



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2022 30 stp
Realfag og teknologi

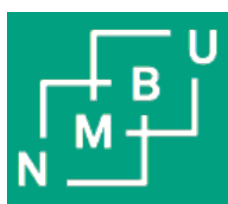
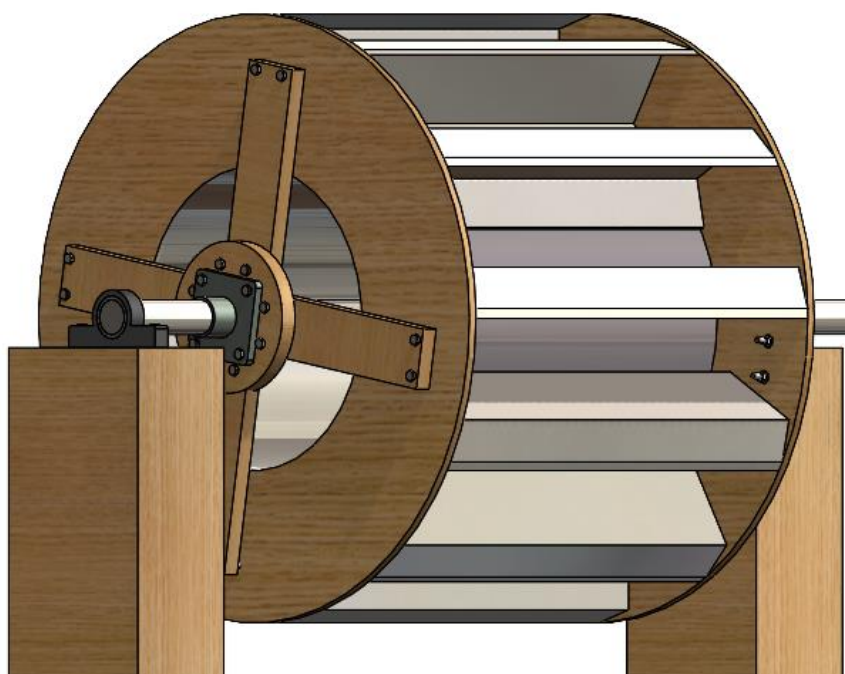
Småskala hydroenergi, teknologi- og systemutvikling

Anne Langmoen Olsen
Maskin, prosess- og produktutvikling

Småskala hydroenergi, teknologi og systemutvikling

av

Anne Langmoen Olsen



Masteroppgave i Maskin, prosess og produktutvikling

Fakultet for realfag og teknologi, NMBU

Høsten 2022

FORORD

Dette er en rapport fra mastergradsarbeidet mitt ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, fakultet for realfag og teknologi. Masteren utgjør siste del av det femårige studiet mitt for master/sivilingeniørgraden. Oppgaven er på 30 studiepoeng (ECTS) og er gjennomført i perioden fra våren til og med høsten 2022.

I en verden som stadig blir varmere og får mer ekstreme værphenomener, er fokuset på miljøvennlige tiltak viktig. Det samme gjelder utviklingen i energipriser som man har sett gjennom det siste året. Derfor er det motiverende å skrive om metoder og løsninger som kan bidra i kampen mot klimagassutslipp, og samtidig gi en mer robust energiforsyning lokalt. Denne oppgaven er ikke bare relevant for Norge, men også for store deler av verden.

Å utrede og utvikle teknologier for høsting og lagring av småskaleenergi vil være aktuelt for norske hytteeier og andre som bor og lever langt fra sivilisasjonen. FN har som mål å kunne levere bærekraftig, pålitelig og rimelig strøm til alle. For at dette skal oppnås må nye og innovative løsninger til. Å sikre tilgang til miljøvennlig og pålitelig strøm gjennom småskalaenergi-anlegg vil være nyttig for Norge i framtiden, selv om strømprisene skulle stabilisere seg på et lavere nivå enn i skrivende stund. Dette kan gi en sikkerhet i strømforsyning hvis strømmettet skulle gå, noe som er særlig viktig på vinteren.

Hvis flere har tilgang til egen strøm vil skadeomfanget reduseres ved mulige katastrofer, og den norske befolkningen er dermed ikke så utsatt. På samme måten vil større lokal energiproduksjon kunne bidra til ny verdiskapning og åpne nye muligheter i forhold til fritidsbebyggelse mm. Jeg håper at mitt bidrag i form av dette masterarbeidet også vil kunne ha nytte på mange andre områder, også utenfor våre landegrenser etter hvert som vi går over i en større innsats for et grønt skifte.

En spesiell takk til senioringeniør Egil Stemsrud som har bistått med gode råd. Også stor takk til min hovedveileder, førsteamanuensis Jan Kåre Bøe ved Realtek, for hjelp, tålmodighet og tett oppfølging. Takk til familien og venner som har hjulpet til med støtte, bidratt med gode innspill og råd, samt korrektur i slutten av prosessen.

Ås, den 14. desember 2022



Anne Langmoen Olsen

SAMMENDRAG

Verden står ovenfor store klimautfordringer hvor nye varme-, tørke- og regnrekorder kommer årlig. Det er en enighet blant forskere om at det vil være katastrofalt om klodens gjennomsnittstemperatur øker med 2°C. For å unngå dette har De forente nasjoner (FN) satt konkrete mål for å begrense klimagassutslippene. Ett av målene er å gi alle mennesker pålitelig og bærekraftig energi. For å kunne nå disse målene er det nødvendig å finne alternative løsninger for høsting og lagring av energi.

Elektrifisering er sentralt for å unngå bruk av fossile energikilder. Norge er svært opptatt av elektrifisering på mange områder, spesielt transportsektoren, hvor etterspørselen øker. En måte å skaffe elektrisitet på, er å høste energi fra vann, noe Norge har lett tilgang til. Med tanke på klima må vannressursene utnyttes på en mer effektiv måte.

Dersom en eller flere boliger kunne generere elektrisitet fra vann de allerede har tilgang til på tomtene sine, kan dette gi ett godt alternativ for tilgang på energi. De økte strømprisene vil kunne gjøre dette til en økonomisk gunstig løsning til tross for installasjons og driftskostnader. Fra gammelt ble vann utnyttet ved vannhjul for å drive kvernsteiner som kvernet kortnet til mel. Det finnes forskjellige typer vannhjul som er tilpasset forskjellige typer vannstrøm og terreng. Vannhjul ble under den industrielle revolusjonen byttet ut med turbiner som er mer effektive og er det som benyttes mest av i Norge i dag. Norge har flere hydroanlegg hvor mange er svært inngripende i naturen

Masteroppgaven har som målsetting å finne en alternativ løsning for å høste energi fra vann. Dette kan skje i rurale og avsidesliggende strøk, uten å være invaderende for naturen. I tillegg er muligheten av batterilagring av den høstede energien fra hydroanlegget undersøkt, dette vil også være aktuelt for andre bærekraftige energikilder. Oppgaven har undersøke hvordan denne type høsting og lagring av energi kan benyttes i én til tre fritidsbolig, med eventuell lading av elbiler til disse bolig.

For at prosjektarbeidet skulle kunne bli gjennomført innfor den eksisterende tidsrammen på å en god og sikker måte, ble prosessen kartlagt i tre hoved-trinn. Trinnene består av en utredningsfase, utviklingsfase og analyse- og ferdigstillingsfasen. Utredningsfasen avdekker det historiske perspektivet og hvordan nåtidssituasjonen er. I tillegg går den igjennom ulike aktører, markedsanalyse og potensialet til oppgaven. Det er også gjort en oppdragsspesifisering med konkrete mål og planlegging.

I utredningsfasen er det gjennomgått forskjellige metoder som benyttes for å kunne gjennomføre prosjektet. Metodene som er presentert er IPD, Pugh sin metodikk, QFD, SCAMPER, modul-bygging og funksjonsanalyse. Integreert produktutvikling (IPD) sikrer at viktige punkter ikke er glemt og kartlegger derfor elementer som bør tas med i produktutviklingen. Pughs metodikk systematiserer problemstillinger og utviklingstrinn slik at avgjørelser ble tatt tidlig i prosessen. Quality Function Deployment, eller QFD, er ett hjelpemiddel som definerer kundens behov og krav, og overfører dette til kvalitetsplanlegging.

SCAMPER, er et akronym for ulike trinn for å komme seg videre i prosessen, og er benyttet blant annet ved løsningsutredninger og ved «kreativ fast-kjøring». Modulisering er benyttet på for å utnytte symmetrien og standardisering av utformingen på løsningsforslag. I tillegg er funksjonsanalysen presentert – som systematiserer produktfunksjoner grafisk.

Det teoretiske grunnlaget, som er relevant for å løse oppgaven, er redegjort i siste del av utredningsfasen. Utredelsen av teori og teknologi er nødvendig for å bidra til en tilstrekkelig

forståelse og danne grunnlag for arbeidet. Teorien innenfor elektrisitet, kjemisk lagring, teknologiløsningen av vannhjul og turbiner er redegjort for i teorigrunnlaget.

I utviklingsfasen er produktspesifiseringene gjennomgått. Der er det satt spesifikke mål for å danne grunnlag for krav til produktløsningen. Produktmålene og ønskede egenskaper er presentert og vektlagt. Funksjonene er strukturert ved hjelp av funksjonsanalysen for best å nå hovedmålet. Etter analysefasen er funksjonene dekomponert til løsningsalternativer som er evaluert i oversiktlige tabeller og vurdert i en egenscreening som gir grunnlag for konseptet.

For å kartlegge nødvendige dimensjoner for produktet er det gjort grove grunnlagsberegninger. Dette ga innsikt i produktets størrelse og form som er nødvendig for å generere og høste ønsket effekt og energi. Fra disse tallene ble det 3D tegnet konseptløsninger. Det er utført ekspert- og eksterntesting for å få tilbakemeldinger på produktet og sikre kvaliteten.

Løsningskonseptet for mikrohydroanlegget er et overfalsvannhjul som generer en effekt på over 7 kW, som fører til at anlegget leverer 5 kW. Vannhjulet har en radius på 0,5m og er 0,8m bredt. Vannhjulet består av 12 skovler som er 0,2 m dype. Hjulet består av stabilisatorringer, eiker, nav, aksel, generator, girboks og lagerhus med lager. Batteriskapet er designet for å holde 23 stk. av aktuelle type batterier, og skapet er 2,3 m høyt, 1,0 m bredt og 0,5 m dypt. Batteriskapet er satt sammen av 4 stålprofiler som holder stålveggene sammen.

Det er laget et kostnadsestimat av produktet, som viser at ved produksjon vil produktet være økonomisk gunstig å kjøpe. Prototypen er fremstilt i ulike omgivelser for å illustrere hvordan den kan se ut. I tillegg er det laget en logo og varemerke som identifiserer produktet og illustrerer dens formål.

Videre arbeid er grundigere kartlegging av løsningsalternativer og vurderinger for produktet. I tillegg må det gjennomføres grundigere beregninger og analyser av produktløsningen. Utrede sikkerheten rundt løsningsalternativene og designe beskyttelsesskur for vannhjulet og batteriskapet. I tillegg er det nødvendig med utredning av nødvendige løsninger for sensorer og alarmer, samt andre elektriske komponenter. Det burde utvikles en prototype, eller en skalamodell, og utføre testing for å kunne verifisere data.

SUMMARY

The world is facing major climate challenges, with annual records for heat, drought, and rain. There is an agreement among scientists that it will be catastrophic if the globe's average temperature increases by 2°C. To avoid this has the United Nations (UN) set concrete goals to limit the emissions of greenhouse gas. One of the goals is to provide reliable and sustainable energy for all humans. In order to achieve these goals, there is a need to find alternative solutions for harvesting and storing energy.

