delen av prosjektet skal det gjennomføres en konseptutviklingsprosess, slik at de mest fordelaktige løsningene og utformingene kan velges ut til videre utvikling. For å få en god oversikt over hvilke funksjoner som er sentrale må det gjennomføres en systematisk funksjonsanalyse for energisystemet. Denne analysen danner grunnlaget for den videre systemutviklingen, løsningselementene og hva som må til for å oppnå produktmålsettingen.

6.1 Funksjonsanalyse for produkttypen

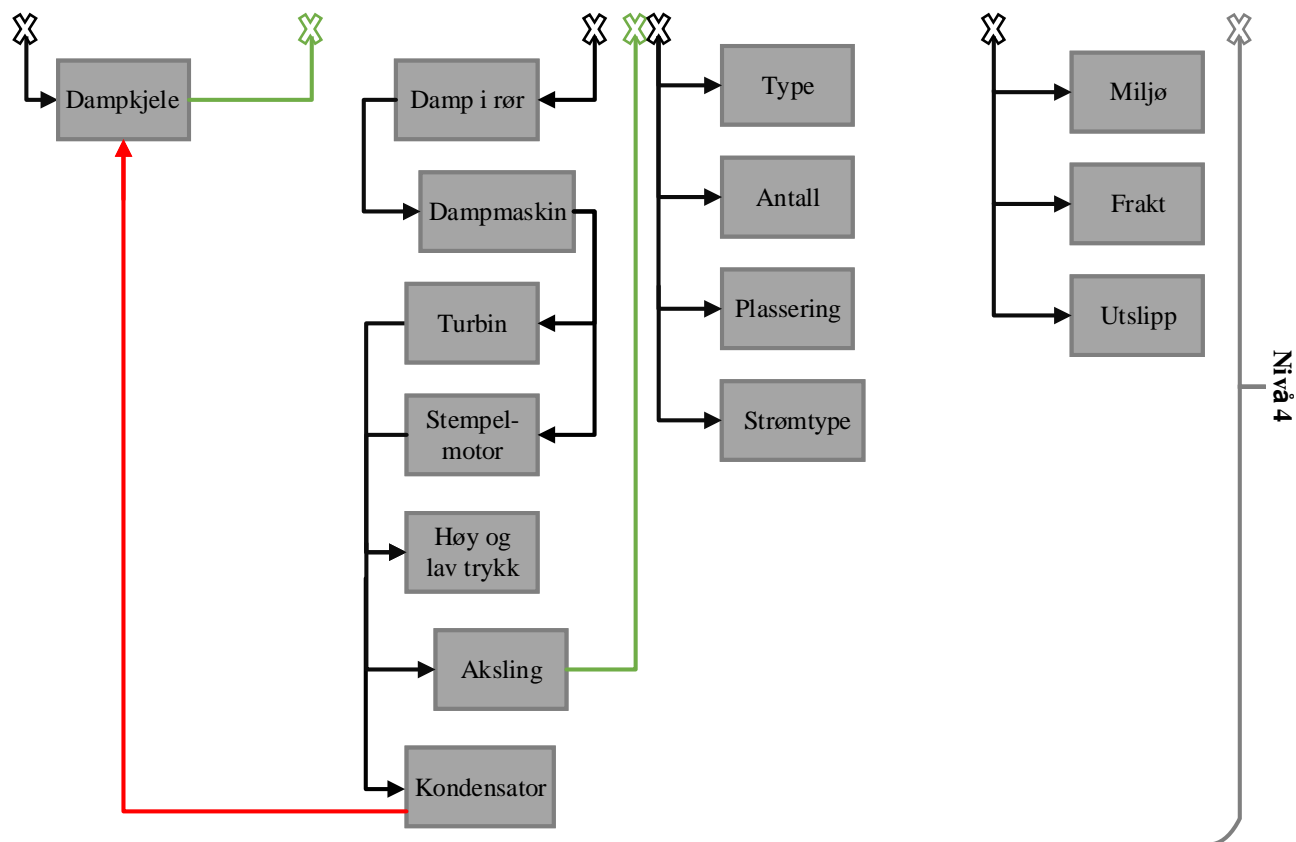
Funksjonsanalysen viser en oversikt over fokusområder som blir nødvendig for å få et fullverdig produkt. Analysen er delt inn i tre deler, nivå 1 viser hovedmålet, det vil si hva produktet gjør. Nivå 2 viser hvordan produktet gjør hovedmålet. Nivå 3 viser hvilke hovedelementer som må på plass for å oppnå et komplett og helhetlig produkt. Nivå 4 viser hvilke underelementer som må på plass for at nivå 3 skal være oppnådd.

Figuren under viser funksjonsanalysen for prosjektet, med en oversikt over fokusområdene. Diagrammet leses fra venstre til høyre. De grønne pilene viser sammenhengen mellom de ulike kolonnene/funksjonene, mens den røde pilen illustrerer hvordan dampsystemet lukkes.



Figur 42: Funksjonsanalyse av energisystemet. Kryssene viser at figuren fortsetter til, eller en prosess kommer fra neste figur. (F&H)

Figur 42 forts.



6.2 Funksjonsalternativer med evaluering

Funksjonsanalysen gir en oversikt over nødvendige funksjoner som må fungere og danner et godt grunnlag for videre idemyldring og utformingsmuligheter. I de neste del-kapitlene blir de mest relevante løsningene presentert i tabeller med forklarende skisser.

6.2.1 Brennkammer og type brensel

Tabell 15 vist på de to neste sidene viser ulike forslag til hva slags type brennkammer som kan benyttes i systemet, samt ulike type brensel. Her presenteres illustrasjoner av de ulike løsningene med beskrivelse, der fordeler og ulemper legges frem. Elementer som pris, tilgjengelighet og effektivitet er viktig å tenke på ved valg av løsning.

I sammenligningen vil det også være naturlig å se på forskjellige kombinasjoner av de ulike forslagene, for å få et mer allsidig energisystem. Dersom ulike utforminger og bruk av forskjellig brensel kan sammenføres i en løsning, vil brukervennligheten økes betraktelig.

Tabell 15: Oversikt over ulike løsninger til brennkammer og type brensel. (F&H)

Valg	Figur	Hva	Fordeler	Ulemper
A	<p>(F&H)</p>	Biogass	<ul style="list-style-type: none"> - Tar liten plass. - Kan enkelt justere effekten. - Brenner rent. - Soter ikke. 	<ul style="list-style-type: none"> - Dyrere enn ved. - Liten allmenn tilgang. - Egner seg best i større skala.
B	<p>(F&H)</p>	Bio-olje	<ul style="list-style-type: none"> - Tar lite plass - Effektivt - Soter ikke. 	<ul style="list-style-type: none"> - Trenger bearbeiding før bruk. - Begrense tilgang til allmennheten.

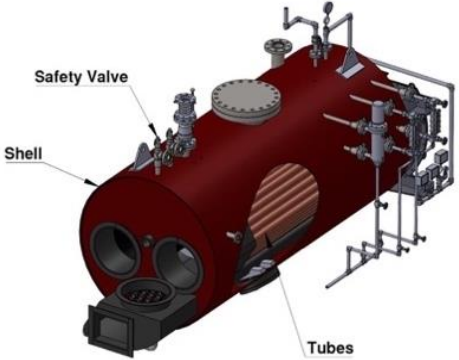
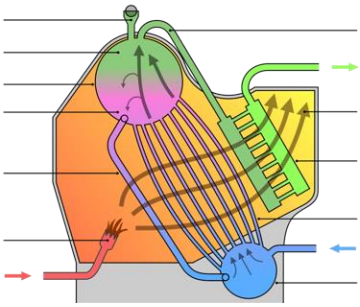
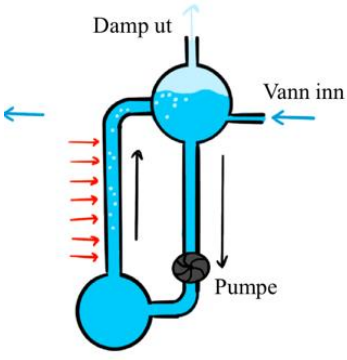
Tabell 15 forts.

Valg	Figur	Hva	Fordeler	Ulemper
C	<p>(F&H)</p>	Ved	<ul style="list-style-type: none"> - Trenger lite bearbeiding før bruk. - Godt tilgjengelig. - Billig 	<ul style="list-style-type: none"> - Tar stor lagringsplass. - Vil kreve større maskiner.
D	<p>(F&H)</p>	Pellets	<ul style="list-style-type: none"> - Tar mindre plass en ved. - Kan enkelt automatiseres. 	<ul style="list-style-type: none"> - Tar mer plass en olje og gass. - Krever bearbeiding før bruk.

6.2.2 Dampkjele

Tabell 16 gir en oversikt over de aktuelle dampkjelene som kan benyttes i energisystemet. Her vises illustrasjoner av de ulike anleggene med beskrivelse, fordeler og ulemper.

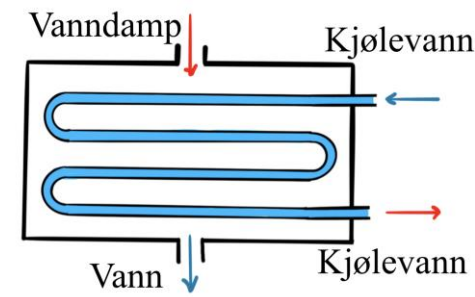
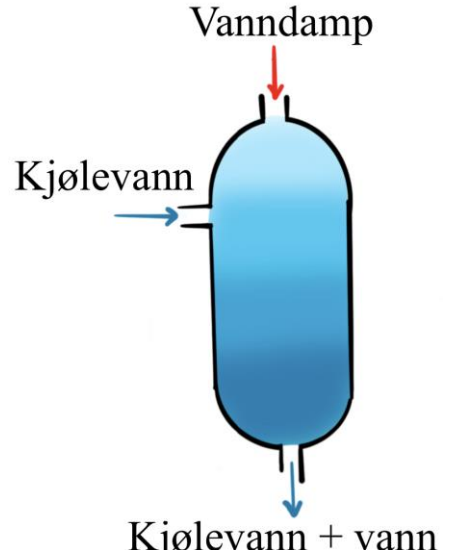
Tabell 16: Oversikt over ulike typer dampkjele, som kan benyttes i energisystemet.

Valg	Figur	Hva	Fordeler	Ulemper
A	 <p>(71)</p>	Varmtvannskjele	<ul style="list-style-type: none"> -Varmer opp store mengder vann. - Stort volum. 	<ul style="list-style-type: none"> - Trenger tilgang på mye varme for å produsere damp.
B	 <p>(73)</p>	Vannrørskjele	<ul style="list-style-type: none"> -Enkel produksjon av damp. - Effektiv - Kompakt 	<ul style="list-style-type: none"> - Lite volum vann.
C	 <p>Tvungen sirkulasjons kjele</p> <p>(F&H)</p>	Tvungen sirkulasjonskjele.	<ul style="list-style-type: none"> -Produserer damp raskere. - Formfrihet 	<ul style="list-style-type: none"> -Krever en ekstra vannpumpe. - Dyrere

6.2.3 Kondensator

Kondensatorens oppgave i energisystemet er å kondensere dampen som kommer ut av dampinnretningen til varmt vann, som så sendes inn i dampkjelen igjen for en ny syklus. Valg av type kondensator vil primært gjøres på grunnlag av tilgjengelighet, effektivitet og hvilken som egner seg teknisk best i systemet. Tabell 17 viser to ulike forslag til type kondensator som kan benyttes.

Tabell 17: Oversikt over ulike typer kondensatorer som kan benyttes i energisystemet.

Valg	Figur	Hva	Fordeler	Ulemper
A	 <p>(F&H)</p>	<i>Overflatekondensator</i>	-Kjølevannet vil ikke komme i kontakt med resten av dampen og vil dermed kunne sirkulere i sitt eget system.	- Vil bruke noe lenger tid på å kjøle ned dampen. - Dyrest
B	 <p>(F&H)</p>	<i>Blandingskondensator</i>	- Vil kjøles ned raskere enn overflatekondensatoren. - Billig og enkel.	- Må bruke egne systemer for innsprøytning . - Vil blande kjølevannet med vanndampen.

6.2.4 Termisk til mekanisk energi

Tabell 18 viser en oversikt over ulike forslag til utnytting av varme og overføring av den potensielle energien i varmen/dampen til mekanisk energi. Illustrasjoner av elementer, samt fordeler og ulemper er beskrevet.

Tabell 18: Forslag til systemer som gjør termisk energi om til mekanisk arbeid.

Valg	Figur	Beskrivelse	Fordeler	Ulemper
A	<p>(F&H)</p>	<i>Termiske celler</i>	<ul style="list-style-type: none"> -Kompakte systemer. - Kan plasseres på eksisterende løsninger. 	<ul style="list-style-type: none"> -Overfører små mengder energi.
B	<p>(97)</p>	<i>Turbin-systemer</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Mange løsninger. - Effektive systemer. -Kompakte systemer. - Høy energioverføring. 	<ul style="list-style-type: none"> -Krever høye arbeidstrykk og temperaturer.
C	<p>(98)</p>	<i>Stempel-systemer</i>	<ul style="list-style-type: none"> -Enkel løsning. - Billig å lage. - Lett vedlikehold. 	<ul style="list-style-type: none"> - Mindre effektiv enn turbin. - Kompleks

Tabell 18 forts.

Valg	Figur	Beskrivelse	Fordeler	Ulemper
D		<i>Varme-systemer</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Enkel - Få komponenter - Lite vedlikeholde 	<ul style="list-style-type: none"> - Mindre effektiv enn turbin.

6.2.5 Generator

For å skape elektrisitet må systemet ha en generator. Det finnes flere ulike generatore, både i størrelse, strømtype og effekt. Det er viktig å finne en generator som passer systemet og gir ønsket effekt ut. Tabell 19 viser en oversikt over mulige generatortyper som kan benyttes i energisystemet.

Tabell 19: Løsningsforslag for type generator til energisystemet.

Valg	Figur	Beskrivelse	Fordeler	Ulemper
A		<i>AC generator</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Vil produsere strøm i begge retninger. - Trenger lite vedlikehold. - Mindre energitap 	<ul style="list-style-type: none"> - Høyest kostnad.

Tabell 19 forts.

Valg	Figur	Beskrivelse	Fordeler	Ulemper
B	<p>(100)</p>	<i>DC generator</i>	-Kostandene er lave sammenlignet med en AC-generator.	-Vil kun produsere strøm i en retning. -Produsere lavere spenning enn AC generator.

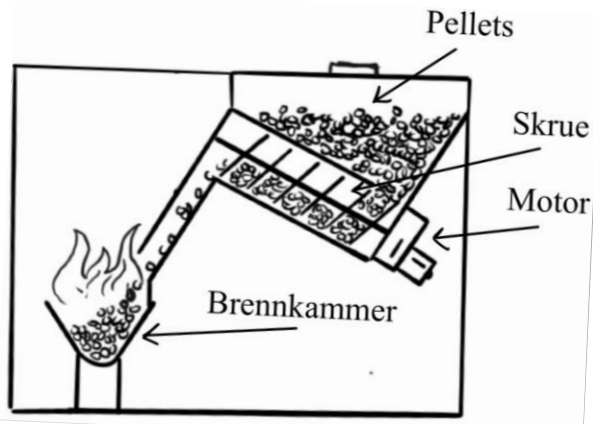
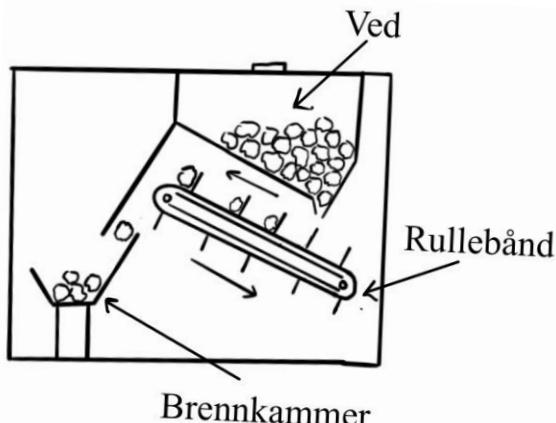
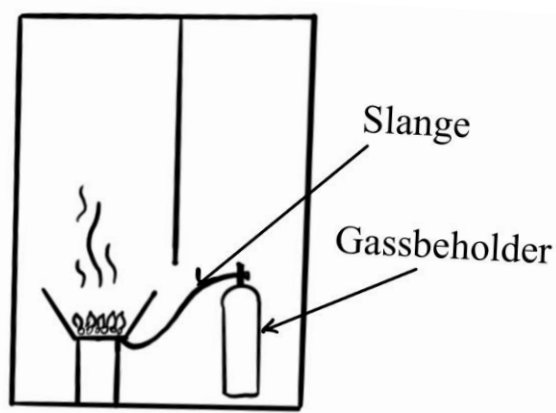
6.2.6 Matesystem

For å skape et energisystem som kontinuerlig produserer varme, vil det være hensiktsmessig med et automatisert system som mater brennkammeret med brensel. Det finnes mange måter å lage slike løsninger på, men her må systemet være tilpasset brenselet, om det er flis, olje, gass eller ved.

Tabell 20: Konseptforslag til utforming av matesystem.

Valg	Figur	Beskrivelse	Fordeler	Ulemper
A	<p>(F&H)</p>	<i>Manuell mating gjennom dør</i>	-Kan enkelt regulere mengden materiale. - Trenger ingen motor.	-Må alltid være tilgjengelig ved bruk. - Vil få en ujevn fyring.

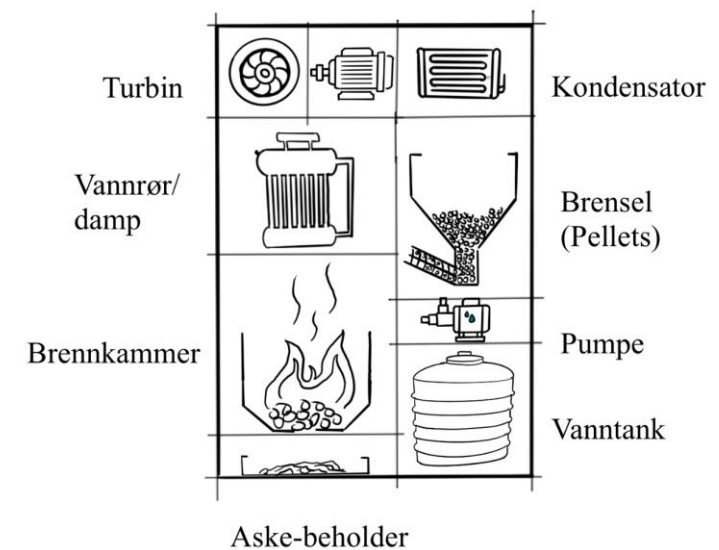
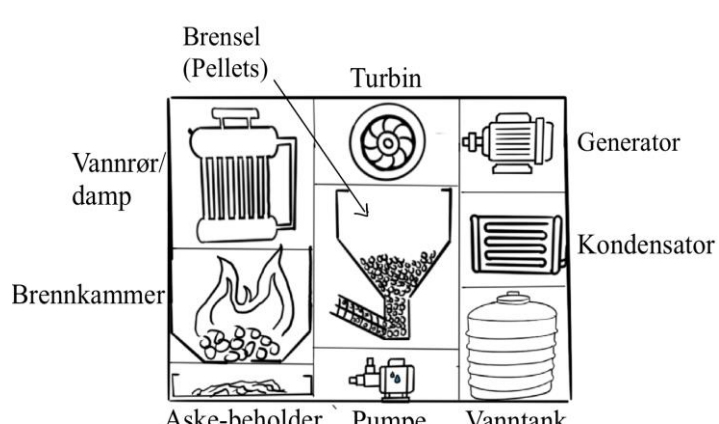
Tabell 20 forts.

Valg	Figur	Beskrivelse	Fordeler	Ulemper
B	 <p>(F&H)</p>	Mating med en skrue.	<ul style="list-style-type: none"> -Egner seg godt til pellets eller flis. -Vil ikke ta stor plass. 	<ul style="list-style-type: none"> -Vil ikke kunne benytte store vedkubber.
C	 <p>(F&H)</p>	Rullebånd	<ul style="list-style-type: none"> -Egner seg godt til vedfyring. 	<ul style="list-style-type: none"> -Vil ta stor plass.
D	 <p>(F&H)</p>	Slange	<ul style="list-style-type: none"> - Perfekt ved fyring av olje eller gass. - Tar liten plass. 	<ul style="list-style-type: none"> -Bytting av gassbeholder må gjøres manuelt.

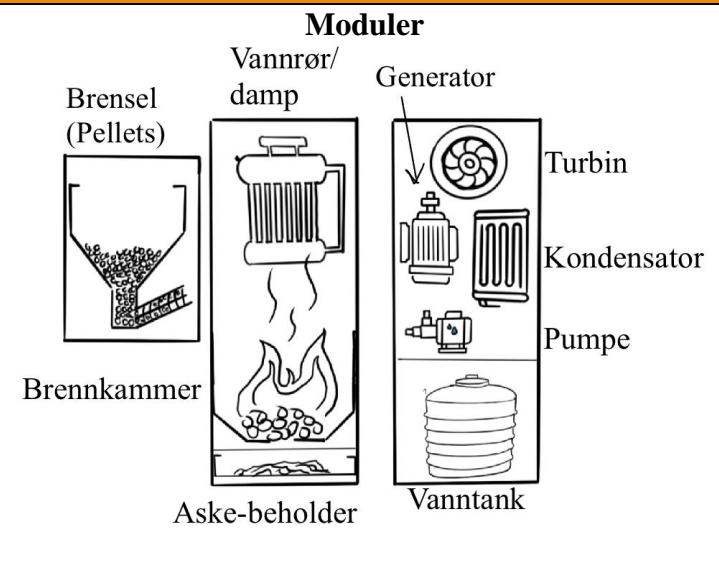
6.2.7 Plassering av komponenter

Det finnes utallige måter å bygge opp et system som dette, der fokus på en kompakt løsning vil være viktig. Under vises Tabell 21, der det er skissert opp ulike oppbygninger av systemet. For å holde skissene enkle er kun de viktigste komponentene er tatt med.

Tabell 21: Forslag til utforming på rammen til systemet.

Valg	Figur med beskrivelse	Fordeler	Ulemper
A	<p style="text-align: center;">Stående</p> <p style="text-align: center;">Generator</p>  <p style="text-align: center;">Aske-beholder</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Varmen stiger enkelt av seg selv. - Brukervennlig høyde til brennkammeret. 	<ul style="list-style-type: none"> -Blir veldig synlig og tar stor plass i høyden.
B	<p style="text-align: center;">Liggende</p> 	<ul style="list-style-type: none"> -Vil bli mindre synlig, og kan plasseres under verandaer eller lignede. - Kompakt 	<ul style="list-style-type: none"> -Må bøye seg med for å legge ved i brennkammeret.

Tabell 21 forts.

Valg	Figur med beskrivelse	Fordeler	Ulemper
C	<p style="text-align: center;">Moduler</p>  <p style="text-align: center;">(F&H)</p>	-Tilpasnings- vennlig.	- Dyrere å produsere.

6.3 Tidligvurderinger av brukspåkjenninger

Energisystemet vil bli utsatt for mange ulike belastninger, der store temperaturforskjeller er den største utfordringen. Det vil være aktuelt å se nærmere på hvilke mekaniske-, termiske- og miljøbelastninger systemet vil bli utsatt for.

6.3.1 Mekaniske belastninger

Statisk belastning

Statiske belastning er den lasten som den bærende konstruksjonen blir utsatt for når alle komponentene er plassert på den. Disse komponentene og eventuelle innebygde funksjoner må dimensjoneres etter tyngden på alle komponentene i energisystemet.

Støtbelastninger

Støtbelastninger er de belastningene som kan skje når systemet transporteres. Det vil også komme risting og støt fra underlaget dersom systemet flyttes.

Termiske belastninger

Termiske belastninger er de belastningene som vil oppstå på bakgrunn av varmeutvikling og trykk. Det er viktig at disse delene dimensjoneres tilstrekkelig, der et godt materiale velges for å oppnå god sikkerhet og lang levetid.

6.3.2 Miljøbelastninger

Vær

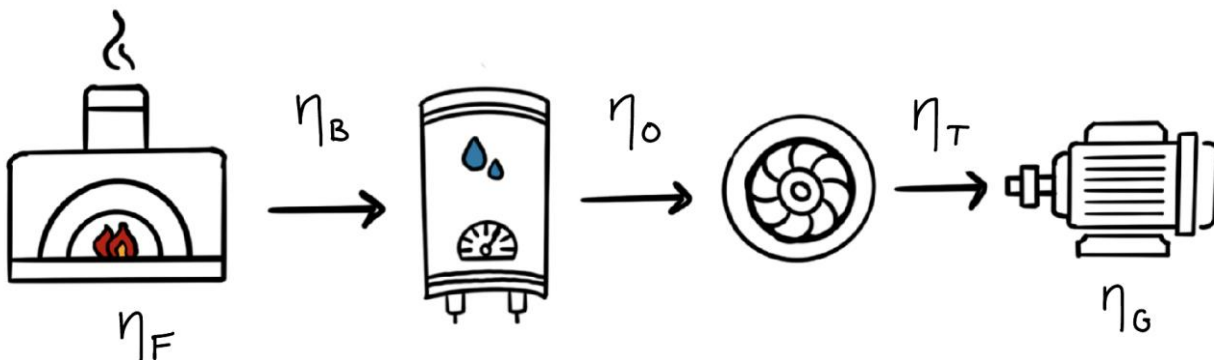
Energisystemet skal kunne stå ute i alle typer værforhold. Dette betyr at den må tåle alt fra regn til snø, vind og frost, samt ekstrem varme. Faktorer som utløser korrosjon er trusler for det elektriske systemet, derfor blir det viktig at systemet er godt beskyttet der gode materialer benyttes.

6.4 Tidlige grovberegninger

Et system som dette er bygget opp av mange elementer som hver spiller sin rolle, der alle er avhengig av hverandre. For å kunne vite hvor stor kapasitet og effekt de forskjellige delene må ha, er det nødvendig å finne ut hvor mye energi som overføres og som går tapt i systemet.

Virkningsgrad

Ettersom de ulike komponentene overfører energi til hverandre, er det naturlig at noe går tapt i prosessen. Virkningsgrader vil derfor være sentralt i beregningene som blir gjort på de ulike delene i energisystemet. Det er naturlig at ikke alle komponentene fungerer 100 % og det kan være mange forskjellige grunner til dette. For å finne et grovt estimat av hvor mye energi som må inn i systemet blir det satt opp realistiske virkningsgrader på de aktuelle komponenter.



Figur 43: Systemets oppbygning. (F&H)

Tabell 22: Oversikt over de ulike virkningsgradene til de ulike komponenten i energisystemet.

Komponent	Symbol	Virkningsgrad η
Forbrenning av ved	η_F	80%
Brennkammer med dampkjele	η_B	70%
Overoppheter	η_O	80%
Damp turbin	η_T	40%
Generator	η_G	85%

Forbrenning

For å finne omtrent hvor mye ved som må legges inn i brennkammeret per time for at generatoren skal gi ut 5,5 kWh, kan en regne seg tilbake gjennom systemet fra generatoren. Tanken her er å finne et estimert tall, kun basert på energioverføringen i systemet. For at generatoren skal gi 5,5 kWh må følgende mengde energi tilføres til brennkammeret:

$$\text{Energi inn} = \text{Energi ut} * \text{systemets virkningsgrad}$$

$$\text{Energi inn} = 5,5 \text{ kWh} \times \frac{1}{0,80} \times \frac{1}{0,70} \times \frac{1}{0,80} \times \frac{1}{0,40} \times \frac{1}{0,85} = \mathbf{36,1 \text{ kWh}}$$

Den totale virkningsgraden vil dermed ligge på **15,2 %** med de gitte forutsetningene.

Videre kan en finne ut hvor mye ved som må puttes inn i brennkammeret hver time for at denne energien skal tilføres systemet.

$$1\text{kWh} = 3600\text{kJ}$$

$$\text{Energi inn} = 36,1 \times 3600 \rightarrow \text{Energi inn} = 129\,989,5 \text{ kJ} \rightarrow \text{Energi inn} = \mathbf{129,9 \text{ MJ}}$$

Basert på tallene i

Tabell 11 kan det regnes med en gjennomsnittlig brennverdi for ved på 19 MJ/kg. Dermed kan en finne ut av omtrentlig hvor mye ved som må tilføres forbrenningskammeret for at generatoren skal gi 5,5 kWh:

$$\text{Ved/time} = \frac{129,9\text{MJ}}{19 \text{ MJ/kg}} = \mathbf{6,8 \text{ kg}}$$

Biobrensel - Ved

Det kan regnes med at 1 kg tørr ved (20 % fuktighet) inneholder 4,32 kWh med energi, som tilsvarer 15 552 kJ. Mye av energien som frigjøres ved forbrenning vil også brukes til å fordampe den resterende fuktigheten i veden, i tillegg vil det forsvinne mye varme ut gjennom pipen i systemet. Dermed vil en virkningsgrad på 0,8 være rimelig å regne med, for å få et mer presist estimat (vist i Tabell 22). (101)

Biobrensel - Pellets

1 kg pellets har en brennverdi på ca. 4,8 kWh, som tilsvarer 17 280 kJ. Denne brennverdien er høyere enn vanlig ved da pellets har lavere fuktighet (10%) enn ved. Her benyttes samme virkningsgrad lik 0,8 for enkelthets skyld. (102)

Fordampingsvarme

Vann koker ved 100 grader der det trengs det 2257 kJ (varme) til å fordampe 1 kg av vannet. Det kan dermed regnes ut hvor mye brensel som kreves for å omgjøre 1 kg vann til 1 kg damp. Her er det viktig å tenke over at damp har mye lavere tetthet enn vann. (103)

Hvis det fyres med 1 kg ved (20% fuktighet) fordampes:

$$Vann = \frac{15\,552 \text{ kJ/kJ}}{2\,257 \text{ kJ}} \times 0,8 = 5,5 \text{ kg}$$

Hvis det fyres med 1 kg pellets (10% fuktighet) fordampes:

$$Vann = \frac{17\,280 \text{ kJ/kg}}{2\,257 \text{ kJ}} \times 0,8 = 6,1 \text{ kg}$$

Overoppheter

Dersom en turbin skal benyttes i energisystemet er det nødvendig å ta i bruk en overoppheter. For å redusere slitasjen på turbinen vil der være nødvendig å tørke ut dampen, slik at den ikke inneholder fuktighet. Dette vil også føre til en mer effektiv gjennomstrømming gjennom turbinen, da den tørre dampen ikke vil sette seg fast på bladene. Ulempen med dette vil være at det vil kreve mer energi for å varme opp dampen til riktig temperatur.

6.5 Tidlig materialdrøfting

Systemet vil bli utsatt for en rekke ulike miljøforhold og termiske krefter, det er derfor viktig at riktige materialer velges til de ulike delene. Energisystemet må være slitesterkt og robust, da det skal utsettes for høye og lave temperaturer, samtidig som det skal kunne transporteres trygt frem til ulike destinasjon uten å ta skade.

Ettersom systemet også skal ha lang levetid og levere strøm i ulike miljøer, er det særlig viktig at delene som kontrollerer de termiske kreftene er tilstrekkelig dimensjonert med gode materialer.

Ramme

Systemet består av flere kritiske komponenter. Disse komponentene må kobles og holdes sammen av en ramme, slik at systemet lett kan transporteres og tas i bruk. Rammen må derfor tåle vekten av alle komponentene, samtidig som den innehar egne funksjoner. Det åpenbare valget her vil være rustfritt eller behandlet stål, aluminium kan også være et alternativ. Rammen må gi god stivhet samtidig som den må være lett for å holde totalvekten på systemet nede.

Brennkammer og dampkjele

Dampkjelen er den delen som utsettes for de største termodynamiske kreftene. Her vil en stålvariant eller støpejern være de beste alternativene. Samtidig som et materiale som har gode varme ledene egenskaper vil egnes seg godt.

Kontaktpunkter

Ved håndtering av systemet under bruk vil det være hensiktsmessig å tilpasse materialene ved kontaktpunktene. Det vil oppstå høye temperaturer rundt og på systemet under bruk, dermed vil materialer som har gode varmeavledende egenskaper viktig.

Kondensator

Kondensatorens oppgave er å redusere temperaturen på den varme dampen, ved hjelp av kjølevann. Valg av materiale bør baseres på hva som tåler høye- og lave temperaturer, samtidig bør materialet ha evnen til å enkelt kvitte seg med varme. Her vil kobber eller aluminium være gode alternativer da de ikke holder på varmen som kommer fra dampen.

Rør og ledningsnett

Energisystemet vil være avhengig av rør for å transportere damp og vann. Dampen vil ha svært høy temperatur, her er det viktig med et materiale som tåler dette. Rustfrie stållegeringer vil være et svært aktuelt alternativ, da de tilbyr svært god motstand mot vann og damp. Rør som transporterer vann trenger ikke motstå varme og kan derfor være av andre materialer, ulike plasttyper kan være like godt egnet som rustfrie stållegeringer.

Strømnettet i energisystemet består av kabler og lednings-sett, her benyttes standardiserte deler.

Kledning

For å sikre god levetid på energisystemet er det viktig at kritiske komponenter beskyttes mot ulike værforhold. Dette kan gjøres ved hjelp av ytre kledning, som tåler belastningen den blir utsatt for. Aktuelle materialer her kan være rimelige stål- eller aluminiumlegeringer.

Isolering

For at energisystemet skal være så effektivt som mulig, kan det være aktuelt med en form for isolasjon. Både brennkammer og kritiske komponenter kan dra nytte av forskjellige isolasjonstyper. For brennkammeret vil klassiske brannplater eller teglstein være aktuelt, mens resten av systemet kan dra nytte av andre tradisjonelle isolasjonstyper.

6.6 Form- og estetikkalternativer

Når en skal utvikle og designe et konsept som dette, vil det være hensiktsmessig å tenke på formen og estetikken til produktet. Forskjell på et godt og et dårlig design kan være avgjørende i et marked med høy konkurranse.

6.6.1 Norske tradisjoner

Systemet skal plasseres utendørs og vil derfor bli en synlig del av boligen. Derfor vil det være viktig med et design som skilr inn i det fleste omgivelser, om det er på en moderne hytte ved sjøen eller en gammel sæter på fjellet. Selv om energisystemet skal være universalt og benyttes over hele verden, er det tatt utgangspunkt i et norsk marked til å begynne med. Under er det en samling av steder der det kan være aktuelt å benytte et energisystem som utvikles i denne oppgaven.



Figur 44: Eksempler på steder vårt system skal benyttes. (104–107)

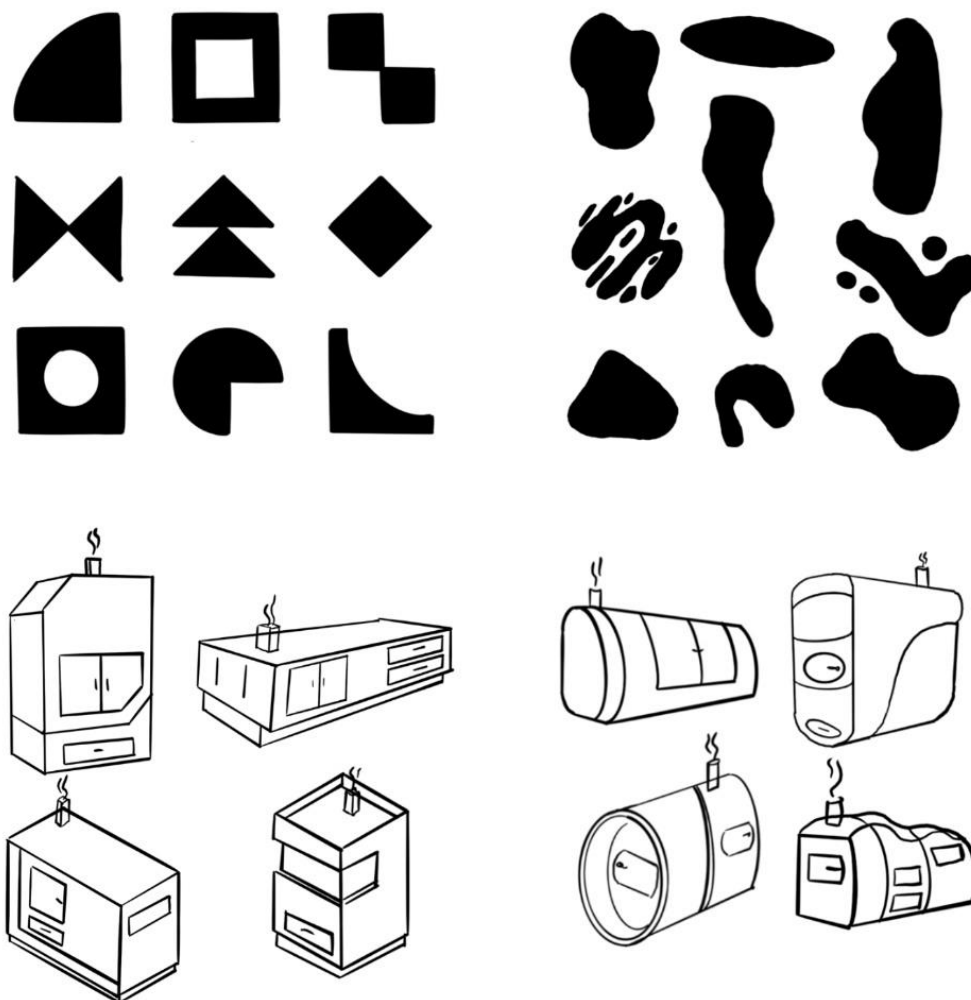
En løsning som åpner opp for oversiktlig og enkel bruk vil være nødvendig, da hovedkundene er privatpersoner. Et produkt som baserer seg på «Form Follows Function» prinsippet kan være gunstig, kombinert med bruk av tegn og symboler. Slike designelement sørger for systemet blir intuitivt i bruk.

6.6.2 Formspråk

Det finnes mange måter å forme et produkt for å kommunisere med kunden, der det ofte deles inn i organiske og geometriske former. De organiske formene bygger på uregelmessige linjer og myke kanter, som vi finner igjen i naturen. I motsetning til det geometriske som består av former bygget opp av skarpe og rette linjer som vi kjenner igjen fra et kvadrat eller en trekant.

Hvordan en ønsker å appellere til kunden bygger mye på trender og produktets formål. Et godt eksempel på hvordan formuttrykk har blitt endret etter trender, er bilindustrien. Sammenligner en bilene som kjørte på veien for 20 år siden ser en helt andre former og uttrykk enn det vi ser på dagens kjøretøy. På eldre biler ser vi mer avrundede og organiske former, mens de nyeste bilene nå bygger mer på aggressive og skarpe linjer.

Figur 45 illustrerer hvordan formen på systemet kan hente inspirasjon fra både geometriske og organiske former.



Figur 45: Illustrasjon av geometriske og organiske former, der geometriske er vist til venstre og organiske former er vist til høyre. (F&H).

De to neste figurene viser ulike uttrykk av hvordan systemet kan utformes. Figur 46 viser en løsning som bygger på et gammelt uttrykk, med innsyn til alle komponentene. Hvis systemet skal plasseres ved en eldre hytte, vil kunden gjerne ha et produkt som sklir inn med resten av interiøret



Figur 46: Oversikt over ulike løsninger med gammeldagse trekk (barokk stil). (108–112)

Neste ide bygger på et mer fremtidsrettet design, der hele systemet vil ligge skjult bak store paneler og skjermer. Et system som bygger på automasjon og digitalisering vil passe godt inn med et slikt design.



Figur 47: Oversikt over fremtidsrettet design (minimalisme). (113–116)

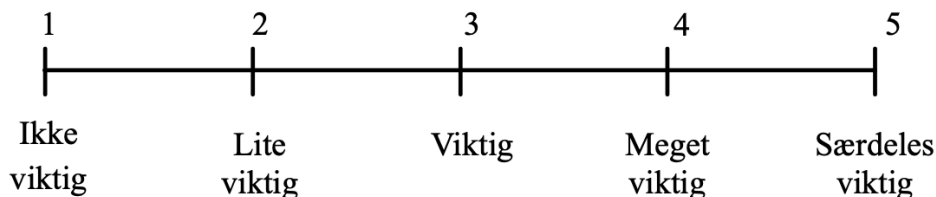
7 EGENSCREENING OG KONSEPTVALG

I dette kapittelet skal det kartlegges hvilke løsningsforslag som oppfyller de ulike funksjonsmålene best. De ulike funksjonsalternativene skal rangeres ved hjelp av Pugh's metodikk og resultatene av konseptscreeningen presenteres i seleksjonsmatriser.

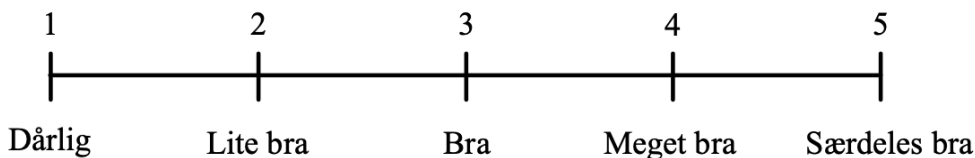
7.1 Utvikling av seleksjonsmatrise

For å kartlegge hvilke funksjonsalternativ som skal benyttes videre i konseptutviklingen benyttes seleksjonsmatriser. For å gjøre dette benyttes Pugh's metodikk (Jfr. Kapittel 3.2, avsnitt 3.2.3). De ulike funksjonsalternativene skal vektet opp mot de viktigste produkttegenskapene, som ble utarbeidet og diskutert i kapittel 5.2. Hvert løsningsforslag skal bli bedømt på hvor godt det oppfyller de viktigste kriteriene.

Poengskalaene strekker seg fra 1-5, der 1 er dårligst og 5 er best. På Figur 48 og Figur 49 sees poengskalaene som skal benyttes under konseptscreeningen. Den endelige poengsummen til de ulike alternativene vil være summen av poeng multiplisert med vektning for alle kriteriene. Det vil si $(\text{poeng} \cdot \text{vektning}) + (\text{poeng} \cdot \text{vektning})$.



Figur 48: Poengskala for å bestemme hvor viktige de ulike kriteriene er (omarbeidet etter (29)).



Figur 49: Poengskala for å bestemme hvor godt de ulike løsningsalternativene oppfyller de gitte kriteriene (omarbeidet etter (29)).

7.2 Egen konseptscreening

Konseptscreeningen vil ta for seg alle de ulike funksjonsalternativene som ble fremvist i kapittel 6. Kriteriene som ble presenter i Tabell 12 gjelder for hele systemet og det vil derfor være variasjon i kriterier mellom de ulike seleksjonsmatrisene under. Bruken av poeng og karakterskalaen kan variere mellom de ulike matrisene. Seleksjonen skjer ved at karakteren under vektning multipliseres med poenget løsningsalternativet har fått, alt etter hvor godt det oppfyller kriteriet. Videre summeres summen av multipliseringen sammen for hver kolonnene og det oppnås en endelig poengsum. Seleksjonsmatrisene sees fra Tabell 23 til Tabell 29.

Tabell 23: Seleksjonsmatrise for valg av utforming og design på brennkammeret til systemet.

Brennkammer					
Kriterium	Vekting	A	B	C	D
Kompleksitet	3	5	3	4	2
Ulike løsninger	4	2	2	5	5
Vekt	3	5	3	3	3
Enkel i bruk	5	4	3	5	4
Lover og forskrifter	5	3	1	5	5
Trygg i bruk	5	2	2	5	4
Vedlikehold	4	5	4	4	4
Prod-kostnader	4	5	4	4	3
Sum		123	88	148	128
Rangering		3	4	1	2

Tabell 24: Seleksjonsmatrise for valg av utforming og design på dampkjelen til systemet.

Dampkjele					
Kriterium	Vekting	A	B	C	D
Kompleksitet	3	3	4	4	3
Ulike løsninger	4	4	2	2	5
Vekt	3	3	4	3	5
Enkel i bruk	5	5	4	4	5
Lover og forskrifter	5	5	5	1	5
Trygg i bruk	5	4	3	3	3
Vedlikehold	4	4	4	3	4
Prod-kostnader	4	2	5	3	4
Sum		128	128	93	141
Rangering		2	2	3	1

Tabell 25: Seleksjonsmatrise for valg av kondensator som skal benyttes i systemet.

Generator			
Kriterium	Vekting	A	B
Spenning	3	4	3
Effektivitet	4	4	3
Elektrisk tap	5	4	2
Vedlikehold	4	5	2
Prod-kostnader	4	3	5
Sum		80	59
Rangering		1	2

Tabell 26: Seleksjonsmatrise for valg av måte å overføre termisk energi til mekanisk bevegelse.

Termisk til mekanisk energi					
Kriterium	Vekting	A	B	C	D
Kompleksitet	3	2	5	2	4
Størrelse	4	5	5	3	5
Vekt	3	5	5	3	4
Enkel i bruk	5	5	4	4	4
Trygg i bruk	5	5	4	4	5
Vedlikehold	4	5	5	3	4
Prod-kostnader	4	3	4	3	4
Sum		124	126	91	121
Rangering		2	1	4	3

Tabell 27: Seleksjonsmatrise for valg av type generator til energisystemet.

Kondensator			
Kriterium	Vekting	A	B
Kompleksitet	3	3	4
Effektivitet	4	4	4
Vekt	3	4	5
Vedlikehold	2	3	4
Prod-kostnader	3	3	4
Universell	4	5	2
Sum		72	71
Rangering		1	2

Tabell 28: Seleksjonsmatrise for valg av løsning for type matesystem til energisystemet.

Matesystem					
Kriterium	Vekting	A	B	C	D
Kompleksitet	3	5	2	3	4
Størrelse	4	5	2	2	4
Vekt	3	5	3	2	5
Enkel i bruk	5	5	3	3	4
Trygg i bruk	5	3	3	2	4
Vedlikehold	4	5	3	3	5
Prod-kostnader	4	5	2	1	5
Sum		130	73	64	123
Rangering		1	3	4	2

Tabell 29: Seleksjonsmatrise for valg av utformingen til systemet.