Electrification is central to avoiding the use of fossil energy sources. Norway is very concerned about electrification in many areas, especially the transport sector, where the demand is increasing. One way to obtain electricity is to harvest energy from water, which Norway has an easy access to. Regarding the climate is it necessary to utilized water resources in a more efficient way.

If one or several homes could generate electricity from water which they easily have access to on their plot, then this could provide a good option for energy access. The increased electricity prices will be able to make this an economically favorable solution, despite the installation and operating costs. From ancient times, water was used with help from water wheels to drive millstones that ground the cardnet into flour. There are different types of water wheels that are adapted to different types of water flow and terrain. During the industrial revolution, water wheels were replaced by turbines, which are more efficient and are the one that is mostly used in Norway today. Norway has several hydro plants, many of which are very disruptive to the nature.

The master's thesis aims to find an alternative solution for harvesting energy from water. This can happen in rural and remote areas, without being invasive to nature. Additionally, is the possibility of battery storage of the harvested energy from the hydro plant, investigated, this will also be relevant for other sustainable energy sources. The task is to investigate how this type of energy harvesting and storage can be used in one to three holiday homes, with possible charging of electric cars for these homes.

In order for the project to be carried out within the existing time frame, in a good and safe way, the process was mapped out in three main stages. The steps consist of an investigation phase, development phase, and the analysis and finalization phase. The investigation phase reveals the historical perspective and what the current situation is like. In addition, it reviews various actors, market analysis and the potential the task has. The specifications for the assignment is defined, and concrete goals and planning to achieve them has been made.

Different methods that is used to carry out the project is reviewed in the investigation phase. The methods presented are IPD, Pugh's methodology, QFD, SCAMPER, module construction and function analysis. Integrated product development (IPD) ensures that important points are not forgotten and therefore maps elements that should be included in product development. Pugh's methodology systematizes issues and development steps, so that decisions is made early in the process. Quality Function Deployment, or QFD, is a tool that defines the customer's needs and requirements, and transfers this to quality planning.

SCAMPER is an acronym for various steps to progress in the process, and is used, for solution concepts and for "creative fast-tracking". Modularization is used to exploit the symmetry and standardization of the design of proposed solutions. In addition, the function analysis is presented - which graphically systematizes product functions.

The theoretical foundation, which is relevant for solving the task, is explained in the last part of the investigation phase. The investigation of theory and technology is necessary to contribute to a sufficient understanding and form the basis for the work. The theory within electricity, chemical storage, the technological solution of water wheels and turbines is explained in the theoretical foundation.

In the development phase, the product specifications are reviewed. There, specific targets have been set to form the basis for requirements for the product solution. The product goals and desired properties for the product, are presented and emphasized. The functions are structured by using the function analysis, to best achieve the main goal. After the analysis phase, the functions are decomposed into solution alternatives, that are evaluated in clear tables, and assessed in a self-screening that provides the basis for the concept.

In order to map the necessary dimensions for the product, rough basic calculations is made. This gave insight into the product's size and shape, which is necessary to generate and harvest the desired power and energy. From the result of the calculation is the concept solutions drawn in 3D. An expert and external testing has been carried out to get feedback on the product, and ensure quality.

The solution concept for the micro-hydro plant is an overshot water wheel that generates a power of more than 7 kW, which leads to the plant delivering 5 kW. The water wheel has a radius of 0.5m and is 0.8m wide. The water wheel consists of 12 blades which are 0.2 m deep. The wheel consists of stabilizer rings, spokes, hub, axle, generator, gearbox and bearing housing with bearings. The battery cabinet is designed to hold 23 pcs. of relevant type of batteries, and the cabinet is 2.3 m high, 1.0 m wide and 0.5 m deep. The battery cabinet is assembled from 4 steel profiles that hold the steel walls together.

A cost estimate of the product has been made, which shows that, upon production, the product will be economically advantageous to buy. The prototype is produced in different environments to illustrate how it might look. In addition, a logo and trademark has been created that identifies the product and illustrates its purpose.

Further work is more thorough mapping of solution alternatives, and assessments for the product. In addition, more thorough calculations and analyzes of the product solution must be carried out. Investigate the safety of the solution options and design protective sheds for the water wheel and the battery cabinet. Additionally, is it necessary to investigate the necessary solutions for sensors and alarms, as well as other electrical components. A prototype, or a scale model, should be developed and testing carried out to be able to verify data.

INNHALDFORTEGNELSE

SAMMENDRAG	i
SUMMARY	iii
INNHALDFORTEGNELSE	v
1. INNLEDNING	1
1.1. Bakgrunn.....	1
1.2. Sentrale utviklingstrekk og aktører	2
1.3. Tidligere arbeider på området	3
1.4. Konkurrerende løsninger	4
1.5. Markedsbehov, potensiale	5
1.6. Oppdragsbeskrivelse.....	8
1.7. Problemstilling og flaskehalsar	8
2. PROSJEKTPLANLEGGING	10
2.1. Prosjekt målsettinger	10
2.2. Tids og arbeidsplan med milepæler.....	11
2.3. Tidligere begrensinger for arbeidet	12
3. METODEBESKRIVELSE	13
3.1. Terminologi og begreper	13
3.2. Metodebruk og løsningsverktøy.....	15
3.3. Kvalitetssikring	22
3.4. Prosesstrinn	23
4. TEORI OG TEKNOLOGIUTREDNING.....	25
4.1. Grunnlagsteori.....	25
4.2. Aktuelle teknologiløsninger.....	31
4.2.2. Turbiner	33
5. SPESIFISERING.....	42
5.1. Produktmål.....	42
5.2. Produktkrav.....	43
5.3. Metriske grensespesifikasjoner	45
5.4. Metriske grovspefikasjoner	47
6. KONSEPTUTVIKLING.....	48
6.1. Overordnet funksjonsanalyse.....	48
6.2. Grov systembeskrivelse for fangst av strømningsenergi.....	49
6.3. Grov systembeskrivelse for lagring og overføring av elektrisitet.....	50
6.4. Drøfting for løsningsalternativer.....	50

7.	EGENSCREENING OG LØSNINGSVALG	63
7.1.	Vurdering/screening av hurtig og sakteroterende løsninger	63
7.2.	Vurdering/screening av ulike skovlformer og design	64
7.3.	Vurdering/screening av generatoralternativer.....	65
8.	GROV OG YTELSESBEREGNINGER	67
8.1.	Beregningsmål for energigenereringen	67
8.2.	Forutsetninger	67
8.3.	Beregningstrinn	68
9.	GROVE KONSTRUKSJONBEREGNINGER.....	74
9.2.	Beregninger for vannhjulet	74
9.2.1.	Forutsetninger	74
9.2.2.	Beregningstrinn.....	74
9.2.1.	Forutsetninger	78
10.	ROBUST OG BÆREKRAFT	81
11.	LØSNINGSARKITEKTUR.....	82
11.1.	Helhetstegning for vannhjul og strømgenerering	82
11.2.	Helhetstegninger for vannhjul og strømgenerering i 3D.....	84
11.3.	Hoveddeler for vannhjul og strømgenerering.....	84
11.4.	Større komponenter for vannhjul og strømgenerering	86
12.5.	Mindre komponenter og moduler for vannhjul	88
11.6.	Helhetstegning for batterilagring	90
11.7.	Helhetstegninger for batterilagring i 3D	90
11.8.	Hoveddeler	91
12.9.	Mindre deler og standardkomponenter	94
12.	EKSTERNTESTING OG EKSTERNINPUT.....	96
12.1	Testmål.....	96
12.1.	Undersøkelsen	96
12.2.	Testpersoner	97
12.3.	Resultater.....	97
13.	TILVIRKNING OG ØKONOMI	99
14.1.	Produksjonsanvisninger	99
13.2.	Økonomiske analyser.....	101
13.2.1.	Egen tidsbruk	101
13.2.2.	Materialer og komponenter.....	102
13.2.3.	Girboks, generator og transformator	102

13.2.4. Verkstedarbeid og tilvirkning	102
13.2.5. Prototypekostnad (estimat én stykke)	103
13.2.5. Seriestemat (fordelt på økende antall).....	103
14. MILJØ OG MARKEDSRENDRING	104
14.1. Løsningskonsept i naturlig miljø	104
14.2. Varemerke	107
15. PROSESSEVALUERING OG DISKUSJON.....	109
15.1. Kompetanseutvikling og læring.....	109
15.2. Utredningsprosessen	109
15.3. Utviklingsfasen	110
15.4. Analysefasen.....	110
15.5. Ferdigstillingsfasen	111
15.6. Sluttdiskusjon	111
16. KONKLUSJON.....	112
16.1. Resultater og anbefalinger.....	112
16.2. Videre arbeid	112
17. REFERANSER.....	114
17.1. Skiftelige kilder	114
17.2. Nettbaserte kilder.....	115
18. Vedlegg.....	117
Vedlegg 1:.....	118

1. INNLEDNING

I denne delen av rapporten redegjøres det for de overordnende rammene for prosjektarbeidet. Bakgrunnen for hvorfor prosjektet er aktuelt i dag blir avdekket sammen med produktets historie. I tillegg redegjøres det for ulike muligheter hvor prosjektet kan benyttes og hvordan det er konkurransedyktig løsning. Videre defineres de faglige rammene for prosjektoppdraget.

1.1. Bakgrunn

Verden står ovenfor store problemer når det kommer til klimaforandringene. Gjennomsnittstemperaturen på jorden øker og i 2020 var temperaturen 1,13°C høyere enn i førindustriell til [1]. Temperaturøkningen fører igjen til smelting av isbreer og at havet stiger. Havet blir surere som påvirker mangfoldet som lever der. I tillegg fører klimaforandringene til mer ekstremvær på verdensbasis. Grunnen til klimaforandringene er menneskers utslipp av drivhusgasser til atmosfæren. Bruk av fossil energi er den største kilden til utslipp av CO₂ som igjen er den viktigste klimagassen.

Ekstremvær som tørke, flom, sykkloner osv. rammer mange, men særlig fattige mennesker, og konsekvensene ventes å eskalere med økende oppvarming. Derfor ble det vedtatt i Parisavalen at verdens land skal prøve å begrense temperaturstigningen til 1,5°C, hvor den eneste måten å gjøre dette på, er slippe ut mindre klimagasser [2].

De forente nasjoner (FN) har flere bærekraftsmål som gjelder for hele verden. Bærekraftsmålene innebærer å utrydde fattigdom, bekjempe ulikheter og å stoppe klimaendringene innen 2030. Ett av FNs bærekraftsmål er å sikre tilgang til pålitelig, bærekraftig og moderne energi til alle, og dette til en overkommelig pris [2]. For å oppnå dette kravet er det nødvendig med innovative og fornybare løsninger for høsting og lagring av energi.

For å redusere avhengigheten av fossile energikilder blir det nødvendig med fornybar kraft og elektrifisering, derfor blir det i hele verden satset mer på å produsere elektrisk energi fra fornybare kilder som solinnstråling, vind, vann og bølger. Takket være god tilgang på vannkraft er Norge mer elektrifisert enn noen annet land [3].

Norge har satset betydelig på klima- og miljøvennlige transportløsninger for å kutte klimagassutslippene. Dette har blitt gjort blant annet ved elektrifisering av transportsektoren, hvor bruk av elektriske biler er en stor del av det. Det er ingen land i verden som har flere elbiler per innbygger enn Norge, og i starten av 2021 ble det registrert rundt 13 % elbiler av den totale bilparken [4].