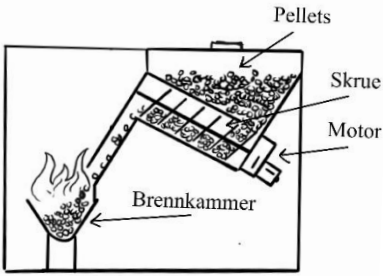
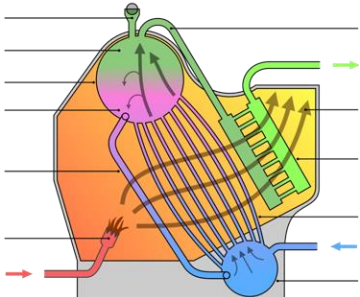
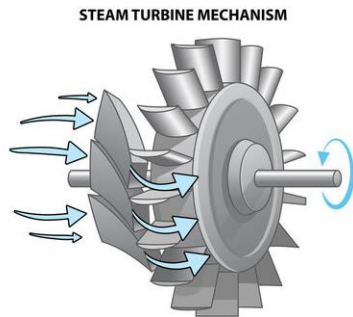
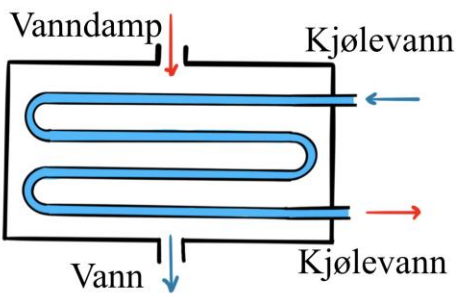
Plassering av komponenter				
Kriterium	Vekting	A	B	C
Kompleksitet	2	3	3	2
Størrelse	3	3	4	2
Transport	4	2	4	3
Tilpasningsvennlig	3	3	3	4
Sum		32	43	34
Rangering		3	1	2

7.3 Foretrukne løsnings- og estetikkalternativer

Valgene av de forskjellige løsningsalternativene baserer seg på seleksjonsmatrisene som ble utviklet og benyttet i forrige delkapittel. De viser tydelig hvilke løsninger det lønner seg å gå videre med i konseptutviklingen, basert på aktuelle kriterier. Sentrale avgjørende kriterier er kompleksitet, enkel i bruk, trygg i bruk og produksjonskostnader. Tabellen på neste side viser løsningene som ble valgt, med beskrivelse.

Ettersom energisystemet benytter mange forskjellige komponenter, er det viktig at de valgte løsnings- og estetikkalternativene harmonerer. Dersom de ikke gjør det må en gå tilbake i prosessen å velge ut nye alternativer ved hjelp av styrt konvergens, jfr. Kapittel 3.2.3.

Tabell 30: Oversikt over valgte løsninger som skal benyttes i energisystemet.

Løsning	Figur
<p>Brennkammer</p> <p>Systemet skal kunne både fyre med pellets, flis og ved. Måten dette vil gjøres på er å benytte en skrue som vil kunne mate brennkammeret med pellets og flis opp til en viss størrelse. Veden og større flis vil bli manuelt matet til systemet via en luke.</p>	 <p>(F&H)</p>
<p>Dampkjele</p> <p>Dampkjelen vil være en vannrørskjele, der kaldt vann oppbevares i en beholder og beveger oppover til den andre beholderen etter hvert som vannet varmes opp.</p>	 <p>(73)</p>
<p>Termisk til mekanisk</p> <p>En effektiv måte å gjøre om dampen til mekanisk arbeid er å benytte en dampturbin. Her finnes mange ulike løsninger som er effektive og kompakte.</p>	 <p>(97)</p>
<p>Kondensator</p> <p>Systemet kan effektivt bruke en overflatekondensator for å kondensere dampen. Denne typen kondensator åpner opp for å bruke kjølevæske for å kjøle ned dampen, som kan være mer effektivt enn vann.</p>	 <p>(F&H)</p>

Tabell 30 forts.

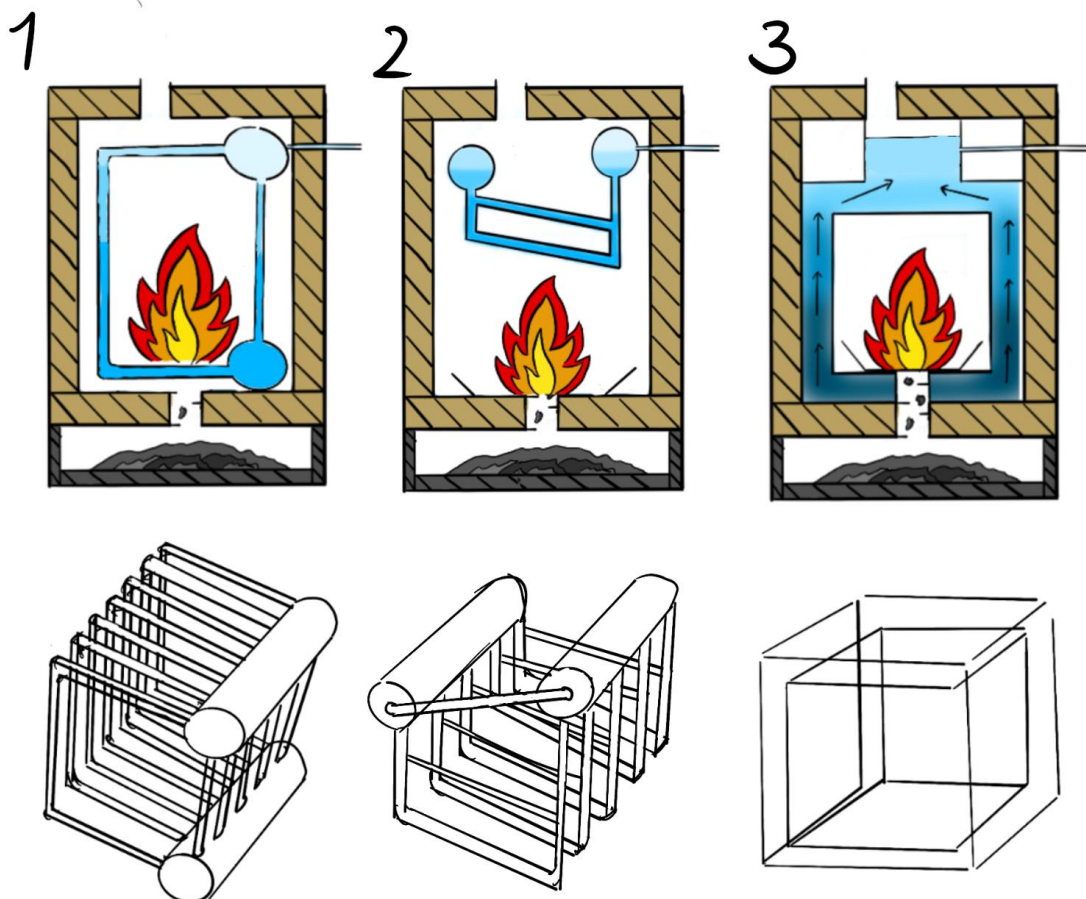
Løsning	Figur
<p>Generator</p> <p>AC generatorer er mest brukt på mindre systemer, som nettopp dette konseptet. I tillegg trengs det lite vedlikehold og energitapet er minimalt.</p>	<p style="text-align: center;">AC GENERATOR</p> <p>(100)</p>
<p>Plassering av komponenter</p> <p>En liggende løsning vil skape en kompakt løsning, som enkelt vil kunne tilpasses en europall og dermed være enkelt å transportere.</p>	<p>(F&H)</p>

7.4 Spesifisert konseptvalg

Etter at alle løsningsalternativene ble selektert og fastsatt, startet utvikling av det spesifikke designet av de forskjellige komponentene. Her ble det utviklet enda mer konkrete skisser av hvert element som ble valgt ut i Tabell 30.

Det ble utforsket med forskjellige utforminger, spesielt av dampkjelen. Kjelen skulle være en vannrørskjele som betyr at en ekstern varme påføres et nettverk av vannrør. Her ble det viktig å ta inspirasjon fra vannrørskjeler som finnes fra før, og se nærmere på hvordan disse er bygd opp. (72)

Det ble utviklet tre ulike dampkjeler under konseptutviklingen som ses i Figur 50, på neste side.



Figur 50: Spesifikk konseptutvikling av dampkjelen, der design nr. 3 ble valgt. (F&H)

Dampkjele 1

Kjele nummer 1 er en typisk vannrørskjele der forbrenningen skjer på innsiden. Kjelen har to vannkammer, der fordampet vann vil samles i det øverste kammeret før det sendes inn i en turbin. Ulempen med dette designet ble hvordan brennkammeret skulle mates med brensel og hvordan asken enkelt skulle kunne fjernes.

Dampkjele 2

Kjele nummer 2 er en videreutvikling av den første kjelen der det ble tatt hensyn til enkel mating av brensel og fjerning av akse. Brennkammeret ville da plasseres på undersiden av dampkjelen. Ulempen ved løsningen var at kjelen og brennkammeret vil ta stor plass og gjøre at hele energisystemet ble unødvendig stort.

Dampkjele 3

Dampkjele nummer 3 ble dermed en kombinasjon av kjele 1 og 2, som åpnet opp for en kompakt løsning. Forskjellen her var at det ikke lenger ble benyttet rør, som dermed ville kreve mer varme. Samtidig var dette en utforming gruppen ikke hadde sett tidligere, og ble derfor en motivasjonsskilde til å prøve å utvikle videre.

8 Grovberegning og dimensjonering

I dette kapittelet utføres det grove beregninger og analyser av systemet for å sikre god og sikker dimensjonering. Dette gjøres for å få et inntrykk av hvor store krefter som virker de ulike komponentene, samt finne nødvendige størrelser, effekter og virkningsgrader som må oppnås for å få ut ønsket effekt av systemet.

8.1 Beregningsmål

Her kartlegges hva som skal beregnes, hvilke forutsetninger som må til og aktuelle mål for beregningene.

Hovedmål

Målet er å gjennomføre nødvendige beregninger av hoveddelene til systemet. Dette er for å legge grunnlag for videre dimensjonering og for å sikre at energisystemet kan utlevere en effekt på minimum 5 kW.

Delmål

- Undersøke hvor mye brensel som vil være nødvendig å tilføre systemet, samt hvor mye dette vil kunne koste.
- Dimensjonere størrelsen til brennkammeret og dampkjele for å produsere nok damp.
- Finne ut hvor mye kjølevann som trengs i en kondensator, og luftmengde i en varmeveksler.
- Utvikle dimensjonene til en dampturbin for å skape nok rotasjon.
- Estimere en total størrelse og vekt på systemløsningen, samt dimensjonere rør.
- Innlemme gode sikkerhetsfaktorer med aktuelle materialer for å sørge for at systemet er trygt i bruk.

8.2 Beregningstrinn

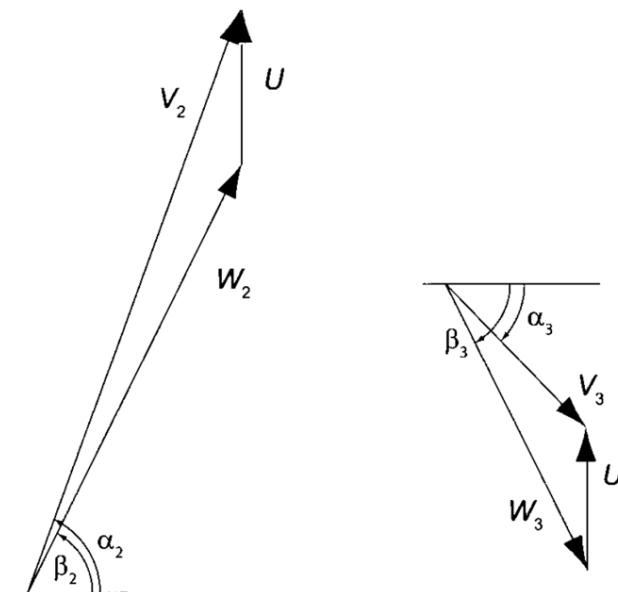
8.2.1 Turbin

Formler som blir brukt i utregningen av turbinen er hentet fra boken *Principles of Turbomachinery* (117) og gassturbinen utviklet i masteroppgaven til Vidar Giske (*Utvikling, dimensjonering og konstruksjon av dampturbinløsning for Dolphin-konseptet*) (11), samt informasjon fra Elliot Group (118) har blitt brukt som veiledning for utviklingen av turbinen i dette prosjektet.

Antagelser for dimensjonering av turbinene er som følger:

Tabell 31: Antagelser for dimensjonering av dampturbin.

Komponent	Verdi
Hastighet inn i turbin (V_2)	800 m/s
Innløpsvinkel (α_2)	75°
Friksjonstap i turbinblad (μ)	20%



Figur 51: Hastighetsdiagram for en impulsturbin. Denne illustrerer forholdet mellom hastighet og vinkel. (117)

Finner bladhastigheten ved bruk av formel 3.15:

$$U = \frac{1}{2} \times V_2 \sin(\alpha_2) \rightarrow U = \frac{1}{2} \times 800 \times \sin(75^\circ) \rightarrow U = 386,37 \text{ m/s}$$

Finner den aksiale innløps-hastigheten (V_{x2}), oppfulgt av den tangentielle komponenten av den absolutte hastigheten (V_{u2}) og fra den relative hastigheten (W_{u2}) som den overopphetedede dampen har når den entrer turbinen, ved hjelp av formel 3.16, 3.17 og 3.18.

$$V_{x2} = V_2 \cos(\alpha_2) \rightarrow V_{x2} = 800 \cos(75^\circ) \rightarrow V_{x2} = 207,0 \text{ m/s}$$

$$V_{u2} = V_2 \sin(\alpha_2) \rightarrow V_{u2} = 800 \sin(75^\circ) \rightarrow V_{u2} = 772,74 \text{ m/s}$$

$$W_{u2} = V_{u2} - U = W_{u2} = 772,74 - 386,37 \rightarrow W_{u2} = 386,37 \text{ m/s}$$

Videre regnes den relative strømningshastigheten (W_2), der $W_{x2} = V_{x2}$ og innløpsvinkel (β_2) ut. Formel 3.19 og 3.20 benyttes under.

$$W_2 = \sqrt{W_{x2}^2 + W_{u2}^2} \rightarrow W_2 = \sqrt{207,0^2 + 386,37^2} \rightarrow W_2 = 438,33 \text{ m/s}$$

$$\beta_2 = \tan^{-1}\left(\frac{W_{u2}}{W_{x2}}\right) \rightarrow \beta_2 = \tan^{-1}\left(\frac{386,37}{207}\right) \rightarrow \beta_2 = 61,8^\circ$$

Det regnes med at det er 20 % tap i bladene til turbinen, når dampen går ut av turbinen regnes det med at energien er (W_3):

Formel 3.21 benyttes:

$$\frac{1}{2}W_3^2 = \frac{1}{2}(1 - \mu)W_2^2 \rightarrow W_3 = \sqrt{0,80 \times W_2^2} \rightarrow W_3 = \sqrt{0,80 \times 438,33^2}$$

$$W_3 = 392,05 \text{ m/s}$$

Videre regnes ut den aksiale hastigheten på veg ut av turbinen (W_{x3}), hvor det antas at turbinbladene er symmetriske, det vil si at $\beta_3 = -\beta_2$. Tangentialkomponenten til den relative hastigheten (W_{u3}) regnes også ut. Til slutt finner man den tangentialkomponenten (V_{u2}) ut fra den absolutte hastigheten.

Følgende formler benyttes: 3.22, 3.23 og 3.24.

$$W_{x3} = W_3 \cos(\beta_3) \rightarrow W_{x3} = 392,05 \cos(-61,8^\circ) \rightarrow W_{x3} = 185,26 \text{ m/s}$$

$$W_{u3} = W_3 \sin(\beta_3) \rightarrow W_{u3} = 392,05 \sin(-61,8^\circ) \rightarrow W_{u3} = -345,51 \text{ m/s}$$

$$V_{u3} = U + W_{u3} \rightarrow V_{u3} = 386,37 + (-345,51) \rightarrow V_{u3} = 40,86 \text{ m/s}$$

Strømningsvinkelen (α_3) ut fra turbinen regnes ut ved hjelp av formel 3.25, her er $V_{x3} = W_{x3}$

$$\alpha_3 = \tan^{-1}\left(\frac{V_{u3}}{V_{x3}}\right) \rightarrow \alpha_3 = \tan^{-1}\left(\frac{40,86}{185,26}\right) \rightarrow \alpha_3 = 12,4^\circ$$

Utløpshastigheten (V_3) dampen har på vei ut av turbinen regnes ut med formel 3.26:

$$V_3 = \sqrt{V_{x3}^2 + V_{u3}^2} \rightarrow V_3 = \sqrt{185,26^2 + 40,86^2} \rightarrow V_3 = 189,71 \text{ m/s}$$

Regner ut det spesifikke arbeidet som utføres på bladene i turbinen, formel 3.27:

$$\omega = U(V_{u2} - V_{u3}) \rightarrow \omega = 386,37 \times (772,74 - 40,86) \rightarrow \omega = 282776,5 \text{ J/kg}$$

Finner hvor mye overopphetet damp som må til for å levere arbeidet, ved hjelp av formel 3.28:

$$W_{\text{ønsket}} = \dot{m}\omega \rightarrow W = \dot{m}\omega\eta_G$$

$$\dot{m} = \frac{W}{\eta_G\omega} \rightarrow \dot{m} = \frac{5,5}{0,85 \times 282,7765} \rightarrow \dot{m} = 0,02288 \text{ kg/s}$$

Ettersom det er tap i systemet, særlig overopphetingsenheten, velges det å sette masse-strømmen til $\dot{m} = 0,030 \text{ kg/s}$

Den dimensjonerte dampturbinens mulige effekt med valgte parameter blir

$$W = \dot{m}\omega\eta_G \rightarrow W = 0,030 \times 282,7765 \times 0,85 \rightarrow W = 7,2 \text{ kW}$$

Turbinblader

Tabell 32: Antagelser og resultater fra tidligere beregninger som benyttes til å utvikle turbinbladene.

Komponent	Verdi
Masse-strøm (\dot{m})	0,030 kg/s
Tetthet (ρ_{damp})	1,620 kg/m ³
Strømningsvinkel (β_2)	-61,8°
Innløpsvinkel (α_2)	75°
Bladbredde (B_{blad})	20 mm
Bladhøyde (H_{blad})	50 mm
Effektiv radie (r_{eff})	75 mm
Volum i et turbinblad ($V_{turbinblad}$)	4456,7 mm ³
Turtall rotor (n_{rotor})	3000 RPM

Finner strømningsvolumet og strømningsvolum per omdreining som regnes ut med formel 3.29:

$$\dot{Q} = \frac{\dot{m}}{\rho_{damp}} \rightarrow \dot{Q} = \frac{0,030}{1,620} \rightarrow \dot{Q} = 0,0185 \text{ m}^3/\text{s}$$

Strømningsvolum per omdreining, formel 3.30:

$$\dot{Q}_{RPM} = \frac{\dot{Q} \times 60 \text{ s}}{n_{rotor}} \rightarrow \dot{Q}_{RPM} = \frac{0,0185 \times 60}{3000} \times 10^9 \rightarrow \dot{Q}_{RPM} = 370000 \text{ mm}^3$$

Finner vinkelen på baksiden av turbinbladet, formel 3.31:

$$\alpha_4 = 90^\circ - \alpha_2 \rightarrow \alpha_4 = 90^\circ - 75^\circ \rightarrow \alpha_4 = 15^\circ$$

Finner radien på overflaten der dampen treffer turbinbladet, formel 3.32:

$$r_{blad} = \frac{B_{blad}}{2 \sin(\beta_2)} \rightarrow r_{blad} = \frac{20}{2 \sin(61,8)} \rightarrow r_{blad} = 11,3 \text{ mm}$$

Finner radien på rotoren til turbinen, formel 3.33:

$$r_{rotor} = r_{eff} - \frac{H_{blad}}{2} \rightarrow r_{rotor} = 75 - \frac{50}{2} \rightarrow r_{rotor} = 50 \text{ mm}$$

Regner ut antall blader, ved hjelp av formel 3.34 og 3.35:

$$V_{Til} = \pi B_{blad} ((r_{rotor} + H_{blad})^2 - r_{rotor}^2)$$

$$V_{Til} = \pi \times 20 ((50 + 50)^2 - 50^2) \rightarrow V_{Til} = 471238,89 \text{ mm}^3$$

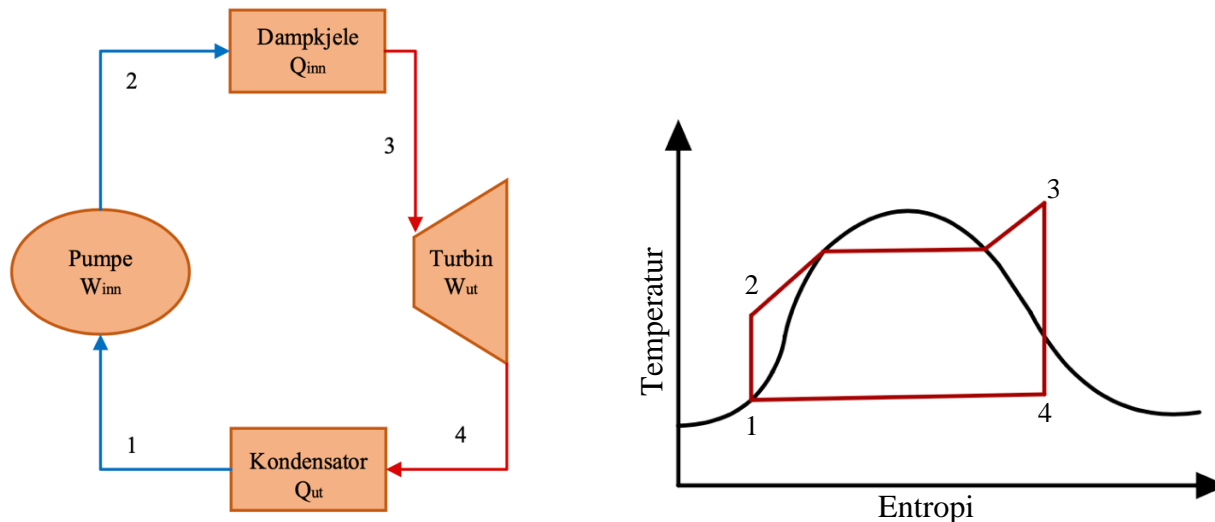
$$n_{blad} = \frac{V_{Til} - \dot{Q}_{RPM}}{V_{blad}} \rightarrow \frac{471238,89 - 370000}{4456,7} \rightarrow n_{blad} = 22,7$$

$$n_{blad} = 23$$

8.2.2 Ideal Rankine syklus

Etter turbinen er dimensjonert er det nødvendig å se på den aktuelle termodynamiske syklusen som benyttes, Rankine syklusen. Dette er for å se hvor mye energi som må tilføres og hvor mye som kan tas ut i de ulike stadiene i syklusen

Først bestemmes den termiske virkningsgraden og energiutbytte ved hjelp av endringen i entalpi i den lukkede syklusen. For beregningen blir følgende resultater fra tidligere beregninger og antagelser tatt i bruk. Beregninger gjort med bakgrunn fra Spirax Sarco (119), engineers academy (120) og *Fluid mechanics, fundamentals and applications* (121)



Figur 52: Til venstre: skjematiskoversikt over Rankine syklusen, med de nødvendige komponentene. Til høyre: temperatur/entropi-diagram som representerer Rankine syklusen, der nummereringen samsvarer med den skjematiske fremstillingen av prosessen. (120)

Tabell 33: Antagelser og resultater fra tidligere beregninger for å utføre utregningene til den ideelle rankine syklusen.

Komponent	Verdi
Trykk i dampkjele	5,0 Bar
Trykk i kondensator	0,5 Bar
Temperatur overopphetet damp (T_3)	400 °C
Temperatur vann inn i dampkjele (T_1)	90 °C
Massestrøm (\dot{m})	0,03 kg/s

Videre antas det at systemet er under konstant trykk før entalpien til de ulike stadiene hentes fra damptabell (103):

Benytter damptabeller for å finne h_1 , h_2 og h_3 , hvor $P_1 = 0,5 \text{ Bar}$, $P_2 = 5 \text{ Bar}$ og $P_3 = 5 \text{ Bar}$.

- $h_1 = 340,54 \text{ kJ/kg}$
- $h_2 = 376,75 \text{ kJ/kg}$
- $h_3 = 3271,7 \text{ kJ/kg}$

Videre regnes tørrhetsfaktor ut, der en starter med å finne entropien i de nødvendige stadiene i damptabell:

- $S_3 = S_4 = 7,7935 \text{ kJ/kgK}$
- $S_{f-0,5 \text{ Bar}} = 1,09117 \text{ kJ/kgK}$
- $S_{g-0,5 \text{ Bar}} = 7,5928 \text{ kJ/kgK}$

Finner tørrhetsfaktoren ved å gjøre om formel 3.4:

$$S_4 = S_{f-0,5 \text{ Bar}} + x_4 \times (S_{g-0,5 \text{ Bar}} - S_{f-0,5 \text{ Bar}})$$

$$x_4 = \frac{S_4 - S_{f-0,5 \text{ Bar}}}{S_{g-0,5 \text{ Bar}} - S_{f-0,5 \text{ Bar}}} \rightarrow x_4 = \frac{7,7935 - 1,09117}{7,5928 - 1,09117} \rightarrow x_4 = 1,031$$

Finner entalpien til gassen som kommer ut av dampturbinen (punkt 4), ved hjelp av formel 3.5:

- $h_{f-4} = 340,54 \text{ kJ/kg}$
- $h_{g-4} = 2645,3 \text{ kJ/kg}$

$$h_4 = h_{f-4} + x_4 \times (h_{g-4} - h_{f-4}) \rightarrow h_4 = 340,54 + 1,031 \times (2645,3 - 340,54)$$

$$h_4 = 2716,53 \text{ kJ/kg}$$

Energioverføring i de ulike stadiene:

Finner energien som tilføres en pumpe ved hjelp av formel 3.6:

$$W_{inn-pumpe} = \dot{m} \times (h_2 - h_1) \rightarrow W_{inn-pumpe} = 0,030 \times (376,75 - 340,54)$$

$$W_{inn-pumpe} = \mathbf{1,068kW}$$

Finner energien som må tilføres brennkammeret, ved hjelp av formel 3.7:

$$\phi_{inn-dampkjele} = \dot{m} \times (h_3 - h_2) \rightarrow \phi_{inn-dampkjele} = 0,030 \times (3271,7 - 376,75)$$

$$\phi_{inn-dampkjele} = \mathbf{86,8485 kW}$$

Finner energien som kan tas ut av en turbin, ved hjelp av formel 3.18:

$$W_{ut-turbin} = \dot{m} \times (h_4 - h_3) \rightarrow W_{ut-turbin} = 0,030 \times (2716,7 - 376,75)$$

$$W_{ut-turbin} = \mathbf{-16,6554 kW}$$

Finner energien som går ut av systemet gjennom en kondensator, ved hjelp av formel 3.9:

$$\phi_{ut-kondensator} = \dot{m} \times (h_1 - h_4) \rightarrow \phi_{ut-kondensator} = 0,030 \times (340,54 - 2716,52)$$

$$\phi_{ut-kondensator} = -43,53 \text{ kW}$$

Finner virkningsgraden til systemet, ved hjelp av formel 3.10:

$$\eta = \frac{W_{total}}{\phi_{inn}} \rightarrow \eta = \frac{|W_{ut}| - W_{inn}}{\phi_{inn}} \rightarrow \eta = \frac{16,6554 - 1,086}{86,8485} \times 100\% \rightarrow \eta = 17,9\%$$

Resultater

Estimert energiuttak baser på den ideelle rankine-syklusen blir:

$$W_{ut-turbin} \times \eta_{turbin} \times \eta_{generator} = 16,6554 \times 0,4 \times 0,85 = 5,66 \text{ kW}$$

Estimert energi som må tilføres systemet ved hjelp av brennkammeret er:

$$\phi_{inn-dampkjele} = 86,8485 \text{ kW}$$

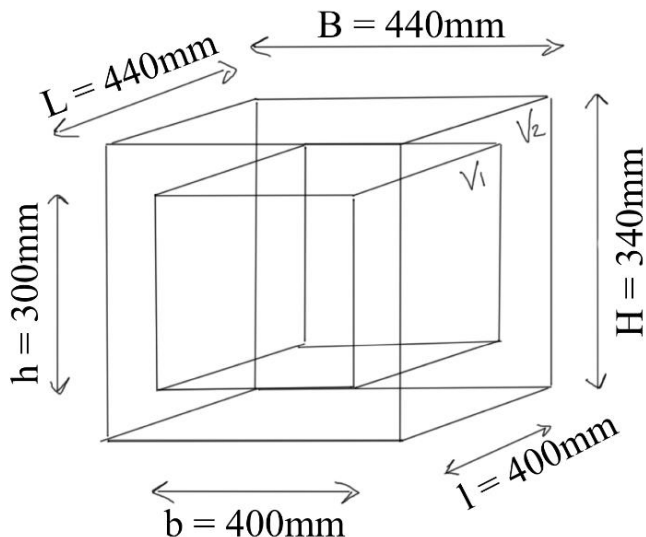
8.2.3 Dampkjele

Den ideale Rankine-syklusen starter i dampkjelen der vannet varmes opp og fordampes, før det overopphetes og sendes videre inn i dampturbinen. Turbinen krever en massestrøm på 0,03 kg/s med damp, dette tilsvarer 60 L/min. Dersom en regner om dette til vann får en 0,036 L/min med vann ved atmosfærisk trykk.

Ettersom konseptet skal sørge for å produsere strøm over lengre tid og ofte uten tilsyn er det viktig at dampkjelen har nok vann. Dersom energisystemet skal utvides med andre funksjoner, er det også viktig med nok vann slik at systemet ikke tørrlegges.

Det bestemmes at vanntanken skal integreres i brennkammerets vegger og at den skal inneholde 15 liter vann, da dette sørger for at systemet kan produsere strøm over lenger perioder uten tilsyn. Det vil da alltid være nok vann slik at systemet aldri tørrlegges, samtidig som brennkammeret på innsiden av kjelen kan ta stor variasjon i brensel. De innvendige målene til dampkjelen blir dermed 400x400x300 mm.

Videre designes og dimensjoneres en dampkjele, med hule vegger for å få et totalt volum på omtrent 15 liter.



Figur 53: Basemål for dampkjelen for å nå ønsket volum.

Volum av tankene regnes ut ved hjelp av formel 3.3:

$$V_{it} = l \times b \times h = 48 \text{ L}$$

$$V_{yt} = L \times B \times H = 65,8 \text{ L}$$

Åpninger for aske og mating:

$$V_{a/l} = 100 \times 100 \times 40 = 0,4 \text{ L}$$

$$V_d = 300 \times 300 \times 20 = 1,8 \text{ L}$$

Totalvolum:

$$V_{tot} = V_{yt} - V_{it} - V_{a/l} - V_d = 15,6 \text{ L}$$

8.2.4 Forbrenning

Basert på tidligere beregninger er det vist at dampturbinen krever en massestrøm på $\dot{m} = 0,030 \text{ kg/s}$ for å kunne produsere minimum 5.5kW. Videre må mengede biobrensel regnes ut for å vite hvor store mengder brensel som må forbrennes, for at kjelen skal kunne produseres nok damp.

Tabell 34: Oversikt over antagelser og tidligere resultater som benyttes i beregningen av nødvendig mengde brensel per time. (103)

Komponent	Verdi
Massestrøm (\dot{m})	0,030 kg/s
Fordampingsvarme ved 5 bar (h_e)	2105 kJ/kg

Tabell 34 forts.

Komponent	Verdi
Brennverdi Bjørk (B_B)	18600 kJ/kg
Brennverdi Pellets (B_P)	16900 kJ/kg
Virkningsgrad (η_B)	0,8

Varmestrømningshastigheten for å fordampe 0,03 kg vann i sekunder finnes ved å benytte formel 3.12:

$$O = \dot{m} \times h_e = 0,03 \times 2107 = 63,2 \text{ kJ/s}$$

Regner videre ut nødvendig mengde bjørkeved ($m_{B_{bjørk}}$), ved hjelp av formel 3.13:

$$m_{B_{bjørk}} = \frac{P}{B_B \times \eta_B} \rightarrow m_{B_{bjørk}} = \frac{63,2}{18600 \times 0,8} \rightarrow m_{B_{bjørk}} = \mathbf{12,2 \text{ kg/h}}$$

Regner ut nødvendig mengde pellets ($m_{Pellets}$), formel 3.13:

$$m_{Pellets} = \frac{P}{B_P \times \eta_B} \rightarrow m_{Pellets} = \frac{63,2}{16900 \times 0,8} \rightarrow m_{Pellets} = \mathbf{16,8 \text{ kg/h}}$$

8.2.5 Kondensator

For dimensjoneringen av kondensator har det blitt valgt å benytte vann som kjølevæske, dette er for at brukeren skal ha mulighet til å benytte det varme returvannet til ønsket formål. Dermed utvides energisystemets funksjoner og kan med dette ta over behovet for en varmtvannsbereder samtidig som at vannet kan benyttes for oppvarming av hytten eller fritidsboligen.

Tabell 35: Antagelser for vann-delen, for dimensjonering av kondensator. (103)

Komponent	Verdi
Spesifikk varmekapasitet (C_p)	4180 J/kgK
Temperatur inn (T_1)	15°C
Temperatur ut (T_2)	70°C

Tabell 36: Antagelser for damp-delen, for dimensjonering av kondensator. (103)

Komponent	Verdi
Spesifikk varmekapasitet (C_p)	2100 J/kgK
Temperatur inn (T_1)	300°C
Temperatur ut (T_2)	90°C
Masse-strøm (\dot{m})	0,03 kg/s

Antar at kondensatoren er 100% effektiv. Finner ut hvor mye vann som trengs per sekund for å kondensere dampen til varmt vann. Benytter formel 3.11 for damp og vann:

$$\phi = \dot{m}C_p \times (T_2 - T_1)$$

$$\phi_{Damp} = \phi_{Vann}$$

$$\dot{m}_{Damp}C_{p-Damp} \times (T_{2-Damp} - T_{1-Damp}) = \dot{m}_{Vann}C_{p-Vann} \times (T_{2-Vann} - T_{1-Vann})$$

$$0,030 \times 2100 \times (300 - 90) = \dot{m}_{Vann} \times 4180 \times (70 - 15)$$

$$13230 = 229900\dot{m}_{Vann}$$

$$\dot{m} = \frac{13230}{229900} \rightarrow \dot{m} = 0,0575 \text{ kg/s}$$

8.2.6 Varmeveksler

For å utnytte restvarme fra forbrenningen kan en luft til luft varmeveksler benyttes. Ved å innføre dette utvides funksjonene til energisystemet ytterligere. Varmeveksleren utnytter de varme avgassene fra forbrenningen for å varme opp kald luft, som blir dratt inn i varmeveksleren utenfra. Den kalde luften dras inn i varmeveksleren, blir oppvarmet og sørger for videre oppvarming av boligen. Den primære dimensjonering av varmeveksleren gjøres i *SolidWorks*, men beregningene som legger grunnlag for analysene utføres under:

Tabell 37: Forutsetninger for beregninger av varmeveksler. (121)

Komponent	Verdi
Massetetthet luft (ρ)	1,2 kg/m ³
Luftens spesifikke varmekapasitet (C_p)	1,0 kJ/kg × K

Det er tatt i betraktning at det skal varmes opp en bolig på 100 m², der det tas utgangspunkt i at det kreves 60 kW for å varme opp én kvadratmeter.

Dette gir en oppvarmingseffekt på:

$$Q_p = 100 \times 60 = 6 \text{ kW}$$

Bruken av en varmeveksler for å varme opp en bolig, egner seg best under vinterhalvåret. Derfor tas det utgangspunkt i en utetemperatur på 10°C som skal varmes opp til en innetemperatur på 20°C. Dette gir en temperaturendring $\Delta T = 10^\circ\text{C}$.

Nødvendig luftmengde som må strømme inn i varmeveksleren regnes ut ved hjelp av formel 3.14:

$$v_L = \frac{Q_p}{\rho \times C_p \times \Delta T} \rightarrow v_L = \frac{6}{1,2 \times 1 \times 10} \rightarrow v_L = 0,5 \text{ m}^3/\text{s}$$

8.2.7 Rør

Rør inn i turbin

Rørene har som oppgave å transportere dampen mellom komponentene, det er viktig at riktig tverrsnitt velges for å opprettholde trykk og massestrøm.

Tabell 38: Antagelser og resultater fra tidligere beregninger, for dimensjonering av rør fra dampkjele til turbin. (121)

Komponent	Verdi
Trykk i rør (P)	5 Bar
Temperatur (T)	400°C
Tetthet (ρ_{damp})	1,620 kg/m ³
Masse-strøm (\dot{m})	0,030 kg/s
Hastighet (v)	800 m/s

Finner den indre diameteren på rør, ved hjelp av formel 3.1 og 3.2:

$$\dot{m} = \rho A v \rightarrow A = \frac{\dot{m}}{\rho v} \rightarrow A = \frac{0,030}{1,620 \times 800} \rightarrow A = 2,315 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \rightarrow A = 23,15 \text{ mm}^2$$

$$A = \pi r^2 \rightarrow r = \sqrt{A/\pi} \rightarrow r = \sqrt{23,15/\pi} \rightarrow r = 8,53 \text{ mm}$$

$$d_i = 2r \rightarrow d_i = 17,0 \text{ mm}$$

Rør ut av turbin

Tabell 39: Antagelser og resultater fra tidligere beregninger, for dimensjonering av rør fra turbin til dampkjele. (121)

Komponent	Verdi
Trykk i rør (P)	0,5 Bar
Temperatur (T)	300°C
Tetthet (ρ_{damp})	1,9137 kg/m ³
Masse-strøm (\dot{m})	0,030 kg/s
Hastighet (v)	189,71 m/s

Finner den indre diameteren på rør, ved hjelp av formel 3.1 og 3.2.

$$\dot{m} = \rho A v \rightarrow A = \frac{\dot{m}}{\rho v} \rightarrow A = \frac{0,030}{1,9137 \times 189,71} \rightarrow A = 8,263 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \rightarrow A = 82,63 \text{ mm}^2$$

$$A = \pi r^2 \rightarrow r = \sqrt{A\pi} \rightarrow r = \sqrt{82,63\pi} \rightarrow r = 16,1 \text{ mm}$$

$$d_i = 2r \rightarrow d_i = 32,2 \text{ mm}$$

8.2.8 Priser

For å finne ut hvor mye det koster å drive systemet, gjøres det noen enkle kostnadsberegninger på aktuell brensl.

Prisene på bjørkeved og pellets er hentet fra byggmax.no (april 2023), som oppgir en pris på 3 kr/kg med bjørkeved og 6 kr/kg med pellets. (122,123)

$$\text{Fyring med bjørkeved} = \frac{\text{Pris}}{\text{Brennverdi} * \text{virkningsgrad}} = \frac{3}{18,6 * 0,8} = 0,20 \text{ kr/kWh}$$

$$\text{Fyring med pellets} = \frac{\text{Pris}}{\text{Brennverdi} * \text{virkningsgrad}} = \frac{6}{16,9 * 0,8} = 0,44 \text{ kr/kWh}$$

9 EKSTERN KONSEPTTESTING OG INPUT

I dette kapittelet skal det planlegges og gjennomføres en ekstern konsepttesting for å tilføye andre synsvinkler og input på konseptet. Dette skal gjøres ved hjelp av en brukerundersøkelse og ved ekspertråd innenfor relevante fagområder. Resultatene fra testingen skal drøftes før det konkluderes med hvilke elementer som er mest ønskelig å ta med seg videre i utviklingsprosessen. Testingen bidrar samtidig til at prosjektet blir kvalitetssikret av flere kilder.

9.1 Målsettinger for testingen

Konsepttestingen deles inn i to grupper, der den første gruppen består av mulige fremtidige brukere. Brukeraspektet ved et system som dette er spesielt viktig, jfr. Kapittel 3 (IPD/IPPD), derfor vil det være nødvendig å få innspill og hjelp fra vanlige folk. Brukertestingen kan gjennomført ved hjelp av en brukerundersøkelse, der det stilles spørsmål om behov, estetikk og dimensjoner på produktet.

Den andre gruppen i testopplegget vil bestå av fagfolk/eksperter både ved og utenfor NMBU. Her er tanken at noen utvalgte personer kan komme med gode innspill og relevant informasjon, med hensyn til utvikling og spesielt verkstedteknikk og produksjon av konseptet. Testingen gjøres for å heve nivået på systemet, oppklare eventuelle utfordringer og få innspill. På denne måten kan konseptet bli mer realiserbart.

Hovedmål

Hovedmålet for brukertestingen er å få et bedre innblikk i det mulige markedet som måtte finnes for energisystemet, samt ulike praktiske brukerbehov mm. I eksperttestingen er hovedmålet å få frem relevante og gode råd, samt veiledning på praktisk konstruksjon og produksjonsmetoder.

Delmål

- Kartlegge markedet og brukerens behov.
- Kartlegge utfordringer, faktorer og løsninger på ulike utfordringer som hever kvaliteten på konseptet og gjør det mer konkurransedyktig på markedet.
- Kartlegge de beste produksjonsmetodene for de ulike delene til systemet for å senke produksjonskostnadene.
- Kartlegge hvilke materialer som egner seg best til de ulike delene av systemet.
- Finne fordeler og ulemper ved valgt konsept.
- Utforske konseptets viktighet for individet og samfunnet.

9.2 Valg av testpopulasjon

For å sikre gode resultater i testingen vil riktig valg av testpopulasjon vil være sentralt, da dette avgjør om svarene vil være relevante for å kunne forbedre konseptet. Det vil være hensiktsmessig å nå ut til et bredt spekter av personer med ulik økonomi og som befinner seg i forskjellige livssituasjoner. En slik tilnærming gir gode resultater med ulike innsynsvinkler. Videre skal det gjennomføres en eksperttest, der det vil bli naturlig å finne fagfolk på NMBU, tidligere lærere og/eller bekjente med relevant erfaring.

9.2.1 Brukertesting

Målgruppen for brukertesting vil være personer som har bolig eller fritidsbolig utenfor strømmettet. Samtidig vil personer som ikke er innenfor denne kategorien også gi gode innspill med tanke på andre behov for systemet. Venner, bekjente og familie vil derfor være i sentrum av brukertesting. Her vil det også være hensiktsmessig å spørre ulike aldersgrupper, med tanke på økonomi og fremtidsvisjoner, som kan gi ulik tilbakemelding på et konsept som dette.

9.2.2 Eksperttesting

Ved spørsmål om design, konstruksjon, utforming og økonomi vil det være nyttig med innspill fra eksperter på ulike områder. Konseptet er svært kompleks og omfatter mange ulike deler som alle må fungere for at systemet skal bli komplett. Derfor har prosjektgruppen kontaktet fagfolk ved fakultetet for realfag og teknologi ved NMBU.

Tabell 40: Oversikt over ekspertgruppe fra NMBU med tilhørende tittel og fagområde.

Navn	Tittel	Fagområde
Øyvind Hansen	Senioringeniør	<ul style="list-style-type: none"> • Konstruksjon • Produksjon

Det har også blitt utført eksperttesting utenfor NMBU, da det var ønskelig å få innblikk i prosjektets relevans i en samfunnskontekst, der produksjon og fordeling av kraft sett opp mot samfunn og individ var sentralt.

Tabell 41: Oversikt over ekstern ekspertgruppe

Navn	Tittel	Bidrag/opplysninger
Bjarne Hodne	Professor emeritus	<ul style="list-style-type: none"> • Prosjektet i samfunnskontekst • Hytteeier

9.3 Innhold og form på testskjemaer, kommunikasjonsform

For å få mest mulig ut av testingen ble den utført en direkte dialog med testpopulasjonen. Dette gjorde det enklere for gruppen å formidle konseptets funksjon og mål, slik at enkeltpersonene kunne gi gode svar på spørsmålene.

Under beskrives oppbygningen og innholdet til de ulike testene.

Brukertesting

Det ble satt opp en brukerundersøkelse med spørsmål som går på dette med brukerbehov, interesse, verdiskapning, ønsket løsning mm. En kort innledning av hovedfunksjonen til løsningen ble presentert til hver person før det ble stilt en rekke spørsmål.

Spørsmål om forbruk og markedsmuligheter:

- Hvor ofte tenker du over strømbruken din og har du noen gang tenkt på andre måter å anskaffe strøm? (Da nettstrøm er standarden)
- Når du skal varme opp boligen din, bruker du ved eller strøm?
- Hvis du har fritidsbolig, hvordan gjør du det med strøm og oppvarming?

Spørsmål om brukerbehov og interesser:

- Hadde en løsning som denne vært aktuell å benytte for deg? Hvorfor/ hvorfor ikke?
- Hvor viktig er et system som krever lite tilsyn og vedlikehold for deg?
- Hvor viktig er det at produktet er brukervennlig og har et system som kan brukes av personer uten noen form for opplæring?

Spørsmål om estetikk og design:

- Hvor avgjørende er et godt design og at konseptet passer inn i omgivelsene rundt deg for at du skal kjøpe et slikt produkt?
- Hvilket designtrykk tenker du vil passe best i et konsept som dette? Henviser til kap. 6.6.

Eksperttesting

Eksperttestingen ble gjort ved avtale, der beskrivelse av konsept, relevant litteratur og midlertidig resultater ble sendt på forhånd. Deretter ble det gjennomført et fysisk møte der spørsmål og problemstillinger ble diskutert.

9.4 Resultater og resultattolkning

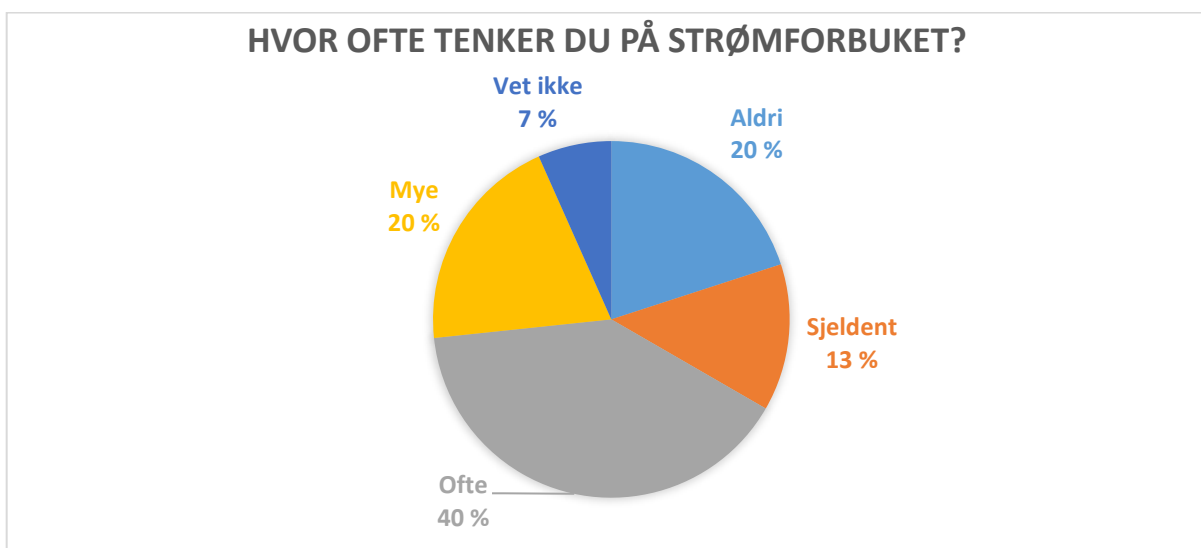
Etter endt konsepttesting drøftes resultatene, der gode innspill og tilbakemeldinger benyttes for å gjøre konseptet bedre. I dette del-kapitelet summeres de viktigste punktene fra eksperttestene og en oversikt over resultater og tilbakemeldinger fra brukertesten vises.

9.4.1 Resultater – Brukerundersøkelse

Brukerundersøkelsen ga gode tilbakemeldinger på de ulike temaene. Under har de viktigste og mest relevante svarene og tilbakemeldingene på spørsmålene som ble stilt gjennom brukerundersøkelsen blitt oppsummert og presentert.