For mange er elbil fortsatt ikke en mulighet. Dette gjelder særlig for folk med hytter langt ute på skogen eller fjellet hvor mulighetene for å lade bilen er sjeldne eller ikkeeksisterende. Mange hytter befinner seg på steder hvor strømmen lett forsvinner eller er utilgjengelig. En metode mange benytter seg av, er å produsere sin egen elektriske energi, for eksempel ved hjelp av solceller. Å benytte seg av småskala energianlegg kan derfor være en del av løsningen på å redusere klimagassutslippet i Norge. Å produsere sin egen elektrisitet kan i lengden også hjelpe

til med å redusere strømgningene, noe som har blitt svært aktuelt etter 2021 som er ett rekordår for høye strømpriser [5].

Utfordringen med fornybar energi er at tilgangen ikke nødvendigvis samsvarer med etterspørselen. Derfor er det viktig å kunne lagre energien som høstes. Energi kan lagres på mange måter, dette gjelder også for elektrisk energi. Det er stor satsing for å utvikle av batterilagring, særlig Litium-ionbatterier. Litium-ionbatterier er én av de mest avanserte ladbare batteriene og brukes mye i elektriske biler. Det rettes også mot at disse batteriene skal benyttes til å høste fornybar energi og kan dermed bli en løsning på energilagringen for småskala energianlegg [6].

Tilgangen til strøm er veldig viktig i Norge, ikke bare for å lade bilen, men også til oppvarming. I mange boliger er strømmen den viktigste eller den eneste kilden til oppvarming, og da er det svært viktig med sikker tilgang på vinteren. Skulle det skje noe med strømmettet kan det være katastrofalt for mange. Det å kunne produsere og lagre sin egen strøm er derfor en veldig god sikkerhet og vil styrke beredskapen.

Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, NMBU er opptatt av klimaforandringene. Her forskes det derfor mye innenfor de forskjellige fagområdene for å finne gjennomførbare løsninger som kan bidra til å redusere klimautslippene.

1.2. Sentrale utviklingstrekk og aktører

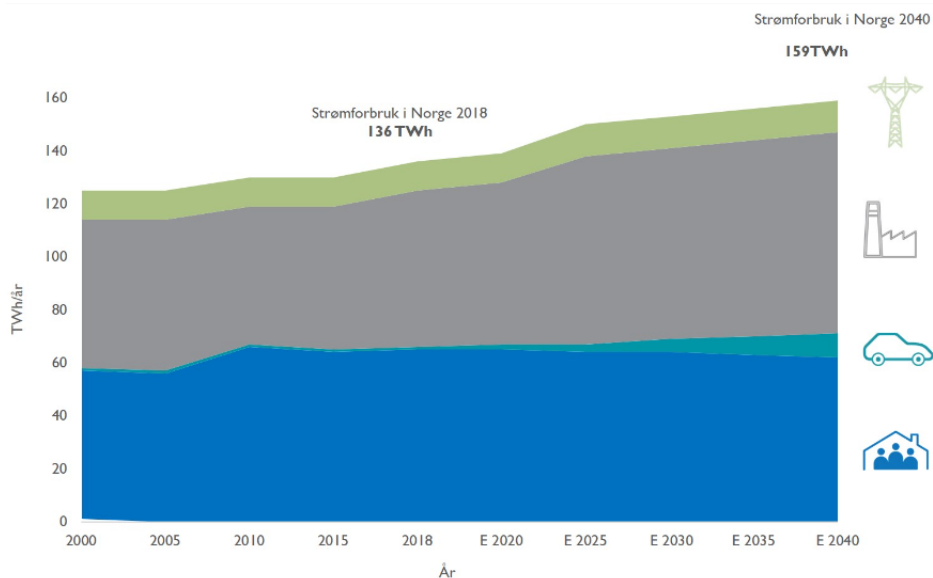
I dag er det mange aktører som driver med elektrifisering på ulike områder, som for eksempel elektrifisering av biler, ferjer, båter, motorsykler, snøscootere mfl. Innenfor elektrifisering av biler er Tesla en stor aktør. Selskapet ble opprettet i 2003 av en gruppe ingeniører som ønsket å vise at elektriske biler kan være like bra og bedre enn biler som går på drivstoff [7]. Tesla Model 3 var den mest solgte bilen i Norge i 2021, og har en rekkevidde på 602 km. Selv om Tesla er den mest kjente elbilaktøren, selger omtrent alle de store bilselskapene elektriske biler. Selskaper som Audi, Volvo og Polestar er eksempel på aktører som også selger svært mange elbiler. Modellene Audi e-tron, Volvo XC40 og Polestar 2 har en rekkevidde fra 415 til 480 km og var alle på lister over de mest solgte bilene i 2021 [8]. Utvalget av elbilmodeller er dermed stort, og fører til at forbrukere kan vurdere andre faktorer enn bare rekkevidde. Blant annet kan de ta i betraktning bilens størrelse, design, komfort og pris, noe som gjør elbil mer tilgjengelig for flere.

Elektriske ferjer benyttes i større grad enn tidligere. Den aller første elektriske bil- og passasjerferja, var den norske ferja Ampere, som ble satt i drift i 2015. Ampere er senere videreutviklet til Kommandøren, en ferje som kan ha opptil 120 biler og 12 lastebiler, den har en lengre rekkevidde, større batterikapasitet og går raskere enn Ampere [9]. Kommandøren beviste med dette at teknologien av elektriske ferjer kan brukes til kommersiell drift. I starten av 2021 var det 31 elektriske ferjer i drift i Norge, mens i starten av 2022 var det 48 i drift [10]. Det har også blitt en økning av ladeanlegg for elektriske ferger i Norge, og det samme gjelder for ladeanlegg for skip [11].

Salg av elektriske båter har også økt. Fordelene med elbåter er at de avgir mindre støy og har lavere driftskostnader enn båter som bruker drivstoff. Rand er ett dansk elbåtmerket som brukes i Norge, og som tilbyr en rekke modeller i ulike størrelser. En av modellene de selger er MANA 23, som har batterikapasitet fra 10 til 22 kWh og ligger i prisklassen fra 500 000 til 700 000 kr [12]. De høye prisene, kortere rekkevidde og mangel på hurtigladerer i gjestehavn er utfordringene når det kommer til elbåter.

En sentral faktor for elektrifisering av samfunnet er batterikapasitet. Økende avhengigheten av batterilagring øker også etterspørselen, men kan variere fra bruksområdet og behovet. Den eksisterende teknologien, som litium-ionbatterier, har hatt en rask forbedring og er det batteriet som dominerer det elektriske transportmarkedet. Panasonic – et selskap som produserer bilbatteriene til Tesla – har planer om å produsere ett nytt litium-ionbatteri som skal øke rekkevidden til elbilen med over 15 % i 2023. Med disse batteriene kan bilselskaper sette inn færre batterier i hver enkelt bil og redusere tiden det tar å tilpasse dem til kjøretøyet [13].

Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE), har ansvar for å forvalte vann- og energiresursene i Norge, og har innsikt i hvordan ulike energibærere utvikler seg se figur 1.2 [14]. Figuren viser hvordan det totale strømforbruket vil øke fremover, og en kan se at det forventes en stor økning i transportsektoren. Dette vil føre til behov for mer generering av elektrisk energi, men også strømkilder på flere steder i landet.



Figur 1.1: Illustrasjon av hvordan strømforbruket i Norge kommer til å utvikle seg frem til 2040. Den viser forskjellige energibærere og hvordan behovet har vært, er i dag og vil være i fremtiden [14].

1.3. Tidligere arbeider på området

På området som omhandler produksjon og lagring av fornybar energi har det blitt gjort en del arbeid tidligere.

Masteroppgaven «Utvikling og testing av læringsplattform for vannturbiner» av Sverre Galby og Håkon Bækkevold Ersland (Maskin-, prosess- og produktutvikling), har som formål å gi

brukere mulighet til å evaluere et turbindingen mot hydrodynamiske forhold, og kunne vurdere virkningsgraden til turbinen. Oppgaven tar for seg pico-system og simulerer reelle forhold for ett slikt system [15]. De omtaler også et forutgående arbeid knyttet til en utvikling av en flyttbar vertikal pico-turbinløsning for bedriften DeepRiver As.

Helene Solberg og Hilde Elsebutangen har skrevet masteroppgaven «Multitjenesteladestasjon ved el-fergekai og/eller stasjonært energilager – potensiale og lønnsomhet i et systemperspektiv». I oppgaven blir det blant annet skrevet om ladestasjon til ferje med stasjonært energilager, der energibehovet og effektbehovet til elektriske ferjer er beregnet og etterfulgt av dimensjonering av kapasitetsbehovet på stasjonært energilager [16].

Fra og med høsten 2021 ble det tatt initiativ til flere ulike masteroppgaver der studenter fra studiespesialiseringene i produktutvikling, maskindesign og energiteknikk samarbeidet for å undersøke alternative løsninger for å generere elektrisitet fra fornybare energikilder. De samlet kunnskap, utviklet teknisk grunnlag og design for små og fleksible el-energisystemer for ytelse fra 5 til 15 kW elektrisk effekt. De relevante masteroppgavene blir beskrevet mer detaljert.

«Småskala vindenergi, teknologi- og løsningsutvikling» er en masteroppgave skrevet av Marianne Sandnes Inderberg som tar for seg å finne lokale alternativer til de store vindturbinparkene. Oppgaven ønsker å utrede muligheter og teknologiske løsninger innen mikrovindturbiner, og hvordan de kan implementeres i samfunnet. Produktutviklingsarbeidet resulterte i en horisontalaset konsept-vindturbin, som inneholder turbinmoduler som kan kobles på tårnet med én til tre enheter. Hver av modulene har en installert effekt på 5 kW. Med tre enheter vil det derfor kunne produseres opptil 15 kW, noe som gjør at modulløsningen kan tilpasses behovet til kunden.

I tillegg er modulløsningen enkelt designet med et tårn hvor det kan settes en modul på toppen og en på hver side. Konsept-vindturbinen har en høyde på 12 meter fra bakkenivå til turbinrotorens senter, bredde på 6 meter fra rotorsenter til rotorsenter og rotordiameter på 4 meter. Vindturbinen er derfor ikke stor og vil ikke være sjenerende i landskapet [17].

Sivagami Kandiah skrev masteroppgaven «Småskala solenergi, teknologi- og designutvikling» som handler om å generere strøm ved bruk av solenergi. I denne oppgaven utvikles det en småskala solcellekonsept med ønske om mest mulig optimalisert løsning for lokal produksjon av elektrisk energi i tilknytning til boliger. Oppgaven kom frem til et konseptforslag for et solcelletre. Konseptet er symmetrisk konstruert fra høyre til venstre og består av 10 stk. PV – moduler, som gir en total energiproduksjon på omtrent 5 kW. Hver PV-modul har en estimert effekt på 500W, og treet skal vinkles mellom 0° - 85°, etter hvor solinnstrålingen inntreffer. Solcelletreet skal derfor ha en optimal drift fra forskjellige tidspunkter på dagen [18].

1.4. Konkurrerende løsninger

I denne delen blir konkurransemarkedet kartlagt for å kunne vite hvilke aktører som er på markedet, hvem konkurrentene er og hvilke produkter som vil kunne erstatte behovet som prosjektet ønsker å dekke.

Strømforsyning fra strømmettet er et alternativ fremfor å produsere sin egen strøm, men dette vil kunne by på store kostnader som vil variere med hvor avsidesliggende bygningen ligger. I

tillegg vil man måtte betale for strømmen man bruker, og dermed vil investeringskostnadene ikke bli tilbakebetalt, noe det kan bli over tid med selvforsynt strøm.

En konkurrent mot småskala elektriske anlegge, er små aggregater. Et aggregat er en frittstående strømforsyning som drives av drivstoff. Hvis man opplever problemer med strømbrudd over kortere perioder, vil et småaggregat kunne være en billigere løsning enn å produsere sin egen fornybare energi. Et aggregat vil også kunne brukes til å lade elbilen på hytta. En annen fordel med aggregater, er at det finnes mange forskjellige modeller til ulike behov og prisklasser.

Det finnes mange konkurrerende løsninger for det helelektriske transportmarkedet, blant annet hybridbiler. En hybridbil har to ulike motorer som skaper muligheten for å kjøre bilen på strøm eller drivstoff. Dermed er bilens kjøredistanse mye lengre, og behovet for ladestasjoner er mindre. Ett eksempel på en hybridbil er Toyota Rav 4 som lå på topplista over mest kjøpte biler i 2021 [19]. Sammenligner man Audi e-tron og Toyota Rav 4 så koster disse omtrent det samme (600 000 kr). Fordelen med Rav 4 er at den har totalt en lengere rekkevidde på 625 km, hvor 75 km av det er elektrisitet. For e-tron derimot er rekkevidden på 482 km, hvor alt er fra elektrisitet. For mange vil det derfor være mer fornuftig å gå for en hybridbil.

1.5. Markedsbehov, potensiale

Norge har i 2021 hatt rekordhøye strømpriser og ingen ting tyder på at dette vil stoppe i fremtiden. Dette skaper motivasjon for å generere egen strøm og vurdere andre nyskapende metoder. Til tross for høye kostnader ved utbygging av fornybare og lokale energianlegg, vil forbrukerne kunne få inntjening på dette i lengden, noe som ikke var like sikkert før strømprisene ble så høye.

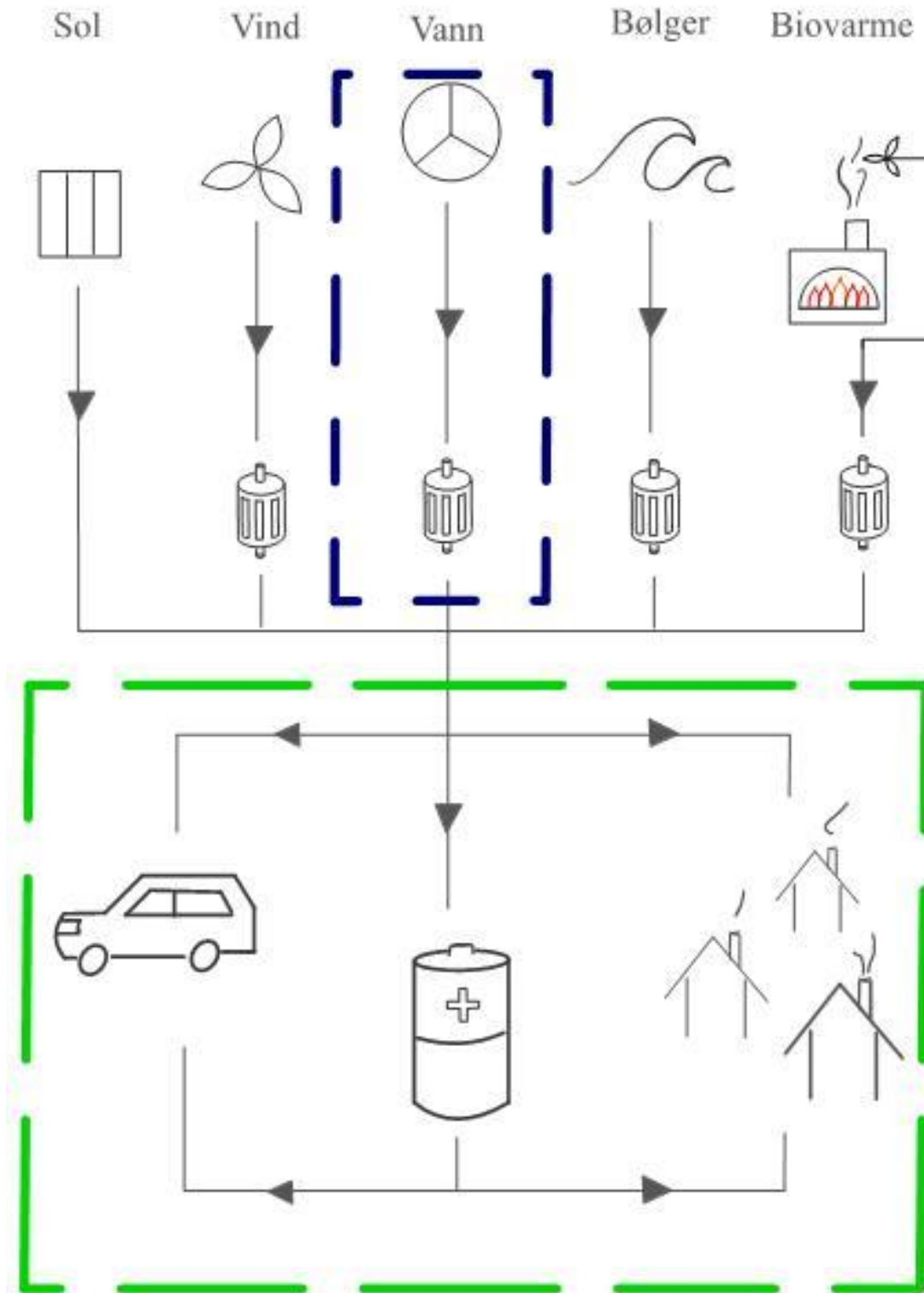
Småskala energianlegg har vært aktuelt i mange land hvor det ikke er bygget en god elektrisk infrastruktur, men nå kan det også bli høyst aktuelt i Norge. Norge har et stort naturmangfold, hvor energien kan hentes fra mange områder som sol, vind og vann. Hytter og annen avsidesliggende bebyggelse, kan benytte seg av småskala anlegg og få levert sikker og pålitelig strøm.

Norge har svært mange hytter og fritidsboliger. Salget av hytter øker og i det første halvåret av 2021, var oppgangen på 27,1 % sammenlignet med året før [20]. Koronapandemien har skapt fleksibilitet i forhold til arbeidsstedet, noe som har ført til økt bruk av hytte til hjemmekontor. Dette har det ført til en endring i hyttemarkedet og gjort behovet for en komfortable hytter viktigere. Dermed er det også et større behov for pålitelig tilgang til strøm på hyttene. Med hjemmekontor behøves det strøm til for eksempel mobil, PC og PC-skjerm. I tillegg er behovet for elbillader stort og det fortsetter å øke. Lokal energiproduksjon har derfor ett stort potensial, og med de rekordhøye strømprisene kan det være en lønnsom investering. Prisene for fritidsboliger har steget og koster i 2021 typisk rundt tre millioner kroner, det viser at nordmenn er villig til å investere mye i boligene [21]. Dette viser at potensialet for egenstrømgenerering er aktuelt for mange. Et samarbeid rundt et lokalt hydroenergianlegg mellom, for eksempel, tre hytter kan derfor være svært aktuelt.

Et pålitelig mikrohydroanlegg vil kunne være løsningen for mange hytteeiere, særlig for de som benytter elektriske biler. En elbil som benyttes til en hyttetomt har vanligvis ikke et stort behov for å lades hurtig. Derfor vil det kanskje være enda lettere å benytte et lite vanndrevet energigenereringssystem. Men det vil være nødvendig å kunne lagre den genererte energien, hvor batterier kan være aktuelt.

En faktor som må tas i betraktning er hvor mye elektrisk effekt en hytte vil trekke. Her må det vurderes hvilke apparater som benyttes og mengde strøm de trekker. I tillegg må hyttens størrelse og oppvarmingsbehov bestemmes og om dette skal dekkes av strøm alene. Alle disse faktorene vil være avgjørende for type batterier som behøves.

Batteriene vil måtte kunne levere nok effekt til både hyttene og bilene, og i tillegg ha betydelig mengde lagringskapasitet for tider når bekken ikke renner. Det vil også være aktuelt å se på andre energikilder som kan kombineres med vannturbinene, som vindmøller og solceller.



Figur 1.2: Figuren gir en oversikt over hva oppgaven skal løse. Strektegningene øverst viser ulike fornybare energier som kan benyttes i småskalaenergianlegget. Den blå stiplede linjen markerer vantturbiner som hoved element i oppgaven. Den nederste delen av figuren viser for hvilket område den fornybare energien skal dekke, markert med grønn stiplet linje.

1.6. Oppdragsbeskrivelse

Det skal utføres et konseptutviklingsprosjekt for produksjon av elektrisk energi for rurale steder ved å benytte den lokale tilgangen til vann. I tillegg skal et enkelt batterilagringsystem drøftes, hvor beholderen designes. Konseptet skal kunne benyttes for én enkel bolig eller deles av flere, hvor boligene vil dele ett lokalt energianlegg. Anlegget skal også kunne gi mulighet for lading av elbil.

Oppdraget er å designe et lokalt mikrohydroanlegg som leverer en effekt på 5kW. Dette skal bli gjort ved hjelp av rennende vann fra elver, bekker eller tjern. Batterilagringsystemet vil måtte ha tilstrekkelig lagringskapasitet for å dekke nødvendig behov, som sikrer en pålitelig strømkilde. Batterilagringen skal kunne lagre energi fra flere energikilder som er tilgjengelig.

Estetikken er en viktig faktor, og designet av konseptet skal ta hensyn til dette. Det skal fokuseres på materialvalg som kan passe inn i miljøet. Konseptet vil også kunne designes med formål å være enkelt utformet, slik at konstruksjonen kan kles etter ønsket design. Konstruksjonen skal være robust og vare lenge. Den skal være lett å produsere, montere og vedlikeholde.

Kartlegging av nødvendig teori skal utføres og eksisterende teknologi på området skal drøftes. Det skal utføres grovberegninger og et estimat på den økonomiske utgiftsposten for produktet skal lages. Konseptløsningen skal illustreres i CAD.

1.7. Problemstilling og flaskehals

For å kunne besvare denne oppgaven på en grundig måte er det flere problemstillinger som må løses.

1.7.1. Sentrale problemstillinger og fokuspunkter

- Kartlegging av energibehovet som kreves av boligene eller fritidsboliger inkludert alle elektriske enheter og elbil.
- Størrelsen på den elektriske lagringskapasiteten som er nødvendig for sikker tilgang til strøm.
- Hvilke batteri typer som burde benyttes og hvordan systemet skal utformes. Hvilke typer turbiner skal brukes og antallet som behøves.
- Ved hvilke spenning batteri og anlegg må levere og hvilke typer transformatorer som skal brukes.
- Hvilke energikilder er mest aktuelle og effektive ved ulike typer distribuert/lokal energiforsyning. Geografiske spesifikasjoner.

1.7.2. Flaskehals og utfordringer

Det finnes en rekke utfordringer knyttet til denne oppgaven og muligheten for å lage en småskala energianlegg med energilagring.

- Hvordan bygge forutsetninger, kjenne til energidata, stråling/sildager, nedbør, vindhastighet og vinddager. Finne de grove dataene.



- Kostnadene det innebærer å installere turbiner, batterier og resten av systemet.
- Utfordringer i fremtiden av fordeling av strøm mellom boligene, hvordan sikre at noen ikke tar all strømmen.
- Levetiden og livssyklusene til de ulike komponentene.
- Vedlikeholdsarbeid, og utfordringer ved forskjellige årstider og forskjellige temperaturer.
- Hvordan implementere andre energikilder inn i systemet.