Svar på forbruk og markedsmuligheter:

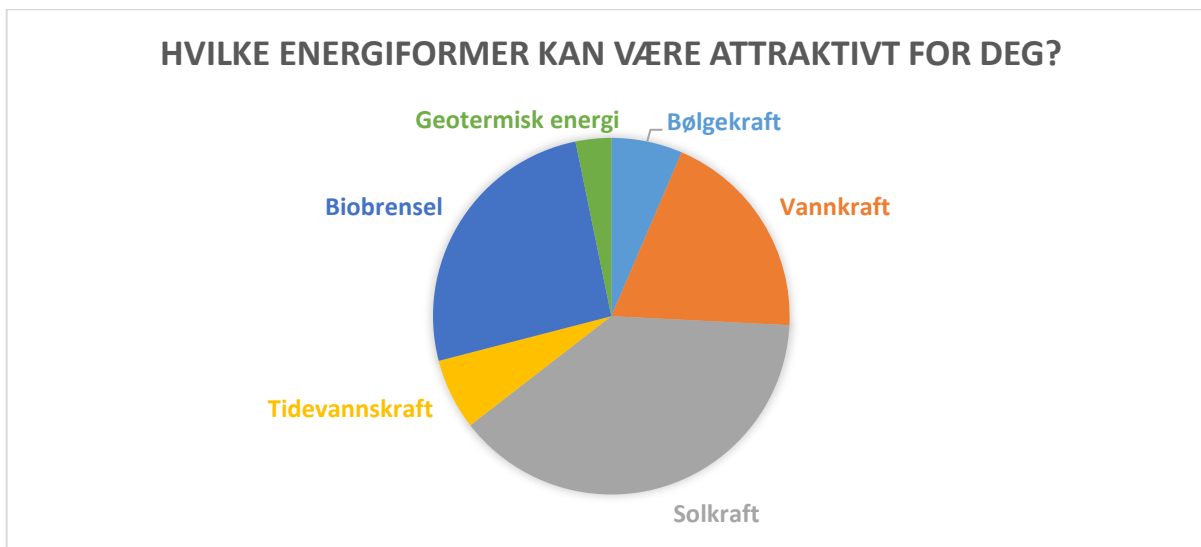
- De aller fleste har et bevisst forhold til strømforbruket sitt, der flere har tenkt på andre måter å skaffe strøm på, som for eksempel ved å benytte solcellepanel. Dette betyr at et produkt som kan gi strøm til lavere priser enn kraftselskapene vil være veldig aktuelt og har derfor et marked. Under ser vi at hele 40 prosent ofte tenker over hvor mye strøm de benytter.



Figur 54: Kakediagram som viser hvor ofte brukeren tenker på strømforbruket. (F&H)

- Godt over halvparten av personene som svarte på undersøkelsen benytter ved, flis eller pellets til å varme opp boligen. Videre benyttet de aller fleste samme oppvarmingsmåte i fritidsboligen. Dermed har majoriteten av de mulige brukerne tilgang til biobrensel, samtidig som de er vant til å benytte dette.
- De fleste personene med fritidsbolig uten tilgang på strøm benyttet solcellepanel og/eller aggregat som strømkilde, og var åpen for andre måter å få tilgang på strøm. Her har flere blitt kontaktet av kraftselskaper angående utbygging av nettstrøm. Blant de det gjaldt var det delte meninger om dette tilbudet.

Under på Figur 55 vises det et kakediagram med oversikt over hvilke energiformer som er attraktive for brukeren. Her er det tydelig at solkraft, vannkraft og biobrensel er de mest populære alternativene.



Figur 55: Kakediagram som viser oversikt over attraktive energikilder. (F&H)

Svar på brukerbehov og bruk:

- Majoriteten av personene som deltok i undersøkelsen var positive til en løsning som dette, men med faktorer som pris, brukervennlighet og effektivitet var det også mye usikkerhet om de hadde kjøpt et slikt produkt.
- Et system som kan driftes uten tilsyn var viktig for de fleste, både med tanke på brukervennlighet og sikkerhet. Et matesystem som kontinuerlig kan drive prosessen vil derfor være hensiktsmessig i et konsept som dette.
- God brukervennlighet vil være nødvendig, der de fleste mente at et system som dette måtte tilby intuitive løsninger, slik at det er enkelt i bruk. Dette vil være viktig, særlig med tanke på at systemet skal kunne benyttes ved utleie og utlån av boligen.

Svar på estetikk og design:

- Flertallet ønsket en kompakt løsning som ikke vil kreve stor plass, samtidig som at systemet skal skli inn i omgivelsene og ikke være sjenerende.

- Et forslag på det utvendige designet var å lage en løsning som åpnet opp for at kunden kunne velge farge på de utvendige panelene og på den måten tilpasse konseptet etter deres ønsker og behov.

9.4.2 Resultater – Eksperttest

Etter samtale med ekspertene ble det funnet mange gode forbedringspunkt og utviklet nye tanker om mulighetene det tilbyr. Resultatene vises under.

Møte med senioringeniør Øyvind Hansen:

Fokusområdet til dette møte var å se på de forskjellige komponentene i systemet og hvordan disse kunne utformes for enklest mulig produksjon, samt hvilke materialvalg som vil være best egnet.

De viktigste punktene fra samtalen med Hansen:

- Dampkjelen kan bli utfordrende å produsere, men vil være godt mulig.
- Energisystemet vil kreve høye produksjonskostnader (mye sveising).
- I et energisystem som dette blir ulike deler utsatt for høyt trykk, der det vil være kritisk å unngå skarpe hjørne og store overflater da dette skape høye spenningskonsentrasjoner. Runde og organiske former vil dermed være mer egnet.
- Sammenlignet med klassiske dampkjeler som er bygd opp av flere rør og større overflater vil denne kjelen bruke lengere tid til å varme opp vannet.

Samtale med professor emeritus Bjarne Hodne:

Ettersom prosjektet belyser mange samfunnsproblemer, har prosjektgruppen vært i kontakt med professor emeritus Bjarne Hodne for å få en vurdering av prosjektets relevans i en samfunnskontekst. Hodne hadde følgende å si om problemstillingen til prosjektet:

El-kraft og innovasjon

Slagordet til Statnett «Fremtiden er elektrisk» har økt aktualitet etter hvert som grønn omstilling av samfunnet blir mer nødvendig og mer krevende. Tre vesentlige problemstillinger trenger avklaring i møtet med denne omstillingen. Alle tre punktene ligger i skjæringspunktet mellom politikk, jus, etikk og innovasjon.

For det første: hvor går grensen mellom utbygging av fornybar energi og hensynet til bevaring av miljø, natur og dermed også livsgrunnlaget for både mennesker og dyr?

For det andre: Hva velges av grønn energiproduksjon som skaper minst problemer i forhold til ovenstående punkt? Vannkraft, bølgekraft, solkraft, atomkraft og vindkraft? Hvilken miks resulterer i minst konflikt og gir mest mulig kraft? Uansett valg vil virkningen av produksjonsform ha store miljømessige og samfunnsmessige innvirkninger.

Den tredje problemstillingen er kanskje noe enklere å håndtere, men likefullt krevende: Hvordan fordeles den elektriske kraften som produseres mellom samfunnets behov (industrielle behov og kraft til drift av samfunnets infrastruktur) og til husholdningene krav til strøm til oppvarming, el-biler, lys og husholdningsapparater - og til å dekke de samme kraftbehovene knyttet til fritidsboliger?

Etter hvert som samfunnet vil ha behov for mer kraft basert på fornybar energi, samtidig som vi ikke kan bygge ut alle vassdrag, sette opp vindmøller over alt og heller ikke ha solcelleparker plassert i det vi har av åpent terreng, må man kanskje avklare hva vi trenger til samfunnsbehov og hva den enkelte husholdning trenger av elektrisk strøm - for derved å finne en bærekraftig balanse mellom de valg man tar under punkt to ovenfor i forhold til problemstillinger skissert i første punkt?

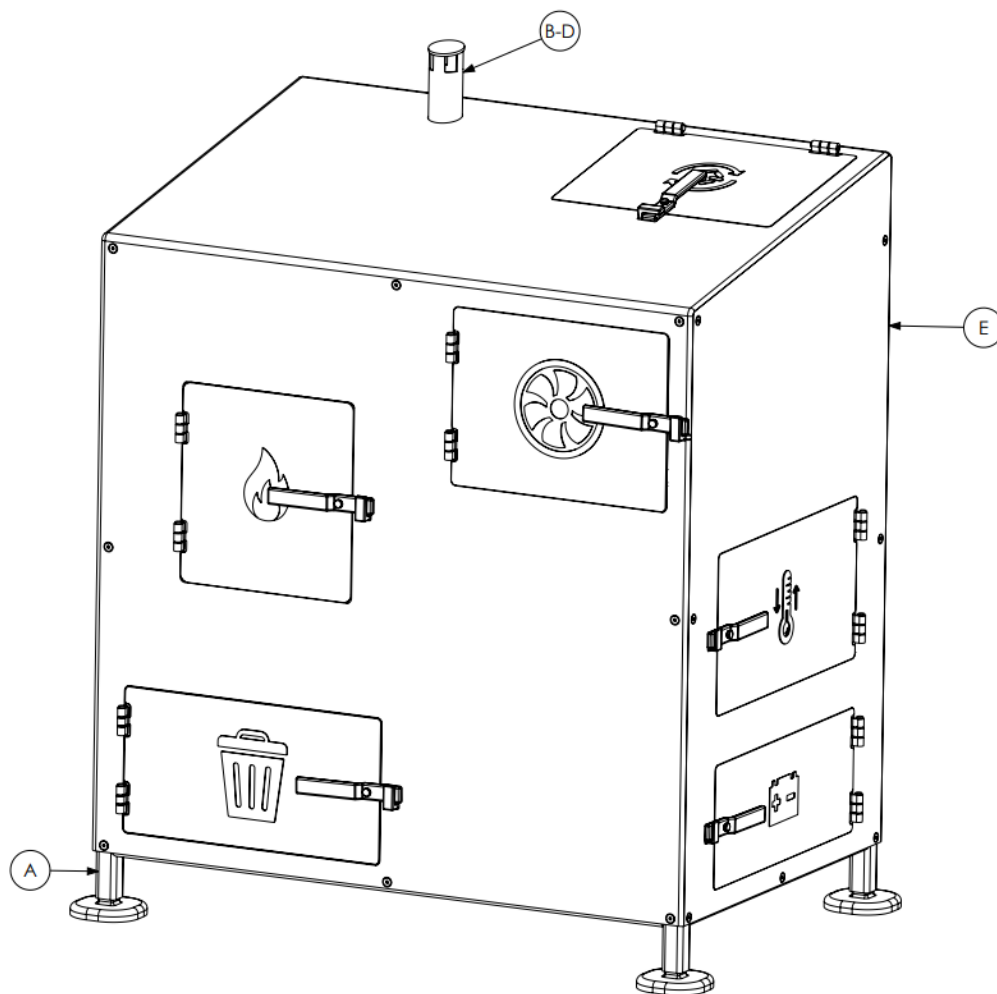
Ligger det en utfordring i det grønne skiftet på husholdningene og enkeltindividet for å ta ansvar for sin egen el-produksjon? Men da må det finnes innovative teknologiske løsninger som gir husholdningene mulighet til å produsere grønn strøm til eget forbruk. «Fremtiden er elektrisk» gjennom forskningsdrevet innovasjon.

10 PRODUKTARKITEKTUR OG KONSEPTDESIGN

I dette kapittelet presenteres produktarkitekturen og designet på konseptet basert på de løsningene og valgene som ble gjort i konseptutviklingen. Kapittelets hensikt er å visualisere utformingen, plasseringen og sammenstillingene til de ulike elementene i systemet.

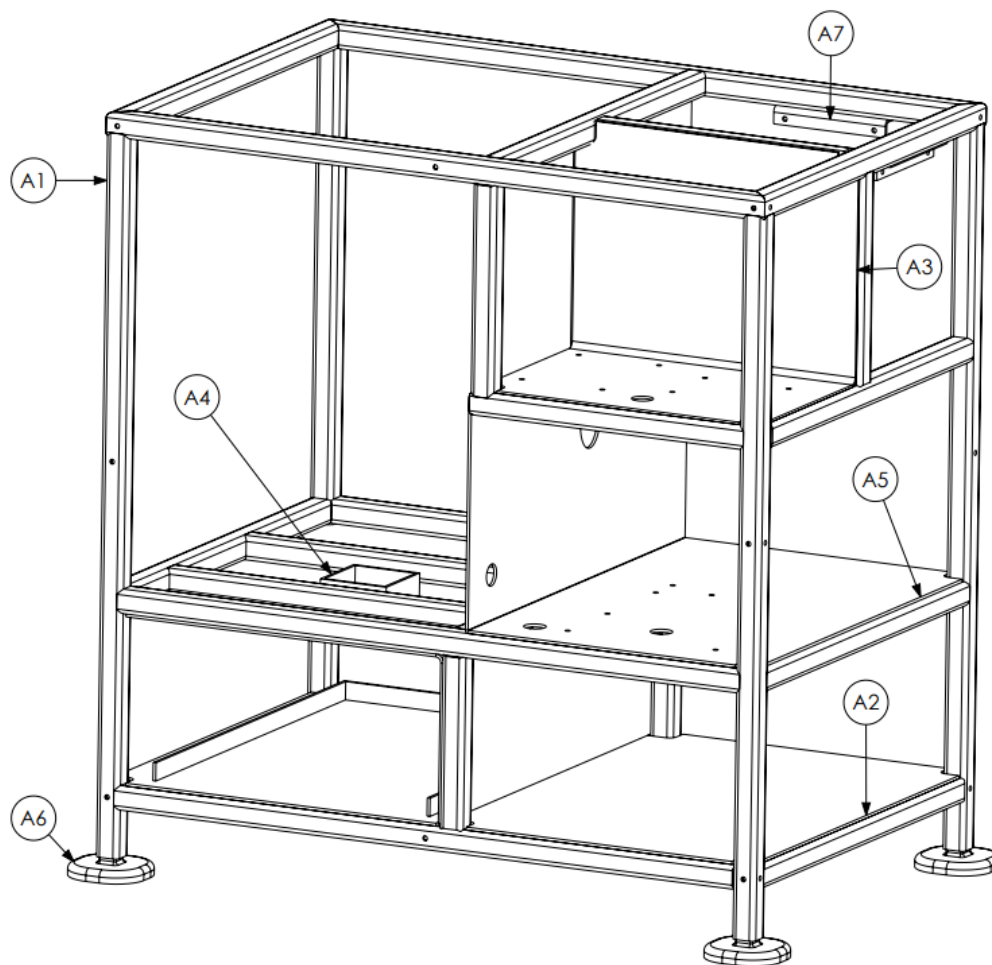
10.1 Sammenstilling og oversikt

Under på Figur 56 vises sammenstillingstegningen av energisystemet. Tegningen deles inn i fem forskjellige under-sammenstillinger, A-E. Hver sammenstilling tar for seg en del av energisystemet. Videre i de neste delkapitlene skal de nevnte under-sammenstillingene sees nærmere på. En oversiktstabell over alle delene i systemet kan sees i vedlegg 2.



Figur 56: Sammenstillingstegning av energisystemet, som viser hvor de aktuelle under-sammenstillingene befinner seg. Under-sammenstillingene er som følger: A-Bærende elementer, B.-Energisystem, C-Dampkjele med matesystem, D-Dampturbin og E-Kledning.

10.1.1 A-Bærende elementer

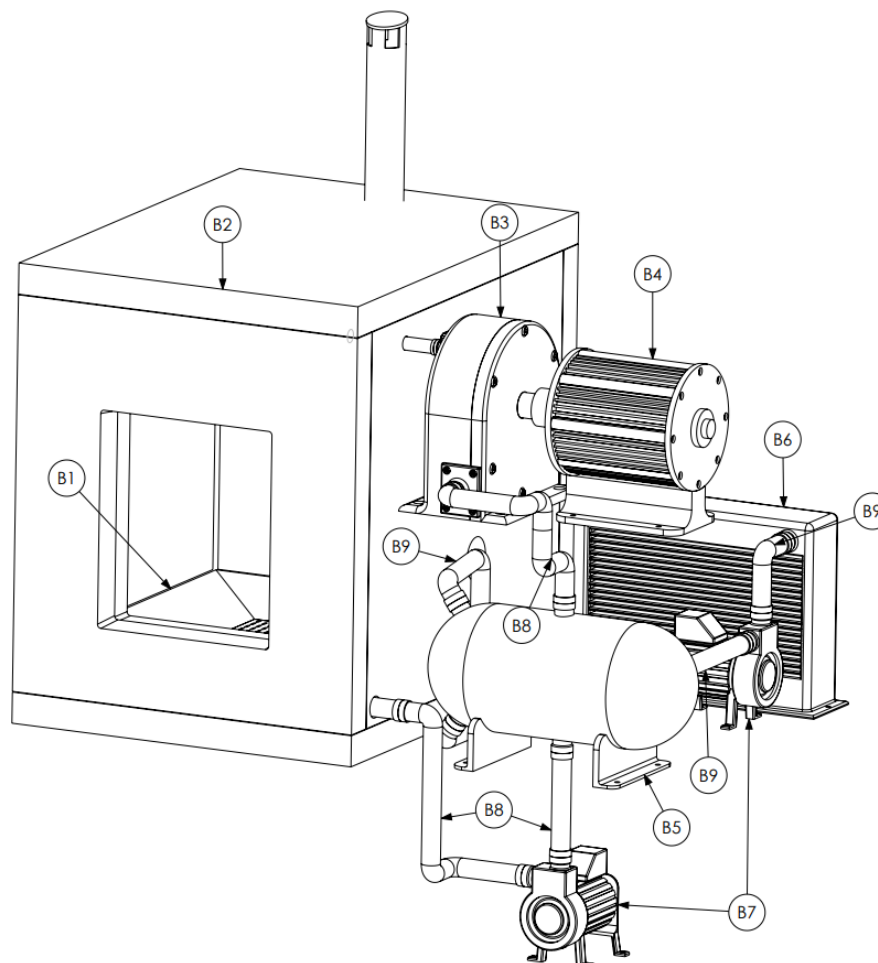


Figur 57: Sammenstillingstegningen av de bærende elementene i energisystemet. Delene i sammenstillingen kan sees under i Tabell 42.

Tabell 42: Del-liste for alle komponentene i sammenstillingen: A-Bærende elementer.

Del-nummer	Navn
A—Bærende elementer	
A1	Ramme
A2	Bunnplate
A3	Plate turbinrom
A4	Plate askerom
A5	Plate varmevekslings-rom
A6	Bein
A7	Vinkeljern

10.1.2 B-Energisystem

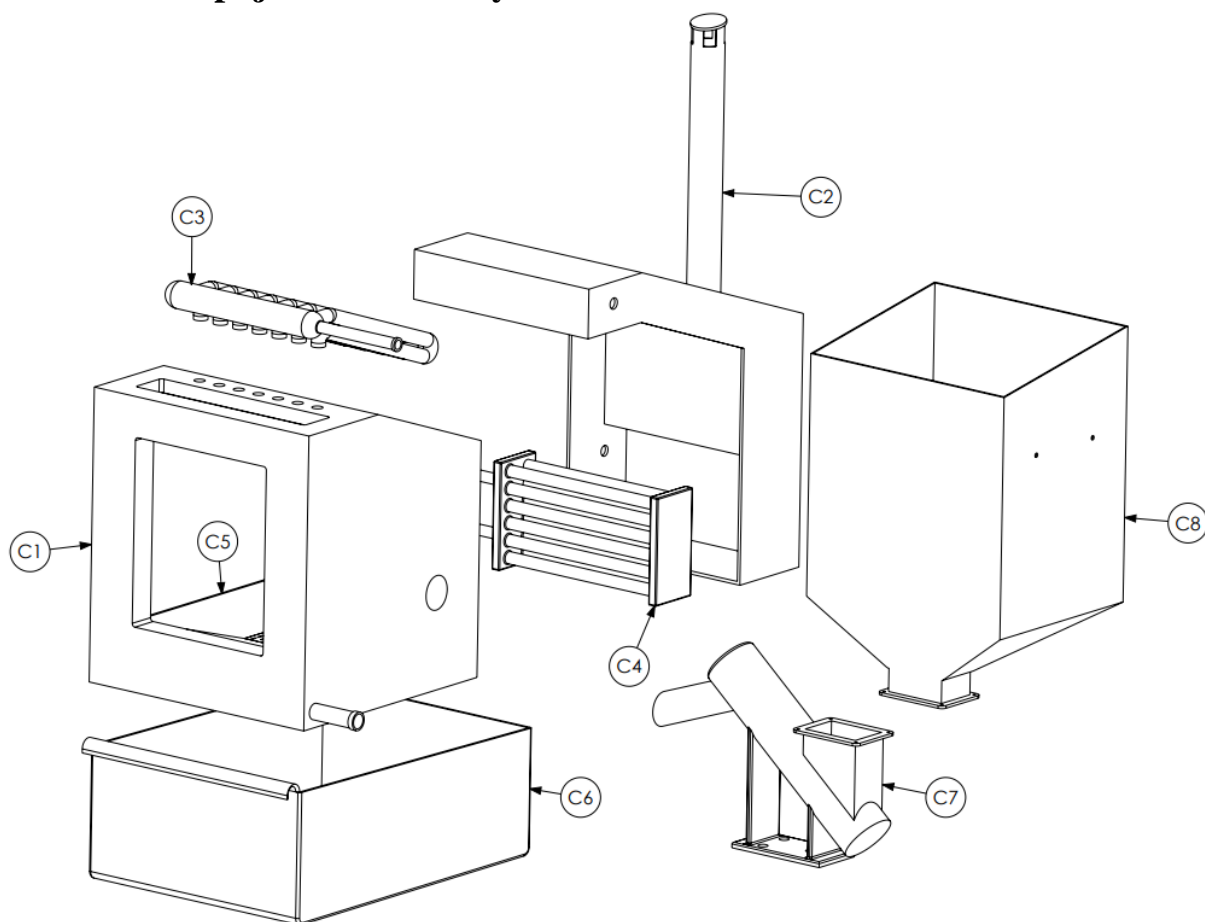


Figur 58: Sammenstillingstegningen av selve energisystemet til konseptet. Delene i sammenstillingen sees under i Tabell 43.

Tabell 43: Deleliste for alle komponentene i del-sammenstillingen: B-Energisystem.

Del-nummer	Navn
B-Energisystem	
B1	Dampkjele sammenstilling
B2	Skamotec brannplater
B3	Damp turbin sammenstilling
B4	Generator
B5	Kondensator
B6	Varmeveksler (vann til luft)
B7	Vannpumpe
B8	Rør- dampkrets
B9	Rør-vannkrets

10.1.3 C-Dampkjele med matesystem

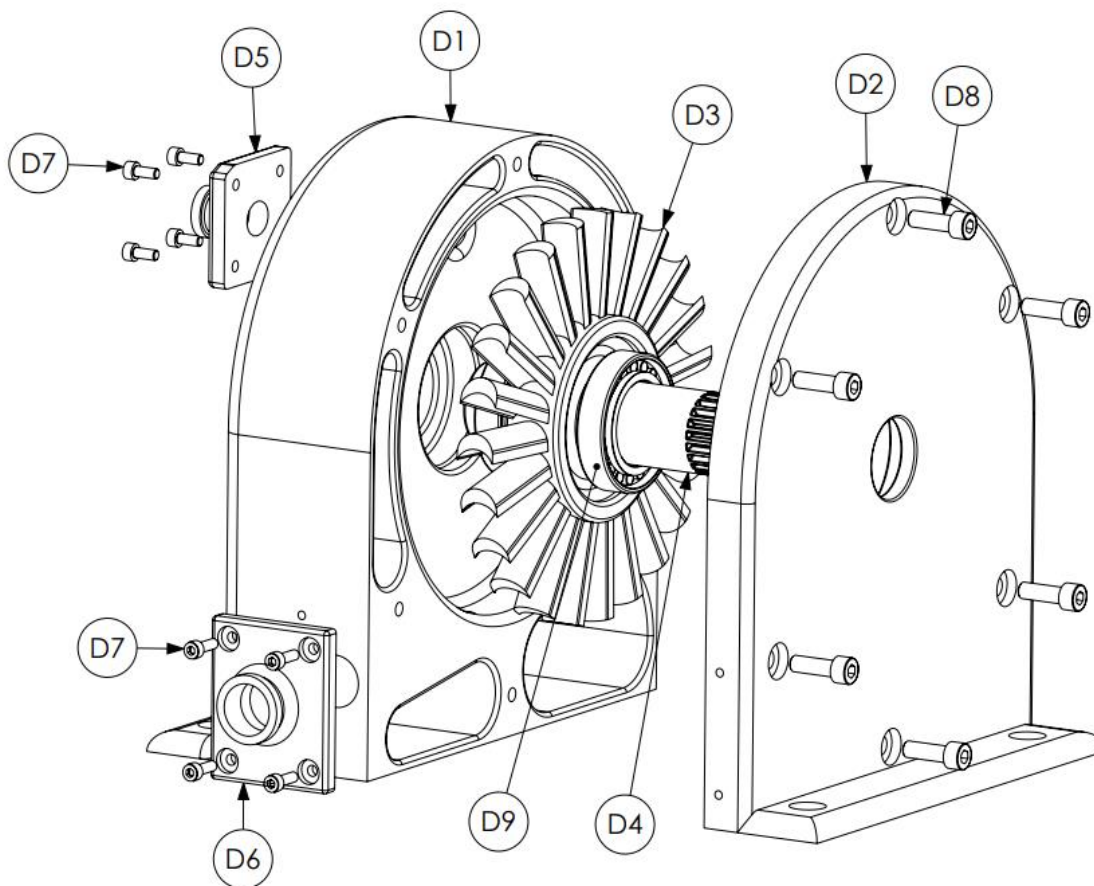


Figur 59: Sammenstillingstegning av dampkjele med tilhørende matesystem. Delene sammenstillingen består av kan sees under i Tabell 44.

Tabell 44: Del-liste for alle komponentene i sammenstillingen: C-Dampkjele med matesystem.

Del-nummer	Navn
C-Dampkjele med matesystem	
C1	Dampkjele
C2	Pipeløp
C3	Overoppheter
C4	Varmeveksler (luft til luft)
C5	Askebeger
C6	Askeskuff
C7	Mateskrue
C8	Pelletsbeholder

10.1.4 D-Dampturbin

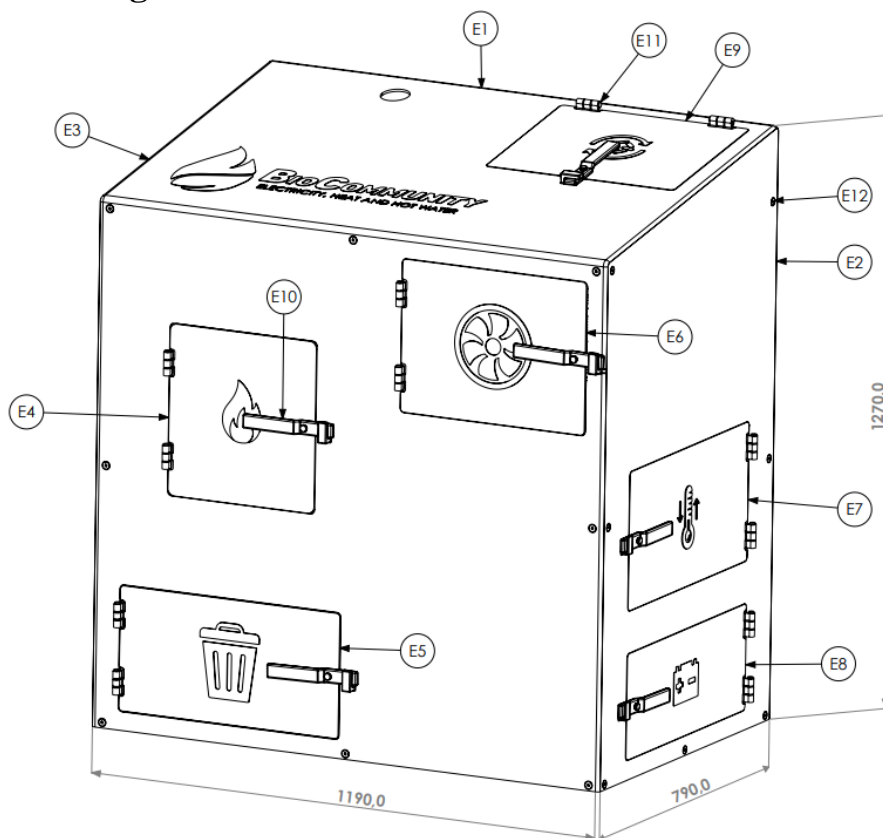


Figur 60: Sammenstillingstegning av dampturbinen, som sørger for å drive generatoren ved hjelp av dampen fra dampkjelen. Delene i sammenstillingen sees under i Tabell 45

Tabell 45: Del-liste for alle komponentene i sammenstillingen: D-Dampturbin.

Del-nummer	Navn
D-Dampturbin	
D1	Turbinhus-inløp
D2	Turbinhus-deksel
D3	Rotor
D4	Aksling
D5	Innløpsadapter
D6	Utløpsadapter
D7	ISO 4762 M5x16
D8	ISO 4761 M8x25
D9	SKF-N 1008 KPHA/HC5SP

10.1.5 E-Kledning



Figur 61: Utvendig design med kledning, dører og detaljer knyttet til funksjon, hengsler, håndtak og symboler. Kledningen har målene 1190x790x1260 mm (LBH). Delene i sammenstillingen sees under i Tabell 46.

Tabell 46: Del-liste for alle komponentene i sammenstillingen: E-Kledning.

Del-nummer	Navn
E-Kledning	
E1	Hovedkledning
E2	Kledning høyre side
E3	Kledning venstre side
E4	Dør brennkammer
E5	Dør askerom
E6	Dør turbinrom
E7	Dør varmevekslingsrom
E8	Dør elektrisk rom
E9	Dør pelletsbeholder
E10	Håndtak
E11	Låsesplint
E12	ISO 10642 M8x10

10.2 3D-rendering av hovedelementer

Gjennom dette delkapittelet presenteres alle 3D-renderingene av alle sammenstillingene fra kapittel 10.1. I tillegg gis en kort beskrivelse av hvordan sammenstillingene er bygd opp og hva de inneholder, før designvalgene blir beskrevet.

10.2.1 A-Bærende elementer

For å sikre trygg oppbevaring av de kritiske delene til energisystemet, har det blitt konstruert en solid ramme. Den er bygd opp av kvadratiske hulprofiler med dimensjonene 40x40x4 mm, som sveises sammen til en ramme med dimensjonene 1180x780x1220 mm (LBH). Rammen er bygd opp slik at den totale størrelsen på systemet ikke skal overskride størrelsen på en europall, sett ovenfra (1200x800 mm). Dette er primært for å holde systemet lite, samtidig som det senker transportkostnadene. Rammen er i tillegg konstruert slik at den kan fraktes slik den står, da en truck enkelt kan komme til på undersiden. Figur 62 viser hvordan rammen er bygd opp, der hvert område og «etasje» er lagd for å inneha ulike komponenter. I rammen er det plassert ulike plater for å skille rommene. Dette er for å isolere de ulike funksjonene innad i systemet. Rammen er også utstyrt med bein for å fordele vekten av systemet utover overflaten den står på.



Figur 62: Illustrasjon av aluminiumrammen til systemet. Den sørger for trygg oppbevaring av alle de kritiske komponentene til energisystemet. Del-sammenstillingen består av ramme, plater, bein og har en total størrelse på 1180x780x1220 mm (LBH).

10.2.2 B-Energisystem

Energisystemet er drivkraften til konseptet. Systemet består av en dampkjele der en overopphetingsenhet og en varmeveksler (luft til luft) monteres på innsiden (se Figur 73). Videre isoleres dampkjelen med brannplater (ildfast stein) for å holde på varmen og skjerme resten av systemet. Energisystemet består videre av en dampturbin, en generator, en kondensator, en varmeveksler (vann til luft) og rør med tilhørende vannpumper. Til slutt har systemet to batterier for å sørge for korttidslagring av strøm, samt drift av interne funksjoner som matesystem og vannpumper. Under på Figur 63 er det illustrert hvordan energisystemets komponenter plasseres i rammen.



Figur 63: Illustrasjon av aluminiumrammen der komponentene i energisystemet er plassert i sine respektive rom. Dampkjelen med brannplater til venstre, dampturbin og generator øverst til høyre. Kjølesystem med kondensator, varmeveksler, vannpumpe og tilhørende rør er plassert i midten til høyre. I nederste etasje til høyre er den siste vannpumpen plassert sammen med to batterier.

10.2.3 C-Dampkjele med matesystem

For å sikre jevn energiproduksjon trengs kontinuerlig tilførsel av brensel. Dette sørger matesystemet for. Modellen på Figur 64 viser dampkjelen med pellets- og flis beholder, mateskrue og askeskuff plassert i aluminiumrammen. Pellets og flis fylles på oversiden og mates inn i brennkammeret med en roterende skrue. Når brenselet har gjennomført en fullstendig forbrenning vil asken falle gjennom askebeholderet og ned i akseskuffen på undersiden. Skuffen er stor og rommer mye aske, dette for at systemet enkelt kan stå å gå lenge uten at det kreves tømning av aske. Når tømning av askeskuffen blir aktuelt gjøres dette manuelt.



Figur 64: Illustrasjon av aluminiumrammen der dampkjelen og matesystemet er plassert i rammen. Dampkjelen øverst til venstre, med den uttakbare askeskuffen under. Til høyre sees matesystemet som består av mateskrue og pellets- og flisbeholderen. Mateskruen er plassert mellom kondensatoren og varmeveksleren vist i forrige figur.

10.2.4 D-Dampturbin

Turbinen har som oppgave å gjøre om den potensielle energien i den overopphetedede dampen om til roterende energi. For å gjøre den enkel i drift, samtidig holde produksjonskostnadene nede har den blitt designet med enkelhet i sentrum. Det er også tydelig at designmetoden «Form Follows Function» har blitt benyttet her, da komponentene er designet etter størrelsen på rotoren og beregningene.

Turbinen har et enkelt turbinhus med et innløp på baksiden av figuren og utløp på venstre side av huset. For å senke produksjonskostnadene har det blitt lagd små adaptere som skrur på turbinhuset. Inn og utløps-adapterne har utpregede flenser for enklere sammenkopling til rørene mellom dampkomponentene. Dette gjør det også enklere dersom vedlikehold må utføres på individuelle deler. Figur 65 viser dampturbinen med utgående aksling og utløpsadapter.



Figur 65: Illustrasjon av dampturbinen, som sørger for å omgjøre den overopphetedede dampen til mekanisk energi. Innløpet til turbinen befinner seg på baksiden av modellen og utløpet sees på venstre side. Akslingen som kommer ut at turbinhuset kobles på en generator og har 21 «splines» som tilfredsstillt kravet for høye rotasjonshastigheter. Turbinen har dimensjonene: 300x263x189 mm.

10.2.5 E-Kledning

Det utvendige designet på energisystemet baseres på brukervennlighet. Kledningen består av tynne aluminiumsplater som skrues fast i rammen. Det er totalt 3 plater, to på hver kortsida og en stor sammenhengende plate med innlagt helning på toppen for vanddrenering. På disse platene er det integrerte hengsler til dører som gir tilgang til de respektive rommene.

Det er totalt seks dører i innlemmet i kledningen, disse har hver sitt symbol for å gi brukeren en tydelig oversikt over hva som befinner seg bak hver av dem. Videre er det konstruert en enkel låsemekanisme på hver dør, som består av et håndtak og en låseblokk. På taket av kledningen er det en dør for påfylling av pellets og flis. Videre på høyre kortsida er det to inspeksjonsluker, en for det elektriske rommet og en som gir tilgang til varmevekslingssystemet. I det øvre høyre hjørnet, på fremsiden av kledningen befinner det seg en inspeksjonsluke til dampturbinen og generatoren. Nedre på fremsiden finnes en dør slik at askeskuffen enkelt kan trekkes ut og tømmes. Over denne er døren inn til brennkammeret. Alt dette kan sees under på Figur 66.



Figur 66: Illustrasjon av kledningen til energisystemet. Det sørget for at de indre komponenten er trygt beskyttet mot det utvendige miljø. Kledningen består av tre store plater med hull til dører. Dørene har symboler knyttet til funksjonene som befinner seg bak de.

10.3 Design av komponenter

De ulike del-sammenstillingene består av flere komponenter, noe som ble vist på sammenstillingstegningene i kapittel 10.1. I dette delkapittelet skal de ulike komponentene i del-sammenstillingene bli sett nærmere på.

10.3.1 A-Bærende elementer

A1 - Ramme

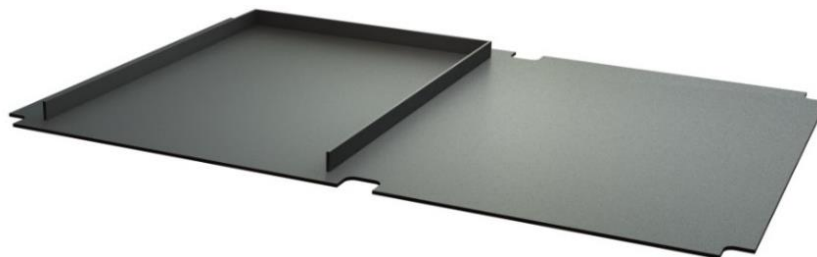
Rammen er konstruert for å være robust og for å tåle lasten energisystemet utgjør, i tillegg til utvendige påkjenninger som for eksempel snølast. Den er bygd opp av kvadratiske hulprofiler, med dimensjonene 40x40x4 mm.



Figur 67: Illustrasjon av rammen til energisystemet, som er kjernen i del-sammenstillingen.

A2 - Bunnplate

Bunnplaten består av en 5 mm tykk plate som plasseres i bunn av rammen. Platen har utstansede partier i hjørner og i senter av hver langside, for å passe sømløst inn i rammen. Videre er det påsveiset en kant tilpasset akseskuffens dimensjoner for enkel inn og uttaging.



Figur 68: Illustrasjon av bunnplaten, som sørger for at systemet er beskyttet fra utvendige elementer fra undersiden.

A3 - Plate turbinrom

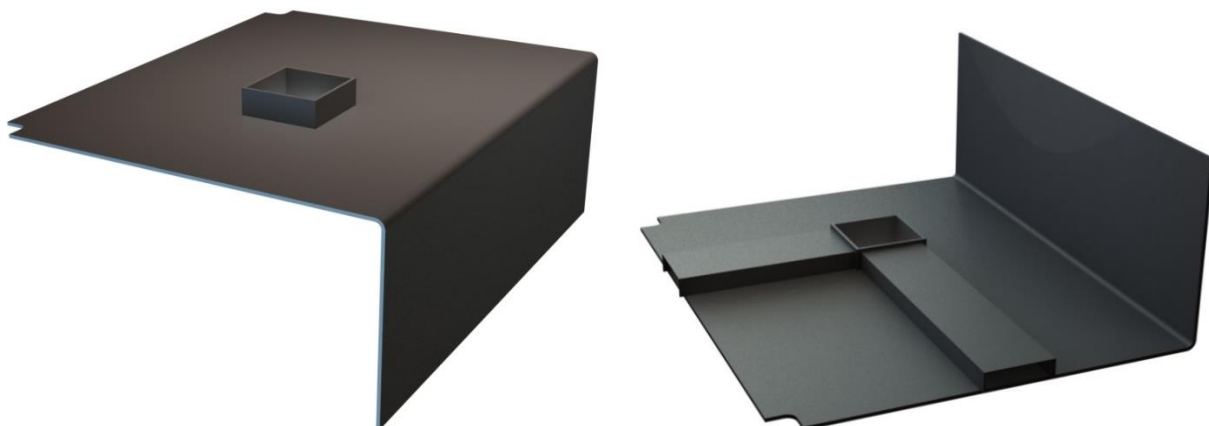
Platen sørger for å isolere turbinrommet fra resten av systemet. Platen er 5 mm tykk, har utstansede hull til skurer og rør, samt hjørner slik at den sklir sømløst inn i rammen.



Figur 69: Illustrasjon av plate som skiller turbinrommet fra varmevekslingsrommet og matesystemet.

A4 - Plate askerom

Komponentens hovedfunksjon er å isolere askerommet. Platen er 5 mm tykk og har utstanset senterpart og hjørner. I senter er det en kvadratisk profil som sørger for at asken trygt kan falle fra brennkammeret og ned i askeskuffen. Denne platen sørger også for lufttilførsel til brennkammeret, ved hjelp av de to luftganger. Luftgangene går helt ut til den ytre kledningen.



Figur 70: Illustrasjon av platen som isolerer askerommet fra resten av systemet. På figuren til høyre sees luftgangene som sørger for tilstrekkelig lufttilførsel til brennkammeret.

A5 - Varmevekslingsrom

Aluminiumsplaten sørger for at varmevekslings-komponentene og matesystemet er isolert fra dampkjelen. Den skiller også varmevekslings-rommet og elektronikk-rommet. Platen er 5 mm tykk og har utstansede hull til rør, matesystem og skruer til festing av komponenter. Den har også utstansede hjørner som matcher rammens profiler slik at platen enkelt passer fint i rammen.



Figur 71: Illustrasjon av platen som isolerer varmevekslingsrommet fra resten av systemet. Platen har hull til rør, bolter og matesystem.

A6 - Vinkeljern og A7 – Bein

Vinkeljernet sørger for å holde på plass pellets- og flisbeholderen. Den er montert øverst til høyre i den bakre delen av rammen. Det er to vinkeljern som holder på plass beholderen. Beinene til systemet sørger for at det trygt kan stå på alle overflater.

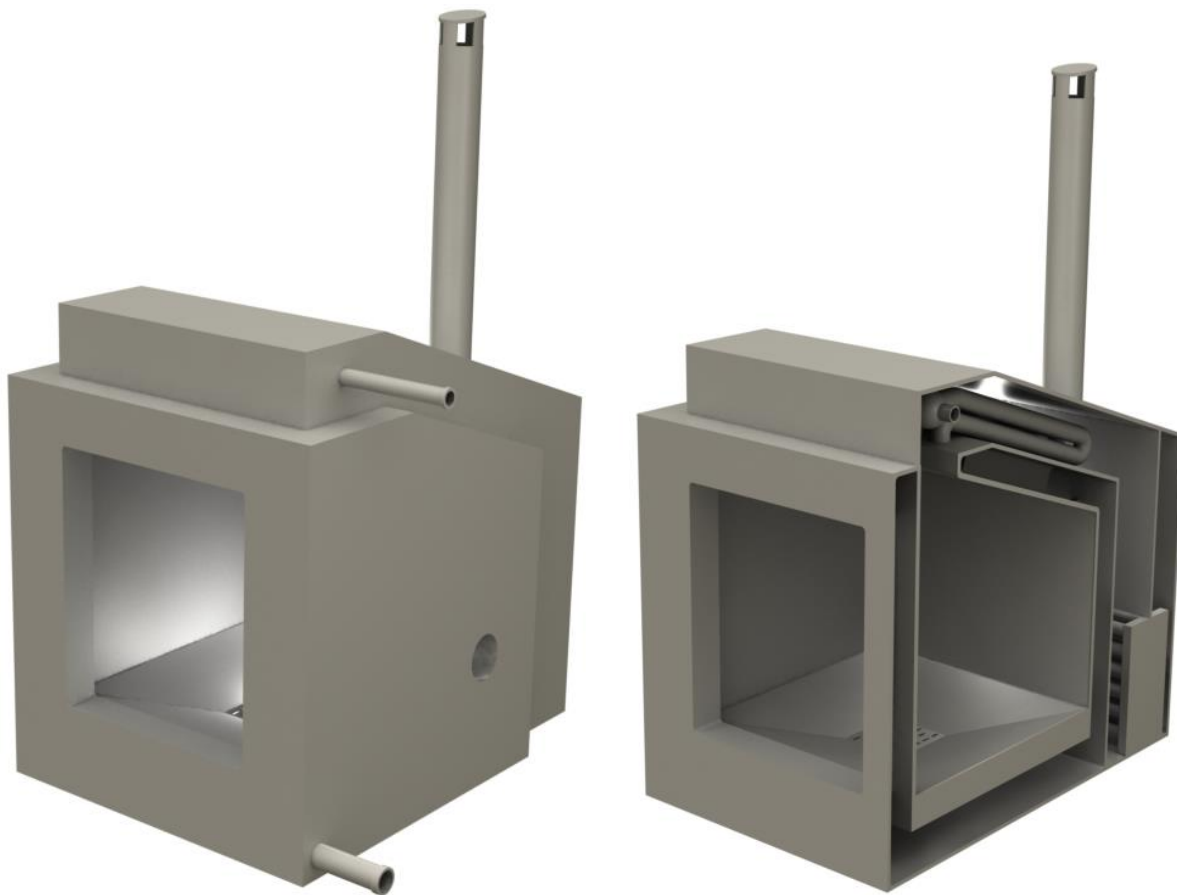


Figur 72: Illustrasjon av vinkeljern (venstre) og bein (høyre).

10.3.2 B-Energisystem

B1 - Dampkjeles sammenstilling

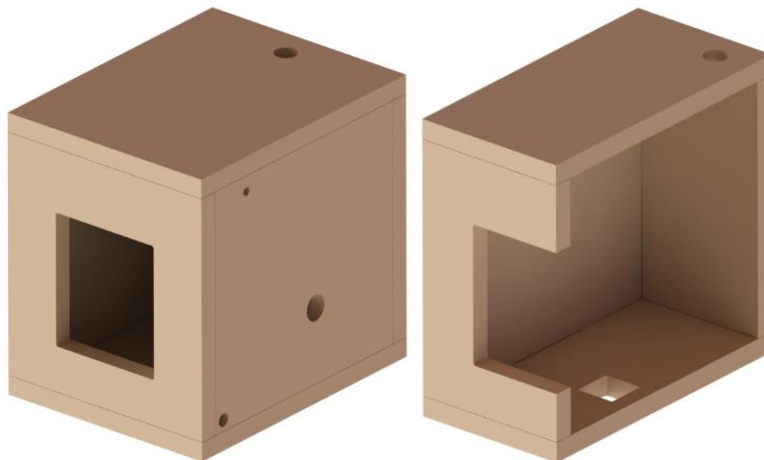
På figuren under er det dampkjelens sammenstilling illustrert. Dampkjelen er satt sammen av fem forskjellige deler; Dampkjelen, pipeløp, overoppheter, askebeger og varmeveksler (luft-luft), som vil bli sett nærmere på i kapittel 10.3.3 C – Dampkjele med matesystem. Sammenstillingen er utformet slik at forbrenningen skjer på innsiden av kjelen, som har hule vegger fylt med vann. Vannet vil fordampe og bevege seg opp i overoppheteren, som vil øke temperaturen på dampen å gjøre den tørr. Varmen fra forbrenningen føres videre opp forbi overoppheteren og varmeveksleren før den slippes ut gjennom pipen.



Figur 73: Modell av dampkjelen med tilhørende komponenter. Utvendig fremstilling vise til venstre der det nedre røret er retur-vann og det øvre røret kommer fra overoppheteren. Til høyre vises et gjennomskjæringsbilde, der alle komponentene synes. Askebegeret ligger i bunn av dampkjelen, overoppheteren ligger i starten av pipeløpet og varmeveksleren ligger bakers/nederst i samme komponent.

B2 - Skamotec brannplater

Alle sidene av dampkjelen isoleres med Skamotec brannmursplater, som har en tykkelse på 50 mm. Brannplatene sørger for å redusere varmetapet i dampkjelen, samtidig som de beskytter resten av systemet. Platene har åpninger for mating av pellets og ved, avgasser og aske. Dampkjelen plasseres på innsiden før de seks platene monteres sammen.



Figur 74: Fremsiden av plate-sammenstillingen viser en åpning for mating av vedkubber. På høyre side vises hull til damp, vann og pellets/flis-mating, og på toppen sees et hull til pipen. På illustrasjonen til høyre er det en gjennomskjæring som viser askehullet i bunn.

B3 - Dampturbin

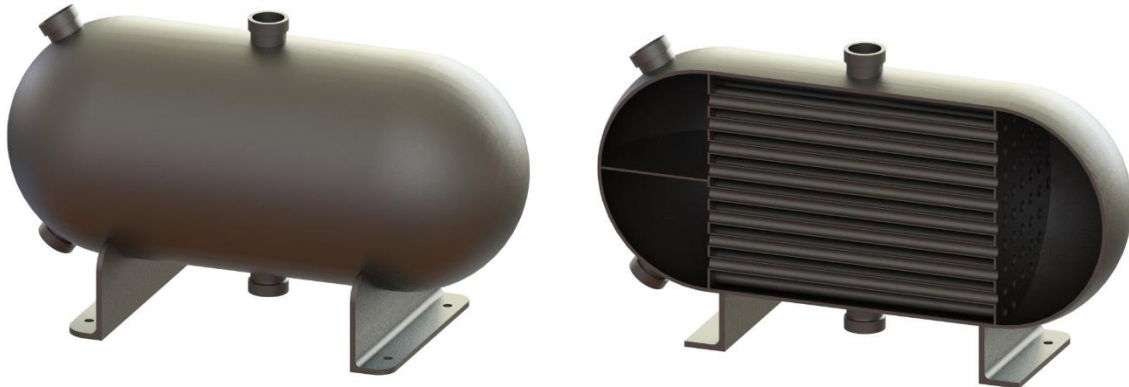
Dampturbinen består av en rotor, aksling og to kulelager fra kulelagerprodusenten SKF. Kulelagrene er lagd for å tåle høye temperaturer og hastigheter. Rotoren er krympet på akslingen for å sikre en god kraftoverførende presspassing, Kulelagrene er festet til akslingen med en slakkere presspassing. Rotorsammenstillingen holdes på plass i turbinhuset ved at kulelagrene sitter i respektive «hull» i huset og dekslet.



Figur 75: Hoveddel B3 - Dampturbin. Sammenstillingen består av 9 ulike deler, rotor, aksling, kulelager, innløpsadapter, utløpsadapter, skruer, turbinhus og turbinhus-deksel.

B5 - Kondensator

Den overopphetede dampen sendes gjennom dampturbinen før den føres inn i kondensatoren gjennom flensen på oversiden. Her støter dampen på en rekke rør med kjølevann som reduserer temperaturen og kondenserer dampen til vann. Vannet går deretter ut av flensen på undersiden før det pumpes videre inn i dampkjelen.



Figur 76: Modell av kondensatoren med gjennomskjæring til høyre. Innløp til damp på toppen i senter og utløp for varmt vann i bunn. Innløpet til kjølevannet er på toppen til venstre og utløpet i underkant.

B6 - Varmeveksler (vann - luft)

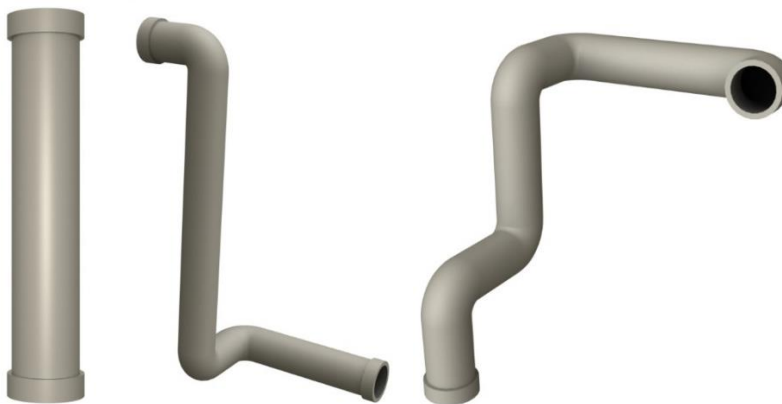
Kjølevannet som sendes inn i kondensatoren varmes opp av den overopphetede dampen. For å kontinuerlig kunne sirkulerer kaldt vann inn i kondensatoren, uten tilgang på en vannkilde trengs en varmeveksler. Komponenten plasseres slik at kjølig luft fra utsiden føres gjennom og forbi det oppvarmede vannet fra kondensatoren. Komponenten kan også byttes ut til en «vann til vann»-varmeveksler dersom en ønsker å benytte seg av det varme kjølevann til varmtvann eller oppvarming



Figur 77: Illustrasjon av en «vann til luft»-varmeveksler, der innløp av varmt vann befinner seg nede til venstre og utløp av kaldt vann befinner seg oppe til høyre.

B8 - Rør dampkrets

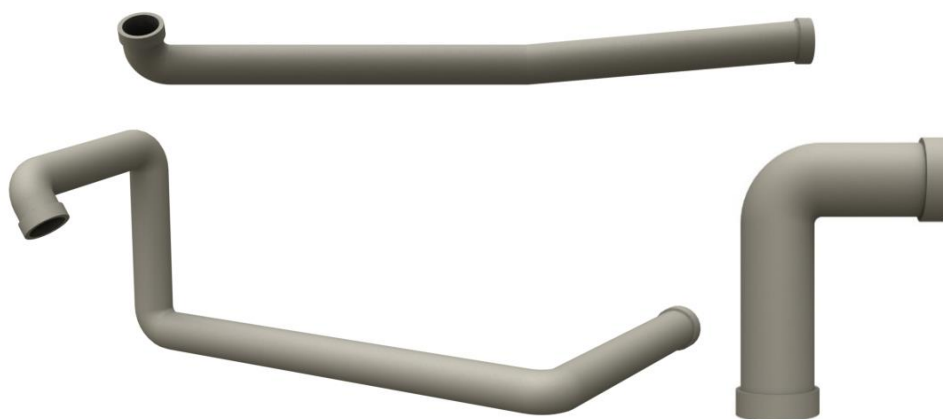
For å kople dampkretsen sammen kreves det rør. Rørene fører den overopphetede dampen som kommer ut fra dampturbinen og ned i kondensatoren, før en vannpumpe fører vannet tilbake til dampkjelen. Rørene er formet slik at de tar så lite plass som mulig i sammenstillingen.



Figur 78: Til venstre sees rør som kobler kondensatoren til vannpumpen, videre kobles det midtre røret til vannpumpen og dampkjelen. Til høyre sees røret som kobles mellom dampturbinen og kondensatoren.

B9- Rør vannkrets

For å kople vannkretsen sammen kreves det rør. Rørene fører det kalde vannet fra varmeveksleren, gjennom en varmepumpe og inn i den kalde siden av kondensatoren. Rørene sørger videre for at kretsen lukkes mellom utløpet i kondensatoren og innløpet i varmeveksleren.



Figur 79: Det øverste røret kobles mellom utløpet på kondensatoren og varmeveksleren og røret til høyre kobles mellom varmeveksleren og vannpumpen. Det siste røret sørger for at vannpumpen kobles til innløpet på kondensatoren.

10.3.3 C-Dampkjele med matesystem

C1 - Dampkjele

Dampkjelen er komponenten i energisystemet som produserer damp. Kjelen rommer totalt 15 liter vann og utsettes for et trykk på 5 bar. Vannet sendes inn flensen i bunnen av kjelen, ved hjelp av en vannpumpe. Deretter vil varmt vann føres oppover i kjelen etter hvert som det blir oppvarmet, før det fordampes. Dampen vil så dras inn i overopphetningsenheten gjennom de syv hullene sett på oversiden.



Figur 80: Modell av dampkjelen med tverrsnitt (høyre) som viser hvordan kjelen er bygd opp og rommer vann i alle veggene.

C2 - Pipeløp

Den bakre delen av dampkjelen sørger for å føre forbrenningsvarmen forbi overopphetingsenheten og varmeveksleren, før avgassene sendes ut gjennom pipen. Denne delen sveises fast i på bak- og oversiden av dampkjelen.



Figur 81: Figuren viser andre halvdel av dampkjelen som huser overopphetingsenheten og varmeveksleren. Hullene nede til venstre er for å føre luft inn og ut av varmeveksleren og hullet i øvre del av komponenten er for å føre overoppheteren ut av dampkjelen.

C3 - Overoppheter

For å produsere tørr damp til turbinen, trenges det en opphetningsenhet. Komponenten er bygd opp slik at syv rør som festes i dampkjelen, der vanddampen siger inn. Videre varmes dampen opp og blir tørr, før den deretter samles og sendes ut gjennom et mindre rør inn i dampturbinen.



Figur 82: Figuren viser utformingen på overopphetingsenheten, der syv rør samles og fører den tørre dampen inn til dampturbinen. Innløpt av «våt» damp skjer i de syv parallelle rørene, mens utløpet av overopphetet damp skjer i røret øverst på figuren.

C4 - Varmeveksler (luft til luft)

Energisystemet er utstyrt med en varmeveksler, slik at det kan brukes til å produsere varm luft. Varmeveksleren er plassert på innsiden av dampkjelen og blir utsatt for høye temperaturer fra avgassene til forbrenningen. Komponenten fungerer ved at kald luft utenifra sendes inn gjennom det øvre innløpet. Her fordels luften på en rekke rør som utsettes for den høye temperaturen i pipeløpet. Luften kommer så ut igjen gjennom utløpet med en høyere temperatur.



Figur 83: Figuren viser varmeveksleren med gjennomskjæring til høyre. Innløp er øverst på modellen og utløp er nederst. Varmeveksleren kan benyttes til å varme fritidsboligen.

C5 - Askebeger

Askebegerets har et flere forskjellige oppgaver. Med en skråstilt utforming vil begeret drenere bort aske etter hvert som forbrenninger pågår. Asken vil falle gjennom gitteret i senter av komponenten, som også fungerer som lufttilførsel i brennkammeret. I tillegg vil mateskruen sende inn pellets eller flis, som faller ned i brennkammeret, der skråskjæringene sørger for at brenselet samles i midten for en bedre forbrenning.



Figur 84: Illustrasjon av askebegerets utforming. Den viser de skråstilte platene som sørger for at brenselet samles i midten. Gitteret sørger for askedrenering og lufttilførsel.

C6 - Askeskuff

Askeskuffen er enkelt bygd opp og vil være plassert i sitt eget rom på undersiden av brennkammeret. Den rommer mye aske, som gjør at systemet kan operere lenge uten å trenge tilsyn. Skuffen har en bøy på den ene kortsiden som sørger for enkel håndtering.



Figur 85: Figuren viser askeskuffen, som sørger for at systemet kan produsere energi over lengre tid, uten at det trenger tilsyn. På den ene kortsiden sees et håndtak, som sørger for enkel håndtering når skuffen må tømmes.

C7 - Mateskrue

Mateskruens oppgave er å kontinuerlig mate brennkammeret med brensel i form av pellets eller flis. Fra en beholder på oversiden fores en roterende skruer med brensel som løfter det opp, før det sklir ned inn i brennkammeret. Skruen har en 12 V el-motor som sakte roterer skruen og sørger for jevn mating og videre forbrenning. Skruen står på en fot som boltes fast i aluminiumrammen og sørger samtidig for trygg oppbevaring av pellets-beholderen.



Figur 86: Illustrasjon av mateskruen med tverrsnitt (høyre). Figuren til høyre viser hvordan pellets faller ned til skruen, før den skrues oppover å slippes ned til brennkammeret.

C8 - Pelletsbeholder

For oppbevaring av flis og pellets er det konstruert en beholder som vil føre brenselet ned til mateskruen. Beholderen sørger for at energisystemet kan produsere energi over lengre tid, uten tilsyn da den kan romme opp til 80 liter brensel.

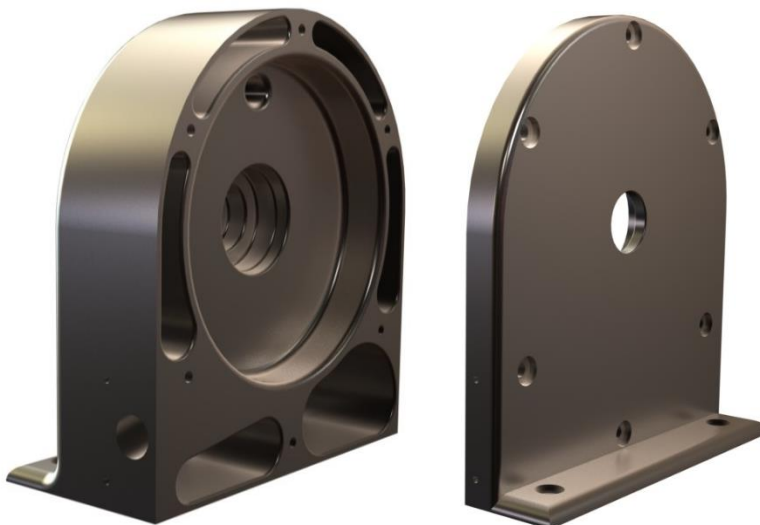


Figur 87: Illustrasjonen viser utformingen av pelletsbeholderen. Komponenten boltes fast i mateskruen på undersiden. Gjennomskjæring er vist på figuren til høyre.

10.3.4 D-Dampturbin

D1 - Turbinhus innløp og D2- Turbinhus deksel

Turbinhusets oppgave er å oppbevare rotor-sammenstillingen og sørge for at den overopphetede dampen kun gjør arbeid på rotoren. Delen til venstre er den delen av turbinhuset der dampen entrer og forlater rotoren. Dampen entrer i topp og forlater huset i bunn. Til høyre er lokket til turbinhuset, den sørger for at alt er tett og at rotorsammenstillingen sitter ordentlig i huset.



Figur 88: Illustrasjon av dekslene til turbinen. Venstre del vil huse turbinen og høyre vil lukke systemet å gjøre turbinen lufttett. Innløp av overopphetet damp skjer på baksiden av figuren til venstre, mens utløpet kan sees på venstre side.

D3 - Rotor

Rotoren sørger for overføring av den potensielle energien i den overopphetede dampen, til roterende krefter. Dette gjør den ved hjelp av turbinbladene som fanger dampen som skytes inn i turbinen.



Figur 89: Illustrasjon av rotoren der den overopphetede dampen treffer turbinbladene og gjør at rotoren roterer. Rotoren har 23 turbinblad og har en ytre diameter på 200 mm.

D4 - Aksling

Turbinakslingen sin jobb er å overføre de roterende kreftene som dannes av rotoren til generatoren. Akslingen festes til rotoren ved en kraftoverførende presspassning. For påkobling av generator benyttes det splines på akslingen. Antall splines er satt til 21, da dette tilfredsstiller kravene for høye rotasjonshastigheter



Figur 90: Illustrasjonen viser akslingen til turbinen. Den sørger for at rotoren kan overføre de roterende kreftene til generatoren, ved hjelp av 21 splines. Antall splines tilfredsstiller kravet for høye rotasjonshastigheter.

D5 - Innløpsadapter og D6-Utløpsadapter

For å forenkle turbinhusene har det blitt lagd inn og utløpsadaptere. Disse skrues på turbinhuset med inn og utløp, og sørger for enkel tilkobling.



Figur 91: Venstre figur er innløpsadapteren som plasseres på baksiden av turbinhuset der damp skytes inn i turbinen. Høyre figur er utløpsadapteren som sørger et tett og sikkert utløp.

10.3.5 E - Kledning

E1 - Hovedkledning

Hovedkledningen sørger for at energisystemet er beskyttet fra omgivelsene. Den sørger samtidig for at brukeren får tilgang til de ulike rommene i systemet, ved hjelp av åpninger for dører. Hovedkledningen sørger også for lufttilførsel til brennkammeret og «vann til luft»-varmeveksleren. Kledningen består av en aluminiumplate med en tykkelse på 5 mm som festes til rammen ved hjelp av nedfelte skruer i ytterkant.



Figur 92: Illustrasjon av hovedkledningen, der det er luker til brennkammeret, askeskuffen og turbinrommet, på fremsiden av kledningen. På toppen av kledningen er det hull til pellets- og flisbeholderen. På baksiden er det hull til B6-varmeveksler (vann til luft) og hull for lufttilførselen til brennkammeret. Ved hver luke er det hengsler og låsekloss.

E2 - Kledning høyre side og E3 - Kledning venstre side

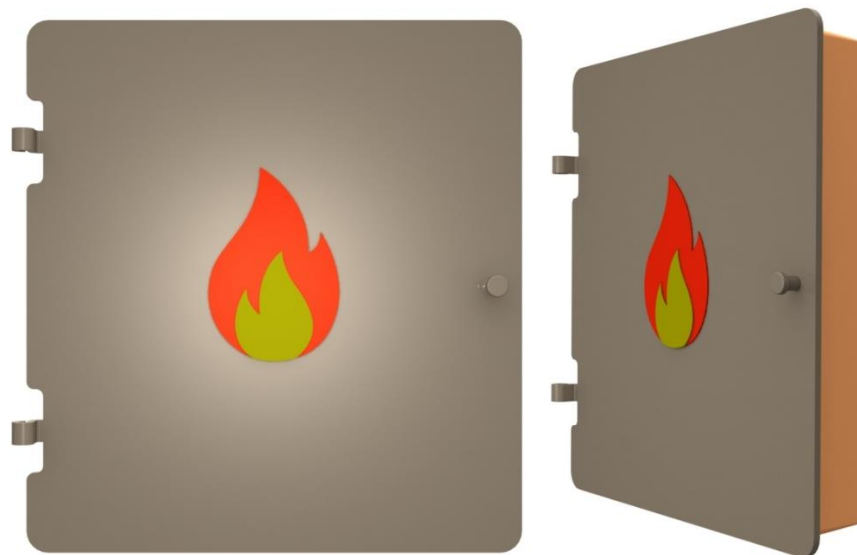
Sammen med hovedkledningen sørger side-kledningene for at systemet er beskyttet fra omgivelsene. Kledningen er skrå i overkant, med en helning på 10°, som sørger for at vann og snø ikke legger seg på taket til systemet. Dette kan også sees på figuren under. E2 plasseres på høyre side og E3 plasseres på venstre side av systemet, sett forfra. E2 tilbyr samme funksjoner som hovedkledningen, inspeksjonsluker, med hengsler og låseklosser. E3 sørger for lufttilførsel til brennkammeret og hull til rørene som kommer fra varmeveksleren (luft til luft) i pipeløpet. Platene monteres på lik linje som hovedkledningen, med nedfelte skruer og danner med det en sømløs overgang mellom klednings-komponentene. Side-kledningene har samme tykkelse som hovedkledningen, 5 mm.



Figur 93: Illustrasjon til venstre viser kledning høyre side, med inspeksjonsluker til batterirom og varmevekslingsrom med hengsler og låseklosser. Illustrasjon av kledning venstre side, med hull for lufttilførsel til brennkammeret og hull til rørene fra C4-Varmeveksler sees til høyre.

E4 - Dør brennkammer

Døren til brennkammeret sørger for muligheten til manuell mating av organisk materiale til energisystemet. Døren er 5 mm og videre isolert med en 50 mm tykk Skamotec brannmursplate. Døren er utstyrt med hengsler og tapp til montering av håndtak. Et enkelt flammesymbol sørger for at brukeren lett forstår at dette er døren til brennkammeret.



Figur 94: Illustrasjon av dør-brennkammer, der hengsler låsetapp og symbol for intuitiv bruk sees. På høyre figur synes den isolerende brannplaten fra Skamotec.

E5 - Dør askerom

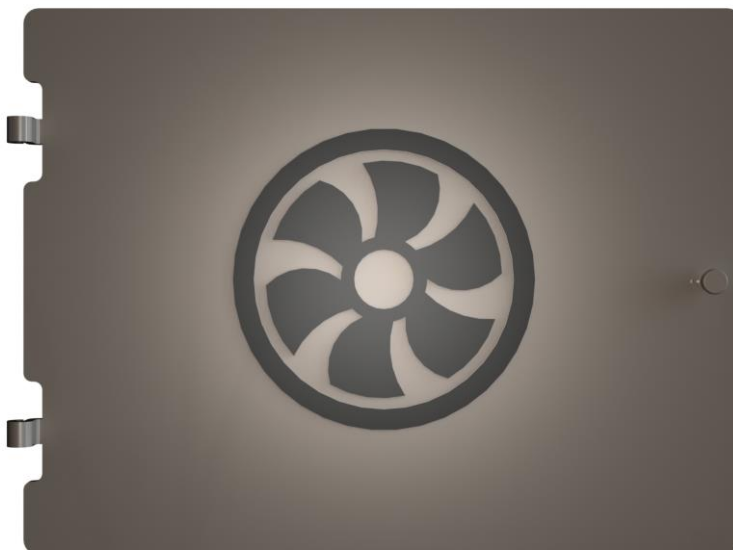
Døren til askerommet sørger for at askeskuffen enkelt kan tas ut og tømmes. Døren er 5 mm tykk og sklir i et med resten av kledningen når lukket. Døren er utstyrt med hengsler og tapp til montering av håndtak. Et enkelt søppelkasse-symbol sørger for at brukeren lett forstår at dette er døren til askerommet.



Figur 95: Illustrasjon av dør-askerom, som sikrer trygg oppbevaring av askeskuffen. Hengsler låsetapp og symbol for intuitiv bruk vises.

E6 - Dør turbinrom

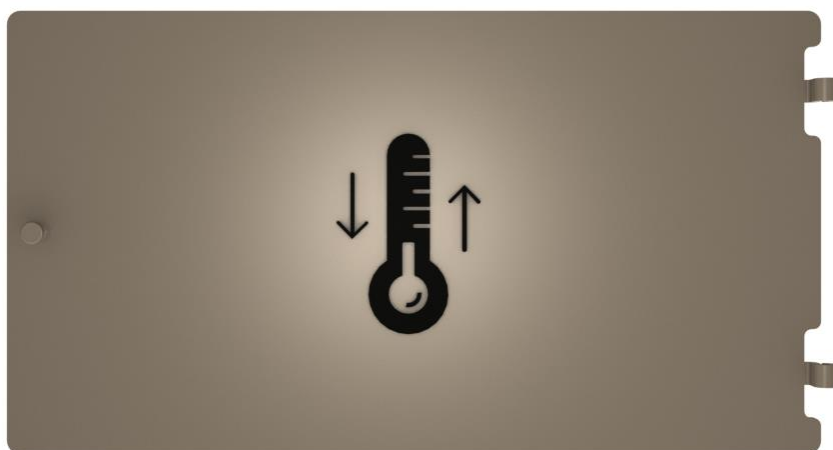
Døren til turbinrommet sørger for enkel inspeksjon av dampturbinen og generatoren. Døren er 5 mm tykk og sklir i et med resten av kledningen når lukket. Døren er utstyrt med hengsler og tapp til montering av håndtak. Et enkelt turbin-symbol sørger for at brukeren lett forstår at dette er døren til turbinrommet.



Figur 96: Illustrasjon av dør-turbinrom, som sikrer enkel inspeksjon av turbin og generator. Hengsler låsetapp og symbol for intuitiv bruk vises.

E7 - Dør varmevekslingsrom

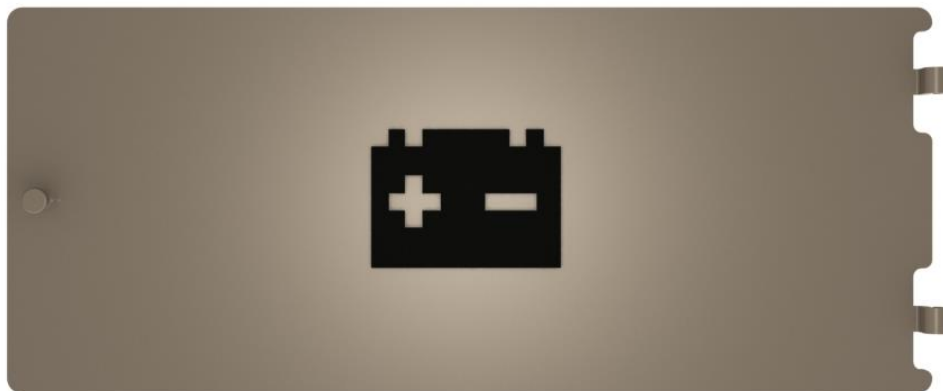
Døren til varmevekslingsrommet sørger for enkel inspeksjon av kjølesystemet og mateskruen. Døren er 5 mm tykk og sklir i et med resten av kledningen når lukket. Døren er utstyrt med hengsler og tapp til montering av håndtak. Et enkelt temperatur-symbol sørger for at brukeren lett forstår at dette er døren til turbinrommet.



Figur 97: Illustrasjon av dør-varmevekslingsrom, som sikrer enkel inspeksjon av kjølesystemet og mateskruen. Hengsler låsetapp og symbol for intuitiv bruk vises.

E8 - Dør elektrisk rom

Døren til det elektriske rommet sørger for enkel inspeksjon av det elektriske systemet og den siste vannpumpen. Døren er 5 mm tykk og sklir i et med resten av kledningen når lukket. Døren er utstyrt med hengsler og tapp til montering av håndtak. Et enkelt batteri-symbol sørger for at brukeren lett forstår at dette er døren til elektronikk-rommet.



Figur 98: Illustrasjon av dør-varmevekslingsrom, som sikrer enkel inspeksjon av de elektriske komponentene. Hengsler låsetapp og symbol for intuitiv bruk vises.

E9 - Dør pelletsbeholder

Døren til pelletsbeholderen sørger for enkel påfylling av matesystemet. Døren er 5 mm tykk og sklir i et med resten av kledningen når lukket. Døren er utstyrt med hengsler og tapp til montering av håndtak. Et enkelt pellets-symbol sørger for at brukeren lett forstår at dette er døren til pelletsbeholderen.



Figur 99: Illustrasjon av dør-varmevekslingsrom, som sikrer enkel påfylling av organisk materiale til matesystemet. Hengsler låsetapp og symbol for intuitiv bruk vises.

E10 - Håndtak

Håndtaket sørger for at alle dørene og inspeksjonslukene trygt kan lukkes og festes til kledningen. Komponenten har enkel utforming som sørger for intuitiv bruk.



Figur 100: Illustrasjon av håndtaket som benyttes på dørene til energisystemet. Enkelt design sørger for intuitiv og sikker bruk.

E11 - Låsesplint

Låsesplinten har som oppgave å holde de to hengseldelene som finnes på kledningen og dørene sammen. Splinten skal kunne tas ut dersom en må bytte en dør, noe som innfrir tanken om modulbygging.




Figur 101: Illustrasjon av låsesplinten, som fester dørene til kledningen.





10.4 Standardkomponenter

Energisystemet er avhengig av flere standardkomponenter for å kunne fungere som det skal. I Tabell 47 er det derfor satt opp en oversikt over aktuelle standardkomponenter.

Tabell 47: Oversikt over hvilke standardkomponenter som benyttes i energisystemet.

Del-nummer	Figur	Beskrivelse
Batteri	 <p>(124)</p>	Tekniske spesifikasjoner: Spenning: 12 V DC Kapasitet: 95 A

Tabell 47 forts.

Del-nummer	Figur	Beskrivelse
B7-Vannpumpe	 (125)	Tekniske spesifikasjoner: Spenning: 12 V Kapasitet: 0,7 A Hastighet: 8 L/min Dreiemoment: 15 kg.cm
Motor mateskrue	 (126)	Tekniske spesifikasjoner: Spenning: 12 V Kraft: 30 W Dreiemoment: 40 kg.cm
D10 -SKF-N 1008 KPHA/HC5SP	 (127)	Presisjonskulelager
D7	 (128)	ISO 4762 M5 x 16
D8	 (128)	ISO 4762 M8 x 25
E12	 (129)	ISO 10642 M8x10

11 ROBUSTHET, VEDLIKEHOLD OG RESIRKULERING

I dette kapittelet skal materialer bestemmes for de ulike komponentene til systemet, for å sikre god konstruksjon- og brukssikkerhet. Energisystemet optimaliseres med FEM/CFD analyser i Solidworks og Ansys Workbench, for å bekrefte materialvalget. En aktuell bruker skal ikke utsettes for fare ved bruk av systemet, på bakgrunn av utviklingsfeil. Videre blir vedlikehold og resirkulering diskutert, samt utførelse av en livsløpsanalyse.

11.1 Materialelegenskaper og materialvalg

Det å utvikle, designe og dimensjonere et trykksystem byr på mange utfordringer, der det å velge riktig materiale vil være avgjørende for resultatet. Materialvalget baseres på en rekke faktorer som trykk, temperatur, korrosjonsbestandighet, produksjonsegenskaper, pris og tilgjengelighet.

For å sikre et godt materialvalg er det viktig å se på ulike muligheter og de mest relevante materialene for komponentene blir satt opp mot hverandre og vurdert. Materialinformasjonen blir hentet fra programvaren Granta EduPack og nettsiden «MakeItFrom». (130)

11.1.1 Generelle trykkdeler

Trykksystemet er avhengig av materialer som tåler høyt trykk og temperatur. I større systemer blir de aktuelle materialene kategorisert etter temperaturklasser, disse er vist i Tabell 48.

Tabell 48: Oversikt over mulige materialer for rør i trykksystem, sortert etter temperaturklasser. (130,131)

Klasse	Temperatur (°C)	Materialnavn
Karbon stål	Opp til 400-450	P235GH, P265GH, P275GH
Legert stål	Opp til 540-580	16CrMo3, 13CrMo4-5,
Martensitt stål	Opp til 550-600	X10CrMoVNb9-1
Austenittisk stål	Opp til 600-720	X10CrNiMo1613

Karbonstål er et enkelt materiale å benytte, samtidig som det tilbyr god duktilitet. Denne type stål kan være aktuelt å benytte i et trykksystem der temperaturen er under 450 °C.

Ulike legerte ståltypene tåler høyere temperaturer og blir oftest benyttet i overopphetingsenheter i dampsystemene. Disse to ståltypene er de enkleste å bearbeide og er dermed mer kostnadseffektive enn de to andre alternativene.

Komponenter lagd av martensitt-stål er vanskeligere å sveise og bruken er svært begrenset. Videre benyttes austenittisk stål kun der det er svært høy temperatur og det trengs god korrosjonsbestandighet. (131) Ettersom kreftene og temperaturene i dette utviklingsprosjektet er lavere enn de store anleggene, har det blitt satt opp en generell oversikt over aktuelle materialer i Tabell 49. Valg av materiale for de aktuelle trykkdelene presenteres i de kommende del-kapitlene.

Tabell 49: Oversikt over ulike egenskaper til ulike materialer som er aktuelle for trykkdelene i systemet. Tabellen sammenligner karbon-, legert- og rustfritt-stål. (130,131)

Egenskaper	Symbol	P275GH	13CrMo4-5	AISI 304	Enhet
Flytespenning	ReH	275	300	258	MPa
Strekfasthet	Rm	470	510	565	MPa
Forlengelse	ϵ	24	21	45	%
Tetthet	ρ	$7,8 \times 10^3$	$7,9 \times 10^3$	$7,8 \times 10^3$	kg/m ³
E-modul	E	190	190	190	GPa
Skjærmodul	G	73	73	78	GPa
Smeltepunkt	T_{Smelt}	1460	1470	1450	°C
Spesifikk varmekapasitet	C_m	470	470		J/kgK

11.1.2 Dampkjele

Det er ønskelig at dampkjelen konstrueres slik at den tar minst mulig plass i det totale systemet, samtidig som den innehar alle de nødvendige funksjonene. For å få innfri dette kravet ble det tidligere bestemt å innlemme vanntanken i veggene på dampkjelen. Den må derfor lages av en stållegering som tilfredsstillt kravet om gode termiske egenskaper og toleranse for høy varme. De aktuelle stållegeringer blir presentert i Tabell 50 for å sammenligne egenskapene og sørge for riktig utvalgelse.

Tabell 50: Oversikt over ulike egenskaper til ulike materialer, som er aktuelle for dampkjelen.
(130)

Egenskaper	Symbol	S235J	S355J	P235GH	P275GH	Enhet
Flytespenning	ReH	210	330	230	275	MPa
Strekkfasthet	Rm	400	530	420	470	MPa
Forlengelse	ϵ	23	20	27	24	%
Tetthet	ρ	$7,8 \times 10^3$	$7,8 \times 10^3$	$7,9 \times 10^3$	$7,8 \times 10^3$	kg/m ³
E-modul	E	190	190	190	190	GPa
Skjærmodul	G	73	73	73	73	GPa
Smeltepunkt	T_{Smelt}	1460	1460	1460	1460	°C

Etter sammenligning av materialer velges **P275GH** som materiale, da dette blir levert som «kjeleplater» og egner seg svært godt da det har høy styrke og tåler høye temperaturer.

11.1.3 Turbin

Turbinhusene i kraftverk er ofte svært store og komplekse, noe som fører til store kostnader ved produksjon. Det benyttes ofte lavlegerte ståltyper som 1-2CrMo stål for å produsere turbinhusene. I denne oppgaven er turbinhuset svært enkelt og lite, det kan dermed benyttes andre normale og rustfrie stållegeringer.

Turbinbladene blir ikke utsatt for spesielt høye temperaturer, men en de må fortsatt kunne motstå en to fase væske. Det vil i noen tilfeller befinne seg både overopphetet damp og vandrdåper inne i turbinen. Vandrdåpene kan enkelt skade turbinbladenes overflate og dermed påvirke virkningsgraden og levetiden til turbinen.

Turbinen som er utviklet i denne oppgaven er liten og det vil ikke være store sentrifugale krefter på bladene, materialvalget er derfor ikke avhengig av denne faktoren. En A2-klasse rustfritt stål vil være et godt alternativ her, for eksempel AISI 304. Et annet godt alternativ kan være A4 syrefast stål. Tabell 51 viser en oversikt og sammenligner aktuelle materialer for dampturbinen. (132,133)

Tabell 51: Oversikt over ulike egenskaper til forskjellige rustfrie stål-legeringer som er aktuelle for dampturbinen med tilhørende deler. (130)

Egenskaper	Symbol	AISI 304	AISI 316	AISI 410	Enhet
Flytespenning	ReH	258	258	276	MPa

Tabell 51 forts.

Egenskaper	Symbol	AISI 304	AISI 316	AISI 410	Enhet
Strekfasthet	R _m	565	517	541	MPa
Forlengelse	ε	45	40	28	%
Tetthet	ρ	$7,8 \times 10^3$	$7,9 \times 10^3$	$7,7 \times 10^3$	kg/m ³
E-modul	E	190	195	212	GPa
Skjærmodul	G	78	78	78	GPa
Smeltepunkt	T _{Smelt}	1450	1400	1500	°C

Damptrubinen og tilhørende rør vil produseres i **AISI 304**, da dette er et av de vanligste og meste brukte rustfrie alternativene.

11.1.4 Ramme

Rammen sørger for å holde alle komponentene holdes trygt på plass. Den skal også sørge for at systemet enkelt kan håndteres under transport. Det er derfor viktig med et godt samspill mellom konstruksjon og materialvalg. Materialvalget faller derfor på det som tilfredsstillende en god kombinasjon av styrke og egenvekt i analysene. Materialer som blir benyttet og sammenlignet i de statiske FEM-analysene er listet opp i Tabell 52.

Tabell 52: Oversikt over ulike egenskaper til aktuelle materialear for rammen til systemet.
(130)

Egenskaper	Symbol	AW-6082 T6	AW-7075 T6	S235J	S355J	Enhet
Flytespenning	ReH	260	495	210	330	MPa
Strekfasthet	R _m	320	555	400	530	MPa
Forlengelse	ε	9	8	23	20	%
Tetthet	ρ	$2,7 \times 10^3$	$2,8 \times 10^3$	$7,8 \times 10^3$	$7,8 \times 10^3$	kg/m ³
E-modul	E	72	72	190	190	GPa
Skjærmodul	G	26	27	73	73	GPa
Smeltepunkt	T _{Smelt}	610	555	1460	1460	°C

Etter endt analyse ble det funnet at **AW-6082 T6** er det best egnede materialet. Det gir rammen den styrken det trenger samtidig som totalvekten holdes lav. Analyses vises i kapittel 11.3.3.

11.1.5 Kledning og isolasjon

For at systemet skal være beskyttet fra vær og vind, vil det være nødvendig å kle det inn. For å spare vekt er aluminium et godt alternativ her, samtidig som det tilbyr gode utholdende egenskaper for ytre påvirkningskrefter. 5- og 6000-serien er her et godt alternativ da det sterkt nok, rimelig og innehar andre gode egenskaper som gjøre bearbeidingen enklere.

Tabell 53: Oversikt over ulike egenskaper til aluminiumlegeringer som er aktuelle for bruk i kledningen av energisystemet. (130)

Egenskaper	Symbol	AW-6061 T6	AW-7075 T6	AW-5005-H14	Enhet
Flytespenning	ReH	276	495	150	MPa
Strekkfasthet	Rm	310	555	160	MPa
Forlengelse	ϵ	12 – 25	8	10	%
Tetthet	ρ	$2,7 \times 10^3$	$2,8 \times 10^3$	$2,7 \times 10^3$	kg/m ³
E-modul	E	69	72	70	GPa
Skjærmodul	G	26	27	26	GPa
Smeltepunkt	T_{Smelt}	585	555	650	°C

Valg av materiale for kledningen faller på **AW-5005-H14**, da dette er billigere enn de andre alternativene, samtidig som det tilbyr god formbarhet.

Isolering

For å isolere resten av systemet og omgivelsene fra dampkjelen vil det bli benyttet **Skamotec brannmursplater**. Platene er lette, lagd av kalsiumsilikat og tåler høye temperaturer.

Platene fra Skamotec er et svært godt alternativ til andre isoleringsmaterialer. En 50 mm tykk Skamol-plate leverer like god isolasjon som en 100 mm tykk tradisjonell brannmur av teglstein. (134,135)

For å unngå store varmetap i systemet er det aktuelt å isolere det. Varmetapet kan hindres eller begrenses ved å isolere kritiske komponenter. For å gjøre dette kan det tas i bruk glass - eller steinull. Begge materialene er klassifisert som ubrennbare, men steinull tåler høyere varme enn glassull.

Steinull har et smeltepunkt på 1000°C, mens glassull smelter på 750°C. Glassull veier mindre og kan komprimeres til 1/5 av størrelsen. Utenom dette har de to isoleringsmaterialene like termiske egenskaper. **Steinull** kommer til å bli benyttet til å isolere energisystemet på kritiske punkter da det tåler høyere varme. (136)

11.1.6 Matesystem

Energisystemet har både manuell og automatisk mating, der den manuelle matingen skjer gjennom en vanlig ovnsdør. Den automatiske matingen med pellets og flis skjer ved hjelp av en mateskrue. Mateskruen er i nær kontakt med brennkammeret og det er derfor viktig at den tåler varmen fra forbrenningen. En stållegering vil være svært aktuelt for mateskruen. For resten av det automatiske matesystemet kan aluminium være et godt alternativ. Da formbarhet og vekt trumfer rå styrke. Tabell 54 viser en oversikt over de aktuelle materialene for matesystemet.

Tabell 54: Oversikt over ulike egenskaper til ulike materialer som er aktuelle for matesystemet.

Egenskaper	Symbol	S235J	AISI 304	AW-6082 T6	AW-7075 T6	Enhet
Flytespenning	ReH	210	258	260	495	MPa
Strekkfasthet	Rm	400	565	320	555	MPa
Forlengelse	ϵ	23	45	9	6	%
Tetthet	ρ	$7,8 \times 10^3$	$7,8 \times 10^3$	$2,7 \times 10^3$	$2,8 \times 10^3$	kg/m ³
E-modul	E	190	190	72	72	GPa
Skjærmodul	G	73	78	26	27	GPa
Smeltepunkt	T_{Smelt}	1460	1450	610	555	°C

Valg av materiale på mateskrue har primært med temperaturen den må tåle. Det er valgt å benytte **AISI 304**, en rustfri legering da det er en risiko for at fuktighet kan komme inn i matesystemet. Aluminium kan også være et godt alternativ dersom forbrenningstemperaturen kontrolleres.

11.1.7 Varmevekslere

I energisystemet vil det være 3 forskjellige varmevekslere, en kondensator, en «luft til luft»-varmeveksler og en «luft til vann»-varmeveksler. Kondensatoren vil bli utsatt for temperaturen til dampen og trenger å kvitte seg med mye varme. Varmeveksleren i pipeløpet utsettes for temperaturene til forbrennings-avgassene. Videre vil varmeveksleren som sørger for å holde kjølevannet til kondensatoren kaldt, denne utsettes for de laveste termiske kreftene. Etersom komponentene skal kvitte seg med mye varme er det aktuelt å se etter materialer som ikke holder på varme.

Materialvalget baserer seg på de nevnte faktorene og de aktuelle materialene vises i Tabell 55 på neste side.

Tabell 55: Oversikt over ulike egenskaper til ulike materialer som er aktuelle for varmevekslerne. (130)

Egenskaper	Symbol	Kobber	P235GH	AW-6082 T6	Enhet
Flytespenning	ReH	83	230	260	MPa
Strekkfasthet	Rm	170	420	320	MPa
Forlengelse	ϵ	12	27	9	%
Tetthet	ρ	$7,4 \times 10^3$	$7,9 \times 10^3$	$2,7 \times 10^3$	kg/m ³
E-modul	E	117	190	72	GPa
Skjærmodul	G	44	73	26	GPa
Smeltepunkt	T_{Smelt}	1085	1460	610	°C

11.2 Strukturoptimering ved FEM/CFD-analyser

FEM-analysene i dette prosjektet sørger for at hoveddelene er tilstrekkelig dimensjonert. Ved å benytte simuleringsprogram som *SolidWorks simulation* og *Ansys Workbench RI*, kan en enkelt se spenninger, tøyning og deformasjoner på de aktuelle delene. Resultatene kan sammenlignes med sikkerhetsfaktorer utregnet fra materialeegenskapene. CFD-analyser benyttes for å se hvordan væske eller luft oppfører seg i de aktuelle komponentene.

11.2.1 Analysemålsettinger

Hovedmålsettingen for denne delen av analysearbeidet er som følger:

Etablere et klarere inntrykk av hvordan belastninger vil oppføre seg med hensyn til spenninger og formendringer/tøyninger i ulike deler av konstruksjonen. Videre å kunne granske varmeoverføring, strømninger mm. i bestemte deler av energisystemet.

11.2.2 Forutsetninger

Sikkerhetsfaktorer

For å oppnå god sikkerhet på delene som skal analyseres er det viktig å sette fornuftige sikkerhetsfaktorer. På rammen vil en sikkerhetsfaktor på 3 være tilstrekkelig da den kun skal sørge for trygg oppbevaring av systemets komponenter. Det er derimot mye farligere om en av trykkdelene skulle feile, det blir derfor satt en sikkerhetsfaktor på 4,5.

Tillate spenninger

- **EN-AW-6082-T6** – Har en flytespenning på 260 MPa, den tillate spenningen blir dermed:

$$\sigma_{till} = \frac{ReH}{n_k} = \frac{260}{3} = \mathbf{86,7 MPa}$$

- **P275GH** - Har en flytespenning på 275 MPa, den tillate spenningen blir dermed:

$$\sigma_{till} = \frac{ReH}{n_k} = \frac{275}{4,5} = \mathbf{61,1 MPa}$$

Analysetrinn

Det vil gjennomføres både statiske beregninger og strømningssimuleringer for å se om de utviklede komponentene tåler de aktuelle belastningene. Dersom de ikke gjør det må en gå tilbake i prosessen og utvikle nye forslag, for å så teste disse.

FEM-analyser:

- Dampkjele under trykk
- Overopphetingsenhet under trykk
- Statisk analyse av ramme

CFD-analyser:

- Turbin
- Kondensator
- Varmeveksler (luft til luft)

11.3 Resultater Finit Element Analysis (FEM)

Det er gjennomført statiske FEM-analyser av dampkjelen, overoppheter og rammeverk, for å utforske om konstruksjonen vil holde basert på de gitte forutsetningen og kravene som er satt.

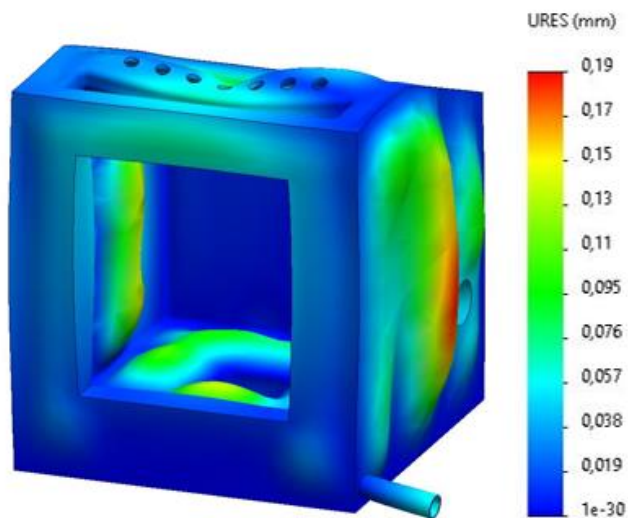
11.3.1 Dampkjele

Dampkjelen i dette konseptet har en utradisjonell form, da de ofte er tilpasset et høyt trykk og utformet på organisk vis. Formen til dampkjelen i dette prosjektet krever mye støttestruktur for å være sterkt nok til å tåle de gitte kravene.

Dampkjelen og overoppheteren (11.3.2) blir dimensjonert etter et innvendig trykk på 5 bar, der komponenten blir testet for deformasjon, spenninger og tøyning. Resultatene sees på figurene under.

Deformasjon

Selv om dampkjelen støttes opp av rammeverket og de ildfaste steinene, er kjelen testet frittstående. Figuren under viser størst deformasjon i midten av på de fleste sidene, der den største utbøyningen ble på 0,19 mm.

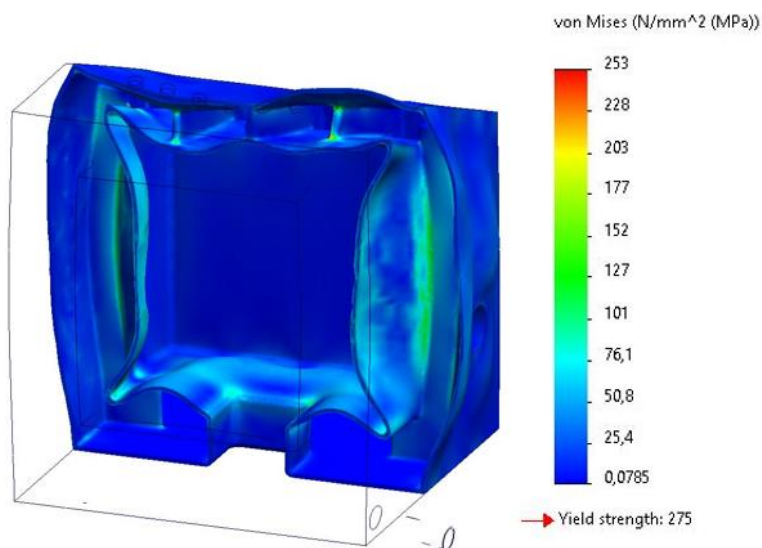


Figur 102: Resultater fra analysen viser i rødt den største deformasjonen på 0,19 mm.