2. PROSJEKTPLANLEGGING

For å kunne gjennomføre oppgaven innenfor den eksisterende tidsrammen på en best mulig måte er det nødvendig å etablere en tidsmessig arbeidsplan med klare mål og trinnvise leveransepunkter og milepeler.

2.1. Prosjektmålsettinger

Den overordnede målsettingen for prosjektarbeidet vil kunne danne hoveddrammene omkring arbeidet som skal gjøres, mens delmålene er progressive trinn for å nå dette hovedmålet.

2.1.1. Hovedmål

Følgende hovedmålsetting er definert for det prosjektarbeidet som skal utføres og rapporteres.

«Å utrede, utvikle og dimensjonere småskalaenergisystemer for lokal produksjon og lagring av el-energi, fortrinnsvis i effektområdet 5-15 kW. Alle trinn i arbeidet skal rapporteres med tekniske anvisninger og anbefalinger».

2.1.2. Delmål

For å nå hovedmålet må det settes delmål. Delmålene er listet i kronologisk rekkefølge utfra tidsperioden de skal gjennomføres.

- Utredelse av bakgrunnen for småskalaenergianlegg og nytteverdien det har for både enkeltmennesker og samfunnet, planlegge prosjektet, identifisere relevant metodikk.
- Klargjøre relevant teorigrunnlag og beskrive eksisterende teknologi som er relevant og nødvendig for å løse oppgaven.
- Utvikle spesifiseringsgrunnlag og krav til småskalaenergianlegget, gjennomføre funksjonsanalyse, utvikle løsningsforslag og velge hovedkonsept.
- Gjennomføre grunnlagsberegninger og designe systemet ved hjelp av 3D-modellering. Lage relevante tekniske tegninger.
- Forklare produksjonsmetoder og gi et kostnadsestimat.
- Fullfør oppgaven med evaluering av konseptløsningen og rapporten, samt avgi en konklusjon og videre arbeid.

2.2. Tids og arbeidsplan med milepæler

Gant-diagram benyttes tabell 2.1 for å illustrere tidsplanen for prosjektarbeidet. Skjemaet viser tidsperiodene i måneder og illustrere hvilke delmål som det vil bli jobbet med i løpene av månedene. Delmålene blir fordelt over mindre arbeidsoppgaver for bedre oversikt.

Tabell 2.1: Illustrasjon over arbeidsplan og tidsramme. Milepælene er indikert med trekantede (▲) og de gule feltene er sommerferien som er lagt inn fra juni til slutten av juli.

Delmål	Tidsperiode												
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des	Jan
Delmål 1													
Bakgrunn													
Oppdrag													
Planlegging													
Metodikk													
Delmål 2													
Teori													
Teknologi													
Delmål 3													
Spesifisere													
Krav													
Funksjonsanalyse													
Løsningsforslag													
Hovedkonsept													
Delmål 4													
Beregninger													
Design													
Tekniske tegninger													
Testing													
Delmål 5													
Produksjon smetoder													
Kostnads-estimat													

Delmål	Tidsperiode											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Aug	Sep	Okt	Nov	Des	Jan
Delmål 6												
Evaluering og konklusjon												
Ferdigstille												
Korrektur												
Leverer												
Presentere												

Tabell 2.2: Oversikt over milepæleaktiviteter og leveringsdatoer.

Milepæl (▲) (Delmål)	Dato
Utredelsen av bakgrunn for småskalaenergianlegg og deres nytteverdi, prosjektet er planlagt og relevant metodikk er identifisert.	28.02.2022
Relevant teorigrunnlag og eksisterende teknologi som er nødvendig for å løse oppgaven er kartlagt.	10.03.2022
Spesifiseringsgrunnlaget er utviklet, krav til småskalaenergianlegg er redegjort, funksjonsanalysen er gjennomført, løsningsforslag er utviklet og hovedkonsept er valgt.	18.08.2022
Grunnlagsberegninger er gjennomført, systemet ved hjelp av 3D-modellering er designet, og ekspert- og eksterntesting er utført.	30.08.2022
Produksjonsmetoder er forklart og kostnadsestimatet er gitt.	15.10.2022
Evaluering av konseptløsningen og rapporten er fullført, konklusjonen er avgitt og anbefalinger for videre arbeid er redegjort.	15.11.2022
Oppgaven er levert	15.12.2022

2.3. Tidligere begrensinger for arbeidet

Den totale tidsrammen som er tilgjengelig for gjennomføring av prosjekter er omtrent 750-900 timer fordelt over to semestre. Av den grunn må det være noen avgrensninger i omfanget av arbeidet som skal gjøres.

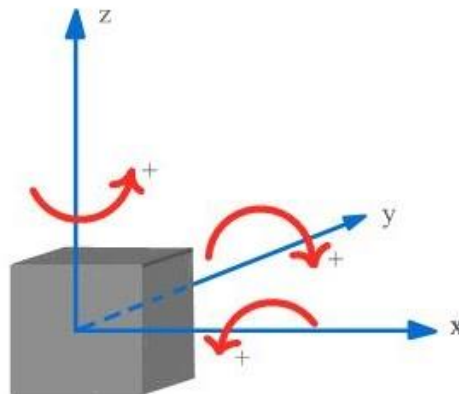
- Småskalaenergianlegget vil ikke bli utviklet med tekniske tegninger og anvisninger.
- En omfattende undersøkelse av markedsbehovet vil ikke bli gjort.
- Bruk av andre turbiner vil ikke bli analysert og heller ikke andre type batterier, andre systemer vil kun bli nevnt og diskutert.
- Det vil ikke komme en grundig undersøkelse av hvor konkurransedyktig dette anlegget vil være, men i stedet kommer et kostnadsestimat som blir sammenlignet med andre systemer.
- Vil kun være skjematisk med hensyn til elektroniske systemer.

3. METODEBESKRIVELSE

Metodikk innebærer en ordnet og systematisk arbeidsmåte og innebærer å gjøre et arbeid på en bestemt måte innen et arbeidsområde eller fag for å komme frem til et resultat som løser et problem eller besvarer de spørsmålene som blir stilt. Derfor er det nødvendig å identifisere og forklare nyttig og nødvendig metodikkverktøy som vil bli benyttet i dette prosjektet.

3.1. Terminologi og begreper

For bedre å kunne forstå hva oppgaven omhandler i faglig forstand er det nødvendig å definere og beskrive terminologien og begrepene som vil bli benyttet. Figur 3.1 viser koordinatsystemet som benyttes. Dette koordinatsystemet følger høyresystem som er sammenhengende mellom pilretningen for en flatenormal x , y eller z og positiv omløpsretning langs en lukket kurve i flaten.



Figur 3.1: Illustrasjon over koordinatsystemet som benyttes, med aksene x , y og z og deres rotasjonsretning sett fra origo, og etter høyrehåndsregelen.

3.1.1. Begrepsdefinisjoner

Tabell 3.1: Oversikt over begreper som benyttes og forklaring gav disse.

Begrep	Forklaring
CAD	Programvare for 3D modellering «Computer Assisted Design»
SI-enhet	Internasjonal konvensjon som bruk av enheter (System de Unite Internasjonal)
AGM	Står for absorberende glassmatte. Er en batteritype som har et glassfibernet mellom batteriplatene for å holde på elektrolyttene og skille platene.
GEL	Et type batteri hvor silikastøv tilføres til elektrolytten, og det dannes en tykk masse (gel).
IPD	Integrert produktutvikling, «Integrated Product Development»
IPPD	Integrert produkt- og prosessutvikling, «Integrated Product Development»
QFD	«Quality Fucntion Deployment»

3.1.2. Symboler og formelbruk

Videre er det behov for en oversikt over hvilke symboler og likninger/hovedformler som benyttes i arbeidet, hva de heter og indeksen/nummereringen de har i rapportteksten.

Tabell 3.2: Oversikt over grafiske symboler og hva de betyr og enhetene de har i SI-systemet.

Grafisk symbol	Beskrivelse	Merknad
X	Koblingspunkt i flytdiagrammer	
	Svart pil viser til neste trinn eller steg.	
	Grønn pil for ufarlig bevegelse	
	Rød pil for farlig bevegelse	
	Blå pil for vannets strømningsretning	
	Et lyn som symboliserer elektrisk gnist.	

Tabell 3.3: Oversikt over symboler, hva de betyr og enhetene de har i SI-systemet.

Symbol	Beskrivelse	Enhet (SI)
U	Spenning	V
R	Motstand	Ω
I	Strømstyrke	A
C	Coulomb	A*s
l	Lengde	m
b	Bredde	m
h	Høyde	m
t	Tid	s
Q	Elektrisk ladning	C
C	Kapasitans	F
F	Farad	C/V
v	Fart	m/s
A	Areal	m ²
m	Masse	kg
Pa	Pascal	N/m ²
η	Virkningsgrad	
N	Newton	kg*m/s ²
P	Effekt	W
p	Hydrostatisk trykk	Pa
ρ	Massetetthet	kg/m ³
g	Tyngdeakselerasjon (9,80665 m/s ² er standard)	m/s ²
a	Akselerasjon	m/s ²
ω	Vinkelfart	rad/s

α	Vinkelakselerasjon	rad/s ²
V	Volum	m ³
M	Kraftmoment	Nm
F	Kraft	N
G	Konduktans	A/V
Q_m	Massestrøm	kg/s
μ	Viskositet	Pa*s
σ	Normalspenning	- p
τ	Skjærspenning	p
B	Magnetisk flukstetthet	T
Wb	Weber	Vs
Φ	Magnetisk fluks	Wb
H	Fallhøyde	m
T	Moment	Nm

Tabell 3.4: Oversikt over formler, hva de forteller og indeksene de har i rapporten.

Navn/forklaring	Formel	Indeks
Batterikapasitet	$Q = I * t$	4.1
Energien i batteri	$E = P * t$	4.2
Potensiell energi	$E_p = \rho Q_m g H$	4.3
Kinetisk energi	$E_k = \frac{1}{2} \rho Q_m v^2$	
Bernoulliligning	$p_0 + \frac{1}{2} \rho_0 v_0^2 + \rho_0 g h_0 = p_1 + \frac{1}{2} \rho_1 v_1^2 + \rho_1 g h_1$	4.4
Bernoulliligning med friksjonskonstanter	$p_0 + \frac{1}{2} \rho_0 v_0^2 + \rho_0 g h_0 + h_p = p_1 + \frac{1}{2} \rho_1 v_1^2 + \rho_1 g h_1 + h_t + h_L,$	4.5
Akseleffekt	$P_a = T * \omega$	4.6
	$P_h = \gamma * Q_m * h$	
Moment	$T = \rho Q_m v_j r.$	4.7
Virkningsgrad til impulsturbin	$\eta_t = \frac{2\pi n T}{\rho g H Q_m} * 100\%$	4.8
Volumstrømning	$Q = v * A$	4.9
Volumstrømning	$Q = \frac{V}{t}$	4.10
Spesifikk turtall	$N_s = \frac{n * (P * 1,4)^{0,5}}{H^{1,25}}$	4.11
Elektrisk spenning	$U = R * I$	4.12
Resistans	$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$	4.13
Strøm	$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$	4.14

3.2. Metodebruk og løsningsverktøy

I denne delen defineres ulike metoder som er nyttig for rapporten.

Integrert produktutvikling

En metode som benyttes er integrert produktutvikling, eller IPD (fra engelsk «*Integrated Product Development*») som fokuserer på å koordinere utviklingsløp og passe på at ikke viktige punkter blir glemt underveis. IPD kartlegger altså viktige elementer som bør tas med i organiseringen av produktutviklingen [21].