Spenning

Til tross for liten deformasjon var den høye spenningen den største utfordringen, da det er satt en sikkerhetsfaktor på 4,5 for trykkutsatte deler. Resultatene viser at dampkjelen i stål med en flytegrense på 275 MPa vil holde, men vil være alt for svak med tanke på sikkerhet.

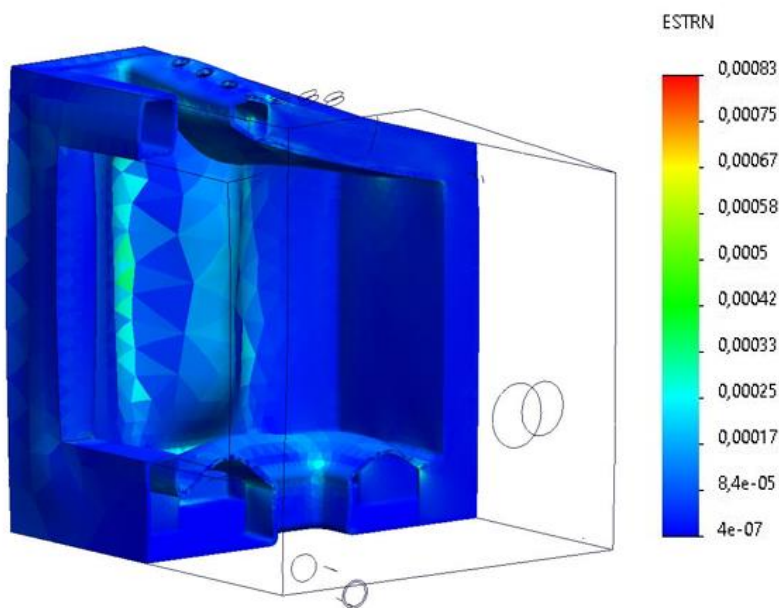
På Figur 103 under ser en områdene der de høyeste spenningene opptrer, her ville en rund utforming øke styrken. Konstruksjonen har en spenningskonsentrasjon på 253 MPa og vil dermed ikke være sterk nok til å opprettholde kravet om sikkerhet.



Figur 103: Resultater som viser kjelens tverrsnitt og den største spenningen på 253 MPa.

Tøyning

Ettersom deformasjonen ble så liten, vil også tøyningen bli minimal. Figur 104 viser området som vil bli utsatt før den største tøyningen på 0,0008.

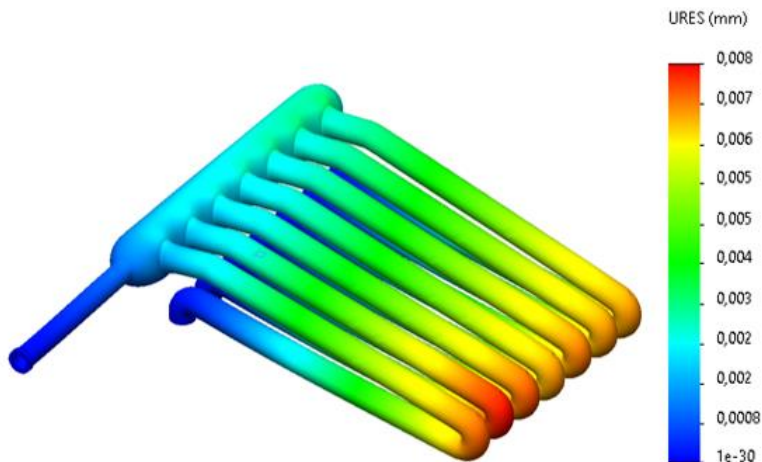


Figur 104: Kjelens tverrsnitt som viser maksimal tøyning på 0,008.

11.3.2 Overoppheter

Deformasjon

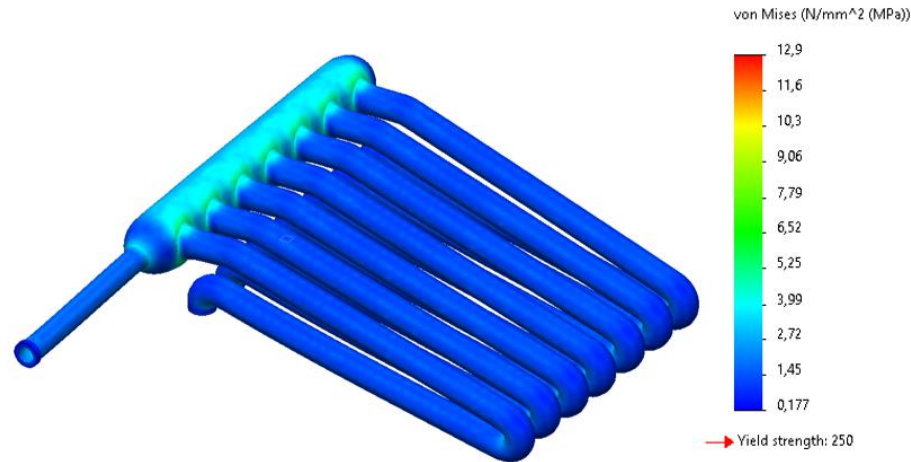
Overoppheteren er festet til dampkjelen i de syv parallelle rørene og det siste røret festes til dampturbinen. Dette fører til at den største deformasjonen er på 0,008 mm som vil skje i enden av delen markert i rødt på figuren under.



Figur 105: Maksimal deformasjon på 0,008 mm markert i rødt.

Spenning

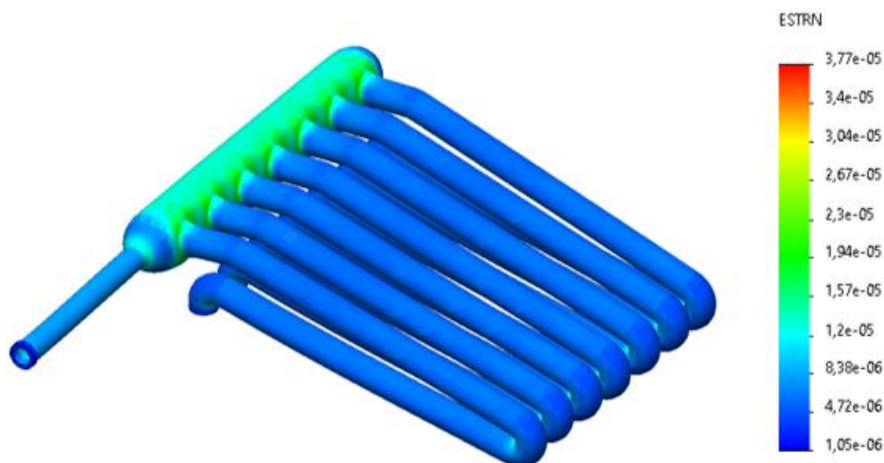
Resultatene fra analysen viser at en overopheter konstruert i stål med flytegrense på 275 MPa vil være godt rustet til å tåle den største utsatte spenningen på 12,9 MPa og vil i tillegg være godt innenfor kravet om en sikkerhetsfaktor på 4,5.



Figur 106: Maksimal stress på 12,9 MPa, befinner seg på innsiden i overgangen der rørene kobles sammen.

Tøyning

Delen vil ha en svært liten tøyning, som derfor vil være neglisjerbart. Figuren under viser resultatet fra analysen.



Figur 107: Maksimal tøyning på 0,000038.

11.3.3 Ramme

For analysen av rammen har kun de mest sentrale lastene blitt tatt i betraktning, der det vil det være flere laster som påvirker rammen. Denne analysen utføres for å sørge for at rammen ligger godt innenfor sikkerhetsfaktorene, slik at den vil tåle de resterende belastningene.

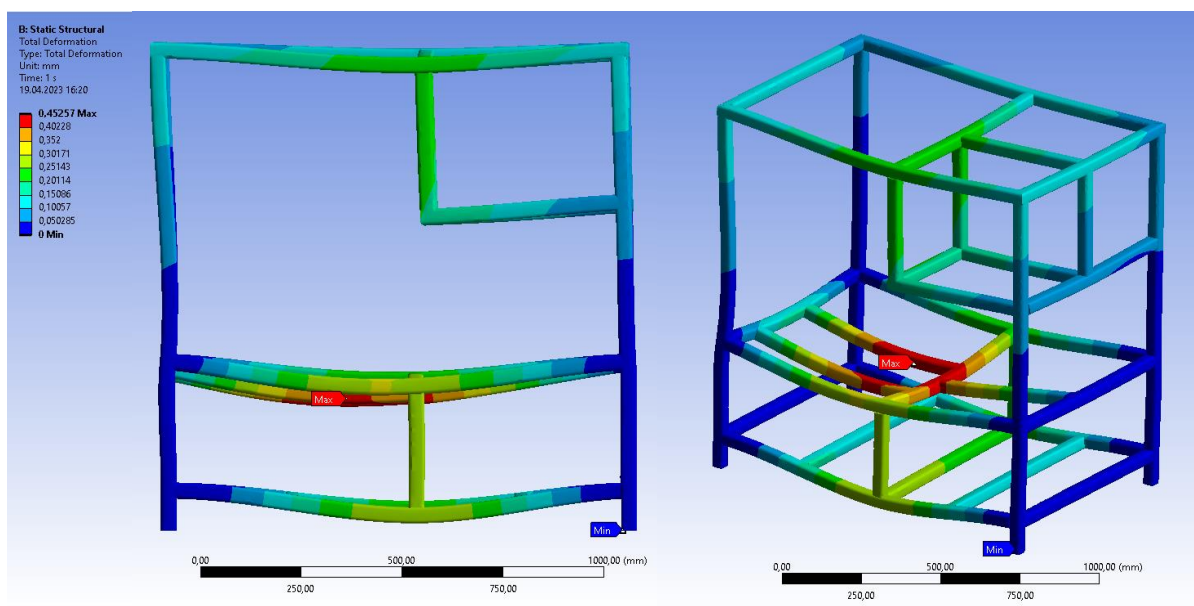
Kjeleroms-lasten består av brennkammer med vannkjele, brannplater og vann, mens turbinrom-lasten består av turbinen og generatoren. Kjelerommet er lokalisert på venstre halvdel i «andre etasje» i rammen, mens turbinrommet er lokalisert øverst til høyre.

Tabell 56: Oversikt over parametere som har blitt benyttet i den statiske analysen.

Beregningsparameter for ramme	
Materiale	EN-AW-6082-T6
Last turbinrom	50 kg
Last kjelerom	180 kg

Deformasjon

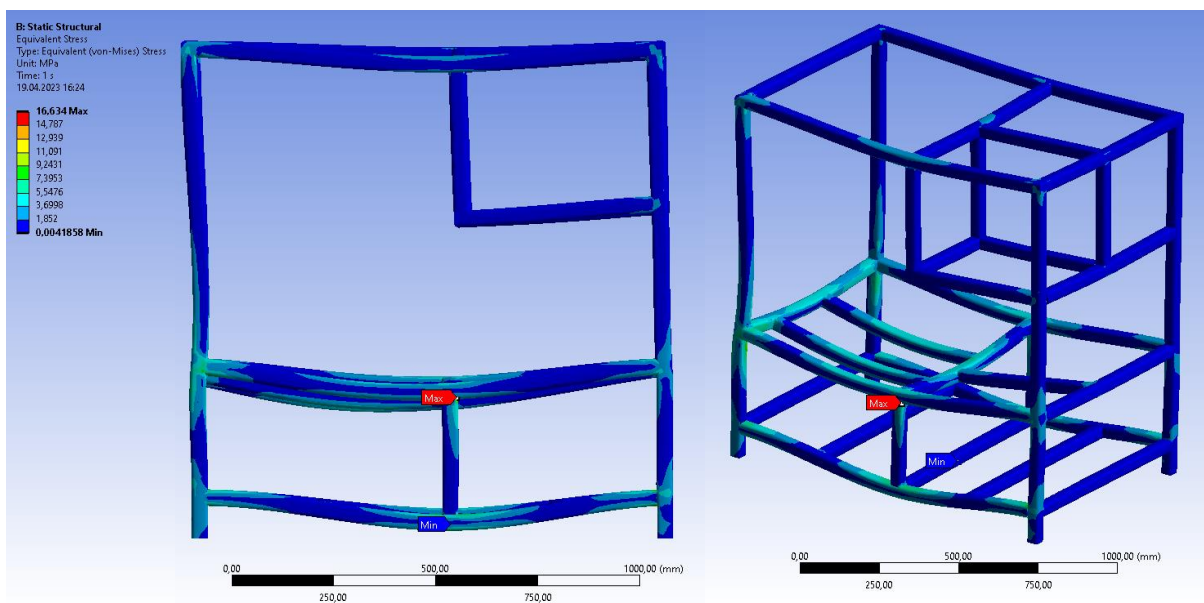
Figur 108 viser et deformasjonsplot av den statiske analysen av rammen. Den maksimale deformasjonen skjer under brennkammeret og er på 0,45 mm. Ut ifra dette kan vi se at rammen er veldig stiv og tåler belastningen.



Figur 108: Statisk FEM-analyse av rammen til systemet, der figuren viser deformasjonen som følge av de to lastene. Den maksimale deformasjonen i rammen er på 0,45 mm.

Spenning

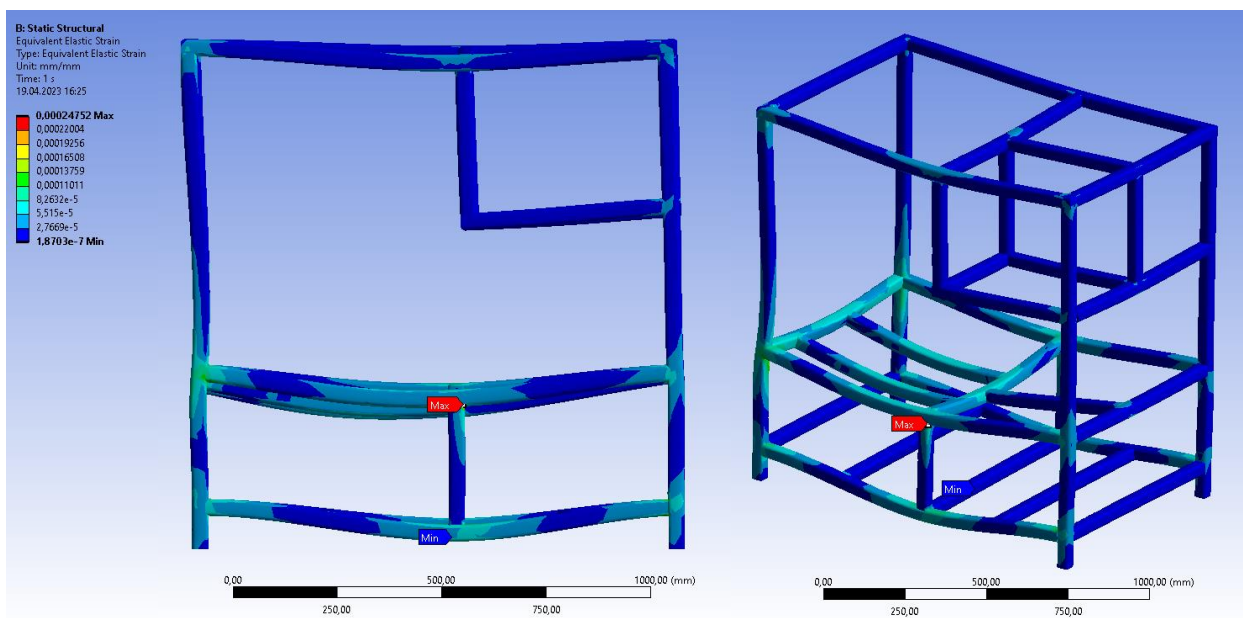
Figur 109 viser spenningen som oppstår i rammen som følge av lasten som har blitt påført. Det er tydelig å se at hele rammen ligger svært godt innenfor den tillatte spenningen på 86,7 MPa. Det som er viktig å merke seg med denne analyse er at den kun tar for seg de to mest sentrale lastene. Systemet består av mange fler komponenter som fører til en større belastning på rammen. Enn så lenge kan det konkluderes med at rammen er mer enn sterk nok til å holde alle komponentene på plass innenfor den gitte sikkerhetsfaktoren.



Figur 109: Statisk FEM-analyse av rammen til systemet, der figuren vise spenningene som oppstår som følge av de to lastene. Den maksimale spenningen i rammen er på 16,6 MPa.

Tøyning

Figur 110 viser tøyningen som oppstår i rammen som følge av lasten som har blitt påført. Det er tydelig å se at tøyningen er så liten at den er neglisjerbar.



Figur 110: Statisk FEM-analyse av rammen til systemet, der figuren vise tøyningene som oppstår som følge av de to lastene. Den maksimale tøyningen i rammen er på 0,0002475 og er derfor neglisjerbar.

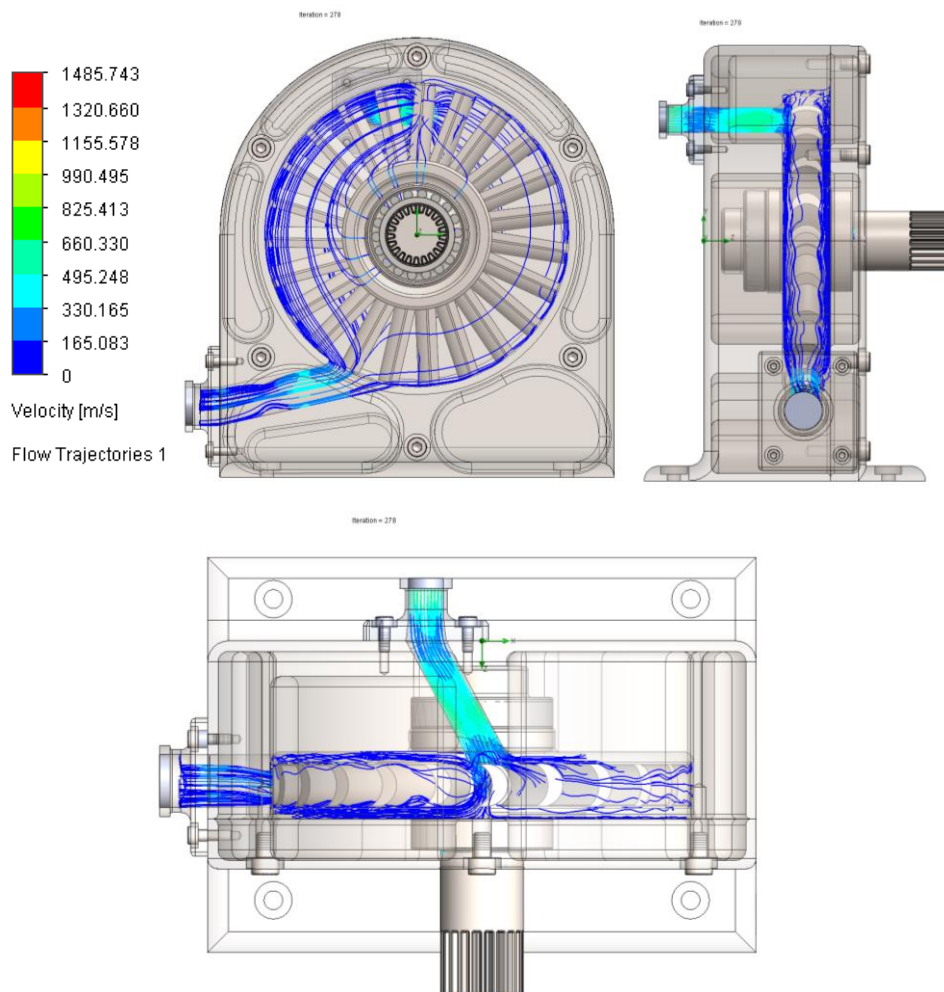
11.4 Resultater fra Computational Fluid Dynamics (CFD)

Det ble gjennomført strømningssimuleringer på dampturbinen, kondensatoren og «luft til luft»-varmeveksleren. Dette ble gjort for å få innsikt om designet som har blitt utarbeidet vil levere de resultatene som trengs for å danne et fungerende energisystem.

11.4.1 Turbin

For å se hvordan dampen oppfører seg i turbinen, er det aktuelt å utføre en CFD-analyse på den. Etersom det er vanskelig å få en god visualisering av en analyse med roterende deler, er det mer aktuelt å se på hvordan dampen entrer turbinen og videre treffer turbinbladene. Figur 111 viser resultatene av analysen.

Ved innløpet i dampturbinen blir det sendt inn damp med massestrøm på 0,03 kg/s, innløpshastighet på 800 m/s, med en temperatur på 400 °C.



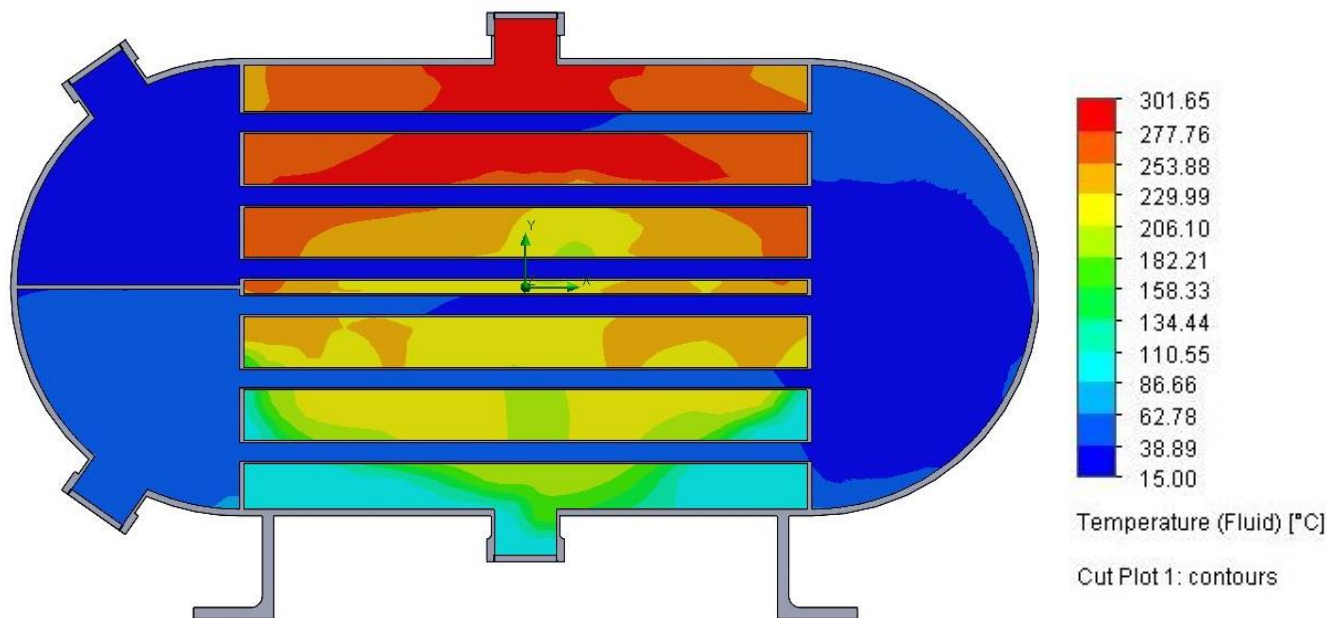
Figur 111: CFD-analyse av dampturbinen, der det vises hvordan strømningsbanene er i turbinen fra forskjellige vinkler.

I CFD-analysen av dampturbinen er det mest aktuelt å se på hvordan dampen treffer bladene på rotoren, siden det er dette som gjør at rotoren roterer og kan drive en generator. I realiteten vil dampen treffe turbinbladene og bli med rundt før den går ut av turbinhuset. I analysen ser en derimot at dampen treffer turbinbladet og følger veien med minst motstand ut av turbinhuset. I det nederste bilde på Figur 111 er det tydelig å se at dampen treffer turbinbladene med en god vinkel, som videre sørger for god kraftoverføring. Dette tyder på at turbinberegningene på innløpsvinkel utført i del-kapittel 8.2.1 stemmer.

11.4.2 Kondensator

Det har blitt designet og konstruert en overfalte-kondensator med oppgave å kjøle ned den overopphetede dampen fra turbinen. Det tas utgangspunkt i at dampen vil ha en temperatur på rundt 300 °C, som videre trengs å kondenseres til vann med en temperatur omkring 90 °C. Strømningssimuleringen tar utgangspunkt i beregningene utført i kapittel 8.2.5.

I innløpet til kondensatoren sett øverst til venstre på Figur 112 sendes det inn kjølevann med en temperatur på 15 °C og massestrøm på 0,058 kg/s. Ved gassinløpet i kondensatoren (øverste midtre flens) sendes den overopphetede dampen inn, med en massestrøm på 0,03 kg/s og en temperatur på 300 °C.



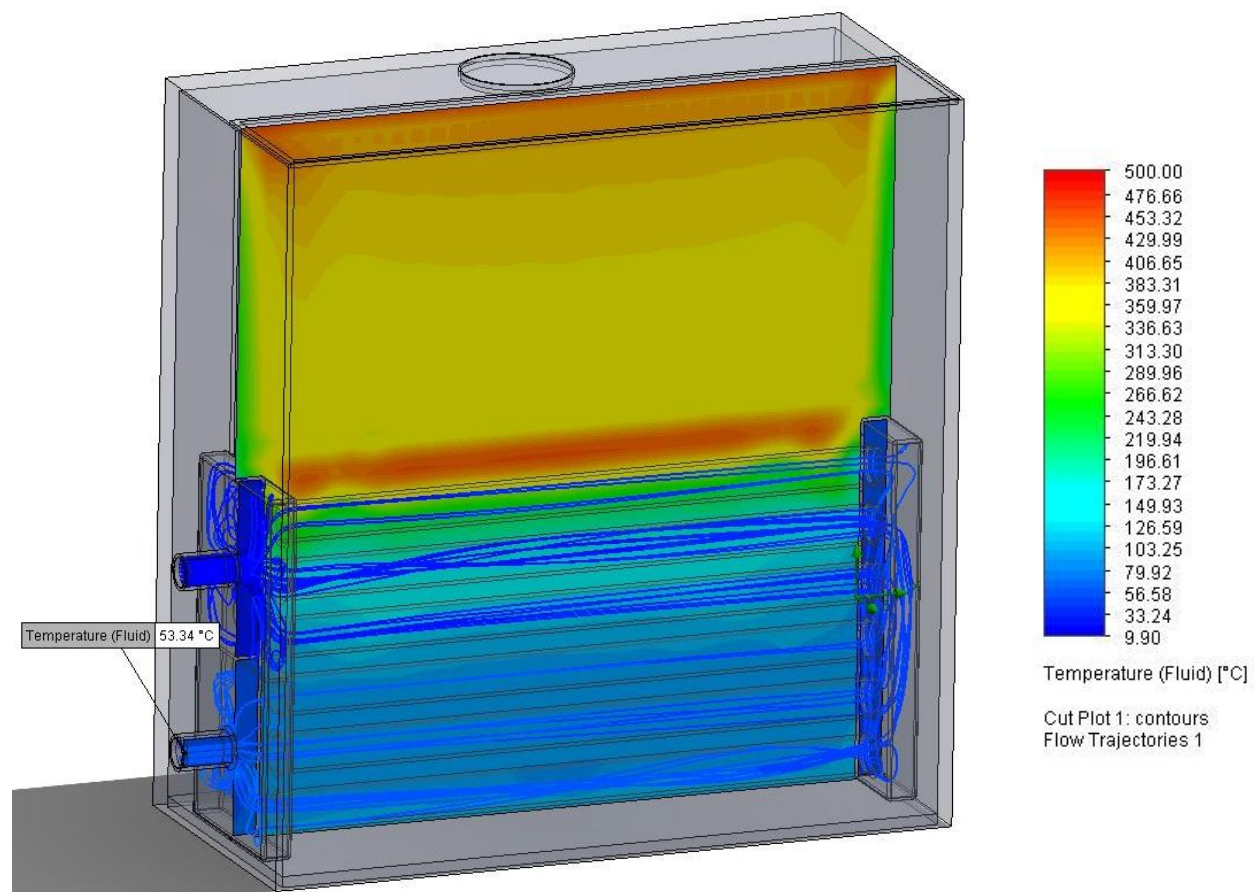
Figur 112: CFD-analyse av kondensatoren, som viser innløpende damp i øverste midtre flens og kondensvann med en temperatur på 90 °C som forlater kondensatoren i midtre nedre flens. Kjølevannet entrer kondensatoren i øvre venstre flens og forlater kondensatoren i venstre nedre flens.

Resultatene fra strømningssimuleringen viser at dampen som kommer inn i kondensatoren vil kondensere til vann. Vannet som kommer ut i bunn vil ha en gjennomsnittstemperatur på om lag 90 °C. Kjølevannet som kommer ut av utgangen nederst til venstre vil ha en temperatur på om lag 50 °C. Ut ifra analysen har det blitt designet og konstruert en kondensator som gir samme effekt som den fiktive kondensatoren som ble beregnet i kapittel 8.2.5. Kondensatoren kan dermed bli benyttet i energisystemet da den leverer ønsket kapasitet.

11.4.3 Varmeveksler (luft/ luft)

En del av konseptet er å utnytte varmen som produseres ved forbrenning av biobrenselet til å varme opp fritidsboligen. Ettersom systemet skal stå utendørs er det nødvendig med en varmeveksler som varmer opp kald luft og sender opphetede luft inn i boligen.

Det er konstruert en enkel varmeveksler tilpasset dampkjelens utforming og temperaturer. Denne analysen har tatt utgangspunkt i at 10 °C kald luft sendes inn i enheten ved hjelp av en vifte med volum strøm på 0,014 m³/s. Deretter avgir forbrenningen en varme på ca. 500 °C og volum strøm på 0,008 m³/s, når avfallsgassene passerer varmeveksleren.



Figur 113: Strømningssimuleringen viser at den 10 grader kalde luften varmes opp til ca. 53 °C før den sendes videre inn til boligen.

Resultatene fra analysen viser at luften varmes opp fra 10 °C til 53 °C når den sendes ut av nedre flens. Denne temperaturen er noe høy, men med lang avstand fra systemet og inn til boligen er det regnet med at det vil temperaturen vil reduseres noe.

Fra håndberegningene fant en ut at det vil være nødvendig med et volum $v_L = 0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ for at en 100 kvadratmeter bolig skal kunne varmes opp. Dermed vil denne varmeveksleren være noe underdimensjonert, der endringer som å legge til flere rør vil enkelt kunne fikse dette. Analysen over viser hvordan det i prinsippet er tenkt å benytte varmeveksleren.

11.5 Bruksslitasje, overflatebehandling vedlikehold og ettersyn

Ettersom produktet skal stå ute i forskjellige værforhold, samtidig som det utsettes for store termodynamiske krefter er det nødvendig å sikre god levetid. Dette kan oppnås ved hjelp av ulike overflatebehandling, godt og enkelt vedlikehold og ettersyn.

11.5.1 Overflatebehandling

Pulverlakkering

Aluminiumen som benyttes i kledningen til energisystemet trenger i utgangspunktet ikke å overflatebehandles. Men ettersom overflatebehandling gjør at ulike farger kan benyttes, samtidig som det gjør overflaten mer slitesterk, er dette aktuelt å gjøre. For de relevante velges det pulverlakkering da det er en svært enkel og miljøvennlig prosess, samtidig som det tilbyr mange ulike farger og fargekombinasjoner.

Pulverlakkeringen gir økt UV-beskyttelse, høyere slitestyrke, vær og- korrosjonsbestandighet og høyere motstand mot slag. Pulverlakkering er en svært miljøvennlig lakkeringsmetode som tar i bruk pulver isteden for flytende maling. Det kreves heller ingen kjemikalier for å oppnå en god overflate. Lakkeringen skjer ved å lade pulveret med en elektrostatiske ladning, som gjør at det fester seg til overflaten som males. Delen plasseres deretter i en ovn hvor den bakes, og pulveret smelter før det etterlater seg en jevn og slitesterk overflate. (137)

Maling av varme elementer

Ettersom mange av elementene i systemet er av vanlig stål kan det lønne seg å overflatebehandle dem. Dette for å være sikker på at de ikke skal ta skade av eventuelle lekkasjer i kledningen eller eventuell kondens som bygger seg opp. De strukturelle delene som systemet står på, trenger også overflatebehandling. Ettersom det er høye temperaturer i sving, blir det valgt å benytte varmebestandig maling. Valget faller på Rust Oleum Hard Hat, da den tåler temperaturer på 650 °C over lenger tid, samtidig som den kan males direkte på metallet. (138)

11.5.2 Vedlikehold og ettersyn

For å øke levetiden og brukbarheten til produktet vil det være nødvendig med vedlikehold. Det viktigste vil være å holde brennkammeret rent slik at sot ikke bygger seg opp på veggene og i pipeløpet.

Det vil også være enklere for systemet å fungere som det skal dersom aske fjernes jevnlig, dette vil også føre til en mer effektiv varmeoverføring. Pipen til brennkammeret bør også etterses og feies om nødvendig. Dette er for å sikre god luftstrøm fra forbrenningen og for å forhindre pipebrann. Videre anbefales det at en sertifisert tekniker utfører en kontroll av systemet en gang i året. Nærme beskrivelse av dette følger senere jfr. kapittel 13.4 Tekniske beskrivelser.

11.6 Miljøkrav og resirkulering

I dette kapittelet blir miljøaspekter ved produksjon og bruk av energisystemet drøftet. Det sees på hvordan materialene produseres og hvordan dette påvirker miljøet. Det blir også utført en livsløpsanalyse på systemet.

11.6.1 Produksjon av stål og aluminium

Stål

I dag står stål for en stor del av verdens CO₂-utslipp og det er nødvendig at de globale karbonutslippene minimeres. Produksjonen av stål har derfor et stort forbedringspotensial for å senke utslippene. Verdens behov for stål har økt svært mye de siste 50 årene og det ser ikke ut til å stoppe, men stålprodusentene ser allerede nå på løsninger som kan redusere karbonintensiteten ved produksjonen. Stål produseres hovedsakelig enten med masovn, oksygenkonverter eller elektrisk lysbueovn. Masovner og oksygenkonvertere produserer nytt stål fra malm, mens lysbueovner resirkulerer gammelt skrapstål. I Europa er 52% av produksjonen basert på malm, mens 48% er resirkulert materiale.

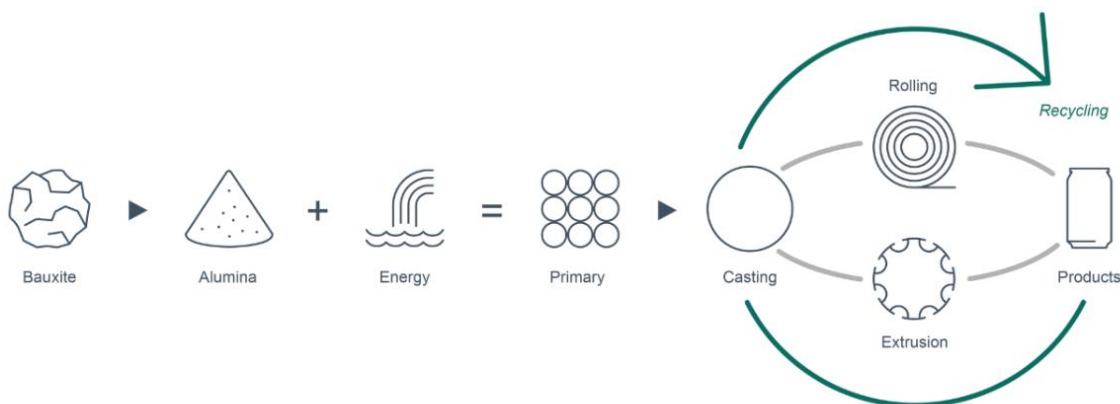
Fra 2026 vil det være kommersielt tilgjengelig med hydrogenreduisert jernmalm. Ved å produsere stål på denne måten vil det ikke være CO₂-utslipp så lenge hydrogenet er laget med grønn kraft.

Stål er et materiale som inngår i et industrielt kretsløp, det er viktig for den sirkulære økonomien at skrapstål resirkuleres. Stål er et fullstendig resirkulerbart materiale og er verdens mest resirkulerte produkt. Den største årsaken til dette er et stort internasjonalt marked for skrapstål, som gjør bruken av stål mer bærekraftig. Det kreves mindre energi for å smelte om stålet og ellers er det kun transport som spiller inn i utslippene. For at de globale klimamålene skal nås er det essensielt at stålindustrien revolusjoneres til en nullutslipps-industri. (139)

Aluminium

Aluminium er det materialet etter stål det produseres mest av på verdensbasis. I likhet med stål krever aluminium store mengder energi for å utvikles. Av den grunn er det viktig å benytte seg av resirkulerbart materiale i nye produkter. Ved å resirkulere aluminiumen kan energibehovet senkes betraktelig, ettersom det kun kreves 5% av den opprinnelige produksjonsenergien for å smelte det om. Ettersom verden står ovenfor en stor energikrise, er dette svært aktuelt for industrien. Styrken til aluminium svekker heller ikke ved omsmelting.

Dette gjør det til et svært konkurransedyktig materiale på flere områder, som styrke, holdbarhet og pris. Ettersom utvinning av aluminium er svært dyrt og krever mye energi vil det være gunstig for industrien å øke mengden resirkulert aluminium. I dag er om lag 75% av all aluminium noen gang produsert fortsatt i bruk og det er ønskelig at dette tallet skal økes. På Figur 114 er livssyklusen til aluminium illustrert. (140)



Figur 114: Illustrasjon over hvordan aluminium utvinnes og gjenvinnes. (140)

Kobber

Kobber er et naturlig materiale og et grunnstoff som finnes i jordskorpen i form av kobberinnholdige malmer. Denne malmen går gjennom en raffineringssprosess som starter med at den blir knust til et fint pulver. Kobberet blir så skilt ut og ender opp i et konsentrat med 20-50 prosent kobber.

I 2015 ble det produsert 19 100 tusen tonn med kobber på verdensbasis, men med et kobberreservoar som er anslått til ca. 350 millioner tonn. Kobber vil være en begrenset ressurs og det vil være nødvendig å gjøre gjenbruk av kobber effektiv, der 25 prosent av det årlige kobberforbruket baseres nå på gjenvunnet metall. (141)

11.6.2 Livsløpsanalyse

Det er gjennomført en grov livsløpsanalyse for å kunne gi et estimat over hvor store utslipp og hvor mye energi som kreves for å produsere, transportere og utvinne materialene som skal benyttes i energisystemet. Analysen ble gjennomført gjennom Ansys sin Granta EduPack.

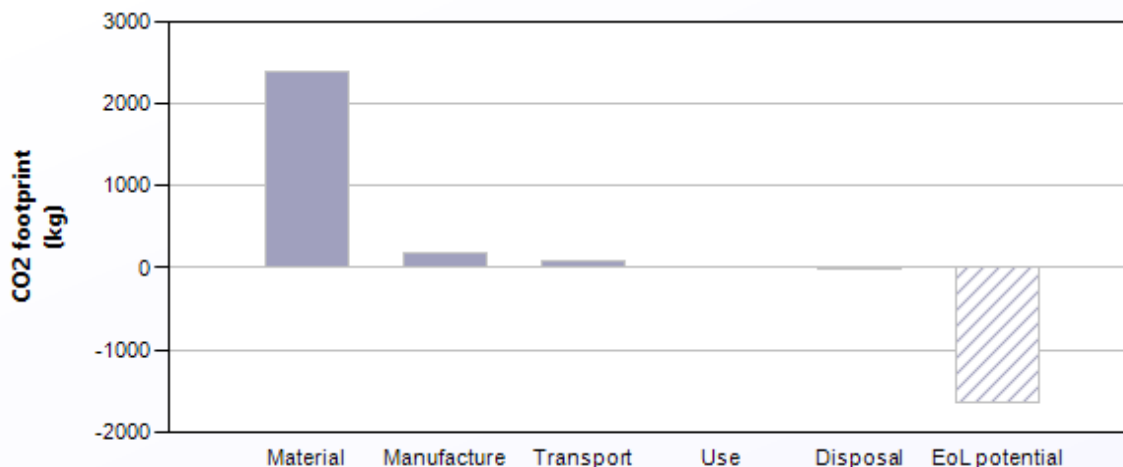
Tallene og oppsettet i analysen er konservative, der det er tatt utgangspunkt i at transport av materialene vil gå over en strekning på 10 500 km med både skip og lastebil. Det er satt opp en levetid på 20, der systemet vil være aktivt i bruk totalt 100 dager i året.

Tabell 57: Oppsett til analysen i Ansys Granta Edupack.

Materialer, produksjon og gjenvinning				
Materiale	Masse (kg)	Resirkulert innhold	Produksjonsmetode	Gjenvinning
Stål	214	Standard mengde	Valsing	Recycle
Aluminium	180	Standard mengde	Valsing	Recycle
Kobber	30	Standard mengde	Valsing	Recycle
Ildfast stein	7	Ingenting	Baking	Landfill
Transport				
Navn	Transport-type		Avstand (km)	
Lasteskip	Container ship		10 000	
Lastebil	Trailer		500	
Bruk				
Levetid		20 år		
Bruks sted		Hele verden		
Statisk eller mobil		Statisk		
Power output		5000 W		
Bruksdager per år		100 dager		
Brukstimer per dag		8 timer		

CO2 fotavtrykk

Resultatene fra analysen viser at det totale CO2 fotavtrykket vil ende på **134 kg/år**, der produksjon av materialene er klart det som forurenses mest. Produksjon og transport er relativt lite i sammenligning, siden systemet bruker bioenergi er det ingen CO2 avtrykk ved bruk på denne grafen. Etersom materialene er resirkulerbare er det tydelig å se at dette vil hjelpe betraktelig når det kommer til CO2 fotavtrykket.

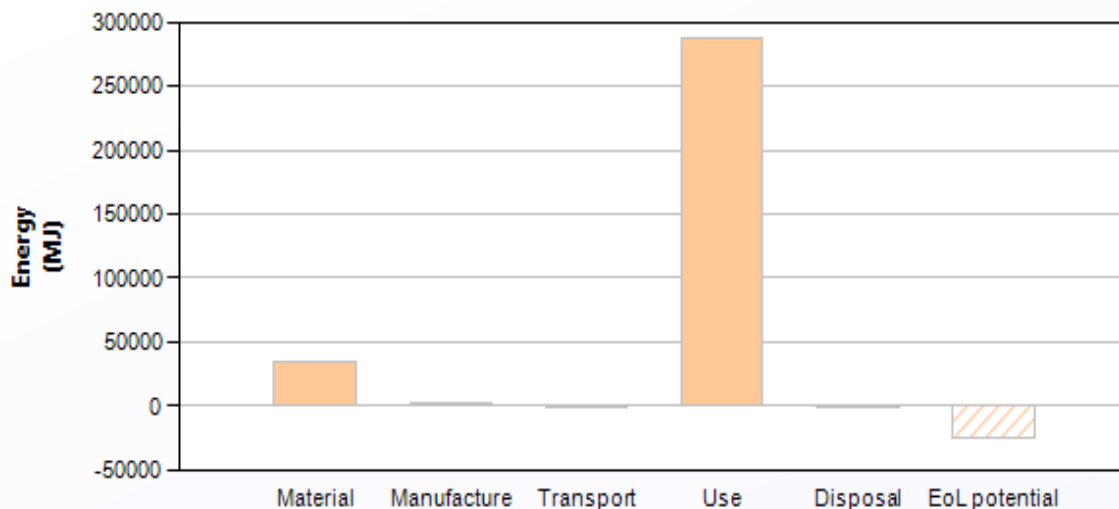


Figur 115: Oversikt over forurensing fra fremstilling av energisystemet. Søylene til venstre viser CO₂ fotavtrykket fra materialene på nesten 2500 kg gjennom levetiden.

Energi

Resultatene under viser den totale energien systemet vil bruke i løpet av levetiden. Den totale energibruken per år fordelt på levetiden på 20 år vil ligge på 1 886 MJ/ år. Der mesteparten av energiutvinningen kommer fra materialene.

På søylen «use» i diagrammet ser vi tydelig hvor mye energi som vil utvinnes ved bruk. Ettersom vårt system vil produsere sin egen energi vil dette ikke tas med i den totale beregningen, nettopp fordi energisystemet baseres på biobrensel som defineres som ren energi. Derfor gir diagrammet nedenfor et feil bilde av den totale energien som brukes i løpet av levetiden. Hadde dette derimot vært et dieselaggregat vil den totale energibruken til produktet vært en helt annen.



Figur 116: Grafene viser hvor mye energi som kreves for systemet. Søylene «Use» viser hvor mye energi systemet vil produsere til sammenligning.


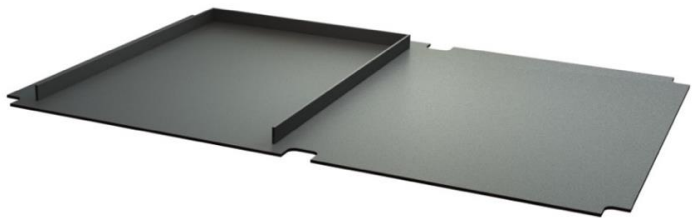
12 FREMSTILLING OG PRODUKSJONSKOSTNADER

I dette kapittelet skal ulike produksjonsmetoder bestemmes for de ulike delene i systemløsningen. Basert på produksjonsmetodene og valgt materiale kan det utføres en enkel kostnadsanalyse. Denne vil ta for seg en prototype og serieproduksjon av systemet, for å se på forskjellene i de ulike scenarioene. Dette gjøres for å beregne en gunstig og konkurransedyktig utsalgspris for det ferdige produktet.


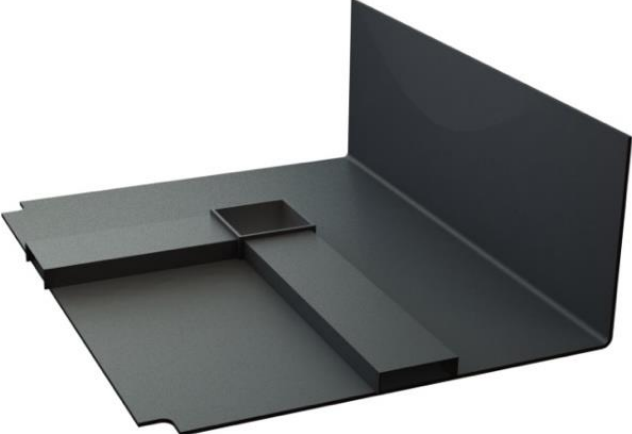

12.1 Produksjonsmetoder

Tabell 58 viser en oversikt over hvilke materialer og produksjonsmetoder som er tenkt benyttet på de ulike delene til energisystemet. Dette danner også grunnlaget for produksjonskostnadene i kostnadskalkylene senere i kapittelet.