Hovedelementene i IPD er følgende

- a) Kartlegging av kundens behov og markedets krav.
- b) Planlegging og styring av produktutviklingsprosessen.
- c) Bruk av produktutviklingsgrupper og teamarbeid.
- d) Integrasjon av prosessdesign.
- e) Styring av prosjektkostnadene fra starten.
- f) Involvering av leverandører og underleverandører tidlig i prosessen.
- g) Utvikling av robuste design.
- h) Integrasjon av CAE, CAD, CAM og relevante dataverktøy i utviklingsprosessen.
- i) Datasimulering av produktets egenskaper og framstillingsprosessen.
- j) Generering av en mest mulig effektiv tilnærming til utviklingsarbeidet.
- k) Kontinuerlig forbedring av utviklingsprosessene.

Denne metoden benyttes i oppgaven på følgende måte

Tabell 3.5: Prinsipper og anvendelse til hovedelementene i IPD, i tillegg er det henvisning til område i rapporten dette blir brukt.

Hovedelement	Anvendelse
a	I kapittel 1 utredes bakgrunn for småskalaenergianlegg og nytteverdien de har i verden og Norge. Utreder om hvordan Norge ønsker å bli mer fornybart og redusere farlige klimagassutslipp. Viser til hvordan dette har skapt ett stort behov i markedet. Beskriver konkurrerende aktører og arbeid som har blitt gjort og gjøres på området.
b	Det opprettes en prosjektplan ved hjelp av Gantt-diagram som gir en oversikt over prosessrinnene og tidsforløpet i kapittel 2 og 3.
c	Under hele prosjektet foregår det kommunikasjon mellom veileder og elev. Derfor er det alltid en ekspert på området gjennom hele prosessen som vil ta funksjonelle valg å styre oppgaven inn på en god måte. Dette skaper god koordinering.
d	Det er mange faktorer som vil påvirke designet/modellen, dette vil det kontinuerlig bli tatt hensyn til underveis i prosessen for å få optimal ytelse og egenskaper.
e	Det vil tidlig i prosessen bli kartlagt nødvendige komponenter og ressurser som behøves. Det vil også bli en grov estimering av kostnadene til disse komponentene.
f	Ekspertise utnyttes i kapittel 12 og kan optimere produkt-designet, gi god kvalitet, leveransestabilitet og gi et akseptabelt kostnadsnivå.
g	Anlegget designes basert på grunnkunnskaper og det vil bli gjort grunnlagsberegninger i kapittel 8. Det vil også bli tatt til etterretning utprøvde og pålitelige teknologier. Det vil bli utført en kvalitetssikring med relevante standarder. Alle viktige designtema og

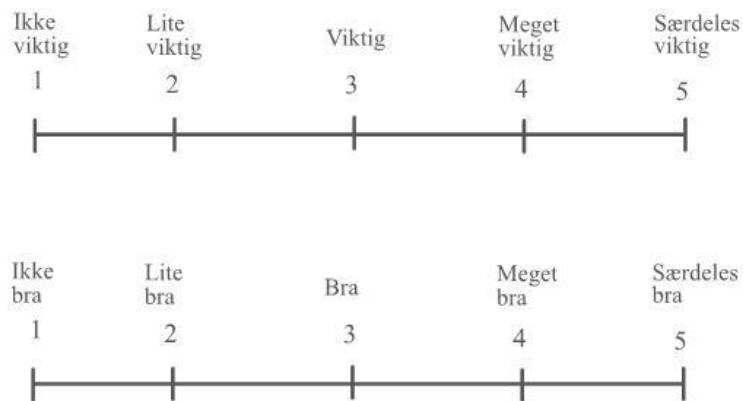
	risikoer vil bli tatt hensyn til, og gradvis designrevisjoner vil være derfor være nødvendig.
h	Data verktøyet vil bli innført for å få en grundig analyse av produktet med nøyte beregninger og for å kunne effektivisere prosessen. Kommunikasjonen med veileder og eksperter vil skjer ved hjelp av verktøyet Zoom eller Teams , underveis i prosessen.
j	Det er ønskelig at prosessen med utviklingsarbeidet skal skje mest mulige effektivt. Derfor er det viktig med detaljerte målsettinger og planer, som kan kikkles på for å få en pågående progresjon underveis i prosessen. Det vil opprettes en prosessdiagram som er en kontinuerlig veiviser gjennom hele prosjektet og sikrer at arbeidet er sammenhengende.
k	For at utviklings- og designprosessen skal holdes på plass og ikke flyte ut er det nødvendig med konstant evaluering. Det må konstant stilles spørsmål om hvorfor og hvordan ting gjøres, og hvordan det kan forbedres. I tillegg må det være kontinuerlig integrering av tekniske hjelpemidler og designaktiviteter med klare mål. Prosessdiagrammet vil bli benyttet for å kunne hoppe frem og tilbake mellom prosesstrinnene slik at forbedringer og endringer kan bli gjort basert på ny informasjon.

Pugh sin metodikk

Stuart Pugh utviklet et praktisk metodesett for produktutvikling, kalt Total Design eller Pughs metodikk. I denne metoden blir problemstillinger og teknologiske utviklingstrinn systematisert for å best mulig ta avgjørelser tidlig i prosessen, med hensyn til idé og konseptvalg. Pughs metodikk har tre sentrale prinsipper [22]:

- Designkjernen er det første prinsippet som består av å kartlegge kundens behov, konseptutvikling og konseptdesign for produktet.
- Det andre prinsippet kalles produktspesifisering hvor det formuleres hvilke spesifikasjoner produktet skal ha. Dette trinnet vil være en ramme for trinnene videre og fungerer som en kontroll utvikling- og designaktivitet videre.
- Det siste prinsippet kalles styrt konvergens («*Controlled convergence*») og er konseptvalg som er en framgangsmåte bestående av et system med evalueringsmatriser og ett trinnvis prioriteringsprosess. På denne måten vil det være mulig å evaluere de ulike konseptene og komme frem til det beste produktkonseptet.

For å bedømme ulike konsepter benyttes følgende gradering for egenskapenes viktighet (første målestokken) samt de kvalitative egenskapen hos konseptløsningen eller delløsningen:



Figur 3.2: Viser gradering fra Pugh sin metodikk med de to vanligste måleparameterne illustrert som verdiakser (viktighets- og kvalitetsakse).

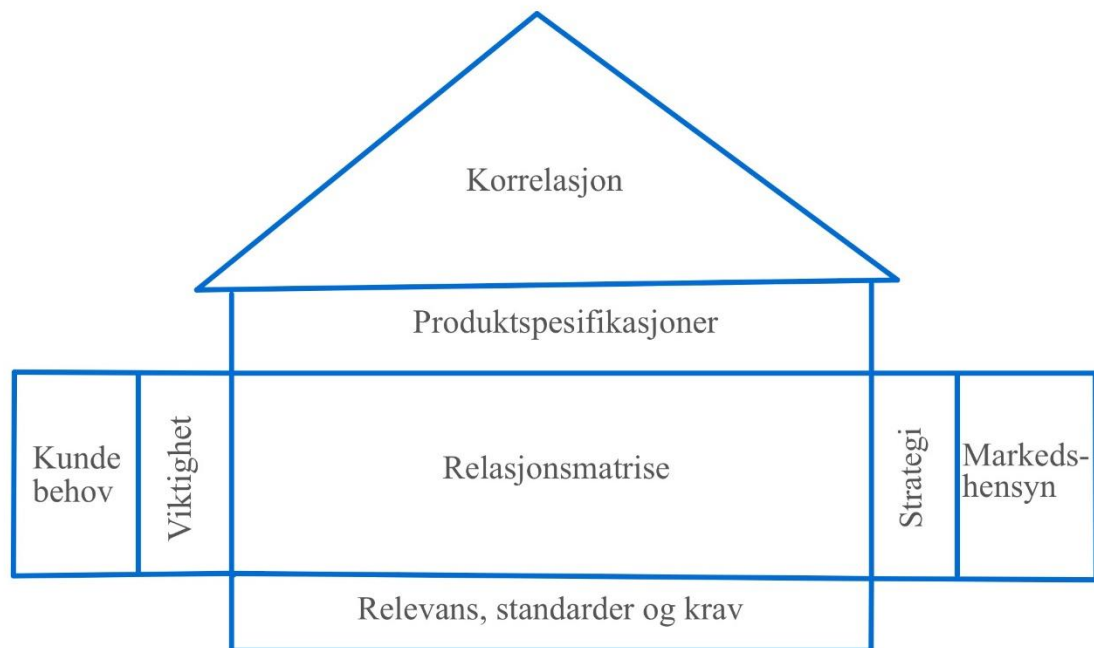
Det er totalsummen av tallene til de ulike konseptene som bedømmer hvilke konsept som er best egnet. Denne tankegangen vil bli implementert i kapittel 7 hvor ulike konsepter av produktet blir evaluert og beslutninger om best løsning vil bli tatt som følge av evalueringen.

Kvalitetshuset og QFD

QFD («*Quality Function Deployment*») er et moderne begrep i produktutvikling og realiseringsprosesser i større skala. QFD er hjelpsomt for å definere produkter, gjøre strategiske valg av innsatsområder og kommunikasjon i en bedrift. Hjelpemiddelet kan forklares som en strukturert måte å definere kundens behov og krav, overføre dem til kvalitetsplanlegging og videre utvikle og framstille produktet som skal møte behovet på best mulig måte og samtidig minimere risikoen. Dermed skal kunden bli hørt gjennom hele prosessen og i alle utviklingstrinnene. QFD skal klare dette ved disse trinnene [23]:

- Å forstå kundens eksisterende og kommende behov på en systematisk og klar måte.
- Vite på forhånd hvordan kunden kommer til å vurdere produktet eller designet.
- Skape konkrete målsettinger for å nå kundens ønsker og krav.
- Sørge for kundetilfredshet, god informasjon, service og oppfølging for videreutvikling.

Kvalitetshuset («*House of Quality*»), er et visuelt verktøy, figur 3.3, som på en praktisk måte systematiserer tankegangen og er sentral for å benytte QFD. Metoden benyttes i dette arbeidet i kapittel 7 for å gi en analyse av hva løsninger burde inneholde for å svare på kundens/brukerens behov og/eller nødvendig krav. Figur 3.3 vil gi innsikt i hvilke behov og krav som vil være nødvendig å vektlegge i prosessen, og konseptene som generes blir vurdert utfra hvor godt de dekker disse behovene og kravene.



Figur 3.3: Illustrasjon av kvalitetshuset (kundens røst) med relevante punkt for dette prosjektet [24].

SCAMPER

I alle deler av prosessen er det utfordringer og det er lett å bli fastklemt. Skulle man bli sittende fast finnes det metoder for å komme seg videre. SCAMPER er et slikt verktøy og er et akronym for Substitute, Combine, Adapt, Modify, Purpose, Eliminate og Reverse, som er de syv kreative metodetrinnene for å utfordre en eksisterende konseptutviklingstankegang.

Trinnene står for:

- Substituere/erstatte (Substitute)
Skifte ut prinsipper, elementer eller komponenter som kan utføre samme handling eller får samme resultat.
- Kombinere (Combine)
Få forskjellige komponenter til å utføre flere handling og dermed redusere antall komponenter, eller forenkle produktet. Kan også være å kombinere to eksisterende produkter til å utføre handlingene bedre eller gjøre produktet bedre.
- Tilpasse (Adapt)
Tilpasse produktet slik at den passer en annen handling enn hva den var tiltenkt for.
- Modifisere (Modify)
Dele opp eller endre de fysiske karakteristikene til produktet.
- Formål (Purpose)

Intensjonen for produktet endres. Produktet kan være nyttig for andre formål enn hva den var tiltenkt.