Tabell 58: Oversikt over de ulike komponentene, valgt materiale og en grov beskrivelse av de ulike produksjonsmetodene som benyttes.

Del	Figur	Produksjonsmetode
A-bærende elementer		
A1		<p>Materiale:</p> <ul style="list-style-type: none"> • EN AW 6082 T6 <p>Tilvirkning:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kappe profiler 40x40x4 mm • Gjæring • Sveising • Eventuell sliping
A2		<p>Materiale:</p> <ul style="list-style-type: none"> • EN AW 6061 T6 <p>Tilvirkning:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kapping/stansing av plater • Sveise plater

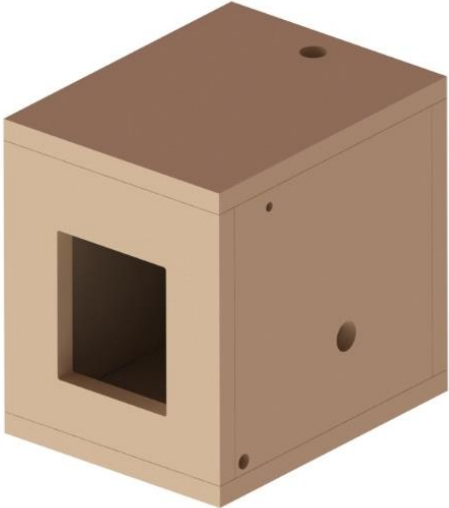

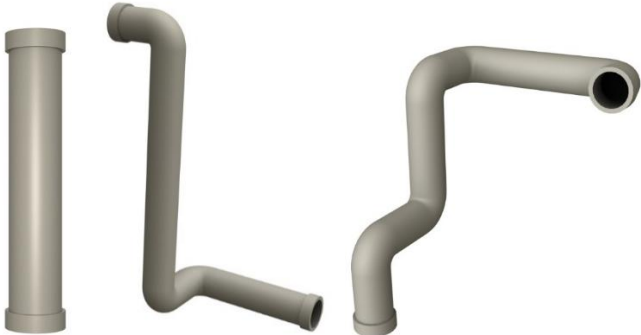
Tabell 58 forts.

Del	Figur	Produksjonsmetode
A3		<p>Materiale:</p> <ul style="list-style-type: none"> • EN AW 6061 T6 <p>Tilvirkning:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kapping/stansing • Boring • Knekkning/bukking
A4		<p>Materiale:</p> <ul style="list-style-type: none"> • EN AW 6061 T6 <p>Tilvirkning:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kapping/stansing • Knekkning/bukking • Sveising
A5		<p>Materiale:</p> <ul style="list-style-type: none"> • EN AW 6061 T6 <p>Tilvirkning:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kapping/stansing • Boring • Knekkning/bukking

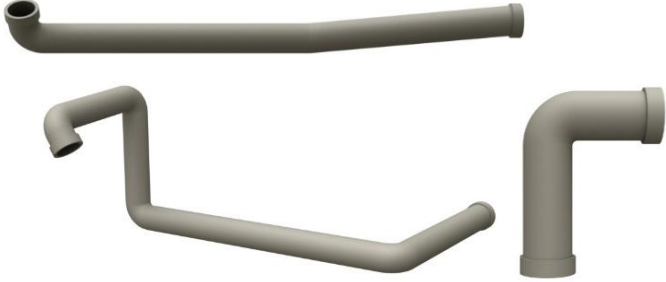


Tabell 58 forts.

Del	Figur	Produksjonsmetode
A-bærende elementer		
A6		<p>Materiale:</p> <ul style="list-style-type: none"> • EN AW 6061 T6 <p>Tilvirkning:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kapping • Fresing/støping
A7		<p>Materiale:</p> <ul style="list-style-type: none"> • EN AW 6061 T6 <p>Tilvirkning:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kapping • Boring • Knekking/bukking
B-Energisystem		
B1		<p>Materiale:</p> <ul style="list-style-type: none"> • P275GH, S235J <p>Tilvirkning:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sveising av C3 til C2 • Sveising av C4 til C2 • Sveising av delene C1 og C2

Tabell 58 forts.

Del	Figur	Produksjonsmetode
B-Energisystem		
B2		<p>Materiale:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Skamotec brannmursplate <p>Tilvirkning:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kapping • Boring
B5		<p>Materiale:</p> <ul style="list-style-type: none"> • EN AW 6061 T6 <p>Tilvirkning:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kapping av rør og plater • Stansing av endestykker • Stansing/boring • Knekking • Sveising
B8		<p>Materiale:</p> <ul style="list-style-type: none"> • AISI 304 <p>Tilvirkning:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kapping av rør • Bøying • Sveising av flenser



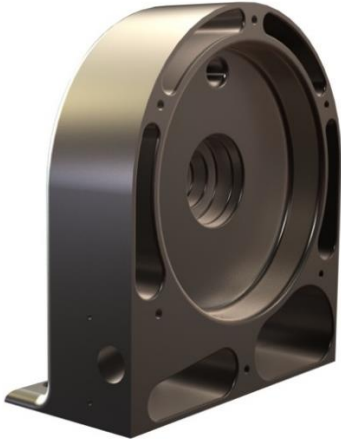
Tabell 58 forts.

Del	Figur	Produksjonsmetode
B-Energisystem		
B9		<p>Materiale:</p> <ul style="list-style-type: none"> • AISI 304 <p>Tilvirkning:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kapping av rør • Bøying • Sveising av flenser
C-Dampkjele med matesystem		
C1		<p>Materiale:</p> <ul style="list-style-type: none"> • P275GH <p>Tilvirkning:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kapping av plater og rør • Boring/stansing • Knekking • Sveising • Trykkprøving
C2		<p>Materiale:</p> <ul style="list-style-type: none"> • S235J <p>Tilvirkning:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kapping av plater og rør • Knekking • Boring/stansing • Sveising





Tabell 58 forts.

Del	Figur	Produksjonsmetode
C-Dampkjele med matesystem		
C3		<p>Materiale:</p> <ul style="list-style-type: none"> • P275GH <p>Tilvirkning:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kapping av rør • Bøying • Sveising
C4		<p>Materiale:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kobber <p>Tilvirkning:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kapping av rør og plater • Sveising
C5		<p>Materiale:</p> <ul style="list-style-type: none"> • S235J <p>Tilvirkning:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kapping av plater • Stansing og knekking • Sveising
C6		<p>Materiale:</p> <ul style="list-style-type: none"> • EN AW 6061 T6 <p>Tilvirkning:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kapping • Knekkning/bukking • Sveising



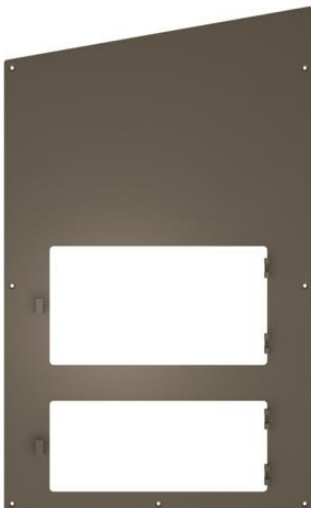
Tabell 58 forts.

Del	Figur	Produksjonsmetode
C-Dampkjele med matesystem		
C7		<p>Materiale:</p> <ul style="list-style-type: none"> • AISI 304 <p>Tilvirkning:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kapping av plater og rør • Maskinering av skruen • Sveising
C8		<p>Materiale:</p> <ul style="list-style-type: none"> • EN AW 6061 T6 <p>Tilvirkning:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kapping av plater • Sveising
D-Dampturbin		
D1		<p>Materiale:</p> <ul style="list-style-type: none"> • AISI 304 <p>Tilvirkning:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Støping • Fresing • Boring • Gjenging

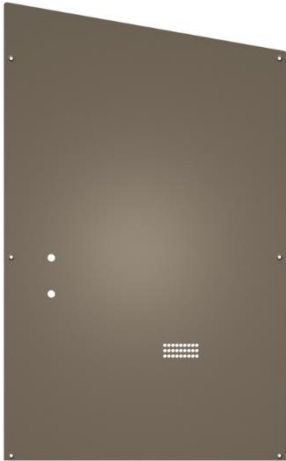
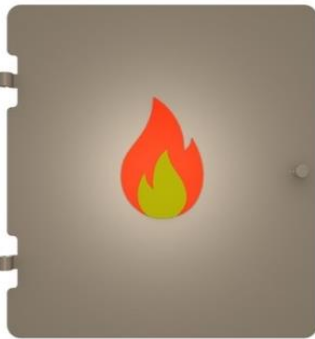


Tabell 58 forts.

Del	Figur	Produksjonsmetode
D-Dampturbin		
D2		<p>Materiale:</p> <ul style="list-style-type: none"> • AISI 304 <p>Tilvirkning:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fresing/støping • Boring
D3		<p>Materiale:</p> <ul style="list-style-type: none"> • AISI 304 <p>Tilvirkning:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fresing • Sandstøping
D4		<p>Materiale:</p> <ul style="list-style-type: none"> • AISI 304 <p>Tilvirkning:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dreining/fresing • Støping
D5		<p>Materiale:</p> <ul style="list-style-type: none"> • AISI 304 <p>Tilvirkning:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Støping/fresing • Boring






Tabell 58 forts.

Del	Figur	Produksjonsmetode
D-Dampturbin		
D6		<p>Materiale:</p> <ul style="list-style-type: none"> • AISI 304 <p>Tilvirkning:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Støping/fresing • Boring
E-Kledning		
E1		<p>Materiale:</p> <ul style="list-style-type: none"> • EN AW 5005-H14 <p>Tilvirkning:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kapping av plater • Kneking/bukking • Maskinering av låseklosser • Sveising av låseklosser • Boring
E2		<p>Materiale:</p> <ul style="list-style-type: none"> • EN AW 5005-H14 <p>Tilvirkning:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kapping av plater • Kneking/bukking • Maskinering av låseklosser • Sveising av låseklosser • Boring

Tabell 58 forts.

Del	Figur	Produksjonsmetode
E-Kledning		
E3		<p>Materiale:</p> <ul style="list-style-type: none"> • EN AW 5005-H14 <p>Tilvirkning:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kapping av plater • Knekkning/bukking • Sveising av låseklosser • Boring
E4		<p>Materiale:</p> <ul style="list-style-type: none"> • EN AW 5005-H14 • Skamol brannmursplate <p>Tilvirkning:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kapping av plate • Knekkning/bukking • Liming av skamol • Sveising av tapp
E5		<p>Materiale:</p> <ul style="list-style-type: none"> • EN AW 5005-H14 <p>Tilvirkning:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kapping av plate • Knekkning • Sveising av tapp
E6		<p>Materiale:</p> <ul style="list-style-type: none"> • EN AW 5005-H14 <p>Tilvirkning:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kapping av plate • Knekkning • Sveising av tapp

Tabell 58 forts.

Del	Figur	Produksjonsmetode
E-Kledning		
E7		<p>Materiale:</p> <ul style="list-style-type: none"> • EN AW 5005-H14 <p>Tilvirkning:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kapping av plate • Knekking • Sveising av tapp
E8		<p>Materiale:</p> <ul style="list-style-type: none"> • EN AW 5005-H14 <p>Tilvirkning:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kapping av plate • Knekking • Sveising av tapp
E9		<p>Materiale:</p> <ul style="list-style-type: none"> • EN AW 5005-H14 <p>Tilvirkning:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kapping av plate • Knekking • Sveising av tapp
E10		<p>Materiale:</p> <ul style="list-style-type: none"> • EN AW 6061 T6 <p>Tilvirkning:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Støping/ maskinering
E11		<p>Materiale:</p> <ul style="list-style-type: none"> • EN AW 6061 T6 <p>Tilvirkning:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Støping

12.2 Kostnadskalkyle for prototype

Før utvikling av en prototype kan skje, er det hensiktsmessig å se på kostnadene dette innebærer. For å estimere en pris på konseptutviklingsarbeid vil det bli benyttet en timepris på 550,-. Materialkostnader blir tatt fra programvaren Granta EduPack, da det er vanskelig å få et nøyaktig prisanslag fra bedrifter på produksjon av delene. Dermed vil det være pris/kg som gjelder for materialene. Kostnadene knyttet til produksjon baserer seg på et grovt estimat etter samtale med senioringeniør Øyvind Hansen. Videre vil standardkomponenter kjøpes i bulk, noe som gjør at stykkprisen vil være lav. Resultatet av kostnadskalkylen for å produsere en prototype sees under i Tabell 59.

Tabell 59: Kostnadskalkyle tilknyttet produksjon av én prototype. Kostnadene som danner kalkylen er: Konseptutviklingsarbeid, standardkomponenter, materialkostnader og produksjonskostnader.

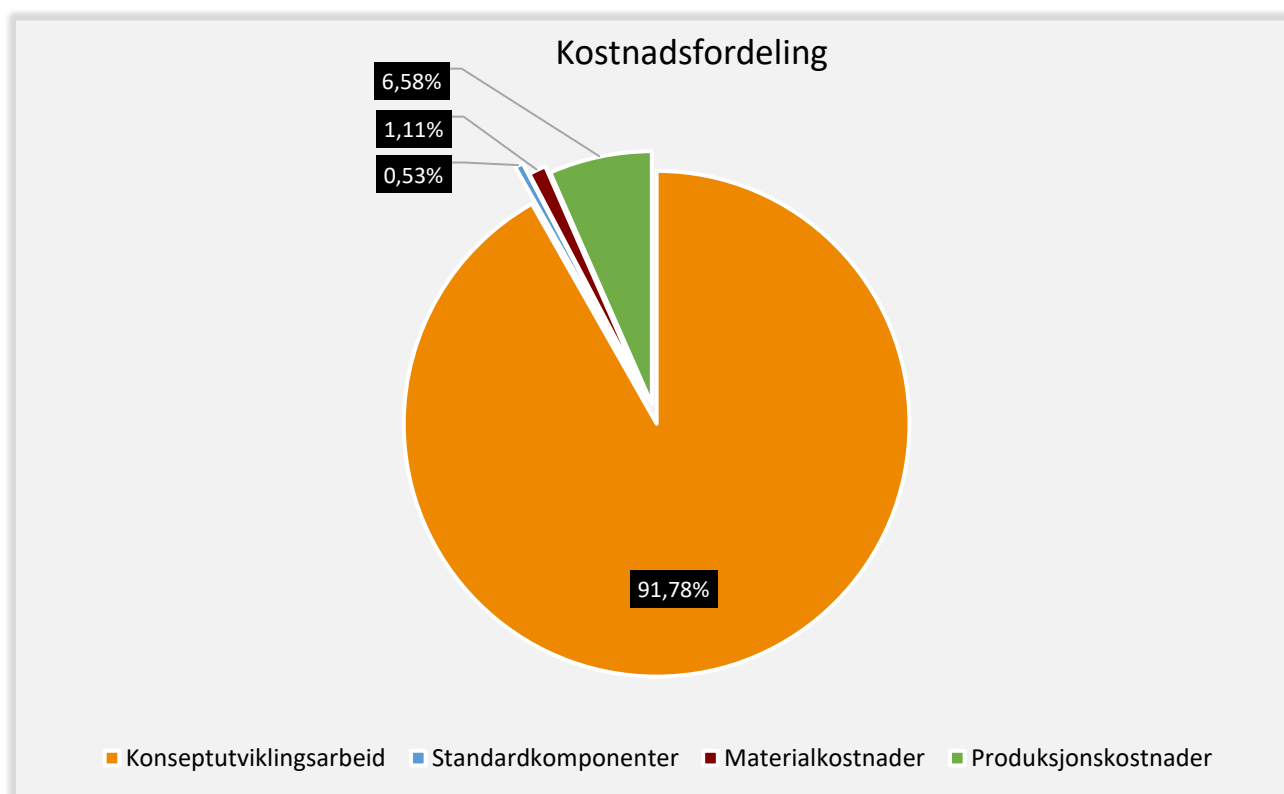
Konseptutviklingsarbeid	Timer	Kvanta (kg)	Pris (NOK/time)	SUM(NOK)
Utredningsarbeid	400	-	550,-	220 000,-
Utviklingsarbeid	300	-	550,-	165 000,-
Konstruksjon og design	600	-	550,-	330 000,-
Rapportering	500	-	550,-	275 000,-
Delsum	1800		550,-	990 000,-
Standardkomponenter			(NOK/del)	
Batteri	-	2	1 399	2 798,-
Vannpumpe	-	2	300	600,-
Motor	-	1	50	50,-
SKF-N 1008 KPHA		2	1 000	2 000,-
ISO 4762 M5x16	-	8	5	40,-
ISO 4762 M8x25	-	6	5	30,-
ISO 10642 M8x10	-	29	5	145,-
Delsum		50	2764	5 663,-
Materialkostnader			(NOK/kg)	
EN AW 6082 T6	-	36	19	684,-
EN AW 6061 T6	-	68	20	1 360,-
EN AW 5005-H14	-	75	19	1 425,-
S235J	-	51,5	8	412,-
P265GH	-	107	15	1 605,-
AISI 304	-	55	30	1 650,-
Kobber	-	6,5	50	325,-
Skamol brannplater	-	30	150	4 500,-
Delsum		429	311	11 961,-

Tabell 59 forts.

Produksjonskostnader			(NOK/time)	
Kapping	5	-	1 000	5 000,-
Boring	1	-	1 000	1 000,-
Stansing	3	-	1 000	3 000,-
Knekking/bukking	8	-	1 000	8 000,-
Fresing	10	-	1 800	18 000,-
Sveising	30	-	1 200	36 000,-
Delsum	57		7 000	71 000,-
Totalsum				1 078 624,-

Kalkylen viser at det vil koste **1 078 624 kr** å utvikle energisystemet med ferdig prototype, der resultatet er basert på grove estimater.

Ved videre realisering er det nødvendig med en mer nøyaktig kostnadskalkyle, der særlig produksjonskostnadene må omgjøres. Allikevel er det svært tydelig at konseptutviklingsarbeidet er den største utgiften, etterfulgt av produksjonskostnader. Fordelingen av de ulike delsummene er presentert i et kakediagram på Figur 117.



Figur 117: Kakediagram over kostnadsfordelingene for utvikling av prototypen. Kakestykkene viser hvor stor prosentandel de ulike delsummene utgjør.

12.3 Kostnadsanalyse for serieproduksjon

Ved serieproduksjon av produktet vil det være gunstig å endre noen av produksjonsmetodene for å få ned produksjonskostnadene. Dette vil også gjøre at produktet kan produseres raskere og billigere. For å få til dette vil det være aktuelt å gå til innkjøp av støpeformer og former som kan kald eller varm-smi deler. Ved å gjøre dette oppnås flere deler med høy kvalitet for en billigere penge, enn om en skulle maskinert de aktuelle delene. Ved innkjøp av relevant utstyr for å etablere en serieproduksjons-linje, vil det være høye investeringskostnader. Denne investeringen vil lønne seg ved at kostnadene per produserte enhet synker med antall produserte enheter. Tabell 60 viser en oversikt over hvor mye det koster å serieprodusere én enhet.

Tabell 60: Oversikt over kostnader for utvikling an én serieprodusert enhet.

Kostnad	SUM(NOK)
Konseptutviklingsarbeid	990 000,-
Standardkomponenter	5 663
Materialer	11 961,-
Tilvirkningskostnader	30 000
Total kostnad	1 037 624,-

For serieproduksjonen settes tilvirkningskostnaden til 30 000,- da det er mange deler i systemet som krever mye tilvirkning. Ettersom det er kostbart å investere i en serieproduksjonslinje, vil prisen per enhet være høy ved lavt produserte enheter. Dersom flere enheter produseres vil prisen per enhet synke for hver nye enhet som produseres. Det er derfor viktig å se på hvor mange enheter som må produseres i en serieproduksjonslinje for at det skal lønne seg å investere i det. For å beregne enhetskostnadene benyttes følgende formel:

$$\text{Totale kostnader} = \text{Faste kostnader per enhet} + \frac{\text{Engangskostnader}}{\text{Antall enheter}}$$

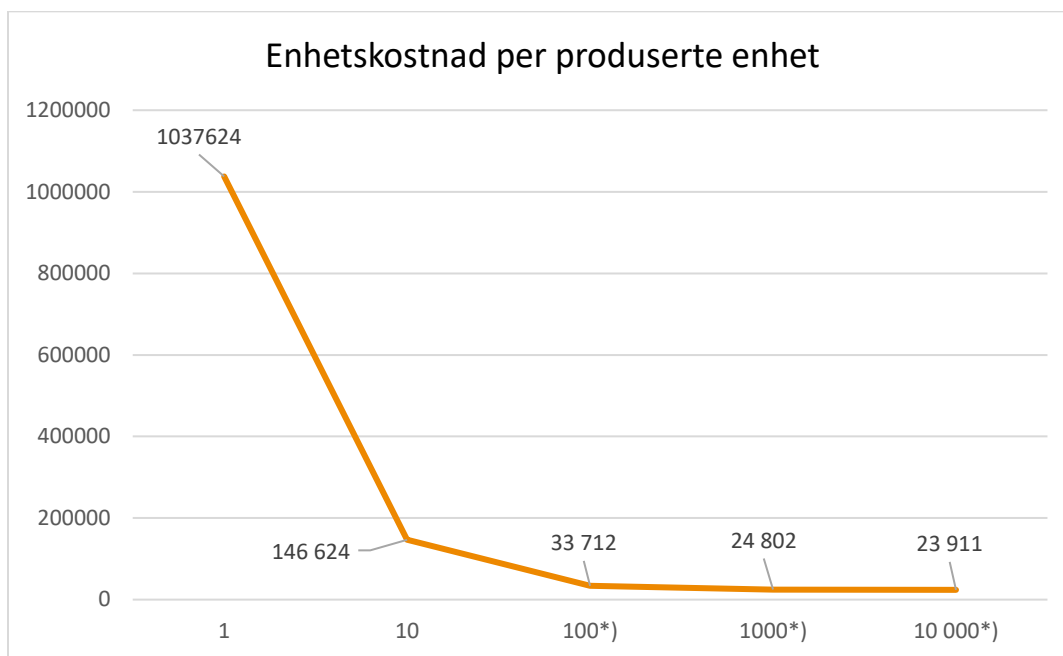
Kostnader for hver serieproduserte enhet, for et ulikt antall enheter er presenter i Tabell 61.

Tabell 61: Oversikt over enhetskostnader ved et ulikt antall serieproduserte enheter.

**) forutsetter 50 % avslag i faste utgifter ved 100 eller fler produserte enheter.*

Antall enheter	Enhetskostnad
1	1 037 624
10	146 624
100*)	33 712
1000*)	24 802
10 000*)	23 911

Oversikten over enhetskostnadene ved ulikt antall serieproduserte enheter er presentert i et linjediagram på Figur 118. Diagrammet viser hvordan prisen for produksjon per serieproduserte enhet synker med antall produserte enheter.



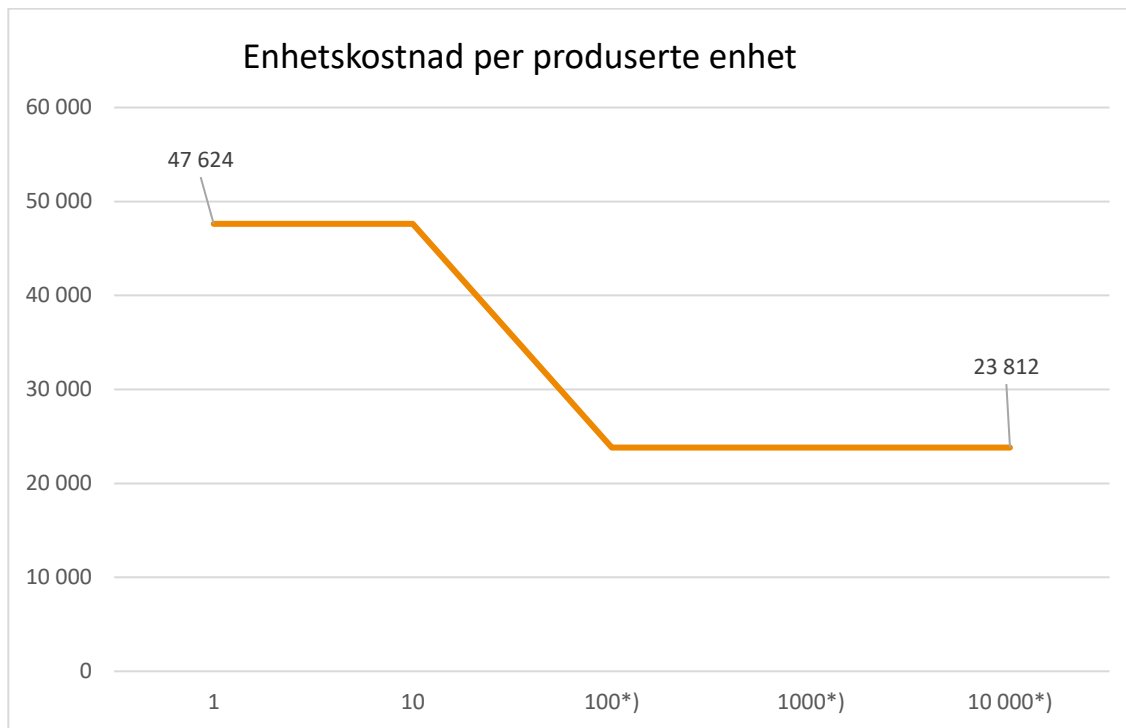
Figur 118: Linjediagram som viser hvordan prisen per serieproduserte enhet synker med antall produserte enheter. Der en kan se at produksjon av energisystemet vil være lønnsom etter 1000 produserte enheter.

Dersom kostnadene knyttet til konseptutviklingsarbeidet i denne gradsoppgaven kan sees bort fra ved en eventuell realisering av konseptet vil enhetskostnadene se annerledes ut. I Tabell 62 sees en oversikt over enhetskostnadene knyttet til serieproduksjon, ved videre realisering.

Tabell 62: Oversikt over enhetskostnader ved et ulikt antall serieproduserte enheter, der konseptutviklingskostnadene sees bort fra. *) forutsetter 50 % avslag i faste utgifter ved 100 eller fler produserte enheter.

Antall enheter	Enhetskostnad
1	47 624
10	47 624
100*)	23 812
1000*)	23 812
10 000*)	23 812

Oversikten over enhetskostnadene ved ulikt antall serieproduserte enheter, der konseptutviklingskostnadene sees bort fra, er presentert i et linjediagram på Figur 119. Diagrammet viser hvordan prisen for produksjon per serieproduserte enhet synker med avslag i faste utgifter.



Figur 119: Linjediagram som viser hvordan prisen per serieproduserte enhet synker med antall produserte enheter, der kostnadene knyttet til konseptutvikling er sett bort fra.

12.4 Konkurrentanalyse

12.4.1 Konkurransesvurdering

Etter utført markedsanalyse, hvor en så på prisene til de aktuelle konkurrentene, ble det bestemt i kapittel 5.5 at utsalgspris burde ligge mellom 20 og 30 000,-. Etter utført kostnadsanalyse og de tidlige kostnadsvurderingene kan det være aktuelt å legge utsalgsprisen på 30 000, gitt at minst 1000 enheter blir produsert. Dersom det viser seg at tilvirkningskostnadene blir lavere enn antatt kan utsalgsprisen senkes og dermed gjøre energisystemet mer konkurransedyktig på pris. Det markedet systemet taper på pris vil det ta igjen på tilpasningsdyktighet og det faktum at det tilbyr flere løsninger enn å bare produsere strøm. En høyere utsalgspris enn konkurrentene kan derfor godtas. Andre faktorer som transport er ikke tatt med i denne beregningen, men ettersom dekningsbidraget er godt per enhet kan dette godtas.

12.4.2 Lønnsomhetsvurdering

Ettersom strømnnett-utbygging er primærkonkurrenten til energisystemet utviklet i dette gradsarbeidet, er det aktuelt å se på hvor lønnsomt det kan være å investere i systemet.

Dersom energisystemet er installert til en fritidsbolig som er i bruk 3 måneder av året og som jevnt produserer strøm på 5,5 kWh, utgjør dette en total strømproduksjon på:

$$3 \times 30 \text{ dager} \times 24 \text{ t} \times 5,5 \text{ kWh} = \mathbf{11\ 880 \text{ kWh/år}}$$

I kapittel 5.5 ble det også sett på et aktuelt prisområde for nettstrøm, der det aktuelle prisområdet strakk seg fra 2,0 til 3,0 kr/kWh. Dersom en tar utgangspunkt i en gjennomsnittlig nettstrøm-pris på 2,5 kroner og en utsalgspris på 30 000 kroner, kan en regne ut hvor lang tid det tar før systemet er nedbetalt.

Utregningene under viser hvor lang nedbetalingstid systemet har dersom det brukes 3 måneder i året, med forskjellig type brensel. Priser på brensel er hentet fra kapittel 8.2.8.

$$\text{Nedbetalingstid, bjørk} = \frac{30\ 000}{11\ 880 \times (2,5 - 0,20)} = \mathbf{\text{omtrent 1 år og 1 mnd}}$$

$$\text{Nedbetalingstid, pellets} = \frac{30\ 000}{11\ 880 \times (2,5 - 0,44)} = \mathbf{\text{omtrent 1 år og 4 mnd}}$$

Utregningen viser at systemet er nedbetalt på 1 år og 1 måneder dersom det fyres med bjørkeved og 1 år og 4 måneder dersom det benyttes pellets. Dette er kun basert på strømproduksjon. Ettersom energisystemet tilbyr varme og kan konfigureres til å tilby varmtvann vil det ta enda kortere tid før investeringen i systemet er inntjent. Basert på dette kan en høyere utsalgspris forsvares.

Nedbetalingstiden vil være noe lengere hvis en tar hensyn til avanse og transport i beregningene. Her vil markedsetterspørsel påvirke utsalgsprisen til systemet, samtidig vil transportkostnader også være en kostnad som vil variere i stor grad. Dette er ikke tatt med i vurderingen, men vil kunne være et tema for en indøk-oppgave til senere.

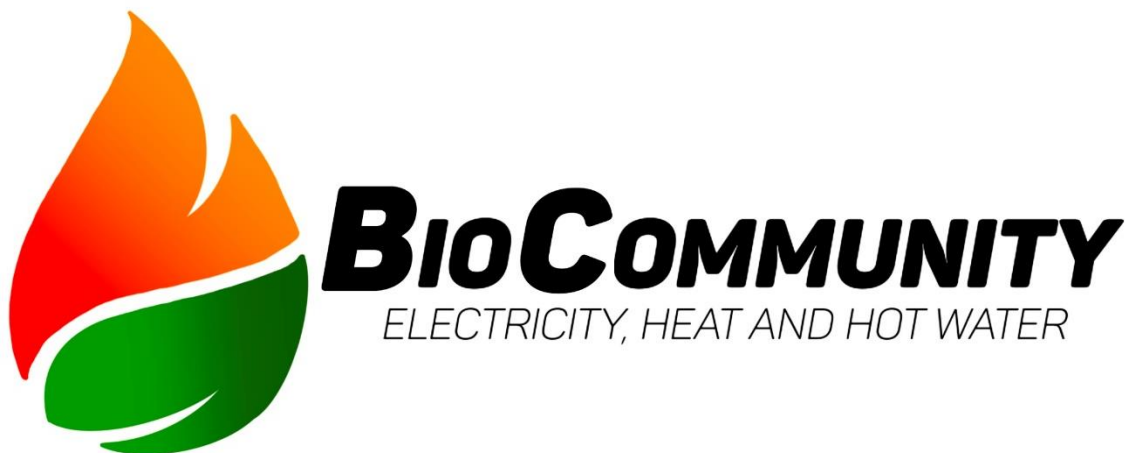
13 MARKEDSPRESENTASJON

Markedspresentasjonen består av renderinger og illustrasjoner fra konseptutviklingen, der det endelige resultatet vises frem og beskrives. Her vil logoen med merkevare, produktrenderinger, transportemballasje og bruks- og monteringsanvisninger bli presentert for å gi et helhetlig bilde av hvordan løsningen vil se ut.

13.1 Logo og merkevare

Logoen illustrere et brennende blad utformet som en vanddråpe. Dette skal representere elementene som er involvert under prosessen i energisystemet og bygger på dette med grønn- og fornybar energi. Logoen er enkel og lett å forstå seg på med både en illustrasjon og beskrivende tekst som gjør den universell med tanke på grafisk design, der ulike konfigurasjoner av logoen ofte brukes.

Merkevaren og navnet «Bio Community» bygger på dette med å utvikle bærekraftige bioenergiløsninger for landlige og fjerntliggende samfunn, samt fremme økonomisk utvikling og miljømessig bærekraft.

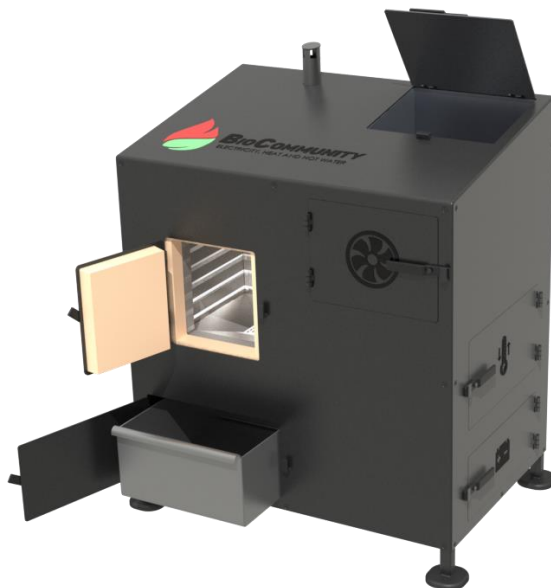


Figur 120: Prosjektlogo bestående av konseptnavn med beskrivende tekst. (F&H)

En god logo og et godt varemerke kan ofte ha stor innvirkning på om et produkt gjør det bra eller dårlig. Selv med et godt produkt til grunn er det ikke alltid konseptet lykkes grunnet dårlig markedsføring eller liten interesse. For å bygge en god merkevare er det også kritisk å sikre den i form av en patent. Dette kan enkelt gjøres gjennom en søknad til det norske patentsyrere som kan gi enerett til å bruke det grafiske uttrykket og varemerket, samt virksomhetens varer og tjenester. Skal dette være et internasjonalt prosjekt vil dette kunne sikres gjennom europeiske EPO eller internasjonale WIPO.(142–144)

13.2 Renderte framstillinger

Energisystemet er innrammet med aluminiumplater som skjermer mot vær og vind. Disse vil enkelt kunne monteres av og på, der tanken er å lakkere panelplatene etter kundenes ønsker og behov, som åpner muligheten for å velge et design i forskjellige farger. Figuren under viser energisystemet lakkert i en mørkegrå farge, som vil være nokså universal i de fleste omgivelser.

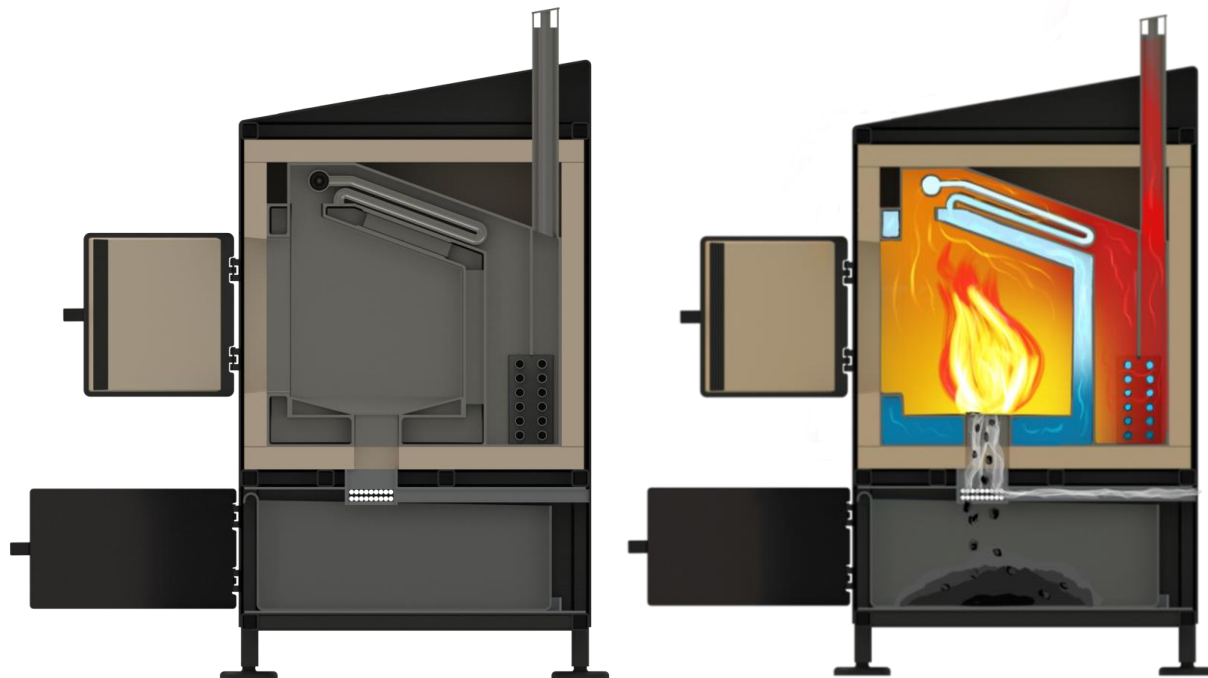


Figur 121: Render av energisystemet der dørene til pellets, brennkammer og askebegeret er åpnet.

De neste figurene viser energisystemet i ulike tverrsnitt for å kunne få et bedre inntrykk av hvordan alle delene er plassert i forhold til hverandre. Illustrasjonene på venstre side viser energisystemet uten innhold, der det på høyre side vises hvordan systemet vil være under bruk.



Figur 122: Tverrsnittet viser oversikt over overopphetet, turbin, generator og kondensator.



Figur 123: Illustrasjonen viser tverrsnittet fra siden, der en tydelig kan se dampkjelens oppbygning og funksjon.



Figur 124: Illustrasjonen viser et tverrsnitt av systemet for å gi tydelig oversikt over hvordan pelletsbeholderen og matesystemet vil fungere.

Videre er det utviklet illustrasjoner av hvordan energisystemet vil se ut når det plasseres i relevante omgivelser. Som nevnt tidligere i rapporten er det i første omgang fokusert på å lage et system tilpasset norske fritidsboliger. På figurene under er det forsøkt å lage et realistisk bilde av hvordan energisystemet vil kunne se ut inntil ulike hyttevegger.



Figur 125: Energisystemet plassert inntil veggen på en liten hytte. (145)



Figur 126: Illustrasjon av energisystemet i typisk miljø. (145)

Etter hvert som energisystemet utvikles og forbedres kan det være interessant å se nærmere på automatisering av systemet, der ulike funksjoner kan justeres fra telefonen. Dette er ikke sett på gjennom dette prosjektet, men vil være en relevant tanke i utvikling fremover.



Figur 127: Illustrasjon som viser energisystemet som kontrolleres av en telefon. (146)

13.3 Transportemballasje

Systemer som dette har ofte mange krav og kriterier når komponentene settes sammen, både i form av kvalitetskontroll og sikkerhet. Dette gjør at produsentene selv ofte monterer og evaluerer systemet før det sendes ut til kunden. Energisystemet vil derfor transporteres ferdig montert. Dette er tatt hensyn til, derfor er systemet bygd opp med samme dimensjoner som en europall med lengde 1200 mm og bredde 800 mm. Alle komponenter vil være fastmontert i hverandre og i rammen, dermed vil det ikke være noen løse deler. I tillegg består rammen av aluminium som skaper en sterk ramme til transport, derfor er det ingen behov for tilleggsemballasje for støtte, men det vil være naturlig å pakke inn systemet i plast for å unngå riper og overfalte slitasje. Det kan også vurderes å benytte finerplater for å pakke inn systemet, dersom det trengs ekstra beskyttelse.

Figuren på neste side viser hvordan energisystemet kan fraktes i containere, der det enkelt kan plasseres inntil 15 stk.



Figur 128: Illustrasjon av hvordan 15 energisystem kan få plass i en lastecontainer.

13.4 Tekniske beskrivelser

Montering av bein

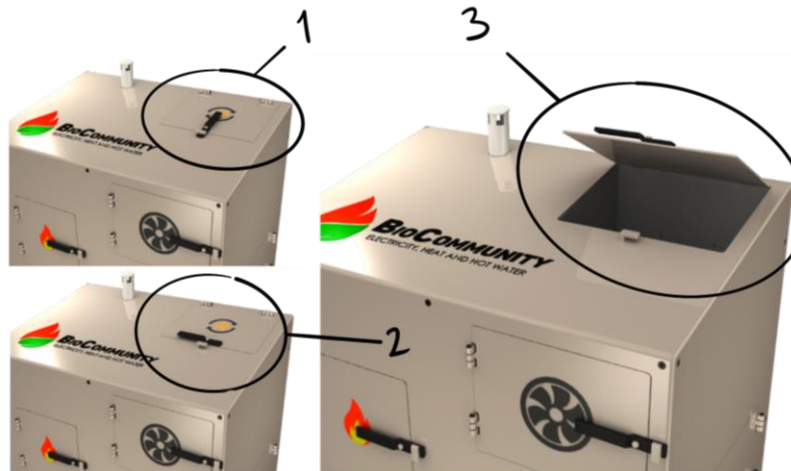
Når kunden mottar systemet, vil det kun gjenstå å montere beinene, hvis dette er nødvendig. Benenes funksjon er å stabilisere og tilpasse systemet til et mykt eller ujevnt underlag. Montering fungerer ved at benenes profil tres inn i rammen på undersiden av energisystemet før det strammes med en skrue eller lignende. Dette kan en enkelt gjøre selv, der Figur 129 viser hvordan dette gjøres.



Figur 129: Montering av bein i ramme, for å sikre trygg og stabil kontakt med overflaten energisystemet står på.

Fylling av matesystem

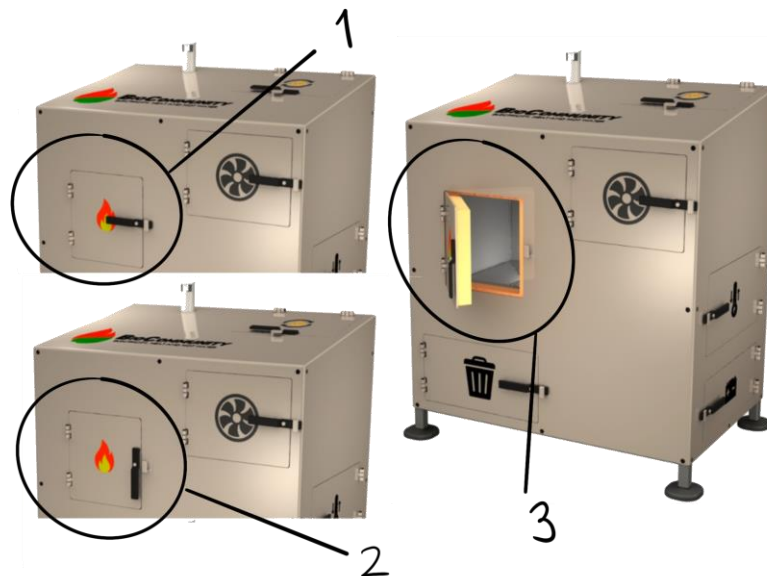
Når det skal fylles på med mer brensel, gjøres dette via døren «E9 – Dør pelletsbeholder» som er lokalisert på toppen av energisystemet. Pellets og flis helles oppi, der beholderen har et volum på 80 L. Beholderen og matesystemet er designet på en slik måte at brenselet naturlig vil fylle på inn til mateskruen.



Figur 130: Steg 1: Lokaliser riktig dør. Steg 2: Vri på håndtaket mot klokken. Steg 3: Løft luken/ døren.

Manuell fyring

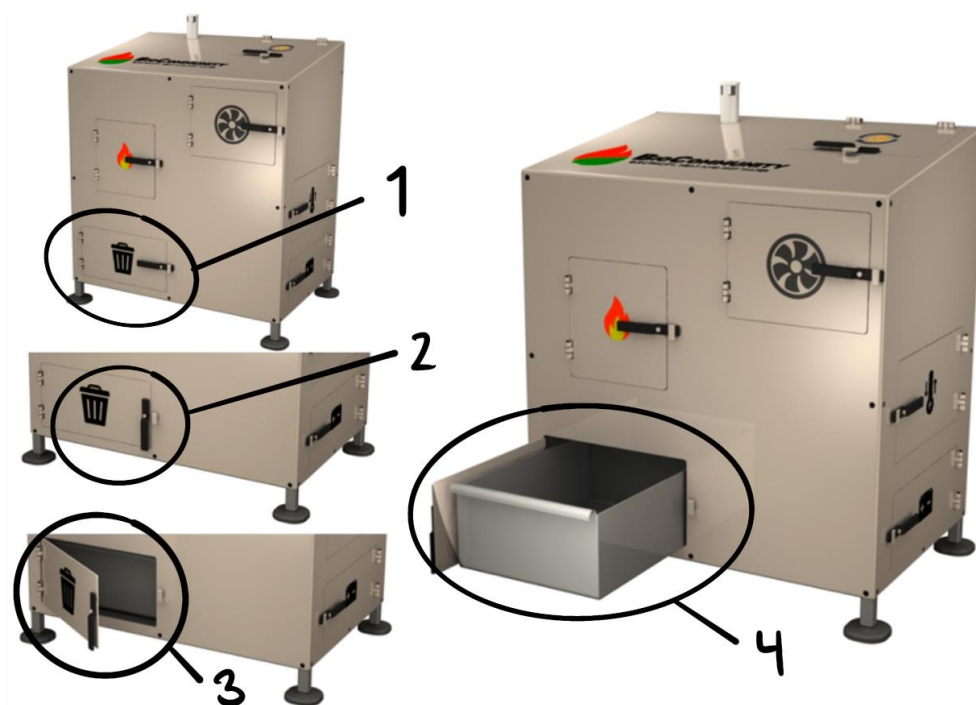
Skal det benyttes vedkubber som brensel gjøres dette gjennom døren «E4 – Dør brennkammer». Døren åpner opp til brennkammer som befinner seg på innsiden av dampkjelen. Som resten av dørene på systemet er det benyttet en enkel låsemekanisme. Figuren under viser hvor døren til brennkammeret befinner seg, og illustrerer hvordan døren åpnes med tre steg.



Figur 131: Steg: Lokaliser riktig dør. Steg 2: Vri på håndtaket mot klokken. Steg 3: Dra i døren.

Tømming av aske

Når biobrenselet har gjennomgått en fullstendig forbrenning i brennkammer vil det ligge igjen aske. Denne asken vil samles i en skuff i bunn av energisystemet, som har relativt store dimensjoner som gir stor plass til asken, og dermed forlenges tiden mellom hver gang asken må fjernes. Aksen må fjernes manuelt der tilgang på askeskuffen skjer gjennom «E5 – Dør askerom». Figuren under hvordan dette vil foregå.