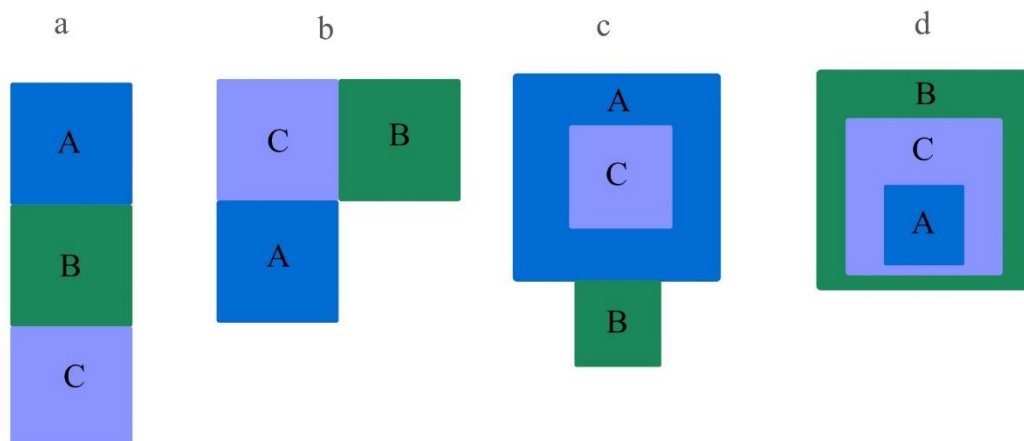
- **Eliminere (Eliminate)**
Elementene rundt produktet fjernes og kjernen av funksjonaliteten til produktet blir igjen. Deretter kan aspektet videreutvikles på nytt.
- **Reversere (Reverse)**
Snu, vri og vrenge på retningene, skape en motsetning til hva produktet opprinnelig var designet for.

Denne tankegangen vil være nyttig gjennom hele prosessen fra løsningsgenerering til sluttresultatet, og vil kunne gi et optimalt resultat [25].

Modulisering

Modulisering brukes for å vurdere hvordan produktet kan organiseres. Ved modulisering undersøkes ulike utforminger og sammensetninger av ulike elementer, og utnyttelse av symmetrien og standardisering av utformingen er svært viktig i denne metoden. Fordelene med denne teknikken er bl.a. å forenkle produksjonen, ha mange variasjonsmuligheter og enkelt vedlikehold med rask utskifting av elementer [26].

Ved hjelp av denne metoden kan deler av et produkt arrangeres og settes sammen. Delene kan også orienteres i ulike retninger med den prinsipielle samme grunnsammensetningen. Det er fire forskjellige måter å gjøre dette på. Figur 3.4 illustrerer de fire metodene som er lineær modulsammensetning, perpendikulær sammensetning, delvis integrert sammensetning og integrert sammensetning.



Figur 3.4: Illustrasjon over de ulike modulsammensetningene. a viser lineær modulsammensetning, b viser perpendikulær sammensetning, c viser delvis integrert sammensetning og d viser integrert sammensetning.

Eksempler på bruk av modulisering er pyramidene i Egypt, containere for å frakte på skip og Lego-klosser. Lego produserer mange ulike klosser som følger den samme grunnsammensetningen som gjør at klossene er lette å produsere og kan brukes til å bygge mange ulike strukturer. Modulisering vil bli benyttet gjennom prosessen fra konseptutvikling

til løsningsarkitekturen. Dette verktøyet vil være gunstig å benytte for å forenkle mange elementer ved produktet og å kunne gjøre det mer fleksibelt. Alt fra sammenstilling, kostnader og produsering vil kunne bli lettere ved hjelp av denne metoden. Denne tankegangen vil derfor bli mye brukt i utviklingsfasen og produksjonen, kapittel 9 og 12.

Funksjonsanalyse

Funksjonsanalyse er en viktig del av IPD og Pughs metodikk, og er en framgangsmåte som systematiserer, trinnvis organiserer og beskriver produktfunksjoner. Produktfunksjonene skal beskrives ved et verb + et substantiv, og organiseres grafisk med primærfunksjonen øverst, etterfulgt av sekundærfunksjoner og videre underfunksjoner. Metoden vil hjelpe produktutviklingen ved å kartlegge alternative løsninger og å finne hva, hvorfor og hvordan løsningen skal svare på produktkravene [26]. Funksjonsanalyse blir benyttet for design og løsningsalternativer i kapittel 6.

Programvarebruk

Tabell 3.4: Oversikt over programvarer og hjelpemidler som har blitt benyttet, samt beskrevet bruksområdet og hvor i rapporten dette er brukt.

Verktøy	Bruksområde	Hvor i rapporten
Microsoft Word 2016	Skriving, tabeller og figurer.	Hele
Microsoft Excel 2016	Utregninger, tabeller og figurer.	Kapittel 8 og 9
Microsoft Teams (work or school)	Veiledning og møter.	Hele
Zoom	Møter og presentasjon.	Kapittel 13.
SolidWorks 2022	3D illustrasjoner, arkitektur,	Kapittel 10 og 12.
GRANTA EduPack		
GoodNotes 5	Tegninger og illustrasjoner.	Hele
Microsoft Paint Windows 11	Noe redigering av illustrasjoner og figurer.	Hele

Litteratursøk

Tabell 3.5: Oversikt over litteratursøk ved hjelp av søkemotor og søkeord.

Kapittel	Seksjon	Søkemotor	Søkeord
Innledning	1.1 til 1.6	Google	FN klimarapport, elektrifisering, strømpriser osv.
	1.3	Brage	Småskalaenergi, energilagring osv.
Teori og teknologiutredning	Hele	Store Norske Leksikon	Elektrisitet, energi, osv.
		Google	Batterier, Hytter osv.

3.3. Kvalitetssikring

For å sikre at oppgaven er av kvalitet vil det bli redegjort for hvilke standarder som følges.

Rapporten vil bli skrevet etter NMBU sine retningslinjer, som følger IMRAD-strukturen. Denne strukturen bygger på spørsmål som skal besvares i rapporten og er delt inn i fire deler, innledning, metode, resultater og konklusjon. Spørsmålene som blir stil i disse delene er hvorfor det blir gjort, hvordan det blir gjort, hva resultatet ble og hva resultatene betyr.

Teorien i oppgaven vil være relevant for hvordan oppgaven blir løst. Alle figurer er nummerert, hvor det første sifferet er delkapittelets nummer og det andre sifferet er nummereringen til figuren som blir brukt i det delkapittelet. Det samme gjelder for tabeller og likninger, men figurteksten vil stå under figuren, tabellteksten vil stå over tabellen og likninger vil ha indeksen på den høyre siden. Kildene vil følge IEEE stilen som står for «*Institute of Electrical and Electronic Engineers*», som benytter ett nummereres system. Alle kildene vil bli kritisk vurdert og vektlagt med i ulik grad. Artikler og bøker fra anerkjente forlag og forfattere vektlegges i større grad enn nettkilder. Muntlige kilder vil bli vurdert og rådført av rådgiver og andre eksperter.

Opgaven vil bli utført fra relevante krav og standarder som er listet opp i tabell 3.6.

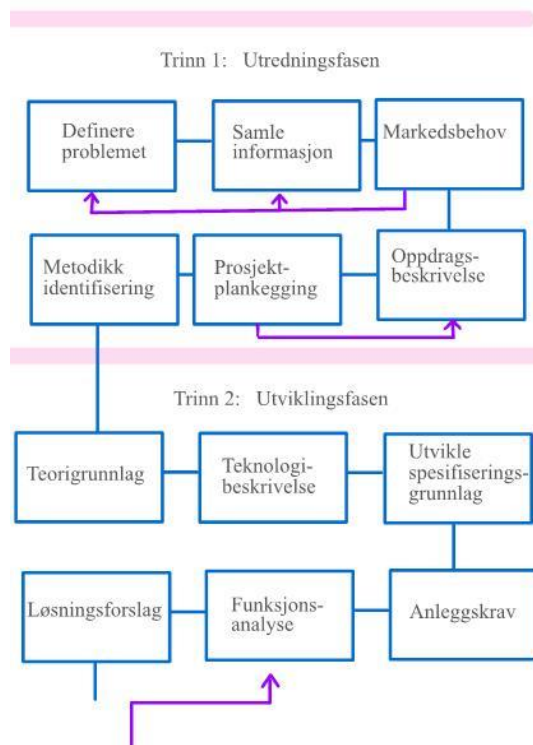
Tabell 3.6: Liste over relevante standarder og forskrifter.

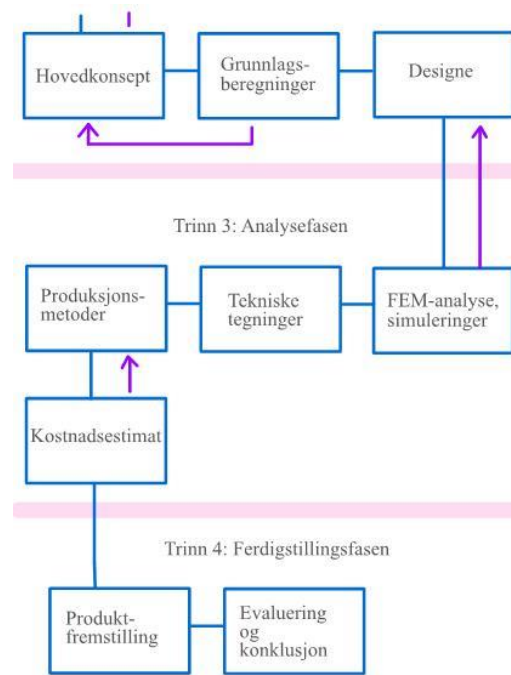
Standard	Beskrivelse
NS-EN ISO 9000	Overordnet samling av flere standarder knyttet til kvalitetsstyring og sikring.
NS-EN ISO 9001	Generell internasjonal standard for kvalitetssikring av produktutvikling.
NS-EN ISO 128	Internasjonal standard for tekniske tegninger.
Forskrifter og lover	Forklaring
Forskrift om maskiner FOR-2009-05-20-544	Forskrifter satt av Arbeids- og inkluderingsdepartementet, Justis- og

	beredskapsdepartementet, Klima- og miljødepartementet.
Forskrift om konstruksjon, utforming og fremstilling av arbeidsutstyr og kjemikaler (produsentforskriften) FOR-2011-12-06-1359	Forskrift satt av Arbeids- og inkluderingsdepartementet.
Lov om produksjon, omformning, overføring, omsetning, fordeling og bruk av energi m.m. (energiloven) LOV-1990-06-29-50	Lov satt av Olje- og energidepartementet.
Lov om tilsyn med elektriske anlegg og elektriske utstyr (el-tilsynsloven) LOV-1929-05-24-4	Lov satt av Justis- og beredskapsdepartementet.

3.4. Prosesstrinn

Prosesstrinnene vises i figur 3.5 og gir en oversikt over trinne som må gjøres for å løse oppgaven. Prosesstrinnene er laget etter en ISO 9000 og IPD-tankegang, og viser de fire trinnene i prosessen, hvilke punkter som må gjøres for hvert trinn og viser hvordan en må gå frem og tilbake mellom punktene for å gjøre forandringer.





Figur 3.5: Illustrasjon over ISO 9001 og IPD-tankegang.

4. TEORI OG TEKNOLOGIUTREDNING

For å gjennomføre prosjektoppgave er det nødvendig å bygge opp et teoretisk og teknologisk kunnskapsgrunnlag som kan bidra til en tilstrekkelig god forståelse for å kunne løse viktige fysiske og tekniske problemstillinger og å danne spesifiseringsgrunnlag for utviklingsarbeidet.

4.1. Grunnlagsteori

I det følgende kapittelet vil det bli redegjort for nødvendig teori og teknologi i forbindelse med miljø-vennlig energikonvertering og lagring, innledningsvis med og spesielt fokus på fysikk knyttet til vannturbiner og batterilagring.

4.1.1. Elektrisk grunnlagsteori

Elektrisitet er et fenomen som har vært kjent lenge. Thales fra Milet, en gresk filosof og matematiker, viste at etter rav ble gnidd kunne den lettere tiltrekke seg gjenstander og viste dermed elektrostatiske fenomener allerede rundt 600 f.Kr. Dette fenomenet ble ikke utforsket mer før William Gilbert beskriver det i verket sitt *De Magnete* på 1600-tallet, hvor han beskrev tiltrekningskraften som skjer med enkelte stoffer når de blir gnidd mot hverandre som elektrisitet. Selve ordet elektrisitet kommer fra det greske ordet elektron som betyr rav. Benjamin Franklin påviste at lynet er en elektrisk gnist og innførte betegnelsene positiv og negativ ladning [27].

Elektrisitet kan bli forklart ved begrepene elektrisk ladning, elektrisk strøm, elektrisk potensial og elektromagnetisme. Elektrisk ladning er mengde elektrisk energi som måles i coloumbs, og batterier lagrer elektrisk ladning. Elektrisk strøm vil si at det er elektriske ladninger som er i bevegelse, strømmen beveger seg i en leder fra ett punkt til ett annet. Elektrisk potensial henviser til elektriske energiforskjellen mellom to punkter. I ett batteri vil den elektriske potensialforskjellen være mellom den positive og negative enden til batteriet, dette måles i volt. Elektromagnetisme er det som gjør at elektrisk energi blir generert fra mekanisk energi og motsatt. Elektromagnetisme er forholdet mellom elektrisitet og magnetisme, hvor strømmen vil kunne variere magnetisk feltstyrke og bytte dens retning [28].

4.1.2. Generering av elektrisitet

Kjemi

Luigi Galvani var en italiensk lege og fant ut i 1780 at musklene i flodde froskelår trakk seg sammen når de kom i kontakt med statisk elektrisitet. Senere kom den italienske fysikeren Alessandro Volta fram til at dette skyldes at to forskjellige slags metaller blir ladde når de begge berører en ledende væske. Volta lagde det første galvaniske elementet og satte elementer sammen til et batteri, kalt voltasøyle. Dette trodde man var verdens første elektrokjemiske

batteri helt til nye arkeologiske funn ble gjort. Nå tror man at det første elektrokjemiske batteriet ble laget i Babylon for 2 500 år siden. Dette batteriet, kalt Babylon-batteriet, var en enkel leirkrukke med en kobbersylinder med en jerntråd i midten, hvor sylinderen og jerntråden var dekket med en væske, antageligvis sitron juice eller liknende. De spekulerer hva de brukte dette batteriet til og tror det ble brukt til å skape ild.

I 1746 i Europa kom leidnerflaske, som var en elektrisk kondensator som kan lagre elektrisk ladning med høy spenning. Dette var en viktig oppfinnelse for å kunne forske på elektriske fenomener uten behov av elektriske maskiner. I 1859 kom blyakkumulatoren, som er det eldste oppladbare batteriet. Denne type batteri omdanner tilført elektrisk energi ved en elektrokjemisk reaksjon mellom bly og svovelsyre, og senere avgi energien igjen i form av elektrisk strøm.

Spenningsrekken er en tabell over elektrodereaksjoner med tilhørende verdier for standard elektrodepotensial i løsning ved 25°C. Denne rekken kan benyttes for å vurdere hvilke reaksjoner som kan foregå spontant og vurdere hvilke metaller som kan utfelles på katoden under elektrolyse. Det er derfor nyttig å se på spenningsrekken når det er snakk om kjemiske batterier.

Induksjonsprinsippet

Hvis en magnet faller gjennom ei spole vil det induseres en elektromotorisk spenning i spolen. Hvis en leder dras gjennom et magnetfelt vil det bli indusert en elektromotorisk spenning som forårsaker strøm i lederen, dersom det er en lukket krets. Mekaniske krefter som får en leder til å rotere i et magnetfelt vil derfor få en indusert spenning i lederen, som overføres til en ytre krets som gir strøm. Det er dette som kalles elektromagnetisk induksjon. Maxwells elektromagnetiske teori forklarer hvordan induksjon viker. Teorien sier at et varierende magnetisk felt induserer et elektrisk felt, hvor det induserte elektriske feltet står vinkelrett på magnetfeltet. Dersom en krets som plasseres langs det elektriske feltet vil dette virke på de frie elektronene i lederen som forårsaker en indusert strøm.

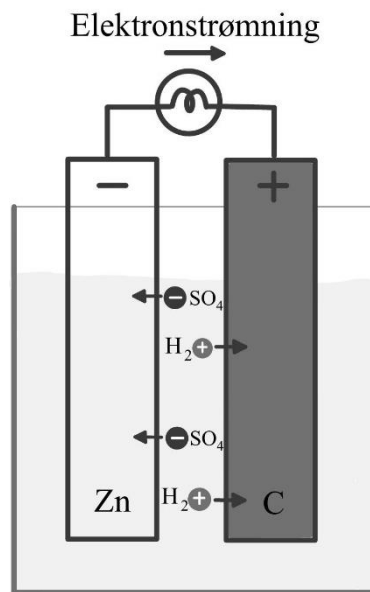
Elektromagnetisk induksjon ble oppdaget av Michael Faraday i 1831, som viste at en strøm oppstod når man bevegde en magnet inn, gjennom eller ut av en ringformet leder. Sammenhengen mellom elektrisitet og induksjon kalles i dag for Faradays lov som sier at indusert spenning i en elektrisk krets er lik endringen av magnetisk fluks gjennom kretsen.

Fenomenet induksjon utnyttet Nikola Tesla til å omforme mekanisk energi til elektromagnetisk energi. Fra dette fant han opp den første vekselstrømgeneratoren. Vekselstrøm er elektrisk strøm som skifter retning periodisk. Derfor vil det i gjennomsnitt gå like mye strøm i begge retninger langs en leder, noe som er det motsatte av likestrøm. Likestrøm flyter strømmen kun i én retning med samme styrke. Vekselstrøm er gunstig for å frakte strøm opp til 500km siden det er enklere og billigere enn likestrøm, men blir avstanden lengere brukes høyspent likestrøm, ettersom dette gir mindre strømtap.

4.1.3. Kjemisk lagring av elektrisitet

Batterier er kilde til elektrisk energi som blir brukt i transportmidler, elektroniske enheter og lysenheter. Batterier kan brukes som den eneste kilden til strøm, men kan også bli brukt som en til en sekundærkilde eller en standby elektriskkilde. Ett batteri består av en rekke celler som befinner seg i en felles konteiner og er koblet sammen for å fungere som en kilde til elektrisk effekt.

Cellen i batteriet er en enhet som transformerer kjemisk energi til elektrisk energi. Den enkleste cellen er galvanisk celle, eller voltaisk celle, og gir en demonstrasjon på hvordan en elektrokjemisk celle fungerer, se figur 4.1. Cellen består av en bit karbon (C) og en bit sink (Zn) som ligger i en løsning med vann (H_2O) og svovelsyre (H_2SO_4), løsningen kalles elektrolytt.



Figur 4.1: Illustrasjon av en galvanisk celle.

Elektroder er lederne hvor strømmen forlater eller ankommer til elektrolytt, hvor elektrolytt er en løsning som reagerer med elektrodene og leder elektronene. Elektrolytt kan bestå av salt, syre eller en alkalisk løsning. I noen celler er elektrolytten i væskeform, mens andre typer celler vil løsningen være en krem.

Beholderen kan bestå av ulike typer materiale, men det må oppbevare elektrolytten uten å reagere med løsningen. I tillegg blir beholderen brukt til å montere elektrodene.

Batterier kan deles i to kategorier, primerbatterier og sekundærbatterier. I en primær celle vil den kjemiske reaksjonen tære på en av elektrodene, vanligvis den negative elektroden, som etter hvert må bli erstattet eller cellen må kastes. En sekundær celle kan lades opp. I en slik celle vil elektrodene og elektrolytten bli endret av den kjemiske reaksjonen som skjer når cellen leverer strøm. Cellene kan gjenopprette sin opprinnelige tilstand ved å tvinge en elektrisk strøm gjennom dem i motsatt retning av utladningen.

Når en last blir koblet til elektrodene i cellen vil elektroner strømme på grunn av potensial differansen til elektrodene. Elektronene vil vandre fra den negative elektroden, kalt katoden, gjennom den eksterne lederen (lasten), til den positive elektroden, anoden. Spenningsforskjellen mellom elektrodene varierer utfra materialet de er laget av og

elektrolytten sin sammensetning. Strømmen som cellen leverer er avhengig av resistansen til hele kretsen, det inkluderer kretsen inne i cellen også. Den indre resistansen til cellen er avhengig av elektrodene størrelse, avstanden de har i elektrolytten og resistansen elektrolytten har. Desto større elektrodene er og jo kortere avstanden mellom dem i elektrolytten, men uten å berøre hverandre, vil den indre resistansen i cellen være mindre og mer strøm vil det være mulig å levere til lasten.

En kondensator er en elektrisk komponent som består av to ledere som skiller av en isolator. Kondensator kan oppta ladning og lagre elektrisk energi i et elektrisk felt. Kondensator motsetter seg endring i spenning, derfor må strøm til for å endre spenningen. Ved vekselstrøm fra induktanser vil strømmen ligge etter spenningen. Kondensator brukes derfor som fasekompensator, for å redusere den faseforskyvningen som opptrer. Superkondensator er en kondensator med stor kapasitet, stort forhold mellom ladning og spenning. Slike typer kondensatorer kan benyttes til lagring av elektrisk energi. Fordelen med en superkondensator sammenlignet med vanlige batterier er at energitettheten er lav, men opp- og utladningen skjer fort, siden den ikke er avhengige av elektrokjemiske reaksjoner.

Ladningskapasitet er betegnelsen for den maksimale elektriske ladning som kan leveres fra et batteri. Ladningskapasitet blir ofte angitt i amperetimer (Ah), der én Ah er derfinert som den mengde elektrisk ladning som avgis i løpet av en time når strømstyrken er på én ampere (A). Den elektriske energien blir betegnet som wattimer (Wh) eller kilowattimer (kWh), og er produktet av utladestrøm, utladetid og batteriets elektriske spenning [28].

For å finne batterikapasiteten må man finne den elektriske ladningen, Q , målt i coulomb (C), fra følgende likning

$$Q = I * t, \quad (4.1)$$

I er strøm målt i ampere (A) eller amperetimer (Ah) og t er tid målt i timer (h). Et batteri har en dyp utladning som indikerer prosentdelen av den totale kapasiteten til batteriet som har blitt utladet. Dyp utladning blir definert som kapasiteten et batteri har til å bli utladet fra fulladet dividert på batteriets nominelle kapasitet, og blir vanligvis presentert i prosent. For eksempel hvis en 100 Ah batteri blir utladet i 20 minutter ved en strøm på 50 A, vil den dype utladningen være $50 * 20 / 60 / 100 = 16.7\%$