Figur 132: Steg 1: Lokalisere riktig dør. Steg 2: Vri håndtaket mot klokken. Steg 3: Åpne døren. Steg 4: Dra ut askeskuffen.

Vedlikehold

For forbrenning av brensel i brennkammeret anbefales det å:

- Bruke tørr ved – for å fyre optimalt bør ikke veden ha en fuktighet på mer enn 20%.
- Bruke passende størrelse på brenselet – tilpass ved-størrelsen til brennkammeret for å sikre god forbrenning.
- Benytt alltid opptenningsved – benytt opptenningsved for å starte forbrenningen, på denne måte økes temperaturen raskt i brennkammeret. Veden som legges inn senere vil dermed ta fyr fortere og en ren forbrenning vil skje. Dermed utnyttes mer av den potensielle energien i veden.

- Sjekk piperøyken – Røyken som kommer ut skal være luktfri og forbrenningen skal foregå i brennkammeret, ikke i pipen.
- God trekk – er nødvendig for en ren forbrenning, sørg derfor for at luftventiler ikke er dekt til.
- Valg av brensel – fyr kun med oppgitte fyringsmidler.
- Fyr moderat. – ikke legg for mye ved inn i brennkammeret på en gang, dette kan føre til stor varmpåkjenning på hele systemet og skadet det.
- Tøm asken – men ikke for ofte, asken isolerer og holder på varmen til forbeningen. Benytt askeskuff og feieluke når asken skal tømmes.(147)

14 PROSESSEVALUERING OG DISKUSJON

For å få en oversikt over utviklingsprosessen og utfordringene som har oppstått blir det utført en prosessevaluering. Hensikten er å vurdere og diskutere prosessen, produktet og eventuelle forbedringspotensialer.

14.1 Læring og kompetanseutvikling

Ved oppstart av gradsoppgaven ble det raskt oppdaget at prosjektet hadde potensiale til å bli svært omfattende, der lignende konsept ofte utvikles gjennom flere enkeltoppgaver. Gode arbeidsrutiner og et høyt arbeidstempo fra start ble derfor avgjørende for å komme i mål med oppgaven. Etablering og oppfølging av en tydelig fremdrifts- og milepælsplan ble nok en gang viktig for å kunne ha kontinuerlig oversikt og levere nødvendig arbeid til riktig tid. Gradsarbeidet har gitt ytterligere kunnskap rundt dette med planlegging, strukturering og gjennomføring av et stort tidsavgrenset prosjekt. Dette ble tydelig slutfasen da gruppen hadde god tid til å se gjennom oppgaven og rette opp eventuelle feil og misforståelser.

Det å fullføre en prosjektoppgave med omfang på totalt 1800 arbeidstimer har vært utfordrende, der god dialog og støtte fra veileder Bøe har vært en viktig del av prosessen. Gjennom prosjektet har gruppen tatt til seg mye ny kunnskap, spesielt rundt termolæren der ingen av kandidatene hadde nevneverdig kompetanse før prosjektstart. Dette gjorde oppgaven utfordrende, der en rekke forenklinger og begrensinger ble satt med tanke på beregninger.

Prosjektet krevde også god kompetanse innen 3D-modellering og datasimulering, der prosjektgruppen fikk utfordret ferdighetene i stor grad. Nesten alle delene til energisystemet ble tegnet opp, simulert/ analysert og rendert, noe som har gitt enormt god læring. Spesielt kunnskap rundt styrkeoptimering og CFD-analyser, da dette er verktøy som blir viktig å ta med seg videre.

Gradsarbeidet har gitt gruppen bedre innsikt i bruk av ulike produktutviklingsmetodikk og andre elementer for å sikre et grundig og oversiktlig prosjekt. Kjente prinsipper som «Form Follows Function» har bekreftet at nye og kreative design ofte kan bli vanskelig å produsere, samtidig som det kan by på andre utfordringer som styrke. Dampkjelen er et eksempel på dette.

Godt samarbeid og gruppedynamikk er essensielt for at en oppgave som dette skal kunne gjennomføres på en god måte og for å oppnå et godt sluttresultat. Gruppen har benyttet seg av sosiale arrangementer og naturen for å få avbrekk i en ellers travel og krevende hverdag.

14.2 Utrednings og planfasen

- Prosjektet er den del av en rekke gradsoppgaver ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet som tar for seg småskala energisystemer basert på fornybar energi. Det er utviklet systemløsninger innen sol-, vind-, vann- og bølgekraft med en ytelse på rundt 5 kW, som ble grunnlaget for dette prosjektet.
- I starten av prosjektet ble det gjort en grundig vurdering av sentrale utviklingstrekk og aktører, samt konkurrerende løsning og markedsbehov for å utforske mulighetene til konseptet og sette rammene for prosjektet. Det ble videre satt opp problemstillinger og flaskehals for utviklingsarbeidet, for å oversikt over utfordringer som ville være viktig å ta stilling til. Alt dette ble gjort grundig og skapte et godt grunnlag for prosjektarbeidet.
- Videre ble det satt opp en tids- og arbeidsplan med milepeler og begrensninger, der oppfølging av denne viste seg å være sentralt med tanke på den store arbeidsmengden. En god plan har vært helt avgjørende for at utviklingen av energisystemet har blitt gjennomført på en god og oversiktlig måte.
- I oppstarten av prosjektet var det utfordrende å se for seg hvordan en løsning kunne utformes, hvilke problemstillinger som vil være relevante og hvilke rammer som skulle settes for oppgaven. Det ble derfor viktig å sette opp noen overordnede problemstillinger i starten, og heller definere nye problemer og begrensninger senere, etter hvert som det dukket opp.
- Ved utviklingen av prosjektplanen ble det avsatt et stort tidsrom til design, modellering og analysering, da energisystemet ville kreve svært mange komponenter, der utvikling av disse ville kreve mest tid. Fokus på dette gjorde at gruppen tidlig gjennomførte den metodiske tilnærmingen og utarbeiding av teori, slik at tiden kunne brukes til å fokusere på selve konseptutviklingen.
- Under metodebeskrivelse ble terminologi, begreper og formler definert, før løsningsverktøy som ble brukt gjennom prosjektet ble beskrevet. Her ble produktutviklingsverktøy som IPD og Pugh's metodikk godt tatt i bruk. Noe gruppen burde vært enda flinkere på gjennom prosjektet var kvalitetskontroll med nærmer oppfølging av forskrifter og standarder.

14.3 Utviklingsfasen

- Utviklingsfasen startet med å finne og drøfte grunnleggende teori om blant annet biobrensel, vanddamp og varmekonvertering som ville være en del av systemet. Deretter ble de kjemiske, mekaniske og elektriske løsningene som kunne være aktuelle å benytte i energisystemet beskrevet, for å skape en helhetsforståelse av hvordan systemet ville bli bygd opp.
- Andre nødvendige løsninger som vannpumper, sikkerhetsventiler og rør ble deretter kartlagt og beskrevet for å kunne utvikle et helhetlig system som ville fungere.
- Produktspesifisering ble utviklet på bakgrunn av den omfattende grunnlagsteorien, der det ble satt opp hovedmål med delmål for løsningen. Videre ble det satt opp krav og fysiske mål med tekniske og økonomiske grenseverdier for sluttløsningen.
- Konseptgenerering startet med en funksjonsanalyse av ulike komponenter som ville bli nødvendig i systemet, der fordeler og ulemper ble drøftet for hver løsning. Utvikling av illustrerende tegninger og skisser sørget for god kommunikasjon mellom gruppemedlemmene, der dette førte til god forståelse som skapte enighet om veien videre.
- Det ble utforsket en rekke utforminger, spesielt på dampkjelen. Her ble det valgt ut én løsning med annen type oppbygging enn en typisk dampkjele, for å kunne teste ut og kanskje skape noe helt nytt. Noe som viste seg senere i prosjektet å bli kritisk.
- Under konseptgenereringen ble det gjennomført tidlige vurderinger av blant annet brukspåkjenninger, beregninger, materialer og form- og estetikkalternativer. Dette satte rammene for videre konseptutvikling, og kunne blitt utarbeidet i større grad med blant annet flere skisser av sluttproduktet, flere grovbergninger på varmevekslere, turbin og generator.
- Det ble gjennomført en egenscreening med bruk av seleksjonsmatriser der ulike egenskaper ble rangert etter løsningens behov. Løsningene ble vurdert på en skala fra 1-5, der løsningen med høyest score ble valgt. Dette gjorde at det ble enkelt å velge riktig løsning til videre konseptutvikling.
- Etter at de best egnede løsningene ble valgt ut, startet prosessen med å utforme komponentene til å passe i et system. Her ble det utforsket mye, der dampkjelen gikk gjennom en rekke ulike utforminger. Prosessen med å prøve og feile med designutforminger på komponentene kunne i større grad blitt beskrevet i rapporten.

14.4 Design og konstruksjonsfasen

- Design og konstruksjonsfasen startet med å sette opp forutsetninger og mål for beregningene. Videre ble det utført enkle håndberegninger for de viktigste komponentene i energisystemet. Det å finne de riktige formlene og verdiene for et system som dette bød på utfordringer, som skapte noe forvirring. Dette kunne enkelt blitt unngått ved å tidlig tatt kontakt med fagfolk, alt fra forelesere på campus til bedrifter som relevant kunnskap.
- Etter utviklingsfasen ble det også gjennomført en ekstern konsepttesting. Dette ble gjort med to forskjellige grupper, en brukertest og en eksperttest. Brukertesten ble gjennomført ved å snakke med familie, venner og medstudenter. Her kunne det med fordel vært aktuelt å kontakte enda flere personer, særlig folk i målgruppen. Videre ble det gjennomført to eksperttester, der dette kunne blitt gjennomført tidligere og med flere fagfolk.
- Eksperttesten med senioringeniør Hansen baserte seg på produksjon om dampkjelen. Praten ga oss en god pekepinn på hva som var bra og hva som kunne bli utfordrende, der utformingen på dampkjelen kunne by på høye kostnader. Hvis praten hadde blitt gjennomført på et tidligere tidspunkt, kunne det vært mulig å endre på hele utforming for å få kjelen til å holde etter kravene som ble satt.
- Etter den eksterne konsepttestingen gikk prosjektet over til å utvikle selve produktarkitekturen og konseptdesignet. Her ble systemets komponenter tegnet opp i 3D ved bruk av programmet *SolidWorks*. Dette var en tidkrevende prosess som gikk over mange uker, men heldigvis ble dette tatt høyde for i prosjektplanen som gjorde at prosjektoppgaven ble gjennomført på en god måte.
- Gruppen innså fort at dette var et prosjekt sammensatt av hundrevis av deler, der det ble viktig å forenkle mange av delene. For eksempel måtte mateskruen tegnes opp som en del, selv om hele komponenten består av en rekke ulike enkeltdeler. Dette gjorde at systemet ble noe forenklet, men som var nødvendig for at gruppen skulle rekke å utvikle en løsning til satt tid.
- Før systemet skulle analyseres og videre beregnes ble det valgt ut materialer til de ulike komponentene. Her ble *Ansys Granta* brukt for å finne det mest egnede materialene og legeringene, som kunne benyttes i energisystemet. Her har gruppen prøvd å velge de mest tilgjengelig og vanlige materialene, samtidig ha så få ulike materialer som mulig for å holde totalkostnadene nede.

14.5 Analyse og ferdigstillingsfasen

- Det ble gjennomført både strømningsanalyser og statiske beregninger av komponenten i systemet. Strømningsanalysene ble gjennomført i *SolidWorks simulations*, der to av tre varmevekslere ble testet. Det ble bekreftet at kondensatoren ville klare å kondensere dampen. Videre ble varmeveksleren testet, som klarte å varme opp luften til 53 grader.
- Varmeveksleren ble utviklet og testet med for lav volumetrisk strømningshastighet, der endringer vil være nødvendig. Dette vil for eksempel være så enkelt som å legge til flere luftrør, for større eksponering av varme.
- Det ble gjort flere forsøk på å gjennomføre en termisk analyse av dampkjele med overoppheter og varmeveksler montert, for å kunne se hvor varmen fra forbrenningen ville oppføre seg, men med for lite kunnskap ble dette vanskelig. Ved å kontakte fagpersoner og lærere tidligere ville dette enkelt kunne blitt gjennomført.
- Det ble gjennomført FEM beregninger på både dampkjele, overoppheter og rammeverket der en oppdaget at dampkjelens utforming ville holde et trykk på 5 bar, men med en sikkerhetsfaktor vil kjelen ikke være sterk nok. Dampkjelen ble lagd med store flate overflater, noe som ikke er spesielt sterk med hensyn på trykk. Ved videre arbeid må denne komponenten endres slik at den tåler ønsket trykk, med korrekte sikkerhetsfaktorer.
- Overoppheteren ble testet for trykk og rammeverket ble testet for de totale belastningene, der resultatene bekreftet at komponentene ville holde med god margin.
- Videre ble det utført en kostnadskalkyle på energisystemet. Produksjonspris og antall timer arbeid som kreves for å produsere alle delene, er alltid vanskelig å beregne. Det ble derfor satt en fast material- og tilvirkningspris, for å komme frem til et grovt estimat.
- Til slutt ble det utviklet en markedspresentasjon av systemet. Her ble det utviklet en logo og prosjektnavn til systemet som gruppen følte passet godt. Det ble så utarbeidet renderinger av energisystemets komponenter og med hele systemet plassert i relevante omgivelser. Studentene hadde forskjellige innstillinger oppsatt i *Solidworks* som førte til at renderinger og illustrasjoner derfor fikk forskjellig belysning og fargenyanse. Forskjellen ble forsøkt å reduseres ved å sammenligne renderinger så godt det lot seg gjøre.

14.6 Sluttdrøftinger

Gjennom gradarbeidet har prosjektgruppen tilegnet seg ny kunnskap rundt tema termologi, samt utvidet forståelsen særlig rundt utviklingsmetodikk, 3D-modellering og digitale analyseverktøy. Prosjektutviklingsprosessen har bydd på en rekke utfordringer, der omfanget av oppgaven har vært en av de største utfordringene med tanke på tidsrammen som ble satt. På grunn av god prosjektplanlegging og flittig bruk av produktutviklingsmetodikk har gruppen holdt god oversikt over prosjektets gjøremål og utvikling underveis. Det har blitt jobbet jevnt gjennom hele semesteret der 1800 arbeidstimer har blitt godt brukt, der gode avbrekk og andre fritidsaktiviteter har spilt en viktig rolle for å holde motivasjonen og arbeidsinnsatsen opp gjennom semesteret.

Det er utviklet og designet et energisystem sammensatt av en rekke komponenter som spiller hver sin viktige rolle. Prosjektet har vært stort og komplekst, samt åpnet opp for stor form- og designfrihet. Dette har ført til at gruppen har utforsket andre løsninger, som ikke vanligvis benyttes. Det er utviklet en vannrørskjele bygd opp av store og flate overflater for å skape et så kompakt og lite system som mulig, samtidig utnytte forbrenningsvarmen til å drive en overoppheter og varmevekslere på en effektiv måte. Etter omfattende analyser og beregninger viste det seg at dette ville være vanskelig med tanke på de kravene som ble satt tidlig i prosjektet.

Videre ble det tidlig bestemt å lage et enkelt og brukervennlig system, som samtidig skulle være enkelt å transportere. Enkel transport ville være viktig hvis systemet skulle kunne brukes i for eksempel en krisesammenheng som beredskapsmaterieell, der systemet vil kunne produsere strøm, varme og oppvarmet vann. Det ble bestemt å bruke dimensjonene til en europall som basemål, men med påmonterte dørhengsler og håndtak ble disse utvidede noe. Dette kan enkelt fikses ved å redusere dimensjonene på rammen for å skape mer plass.

Hovedfunksjonene til energisystemet er å produsere strøm, varme og varmt vann. Det ble utviklet en løsning på både hvordan systemet skulle kunne produsere denne strømmen, samt hvordan varmen fra brennkammeret ville kunne bidra til oppvarming av en bolig ved bruk av varmeveksleren. Det som manglet da var hvordan systemet ville gjøre det med varmt vann. Her måtte oppgaven begrenses, men det ble utviklet en dampkjele som rommer 15 liter vann, slik at muligheten for å utvikle en systemløsning som kan tappe ut dette vannet er til stede.

Selve prosjektarbeidet har hatt god flyt gjennom semesteret, der det kun er noen få ting som vi hadde ønsket blitt gjort annerledes, blant annet eksperttestingen. Dette burde blitt gjennomført så tidlig som mulig, både når det kom til utarbeiding av beregninger og innspill på konstruksjonen. Det skal også nevnes at det har vært en travel vår og med permisjoner har det vært vanskelig å få kontakt med fagfolk på campus.

Selv om det er mye som gjenstår før konseptet er klar for produksjon, vil gruppen si seg svært fornøyd med leveransen, der det er lagt et godt grunnlag for videre utvikling. Målet var å utvikle

et system som kunne produsere strøm ved hjelp av overopphetet damp og bruk av lokale bioresurser, som kan sies å være oppnådd i stor grad. Samtidig som systemet produserer strøm vil det også kunne være tilgang til oppvarmet luft og vann, som gjør energisystemet til et helhetlig produkt som vil kunne være en svært attraktiv løsning når det kommer til fornybare energisystemer.

15 KONKLUSJON

I denne gradsoppgaven har det blitt utredet, utarbeidet, dimensjonert og designet en systemløsning for småskala energi og elektrisitetsproduksjon, basert på lokalt brensel og overopphetet damp. Hovedmålet er oppfylt ved at det har blitt utviklet et energisystem som leverer en elektrisitetsproduksjon på 5,6-7,2 kW, samt varmluft og muligheter for varmtvann til oppvarming eller andre formål. Alle trinnene i utviklingsprosessen har blitt dokumentert ved hjelp av grafisk og skriftlig forklaring, samt tekniske tegninger og analyser gjennom denne rapporten.

Energisystemet har fått navnet BioCommunity og bygger på dette med å utvikle bærekraftige bioenergiløsninger for landlige og fjerntliggende samfunn, samt fremme økonomisk utvikling og miljømessig bærekraft. Systemet vil benytte biobrensel i form av ved, pellets eller flis og vil kunne brukes til en rekke formål, som for eksempel drifte fritidsboligen på fjellet eller være en del av beredskapsmaterieell til eventuelle kriser.

Energisystemet er bygd opp av en rekke ulike komponenter som er slått sammen i forskjellige sammenstillinger som grovt deles inn i: bærende elementer, energisystem og kledning. Dette gjør at systemet bygger på en modulbasert tankegang som fører til enklere produksjon, drift og vedlikehold.

Design av hovedelementene i systemet er utviklet på grunnlag av statiske beregninger og strømningssimuleringer, samt enkle håndberegninger. For å sikre høy kvalitet og sikkerhet har de mest kritiske komponentene blitt konstruert med gode sikkerhetsfaktorer, og sammen med gode materialvalg er det skapt et robust system, med lang levetid og lite krav til vedlikehold. Gjennom prosjektet er det utforsket nye løsninger og utforminger på kjente komponenter som dampkjelen, for å skape nye muligheter og funksjon-sammensetninger, samt utvikle et så kompakt system som mulig.

Alle delene til energisystemet er modellert i 3D, rendert og visualisert i sammenstillingstegninger ved hjelp av programmet *SolidWorks*. Komponentenes utforming er holdt enkelt der designfilosofien «Form Follows Function» har vært gjennomgående. Dette har åpnet opp for et enkelt og oversiktlig system som vil holde material-, produksjon- og transportkostnadene så lave som mulig og dermed skape et konkurransedyktig produkt.

Gjennom prosjektet har det blitt gjennomført brukertester og eksperttester med fagfolk for å komme frem til et godt teknisk og markedsgunstig resultat. Et energisystem som dette vil være en stor investering for de fleste, men med 3 måneders bruk i året vil det kun ta 1 år før systemet har betalt for seg selv, gitt at det ikke introduseres avanser og en strømpris på 2,5 kr/kWh.

15.1 Resultater og anbefalinger

Hovedresultatene fra prosjektet basert på hovedmål og delmål er som følger:

- Det er utviklet et energisystem bygget opp av hovedkomponentene; dampkjele, overoppheter, dampturbin, generator, kondensator, varmevekslere og et matesystem. Det komplette energisystemet har dimensjonene 1270x872x1507,4 mm og har en tørr vekt på 431 kg.
- Det er utviklet en nye variant av en dampkjele der målet var å gjøre systemet så kompakt som mulig. Kjelen gjør det mulig å ha forbrenningen av biobrensel på innsiden, der vann vil omslutte brennkammeret på alle sider og bli varmet opp.
- I sammenheng med produksjonen av damp er det konstruert en overoppheter som plasseres i pipeløpet, den sørger for å tørke ut og varme opp dampen før den entrer turbinen. Det er også konstruert et matesystem som rommer 80L, der en automatisk mateskrue sørger for kontinuerlig mating og forbrenning.
- Det er utviklet en dampturbin tilpasset rammebetingelsene for å levere minimum 5 kW ut fra generatoren. Systemet har kapasitet til å levere strøm med en nominell effekt på 5,6 kW, der maks effekt på 7,2 kW.
- Det er utviklet en kondensator som kondenserer den overopphetede dampen fra turbinen før vannet sendes inn i dampkjelen igjen for en ny syklus. Kjølevannet fra kondensatoren kan benyttes til vannbåren varme eller varmtvann til forbruk. I denne sammenheng er det også konstruert en «luft til luft»-varmeveksler med formål om å varme opp fritidsboligen ved å utnytte varmen som oppstår fra avgassene til forbrenningen.
- Energisystemet bæres av et rammeverk der det er utviklet kledning med en rekke dører slik at systemet vil være brukervennlig å benytte. Der er også skraverte symboler slik at en systemet er intuitivt i bruk.

Anbefalinger fra prosjektet er som følger:

- Det vil være nødvendig å endre på hvordan rammeverket og kledningen er bygd opp. Se nærmere på hvordan innvendige plater, utvendige panel og dører kan universaliseres slik at produksjonskostnader og antall ulike deler reduseres.

- Utforske andre formmuligheter på dampkjelen, da denne ikke er beregnet med hensyn til nødvendige sikkerhetsfaktorer. Runde og organiske former eller bruk av rør vil være hensiktsmessig her.
- Utføre flere og grundigere beregninger som oppfølges av FEM- og CFD analyser for å optimalisere de ulike komponenten i forhold til materialbruk, utforming og plassering. Det vil også være aktuelt med en totalsimulering av hele systemet for å se hvordan det fungerer i sin helhet. Noe som vil være viktig før utvikling av prototype.

15.2 Videre arbeid

For at energisystemet skal kunne konkurrere ut de andre strømalternativene er det nødvendig med videre arbeid. Systemet i seg selv er et svært godt utgangspunkt som trenger litt mer arbeid før det kan realiseres. I et prosjekt som dette vil testing av systemene være helt essensielt for å kunne lykkes. Det er nå lagt et grunnlag og en ramme for hva som må gjennomføres videre. Under er det punktvis satt opp en systematisk oversikt over hva som er fokusområdet under videre arbeid:

- I bunn trengs det generelle grundigere håndberegninger, sammen med utmattende beregninger for vibrasjoner og svingninger, og en dypere økonomisk analyse. Det vil også være aktuelt å utføre en risikoanalyse, der en får oversikt over de ulike risikofaktorene energisystemet har og derifra utarbeide en håndteringsplan.
- Finne det beste rammedesignet, samt finne den beste profilstørrelsen, slik at vekt reduseres samtidig som styrke opprettholdes. Gjøre rammen litt mindre slik at den totale størrelsen kommer ned på 1200x800 mm. (L x B sett ovenfra)
- Redusere tykkelsen på plater i den bærende konstruksjonen, samt redusere tykkelsen på kledningen for å spare vekt. Legge inn funksjoner slik at beinene er justerbare. Dette gjør at systemet kan stå i vater på ujevne underlag.
- Endre dampkjelens utforming, slik at den tåler trykket på 5 bar, innenfor den satte tillate spenningen. Her er det ønskelig med en høy sikkerhetsmargin, der en faktor mellom 5-6 er ønskelig for å tilby god sikkerhet og innfri krav i lovverk.
- En av funksjonene er at energisystemet skal fungere som et lite fjernvarmeanlegg. Dersom anlegget skal varme opp en hytte eller fritidsbolig, gjenstår noe mer utvikling når det kommer til varmekjølingen til energisystemet. Gjennom prosjektet er det kun utviklet en varmeveksler som plasseres inni pipeløpet. Her er det behov for et viftesystem med en løsning som vil føre den oppvarmede luften inn i boligen.
- Pipeløpet har mange vinkler og former. Luften skal også gjennom mange komponenter før den går ut av pipen. Det å legge inn et viftesystem i utgangen av pipeløpet vil sørge for god trekk gjennom hele systemet og dermed sikre god og sikker forbrenning.

- For å sikre optimal forbrenning og sørge for at systemet er rentbrennende, trengs det flere luftkanaler inn i dampkjelen. Dette sørger for sekundær forbrenning (av avgasser).
- Beregne og optimalisere overoppheteren for å få riktig temperatur på dampen før den sendes inn i turbinen. Optimalisering av turbin er også nødvendig der følgende faktorer må drøftes: 1, 2 eller 3 stadier, rotasjonshastighet og størrelse.
- Dimensjonering av varmeveksleren som skal kjøle ned kjølevannet, som brukes i kondensatoren. Optimalisering av rør, slik at det er lite energitap mellom komponentene.
- Plassering og konstruksjon av sikkerhetsventiler ble ikke gjennomført, men drøftet i konseptutviklingsfasen. Det er ønskelig å ha minst to ventiler i systemet. En på selve dampkjelen og en rett før turbinen. Dette for å kunne regulere trykket som befinner seg i systemet, noe som er en viktig del av sikkerheten.
Påfylling av vann til systemet er heller ikke vist, men vil gjøres mellom kondensatoren og vannpumpen i dampkretsen.
- Rørene som er vist i systemet ble lagd for å gå der de «måtte gå», ettersom det er plasseringen til større komponentene som bestemmer hvor rørene går. Det å optimalisere plasseringen til de ulike komponentene vil gjøre at rørene kan gå i en enklere bane. Dette vil føre til enklere produksjon og installasjon, samt bedre flyt i væsken som går i dem.
- Ettersom systemet produserer svært mye varme, kan det være lurt med en form for kjøling av de ulike rommene. Varmevekslingsrommet kunne spesielt hatt behovet for en vifte, for å kjøle komponentene. Det å kjøle turbinrommet kan også være aktuelt.
- Alle platene i systemet har tykkelsen 5 mm. I noen tilfeller er dette for mye, og tykkelsen kan i de fleste tilfeller settes ned til 2 mm. Dette gjør at en sparer mye vekt og dermed gjør systemet enklere og billigere å transportere.
- Ved videre utvikling av systemet burde håndtak-løsningen sees på, da denne er svært enkel. Videre er hengslene lagd som en del av dørene og kledningen. Produksjon av dørene vil ikke være noe problem, men å knekke til hengslene på kledningene kan by på utfordringer.
- Grundigere FEM og CFD analyser av de aktuelle komponentene.
- Redesign av askeskuffen slik at den er lettere å håndtere. Implementere gode håndtak som ikke tar til seg så mye varme, slik at brukeren ikke risikerer brannskade om systemet er varmt.
- Designe et låsesystem slik at alle luker kan låses. Dermed kan systemet benyttes uten tilsyn eller fare for at uønskede tukler med det.
- Optimalisere matesystemet, slik at det ikke slipper ut varme fra brennkammeret. Størrelse, matehastighet og hvordan det drives og samtidig flytte hullene i brannmursplatene for å ikke fremprovosere sprekkdannelse i hjørnene.
- Fysisk trykktesting og optimalisering av dampkjelen, slik at den blir så effektiv som mulig. Dette for å redusere mengde brensel som trengs for å starte opp og drive energisystemet.
- Fysisk trykktesting overoppheter, varmeveksler og kondensator. Teste om effektiviteten stemmer overens med beregninger og analyser og videre isolering av systemet.

- Regulerings og styringssystemer må utvikles for at energisystemet kan fungere samtidig som håndtering av strømmen etter generatoren må gjøres rede for.
- Produsere en enkel prototype for å få en bedre forståelse av hvordan systemet fungerer i virkeligheten.

16 REFERANSER

16.1 Skriftlige kilder

5. Trømborg E, Bolkesjø T, Solberg B. Skogbasert bioenergi til oppvarming: økonomisk potensiale i Norge og effekt av økonomiske virkemidler, Rapport, Institutt for naturforvaltning, INA, NMBU. 2007, 28 s.
8. Gjølsjø S, Hobbestad K. Energipotensialet fra skogen i Norge, Oppdragsrapport fra Skog og landskap. 2009, 8 s. + vedlegg.
10. Nerol Kleven F. Praktisk og teoretisk evaluering av regenerativ gassturbin- syklus med ekstern forbrenning, Masteroppgave i Maskin, Prosess og produktutvikling, Realtek, NMBU. 2016, 69 s. + vedlegg.
11. Henriksen V,G. Utvikling, dimensjonering og konstruksjon av dampturbinløsning for Dolphin-konseptet, Masteroppgave i Maskin, Prosess og produktutvikling, Realtek/NMBU. 2016, 99 s. + vedlegg.
12. Kandiah S. Småskala solenergi, teknologi og designutvikling, Masteroppgave i Maskin, Prosess og produktutvikling REALTEK/NMBU. 2022,106 s. + vedlegg.
13. Sandnes Inderberg M. Småskala vindenergi, teknologi og løsningsutvikling, Masteroppgave i Maskin, Prosess og produktutvikling, Realtek/NMBU. 2021,113 s. + vedlegg
14. Olsen A,L. Småskala hydroenergi, teknologi og systemutvikling, Masteroppgave i Maskin, Prosess og produktutvikling, Realtek. 2022, 116 s. + vedlegg.
15. Singh P. Systemutvikling og lokal energiproduksjon fra bølgebevegelser i vann, Masteroppgave i Maskin, Prosess og produktutvikling, Realtek/NMBU. 2022, 159 s. + vedlegg
25. Andersen, E.S, Grude, K., Haug K.: Goal Directed Project Management: Effective Techniques and Strategies. 4th ed. London, UK.: Kogan Page; 2009, 272 s.
26. Magrab Edward B.: Total Design: Integrated Product and Process Design and Development: The Product Realization Process (Environmental & Energy Engineering Series), 1 Edition, CRC Press. New York, USA, 1997, 320 s.
27. Eversheim W.: Innovation Management for Technical Products: Systematic and Integrated Product Development and Production Planning (RWTH-edition). 1st ed., Springer Verlag Berlin, Heidelberg, Tyskland, 2009, 444 s.
28. Departement of Defense.: “DoD Guide to Integrated Product and Process Development”, Version 1.0, Office of the Undersecretary of Defense, Acquisition and Technology, Washington DC, USA,. 1996, 42 s.
29. Pugh, S., Clausing, D. & Andrade R.: Creating Innovative Products Using Total Design. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Boston, MA, USA, 1996, 544 s.
30. Madu CN.: The House of Quality in a Minute. A Guide to Quality Function Deployment. Third edition, Information Age Publishing, 2020, 154 s.

31. Osborn A.F.: Applied Imagination, Principles and Procedures of Creative Problem-Solving. 3rd Revised edition, Charles Scribner's Sons, New York, USA, 1979, 417 s.
32. Michalko M.: Thinkertoys: A Handbook of Creative-Thinking Techniques, 2nd Edition, Ten Speed Press, Berkeley, USA, 2006, 416 s.
33. Baxter M.: Product Design (Design Toolkits), 2nd Reprint, CRC Press, (1995)/ Nelson Thorne Ltd, Cheltenham, United Kingdom, 2001, 308 s.
37. Johannessen J. Tekniske Tabeller, 2 utgave, Cappelen Forlag, Oslo, 2002, 158 s.
38. Haugan J. Formler og tabeller. 3. utgave. Fagbokforlaget; 2016, 208 s.
102. Norsk treteknisk institutt. Bedre utnyttelse av bioenergi fra sagbruk gjennom fjernvarmeleveranse, 46 s.
117. Seppo A. Korpela. Principles of Turbomachinery. 1st ed. John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, 2011, 476 s.
118. Elliot Group: Single-Stage Steam Turbines, 8s.
121. Cengel Yunus A., Cimbala John M. Fluid mechanics, fundamentals and applications. Mc Graw Hill Education; 2018, 1017 s.
131. Vakkilainen Esa Kari. Steam generation from biomass, construction and design of large boilers. Oxford, United Kingdom: Elsevier; 2017, 300 s.
134. Skamol. For building fireplace surrounds and mold remediation, 2 s.
135. Sintef. Skamol brannmursplate Nr. 20306 NBL 120-0247. 2017;(20306), 2s.

16.2 Nettkilder

1. Ny strømprisrekord i 1. kvartal [Internet]. [cited 2023 Jan 20]. Available from: <https://www.ssb.no/energi-og-industri/energi/statistikk/elektrisitetspriser/artikler/ny-stromprisrekord-i-1.kvartal>
2. Nibio - Nibio [Internet]. [cited 2023 May 1]. Available from: <https://www.nibio.no/>
3. Bio4Fuels | NMBU [Internet]. [cited 2023 Mar 26]. Available from: <https://www.nmbu.no/en/services/centers/bio4fuels>
4. Nordic Energy Research [Internet]. [cited 2023 Mar 26]. Available from: <https://www.nordicenergy.org/>
6. Eidsiva Bioenergi - Eidsiva Bioenergi [Internet]. [cited 2023 Jan 23]. Available from: <https://www.eidsivabioenergi.no/>
7. bioenergi – Store norske leksikon [Internet]. [cited 2023 Jan 23]. Available from: <https://snl.no/bioenergi>
9. Norsk Standard – Målenheter for ved [Internet]. [cited 2023 Mar 30]. Available from: <https://www.norskved.no/malenheter-for-ved-1>
16. CHP - Fröling [Internet]. [cited 2023 Jan 23]. Available from: <https://www.froeling.com/en-gb/products/heat-and-electricity/chp/>

17. Hvorfor er strømprisene så høye? | Strøm | NorgesEnergi [Internet]. [cited 2023 Jan 23]. Available from: <https://norgesenergi.no/stromsmart/hoye-strompriser/>
18. solceller – Store norske leksikon [Internet]. [cited 2023 Feb 1]. Available from: <https://snl.no/solceller>
19. Øyfjellet vindpark – Wikipedia [Internet]. [cited 2023 Feb 1]. Available from: https://no.wikipedia.org/wiki/%C3%98yfjellet_vindpark
20. Solcelle kraftpakke 230V 5kW Lithium Ultra 48V | Hyttetorget [Internet]. [cited 2023 Feb 1]. Available from: <https://www.hyttetorget.no/kraftpakke-230v-5000w-lithium?parent=11406>
21. Strømaggregat PM 6000 DS diesel [Internet]. [cited 2023 Jan 8]. Available from: <https://meganorge.no/str%C3%B8maggregat-pm-6000-ds-diesel>
22. Strømaggregat PM 5500 GL/ES bensin [Internet]. [cited 2023 Jan 8]. Available from: <https://meganorge.no/str%C3%B8maggregat-pm-5500-gles-bensin>
23. MAGNUM 5 Vindturbin | TESUP NO [Internet]. [cited 2023 Jan 10]. Available from: https://www.tesup-norge.com/product-page/magnum-5-vindturbin-12v-24v-48v-Norge-5KW?gclid=Cj0KCQiAlKmeBhCkARIsAHy7WVtoI4KMZGcSCLIKU2gARIBpD7OLGrfYAAHNzBYaDTHWfvjMvpc_z7YaAiyPEALw_wcB
24. Strømpriser - Se dagens strømpris nå, time for time | Fortum [Internet]. [cited 2023 Jan 15]. Available from: https://strom.fortum.no/strompriser?utm_term=str%C3%B8mpriser&utm_campaign=P++Search++Traffic++Fortum&utm_source=google&utm_medium=cpc&hsa_acc=5411179231&hsa_cam=13059352686&hsa_grp=137345095366&hsa_ad=609087487170&hsa_src=g&hsa_tgt=kwd-75435001&hsa_kw=str%C3%B8mpriser&hsa_mt=b&hsa_net=adwords&hsa_ver=3
34. FEM analysis, strength calculations by SSEB engineers – SSEB [Internet]. [cited 2023 Jan 8]. Available from: <https://www.sseb.eu/en/expertise/fem-analysis/>
35. What Is FEA | Finite Element Analysis? Documentation | SimScale [Internet]. [cited 2023 Jan 26]. Available from: <https://www.simscale.com/docs/simwiki/fea-finite-element-analysis/what-is-fea-finite-element-analysis/>
36. An introduction to CFD: what, why and how - Femto Engineering [Internet]. [cited 2023 Jan 8]. Available from: <https://www.femto.eu/stories/what-is-cfd/>
39. Lov om produksjon, omforming, overføring, omsetning, fordeling og bruk av energi m.m. (energiloven) - Lovdata [Internet]. [cited 2023 Jan 8]. Available from: <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/1990-06-29-50>
40. Forskrift om elektriske forsyningsanlegg - Lovdata [Internet]. [cited 2023 Jan 8]. Available from: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2005-12-20-1626>
41. Forskrift om brannforebygging - Lovdata [Internet]. [cited 2023 Feb 1]. Available from: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2015-12-17-1710>
42. Bioenergi – Biomasse som energikilde | Fjordkraft [Internet]. [cited 2023 Jan 14]. Available from: <https://www.fjordkraft.no/bedrift/fornybar-energi/bioenergi/>

43. Hva er bioenergi | UngEnergi [Internet]. [cited 2023 Feb 1]. Available from: <https://ungenergi.no/energikilder/bioenergi/hva-er-bioenergi/>
44. Biobrensel mindre klimavennlig enn antatt [Internet]. [cited 2023 Feb 1]. Available from: <https://forskning.no/skogbruk-skog/biobrensel-mindre-klimavennlig-enn-antatt/602364>
45. forbrenning – Store norske leksikon [Internet]. [cited 2023 Mar 15]. Available from: <https://snl.no/forbrenning>
46. eksoterm prosess – Store norske leksikon [Internet]. [cited 2023 Mar 15]. Available from: https://snl.no/eksoterm_prosess
47. energivare – Store norske leksikon [Internet]. [cited 2023 Mar 15]. Available from: <https://snl.no/energivare>
48. Bioenergi – En miljøvennlig energikilde? | Strøm.no [Internet]. [cited 2023 Mar 15]. Available from: <https://xn--strm-ira.no/bioenergi>
49. Vanndamp – Wikipedia [Internet]. [cited 2023 Jan 25]. Available from: <https://no.wikipedia.org/wiki/Vanndamp>
50. Dampmaskin – Wikipedia [Internet]. [cited 2023 Jan 25]. Available from: <https://no.wikipedia.org/wiki/Dampmaskin>
51. vanndamp – Store norske leksikon [Internet]. [cited 2023 Jan 25]. Available from: <https://snl.no/vanndamp>
52. termodynamikk – Store norske leksikon [Internet]. [cited 2023 Feb 12]. Available from: <https://snl.no/termodynamikk>
53. Termodynamikkens første hovedsetning – Wikipedia [Internet]. [cited 2023 Feb 12]. Available from: https://no.wikipedia.org/wiki/Termodynamikkens_f%C3%B8rste_hovedsetning
54. Termodynamikkens andre hovedsetning – Wikipedia [Internet]. [cited 2023 Feb 12]. Available from: https://no.wikipedia.org/wiki/Termodynamikkens_andre_hovedsetning
55. Entropi – Wikipedia [Internet]. [cited 2023 Feb 12]. Available from: <https://no.wikipedia.org/wiki/Entropi>
56. varmekapasitet – Store norske leksikon [Internet]. [cited 2023 Feb 19]. Available from: <https://snl.no/varmekapasitet>
57. Spesifikk varmekapasitet – Wikipedia [Internet]. [cited 2023 Feb 19]. Available from: https://nn.wikipedia.org/wiki/Spesifikk_varmekapasitet
58. Thermodynamic cycle - Energy Education [Internet]. [cited 2023 Jan 31]. Available from: https://energyeducation.ca/encyclopedia/Thermodynamic_cycle
59. Thermodynamic cycle - Wikipedia [Internet]. [cited 2023 Jan 31]. Available from: https://en.wikipedia.org/wiki/Thermodynamic_cycle
60. Otto cycle - Wikipedia [Internet]. [cited 2023 Feb 3]. Available from: https://en.wikipedia.org/wiki/Otto_cycle
61. Brayton cycle - Wikipedia [Internet]. [cited 2023 Feb 1]. Available from: https://en.wikipedia.org/wiki/Brayton_cycle
62. Rankine-syklus – Store norske leksikon [Internet]. [cited 2023 Jan 31]. Available from: <https://snl.no/Rankine-syklus>

63. Rankine cycle - Wikipedia [Internet]. [cited 2023 Jan 31]. Available from: https://en.wikipedia.org/wiki/Rankine_cycle
64. gass – anvendelse – Store norske leksikon [Internet]. [cited 2023 Feb 3]. Available from: https://snl.no/gass_-_anvendelse
65. How Does a Gas Furnace Work? | The Family Handyman [Internet]. [cited 2023 Feb 3]. Available from: <https://www.familyhandyman.com/article/how-does-a-gas-furnace-work/>
66. Oljekraftverk – Wikipedia [Internet]. [cited 2023 Feb 3]. Available from: <https://no.wikipedia.org/wiki/Oljekraftverk>
67. oljefyring – Store norske leksikon [Internet]. [cited 2023 Feb 3]. Available from: <https://snl.no/oljefyring>
68. Hvor effektivt er egentlig vedfyring? - Tu.no [Internet]. [cited 2023 Feb 5]. Available from: <https://www.tu.no/artikler/hvor-effektivt-er-egentlig-vedfyring/414718>
69. Rentbrennende peis - bra for miljøet | Nordpeis [Internet]. [cited 2023 May 1]. Available from: <https://www.nordpeis.com/no/om-nordpeis/nordpeis-og-miljo/hva-betyr-rentbrennende-peis>
70. How Does a Pellet Stove Work? - PICKHVAC [Internet]. [cited 2023 Mar 5]. Available from: <https://www.pickhvac.com/pellet-stove/how-work/>
71. Steam Boiler: What Is It? How Does It Work? Types Of [Internet]. [cited 2023 Jan 24]. Available from: <https://www.iqsdirectory.com/articles/boiler/steam-boilers.html>
72. Robertson Leslie Stephen. Water tube boilers. 1901. 0–192 p.
73. Water-tube boiler - Wikipedia [Internet]. [cited 2023 Jan 24]. Available from: https://en.wikipedia.org/wiki/Water-tube_boiler
74. mettet damp – Store norske leksikon [Internet]. [cited 2023 Jan 24]. Available from: https://snl.no/mettet_damp
75. Superheater - Wikipedia [Internet]. [cited 2023 Jan 24]. Available from: <https://en.wikipedia.org/wiki/Superheater>
76. Forced circulation boiler - Wikipedia [Internet]. [cited 2023 Mar 4]. Available from: https://en.wikipedia.org/wiki/Forced_circulation_boiler
77. Steam Superheater in Boiler: Role, Benefits, Types, Manufacturer, Supplier [Internet]. [cited 2023 May 1]. Available from: <https://www.thermodyneboilers.com/steam-superheater-in-boiler/>
78. How Stirling engines work. [Internet]. [cited 2023 Jan 26]. Available from: <https://www.stirlingengine.com/>
79. Stirling engine - Wikipedia [Internet]. [cited 2023 Jan 26]. Available from: https://en.wikipedia.org/wiki/Stirling_engine
80. Dampmaskin – Wikipedia [Internet]. [cited 2023 Jan 26]. Available from: <https://no.wikipedia.org/wiki/Dampmaskin>
81. dampmotor – Store norske leksikon [Internet]. [cited 2023 Jan 26]. Available from: <https://snl.no/dampmotor>
82. Steam engine - Wikipedia [Internet]. [cited 2023 Mar 4]. Available from: https://en.wikipedia.org/wiki/Steam_engine

83. Steam turbine - Wikipedia [Internet]. [cited 2023 Mar 6]. Available from: https://en.wikipedia.org/wiki/Steam_turbine
84. Types of Steam Turbine: Impulse & Reaction Turbine | Linquip [Internet]. [cited 2023 May 1]. Available from: <https://www.linquip.com/blog/types-of-steam-turbine/>
85. Turbin – Wikipedia [Internet]. [cited 2023 Jan 25]. Available from: <https://no.wikipedia.org/wiki/Turbin>
86. dampturbin – Store norske leksikon [Internet]. [cited 2023 Jan 24]. Available from: <https://snl.no/dampturbin>
87. Steam turbine - Wikipedia [Internet]. [cited 2023 Jan 24]. Available from: https://en.wikipedia.org/wiki/Steam_turbine
88. Learn How Boiler Steam Is Used For Turbine Power Generation [Internet]. [cited 2023 May 1]. Available from: <https://setxind.com/how-boilers-are-used-in-power-generation-turbines/>
89. Teslaturbin – Wikipedia [Internet]. [cited 2023 Jan 24]. Available from: <https://sv.wikipedia.org/wiki/Teslaturbin>
90. Gränsskikt – Wikipedia [Internet]. [cited 2023 Jan 24]. Available from: <https://sv.wikipedia.org/wiki/Gr%C3%A4nsskikt>
91. kondensator – dampteknikk – Store norske leksikon [Internet]. [cited 2023 Feb 6]. Available from: https://snl.no/kondensator_-_dampteknikk
92. Overflatekondensator – Wikipedia [Internet]. [cited 2023 Feb 16]. Available from: <https://no.wikipedia.org/wiki/Overflatekondensator>
93. Termoelektriske materialer - SINTEF [Internet]. [cited 2023 Feb 16]. Available from: <https://www.sintef.no/ekspertise/sintef-industri/materialer-og-nanoteknologi/termoelektriske-materialer-til-sensorer-kjoling-og/>
94. elektromagnetisk induksjon – Store norske leksikon [Internet]. [cited 2023 Mar 6]. Available from: https://snl.no/elektromagnetisk_induksjon
95. Generator – Wikipedia [Internet]. [cited 2023 Mar 6]. Available from: <https://no.wikipedia.org/wiki/Generator>
96. Forskrift om begrensning av forurensning (forurensningsforskriften) - Kapittel 27. Utslipp til luft fra mellomstore forbrenningsanlegg - Lovdata [Internet]. [cited 2023 Apr 5]. Available from: https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-06-01-931/KAPITTEL_8-4#KAPITTEL_8-4
97. Steam Turbine Rotor Operation Vector Illustration Arkivvektor (royaltyfri) 1322995382 | Shutterstock [Internet]. [cited 2023 Feb 2]. Available from: <https://www.shutterstock.com/nb/image-vector/steam-turbine-rotor-operation-vector-illustration-1322995382>
98. Our Steam Engine / Battery Charger - Off Grid - Brian Williams [Internet]. [cited 2023 Feb 7]. Available from: <https://www.briangwilliams.us/off-grid/our-steam-engine-battery-charger.html>
99. Stirling Engine Configurations - updated 3/30/2013 [Internet]. [cited 2023 Feb 11]. Available from: <https://www.ohio.edu/mechanical/stirling/engines/engines.html>

100. Working Principle of AC Generator: A Clear Guide | Linqip [Internet]. [cited 2023 Mar 18]. Available from: <https://www.linqip.com/blog/working-principle-of-ac-generator/>
101. Fyringsved - Nibio [Internet]. [cited 2023 Mar 20]. Available from: <https://www.nibio.no/tema/skog/bruk-av-tre/bioenergi/fyringsved>
103. Entrée EB. STEAM TABLES. A-to-Z Guide to Thermodynamics, Heat and Mass Transfer, and Fluids Engineering [Internet]. 2011 [cited 2023 Mar 12]; Available from: <https://www.thermopedia.com/content/1150/>
104. Legge inn strøm på hytta | Elvia [Internet]. [cited 2023 Apr 17]. Available from: <https://www.elvia.no/mitt-elvia/oppussing-og-bygging/legge-inn-strom-pa-hytta/>
105. Hytte ved sjøen – slik finner du den som passer for deg - Hellvik Hytte [Internet]. [cited 2023 Apr 4]. Available from: <https://hellvikhytte.no/kjope-ny-hytte/hytte-til-salgs-ved-sjoen-slik-finner-du-den-som-passer-for-deg/>
106. Moderne hytter som gjør en forskjell - LY Hytta [Internet]. [cited 2023 Apr 4]. Available from: <https://lyhytta.no/>
107. Slik finner du feriehus i Sommer-Norge - VG [Internet]. [cited 2023 Apr 4]. Available from: <https://www.vg.no/forbruker/reise/i/dO1yMj/slik-finner-du-feriehus-i-sommer-norge>
108. Toni Bratincevic - Steampunk machines V01 [Internet]. [cited 2023 Apr 5]. Available from: <https://intercepto.artstation.com/projects/mBqe9>
109. BEER on Behance [Internet]. [cited 2023 Apr 5]. Available from: <https://www.behance.net/gallery/9535897/BEER>
110. Kamin Dovre 100CB - Qvesarum NO [Internet]. [cited 2023 Apr 5]. Available from: https://www.qvesarum.no/produkter/peiser-og-vedovner/vedovner-og-vedkomfyrer/kamin-dovre-100cb/?gclid=CjwKCAiAioifBhAXEiwApzCztvATDbGb-Hgm_iZ4RTlxdYPY4pMLooeRU4LD43TKZiEOOSzSG6hJPRoC9uYQAuD_BwE
111. Steam Boiler: Types and Designs - CCPIA [Internet]. [cited 2023 Apr 5]. Available from: <https://ccpia.org/steam-boiler-types-and-designs/>
112. Vedovner - Riksantikvaren [Internet]. [cited 2023 Apr 5]. Available from: <https://www.riksantikvaren.no/veileder/vedovner/>
113. iF Design - LX240 3D Printer [Internet]. [cited 2023 Apr 6]. Available from: <https://ifdesign.com/en/winner-ranking/project/lx240-3d-printer/207462>
114. Serkon Machine Fabric Cutting Machine | Arman Design [Internet]. [cited 2023 Apr 5]. Available from: <https://www.armandesign.com/projeler/serkon-machine-fabric-cutting-machine/>
115. Produktdesign & technisches Design - Bitter GmbH [Internet]. [cited 2023 Apr 5]. Available from: <https://www.bitter.at/engineering-dienstleister/design/>
116. Posalux SACE | SARDI - Industrial Machines Design [Internet]. [cited 2023 Apr 5]. Available from: https://www.sardi.com/posalux_machines_industrielle_design_consultant_sace_biel_bienne_suisse/

119. Heat Transfer | Spirax Sarco [Internet]. [cited 2023 Apt 10]. Available from: <https://www.spiraxsarco.com/learn-about-steam/steam-engineering-principles-and-heat-transfer/heat-transfer#article-top>
120. Engineers Academy [Internet]. [cited 2023 Apr 10]. Available from: <https://engineers.academy/>
122. Ved (P-4557) | Byggmax [Internet]. [cited 2023 Apr 28]. Available from: <https://www.byggmax.no/ved-p4557>
123. Pellets (P-4552) | Byggmax [Internet]. [cited 2023 May Apr 28]. Available from: <https://www.byggmax.no/pellets-p4552>
124. Startbatteri tinn, 12 V, 95 Ah - Biltema.no [Internet]. [cited 2023 May 1]. Available from: <https://www.biltema.no/bil---mc/bilbatterier/bilbatterier/tinn-kalsiumbatterier/startbatteri-tinn-12-v-95-ah-2000050606>
125. Kjøp pdtweb 12V 3M Brushless Solar Hot Water Pump Circulation 212° F w/ Coupler Clamp New | Joom [Internet]. [cited 2023 May 1]. Available from: [https://www.joom.com/nb/products/5cb80f566ecda80101b548e6?currency=NOK&variant_id=5cb80f566ecda80401b548e8&utm_ticket=f50f067c-b84b-42f8-bf60-6934dc122078&utm_productid=5cb80f566ecda80101b548e6&gsAttrs=eyJyZWdpb24iOiJOTyJ9&utm_source=google_shopping&utm_medium=cpc&utm_campaign=googlep_\(18805887006\)&gclid=Cj0KCQjwi46iBhDyARIsAE3nVrafZE0waOIydtOK6xs0YezRGQl0manzaYS98rnO9uUc2sNkGtTEcHkaAr58EALw_wcB](https://www.joom.com/nb/products/5cb80f566ecda80101b548e6?currency=NOK&variant_id=5cb80f566ecda80401b548e8&utm_ticket=f50f067c-b84b-42f8-bf60-6934dc122078&utm_productid=5cb80f566ecda80101b548e6&gsAttrs=eyJyZWdpb24iOiJOTyJ9&utm_source=google_shopping&utm_medium=cpc&utm_campaign=googlep_(18805887006)&gclid=Cj0KCQjwi46iBhDyARIsAE3nVrafZE0waOIydtOK6xs0YezRGQl0manzaYS98rnO9uUc2sNkGtTEcHkaAr58EALw_wcB)
126. 12v Dc Motor High Torque 40kg For Pig Roasting Oven - Buy 12v Dc Motor,High Torque Dc Motor,Dc Motor 40kg.cm For Oven Product on Alibaba.com [Internet]. [cited 2023 May 1]. Available from: https://www.alibaba.com/product-detail/12v-dc-motor-high-torque-40kg_1730599458.html
127. Cylindrical roller bearings | SKF [Internet]. [cited 2023 May 1]. Available from: <https://www.skf.com/us/products/super-precision-bearings/cylindrical-roller-bearings>
128. ISO 4762 - Hexagon socket Head Cap Screws [Internet]. [cited 2023 May 1]. Available from: <https://www.fasteners.eu/standards/ISO/4762/>
129. ISO 10642 - Hexagon socket countersunk head cap screws [Internet]. [cited 2023 May 1]. Available from: <https://www.fasteners.eu/standards/ISO/10642/>
130. MakeItFrom.com: Material Properties Database [Internet]. [cited 2023 May 1]. Available from: <https://www.makeitfrom.com/>
132. Materials for Steam Turbines | nuclear-power.com [Internet]. [cited 2023 May 1]. Available from: <https://www.nuclear-power.com/nuclear-power-plant/reactor-and-power-plant-materials/materials-for-steam-turbines/>
133. Rustfritt stål – Wikipedia [Internet]. [cited 2023 May 1]. Available from: https://no.wikipedia.org/wiki/Rustfritt_st%C3%A5l
136. Hva er forskjellen på glassull og steinull? | FAQ | Glava® [Internet]. [cited 2023 May 1]. Available from: <https://www.glava.no/kontakt-oss/vanlige-sporsmal/hva-er-forskjellen-pa-glassull-og-steinull>

137. Pulverlakkering – Midthaug [Internet]. [cited 2023 May 1]. Available from: <https://www.midthaug.no/produkter/produksjonstjenester/pulverlakkering/>
138. Rust-Oleum Hard Hat varmebestandig lakk - :. Alanor AS .: [Internet]. [cited 2023 May 1]. Available from: https://alanor.no/Produkter/metall_lakk_metall/Rust-Oleum-Hard-Hat-varmebestandig-spray_met_prod.aspx
139. Stålproduksjon i dag [Internet]. [cited 2023 May 1]. Available from: <https://www.norskstaal.no/om-oss/miljoe-og-baerekraft/staalproduksjon-i-dag>
140. Livssyklusen til aluminium [Internet]. [cited 2023 May 1]. Available from: <https://www.hydro.com/no-NO/aluminium/om-aluminium/livssyklusen-til-aluminium/>
141. kobber – Store norske leksikon [Internet]. [cited 2023 May 13]. Available from: <https://snl.no/kobber>
142. Patent - Håmsø Patentbyrå [Internet]. [cited 2023 May 1]. Available from: https://www.patent.no/tjenester/patent/?gclid=EAIaIQobChMIr9-hocfM_gIVIEGRBR0E7Q_vEAAYAiAAEgJURPD_BwE
143. EPO - Home [Internet]. [cited 2023 May 1]. Available from: <https://www.epo.org/>
144. WIPO - World Intellectual Property Organization [Internet]. [cited 2023 May 1]. Available from: <https://www.wipo.int/portal/en/index.html>
145. Bestill din drømmehytte hos Saltdalshytta! - Saltdalshytta [Internet]. [cited 2023 May 13]. Available from: <https://saltdalshytta.no/>
146. Hyttetorget - Alt til hytta [Internet]. [cited 2023 May 13]. Available from: <https://www.hyttetorget.no/>
147. Rengjør ovn og brennkammer | Huseierne [Internet]. [cited 2023 May 1]. Available from: <https://www.huseierne.no/vedlikeholdskalender/april/rengjor-ovn-og-brennkammer/>

17 VEDLEGG

Tabell 63: Oversikt over vedlegg i rapporten. Sett inn sidetall

Vedlegg Nr.	Viser	Side
V1	Tabelloversikt	235-237
V2	Spørreundersøkelse	238-241
V3	Komplett delliste	242-243
V4	Sammenstillingstegning med hovedmål	244
V5	Ekspljosjonstegning som viser Delsammenstillinger (A, B-C, E)	245
V6	Ekspljosjonstegning A Bærende elementer (ISO 128)	246
V7	Ekspljosjonstegning B-C Energisystem med mating (ISO 128)	247
V8	Ekspljosjonstegning E Kledning (ISO 128)	248

*) Detaljtegninger er tilgjengelig som organiserte SolidWorks-filer, som kan overføres ved tilvirkning.

Tabelloversikt

Tabell 1: Oversikt over konkurrerende løsninger, etter utført markedsanalyse.....	26
Tabell 2: Tabellen viser fremdriftsplanen der milepæler et markert med en hake.(25)	32
Tabell 3: Tabellen viser en oversikt over milepæler og datoer. (25)	33
Tabell 4: Oversikt over nyttige tekniske begreper som blir brukt i prosjektet.	36
Tabell 5: Oversikt over grafiske symboler som blir benyttet i prosjektet.(F&H).....	36
Tabell 6: Oversikt over symboler som har blitt benyttet i prosjektarbeidet.	38
Tabell 7: Oversikt over aktuelle omregningsfaktorer for ikke-SI-enheter.....	41
Tabell 8: Relevante hoved-formler som benyttes i prosjektarbeidet.	41
Tabell 9: Bruk av IPD-hovedelementene under prosjektet. (26)(27)	44
Tabell 10: Oversikt over programvarer som ble brukt gjennom prosjektet.....	53
Tabell 11: Oversikt over brennverdien til ulike kjente energivarer. (47)	59
Tabell 12: Rangering av de ulike produkttegenskapene, der Pugh's metodikk er benyttet. (29) ..	86
Tabell 13: Oversikt over de metriske grensespesifikasjoner for systemløsningen.	87
Tabell 14: Oversikt over de metriske grovspesifiseringene for energisystemet.	87
Tabell 15: Oversikt over ulike løsninger til brennkammer og type brensel. (F&H).....	91
Tabell 16: Oversikt over ulike typer dampkjeler, som kan benyttes i energisystemet.	93
Tabell 17: Oversikt over ulike typer kondensatorer som kan benyttes i energisystemet.....	94
Tabell 18: Forslag til systemer som gjør termisk energi om til mekanisk arbeid.....	95
Tabell 19: Løsningsforslag for type generator til energisystemet.	96
Tabell 20: Konseptforslag til utforming av matesystem.....	97
Tabell 21: Forslag til utforming på rammen til systemet.....	99
Tabell 22: Oversikt over de ulike virkningsgradene til de ulike komponenten i energisystemet.	101
Tabell 23: Seleksjonsmatrise for valg av utforming og design på brennkammeret til systemet.	109
Tabell 24: Seleksjonsmatrise for valg av utforming og design på dampkjelen til systemet.....	109
Tabell 25: Seleksjonsmatrise for valg av kondensator som skal benyttes i systemet.....	110
Tabell 26: Seleksjonsmatrise for valg av måte å overføre termisk energi til mekanisk bevegelse.	110
Tabell 27: Seleksjonsmatrise for valg av type generator til energisystemet.....	110
Tabell 28: Seleksjonsmatrise for valg av løsning for type matesystem til energisystemet.	111
Tabell 29: Seleksjonsmatrise for valg av utformingen til systemet.....	111
Tabell 30: Oversikt over valgte løsninger som skal benyttes i energisystemet.	112
Tabell 31: Antagelser for dimensjonering av dampturbin.	116
Tabell 32: Antagelser og resultater fra tidligere beregninger som benyttes til å utvikle turbinbladene.....	118
Tabell 33: Antagelser og resultater fra tidligere beregninger for å utføre utregningene til den ideelle rankine syklusen.....	120

Tabell 34: Oversikt over antagelser og tidligere resultater som benyttes i beregningen av nødvendig mengde brensel per time. (118).....	123
Tabell 35: Antagelser for vann-delen, for dimensjonering av kondensator. (118).....	124
Tabell 36: Antagelser for damp-delen, for dimensjonering av kondensator. (118).....	125
Tabell 37: Forutsetninger for beregninger av varmeveksler. (117)	125
Tabell 38: Antagelser og resultater fra tidligere beregninger, for dimensjonering av rør fra dampkjele til turbin. (117)	126
Tabell 39: Antagelser og resultater fra tidligere beregninger, for dimensjonering av rør fra turbin til dampkjele. (117).....	127
Tabell 40: Oversikt over ekspertgruppe fra NMBU med tilhørende tittel og fagområde.....	129
Tabell 41: Oversikt over ekstern ekspertgruppe	129
Tabell 42: Del-liste for alle komponentene i sammenstillingen: A-Bærende elementer.....	136
Tabell 43: Deleliste for alle komponentene i del-sammenstillingen: B-Energisystem.....	137
Tabell 44: Del-liste for alle komponentene i sammenstillingen: C-Dampkjele med matesystem.	138
Tabell 45: Del-liste for alle komponentene i sammenstillingen: D-Damp turbin.	139
Tabell 46: Del-liste for alle komponentene i sammenstillingen: E-Kledning.	140
Tabell 47: Oversikt over hvilke standardkomponenter som benyttes i energisystemet.....	164
Tabell 48: Oversikt over mulige materialer for rør i trykksystem, sortert etter temperaturklasser. (126) Makeitform.....	166
Tabell 49: Oversikt over ulike egenskaper til ulike materialer som er aktuelle for trykkdelene i systemet. Tabellen sammenligner karbon-, legert- og rustfritt-stål. (126) makeitfrom.....	167
Tabell 50: Oversikt over ulike egenskaper til ulike materialer, som er aktuelle for dampkjelen. (129).....	168
Tabell 51: Oversikt over ulike egenskaper til forskjellige rustfrie stål-legeringer som er aktuelle for damp turbinen med tilhørende deler. (129).....	168
Tabell 52: Oversikt over ulike egenskaper til aktuelle materialear for rammen til systemet. (129)	169
Tabell 53: Oversikt over ulike egenskaper til aluminiumlegeringer som er aktuelle for bruk i kledningen av energisystemet. (129)	170
Tabell 54: Oversikt over ulike egenskaper til ulike materialer som er aktuelle for matesystemet til brennkammeret.	171
Tabell 55: Oversikt over ulike egenskaper til ulike materialer som er aktuelle for matesystemet til brennkammeret. (129).....	172
Tabell 56: Oversikt over parametere som har blitt benyttet i den statiske analysen.....	177
Tabell 57: Oppsett til analysen i Ansys Granta Edupack.	185
Tabell 58: Oversikt over de ulike komponentene, valgt materiale og en grov beskrivelse av de ulike produksjonsmetodene som benyttes.	187
Tabell 59: Kostnadskalkyle tilknyttet produksjon av én prototype. Kostnadene som danner kalkylen er: Konseptutviklingsarbeid, standardkomponenter, materialkostnader og produksjonskostnader.	198

Tabell 60: Oversikt over kostnader for utvikling an én serieprodusert enhet.....	200
Tabell 61:Oversikt over enhetskostnader ved et ulikt antall serieproduserte enheter. *) forutsetter 50 % avslag i faste utgifter ved 100 eller fler produserte enheter.	200
Tabell 62: Oversikt over enhetskostnader ved et ulikt antall serieproduserte enheter, der konseptutviklingskostnadene sees bort fra. *) forutsetter 50 % avslag i faste utgifter ved 100 eller fler produserte enheter.	201
Tabell 63: Oversikt over vedlegg i rapporten. Sett inn sidetall	234
Tabell 64: Delliste for alle komponentene i energisystemet.....	242

Spørreundersøkelse

Småskala energiproduksjon basert på biobrensel og overopphetet damp

Gjennom denne undersøkelsen stilles det spørsmål angående strømforbruk og strømproduksjon. Hvert spørsmål har fem svaralternativer, der du skal krysse av på *kun* ett svaralternativ på hvert spørsmål.

Spørsmål om forbruk og markedsmuligheter

Spørsmål 1

Hvor ofte tenker du over strømforbruket ditt i hverdagen?

Aldri	Sjeldent	Ofte	Hele tiden	Vet ikke

Spørsmål 2

Har du noen gang tenkt over andre måter å skaffe strøm på enn nettstrøm?

Aldri	Sjeldent	Ofte	Hele tiden	Vet ikke

Spørsmål 3

Varmer du opp boligen din med ved eller strøm?

Aldri	Sjeldent	Ofte	Hele tiden	Vet ikke

Spørsmål 4

Hvis du har fritidsbolig, hvordan gjør du det med strøm og oppvarming?

Aldri	Sjeldent	Ofte	Hele tiden	Vet ikke

Personlige betraktninger om forbruk og markedsmuligheter

--

Spørsmål om brukerbehov og interesser

Spørsmål 1

Hadde en løsning som denne vært aktuell å benytte for deg? Hvorfor/ hvorfor ikke?

Aldri	Sjeldent	Ofte	Hele tiden	Vet ikke
Personlige betraktninger:				

Spørsmål 2

Hvor viktig er et system som krever lite tilsyn og vedlikehold for deg?

Aldri	Sjeldent	Ofte	Hele tiden	Vet ikke

Spørsmål 3

Hvor viktig er det at produktet er brukervennlig? dvs. at det kan brukes av personer uten noen form for opplæring.

Aldri	Sjeldent	Ofte	Hele tiden	Vet ikke

Personlige betraktninger om brukerbehov og interesser

Spørsmål om estetikk og design

Spørsmål 1

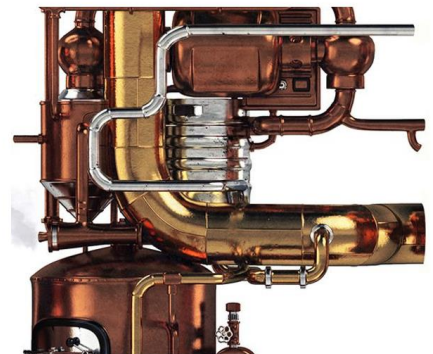
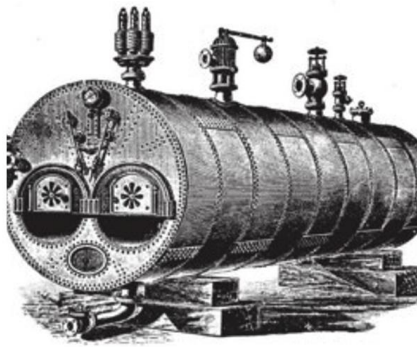
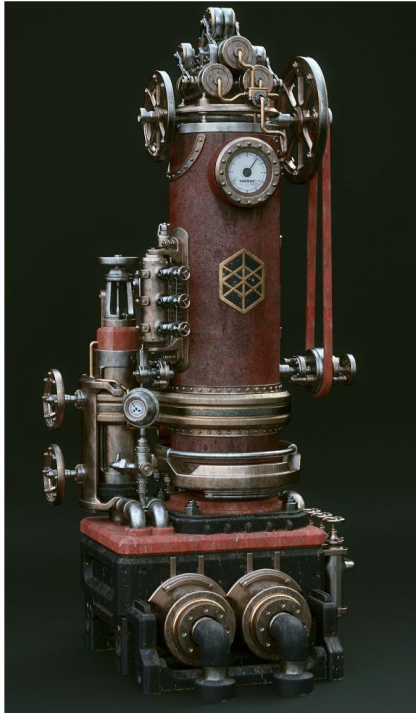
Hvor avgjørende er et godt design og i hvor stor grad er det viktig at konseptet passer inn i omgivelsene?

Aldri	Sjeldent	Ofte	Hele tiden	Vet ikke

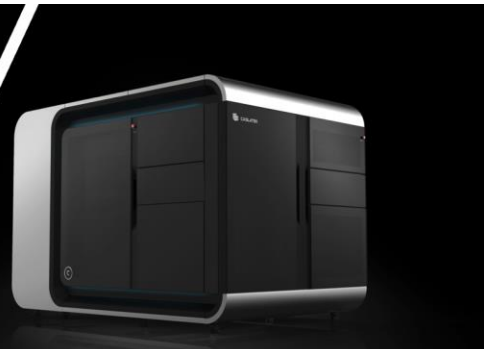
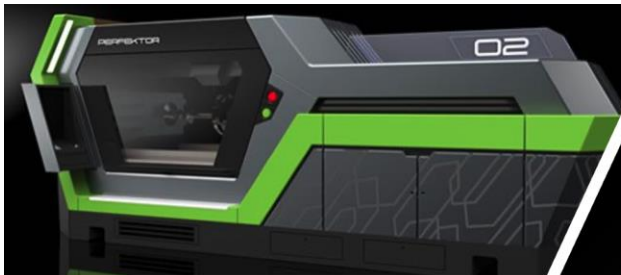
Spørsmål 2

Hvilket designtrykk tenker du vil passe best for et konsept som dette?

Alternativ 1



Alternativ 2



Alternativ 1	Alternativ 2

Personlige betraktninger om estetikk og design

Andre personlige betraktninger

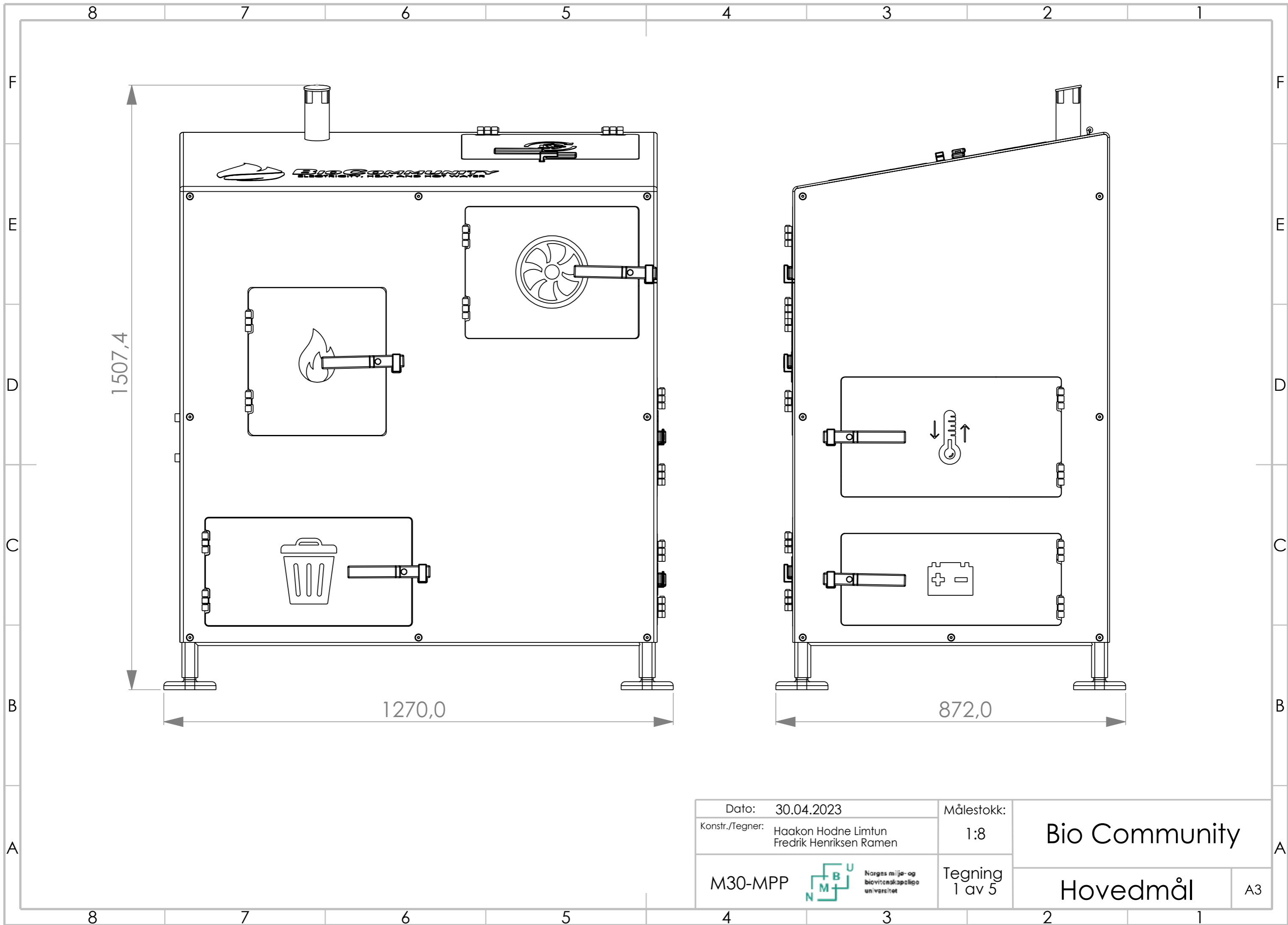
Deleliste/stykkliste

Tabell 64: Delliste for alle komponentene i energisystemet.

Del-nummer	Navn	Materiale
A—Bærende elementer		
A1	Ramme	EN AW-6082 T6
A2	Bunnplate	EN AW-6061 T6
A3	Plate turbinrom	EN AW-6061 T6
A4	Plate askerom	EN AW-6061 T6
A5	Plate varmevekslings-rom	EN AW-6061 T6
A6	Bein	EN AW-6061 T6
A7	Vinkeljern	EN AW-6061 T6
B-Energisystem		
B1	Dampkjele sammenstilling	P275GH, S235J
B2	Skamotec brannplater	Skamol
B3	Damp turbin sammenstilling	AISI 304
B4	Generator	-
B5	Kondensator	EN AW-6061 T6
B6	Varmeveksler (vann til luft)	EN AW-6061 T6
B7	Vannpumpe	-
B8	Rør- dampkrets	AISI 304
B9	Rør-vannkrets	AISI 304
C-Dampkjele med matesystem		
C1	Dampkjele med brennkammer	P275GH
C2	Pipeløp	S235J
C3	Overoppheter	P275GH
C4	Varmeveksler (luft til luft)	Kobber
C5	Askebeger	S235J
C6	Askeskuff	EN AW-6061 T6
C7	Mateskrue	AISI 304
C8	Pelletsbeholder	EN AW-6061 T6
D-Damp turbin		
D1	Turbinhus-inløp	AISI 304
D2	Turbinhus-deksel	AISI 304
D3	Rotor	AISI 304
D4	Aksling	AISI 304
D5	Innløpsadapter	AISI 304
D6	Utløpsadapter	AISI 304
D7	ISO 4762 M5x16	AISI 304

Tabell 64 forts.

Del-nummer	Navn	Materiale
D-Dampturbin		
D8	ISO 4761 M8x25	AISI 304
D9	SKF-N 1008 KPHA/HC5SP	-
E-Kledning		
E1	Hovedkledning	EN AW-5005-H14
E2	Kledning høyre side	EN AW-5005-H14
E3	Kledning venstre side	EN AW-5005-H14
E4	Dør brennkammer	EN AW-5005-H14
E5	Dør askerom	EN AW-5005-H14
E6	Dør Turbinrom	EN AW-5005-H14
E7	Dør varmevekslingsrom	EN AW-5005-H14
E8	Dør elektrisk rom	EN AW-5005-H14
E9	Dør pelletsbeholder	EN AW-5005-H14
E10	Håndtak	EN AW-6061 T6
E11	Låsesplint	EN AW-6061 T6
E12	ISO 10642 M8x10	-



Dato: 30.04.2023
 Konstr./Tegner: Haakon Hodne Limtun
 Fredrik Henriksen Ramen

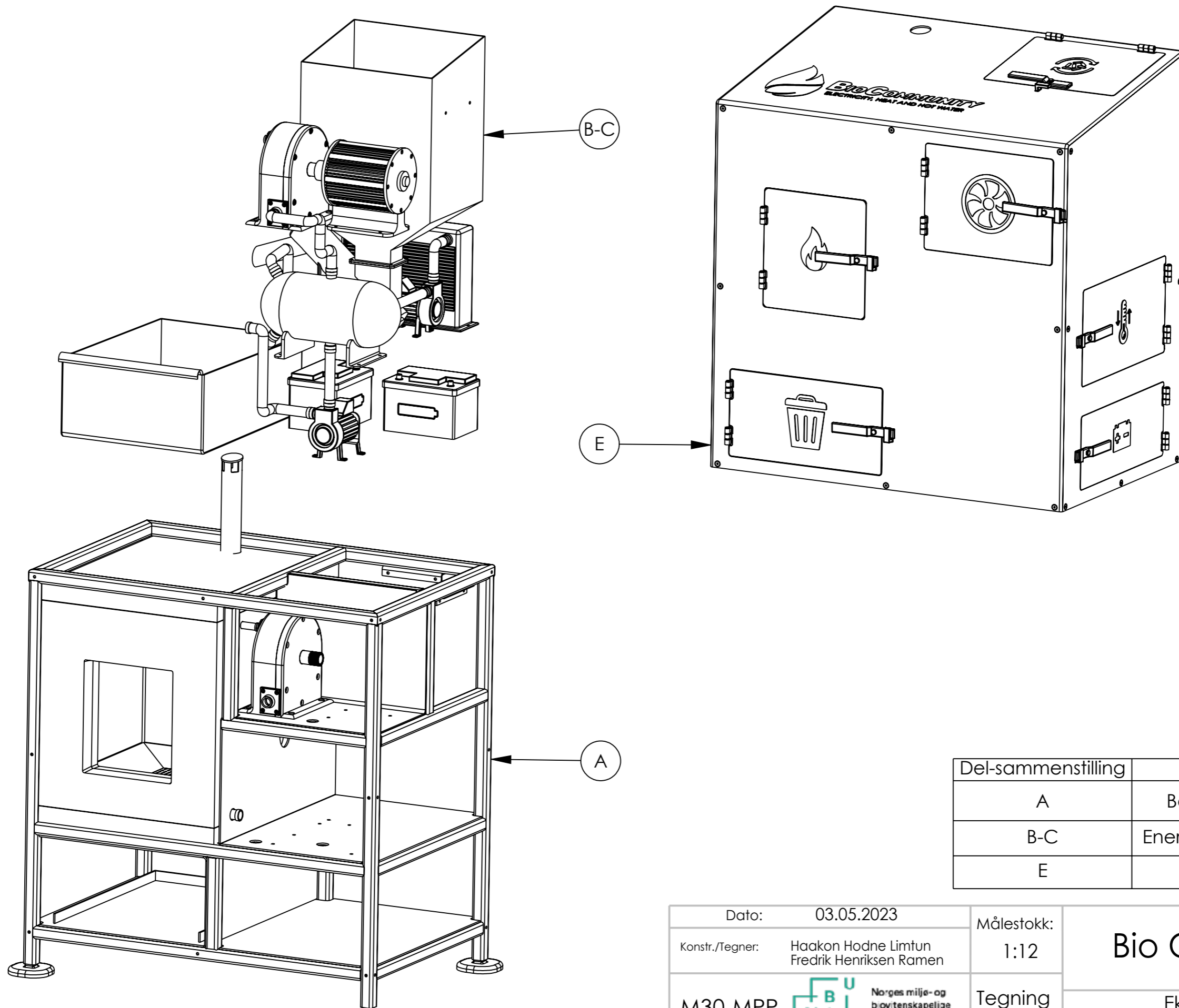
Målestokk:
 1:8

Bio Community

M30-MPP  Norges miljø- og biovitenskapelige universitet

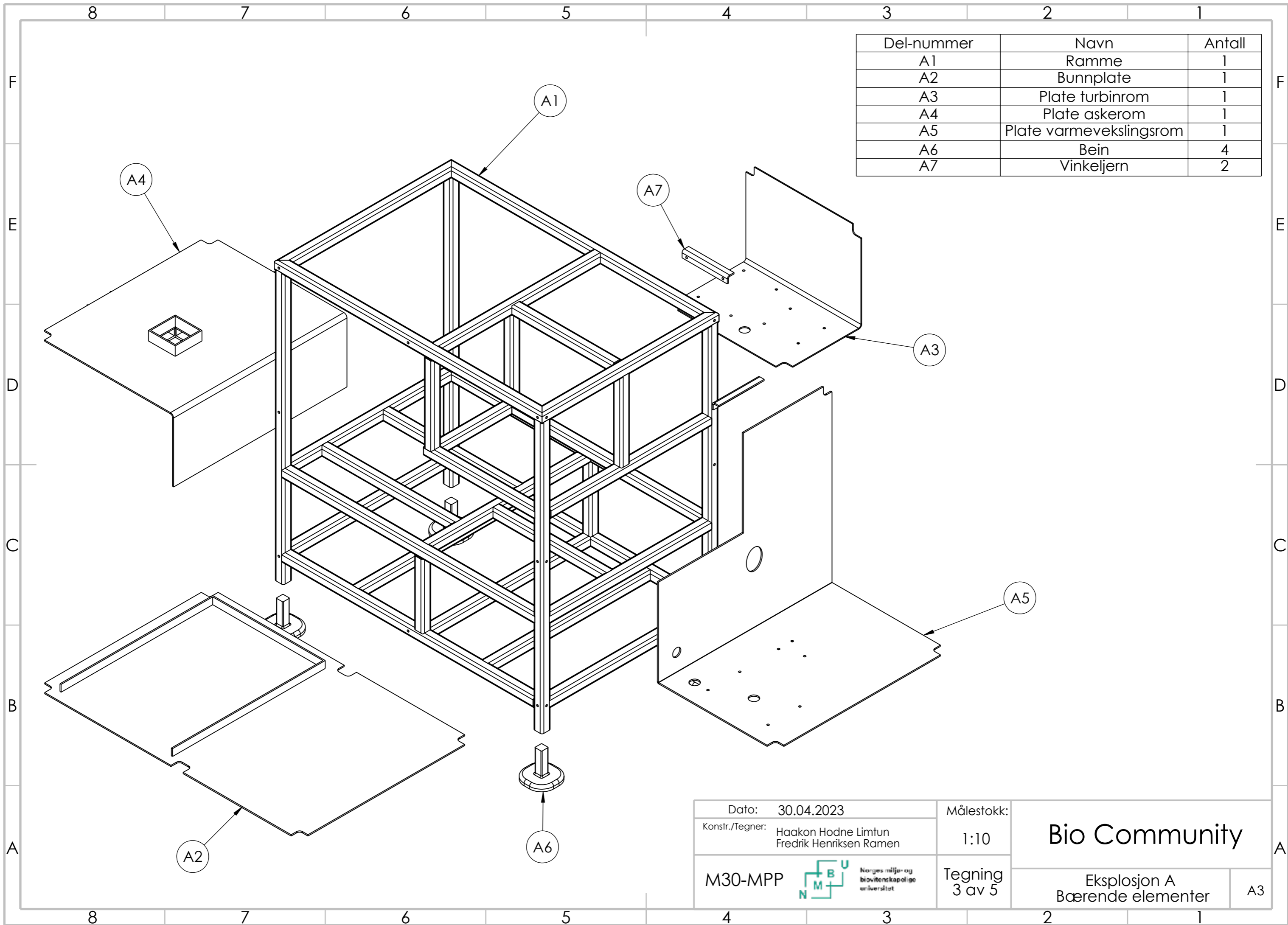
Tegning
 1 av 5

Hovedmål A3



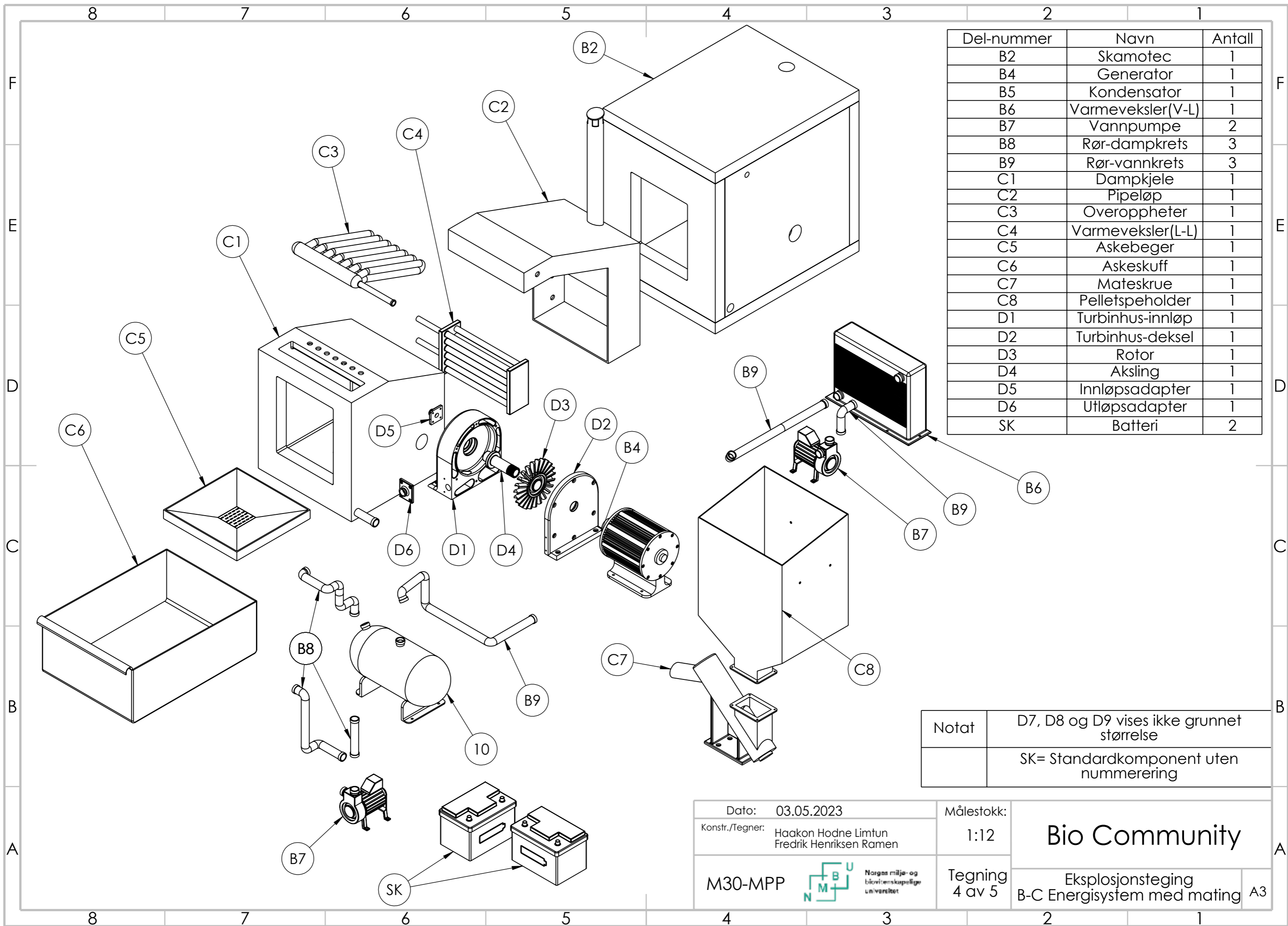
Del-sammenstilling	Navn
A	Bærende elementer
B-C	Energisystem med mating
E	Kledning

Dato:	03.05.2023	Målestokk:	1:12	
Konstr./Tegner:	Haakon Hodne Limtun Fredrik Henriksen Ramen	Tegning	2 av 5	
M30-MPP		Norges miljø- og biovitenskapelige universitet		<h1>Bio Community</h1> <p>Eksplosjon del-sammenstillinger</p>



Del-nummer	Navn	Antall
A1	Ramme	1
A2	Bunnplate	1
A3	Plate turbinrom	1
A4	Plate askerom	1
A5	Plate varmevekslingsrom	1
A6	Bein	4
A7	Vinkeljern	2

Dato: 30.04.2023	Målestokk:	Bio Community
Konstr./Tegner: Haakon Hodne Limtun Fredrik Henriksen Ramen	1:10	
M30-MPP	Tegning 3 av 5	Eksplosjon A Bærende elementer
		A3



Del-nummer	Navn	Antall
B2	Skamotec	1
B4	Generator	1
B5	Kondensator	1
B6	Varmeveksler(V-L)	1
B7	Vannpumpe	2
B8	Rør-dampkrets	3
B9	Rør-vannkrets	3
C1	Dampkjele	1
C2	Pipeløp	1
C3	Overoppheter	1
C4	Varmeveksler(L-L)	1
C5	Askebeger	1
C6	Askeskuff	1
C7	Mateskrue	1
C8	Pelletspeholder	1
D1	Turbinhus-innløp	1
D2	Turbinhus-deksel	1
D3	Rotor	1
D4	Aksling	1
D5	Innløpsadapter	1
D6	Utløpsadapter	1
SK	Batteri	2

Notat D7, D8 og D9 vises ikke grunnet størrelse
 SK= Standardkomponent uten nummerering

Dato: 03.05.2023
 Konstr./Tegner: Haakon Hodne Limtun
 Fredrik Henriksen Ramen

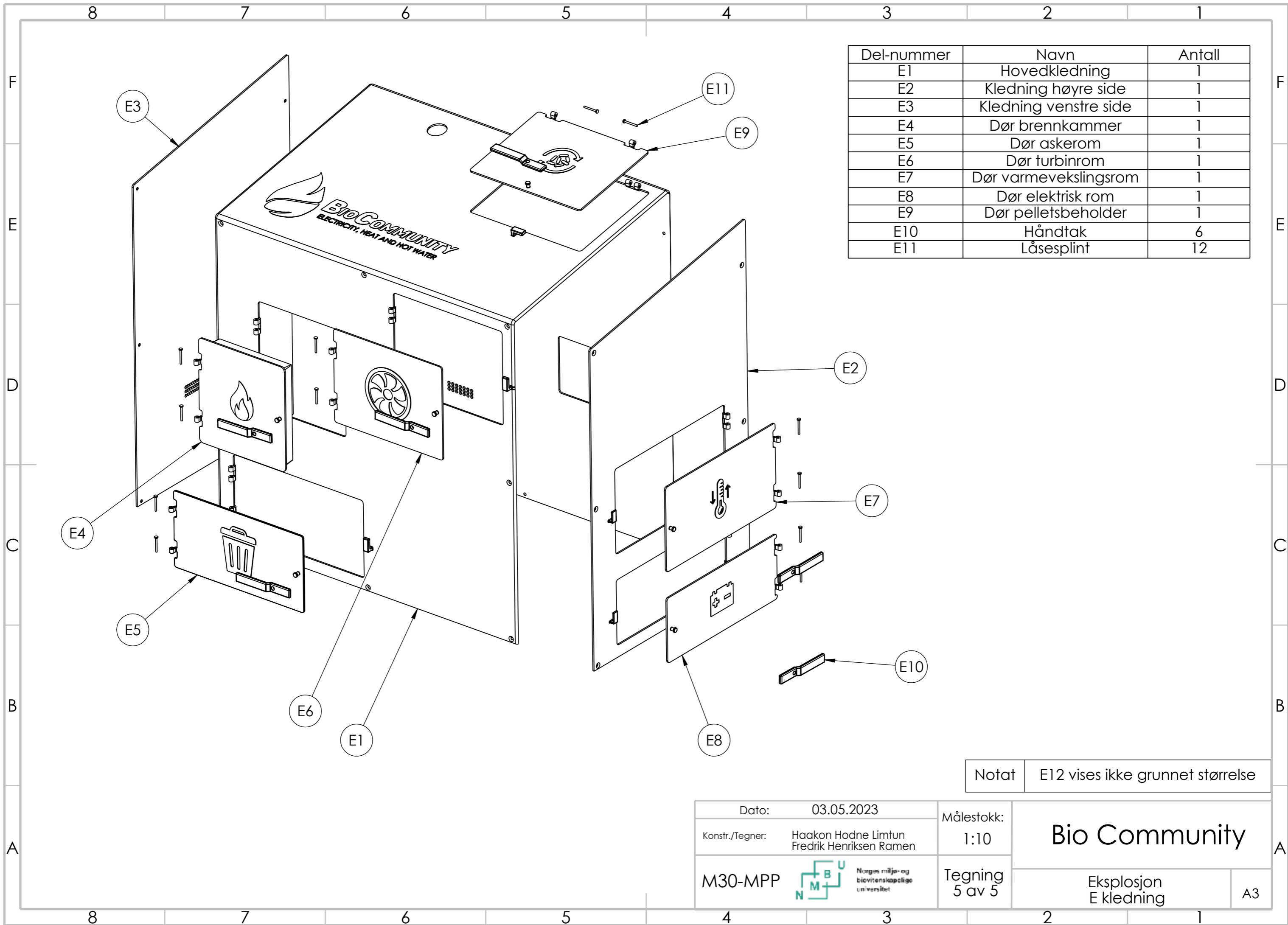
Målestokk:
 1:12

M30-MPP  Norges miljø- og biovitenskapelige universitet

Tegning
 4 av 5

Bio Community
 Eksplosjonstegning
 B-C Energisystem med mating

A3



Del-nummer	Navn	Antall
E1	Hovedkledning	1
E2	Kledning høyre side	1
E3	Kledning venstre side	1
E4	Dør brennkammer	1
E5	Dør askerom	1
E6	Dør turbinrom	1
E7	Dør varmevekslingsrom	1
E8	Dør elektrisk rom	1
E9	Dør pelletsbeholder	1
E10	Håndtak	6
E11	Låsesplint	12

Notat E12 vises ikke grunnet størrelse

Dato: 03.05.2023
 Konstr./Tegner: Haakon Hodne Limtun
 Fredrik Henriksen Ramen

Målestokk:
 1:10

Bio Community

M30-MPP Norges miljø- og biovitenskapelige universitet

Tegning
 5 av 5

Eksplisjon
 E kledning

A3



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway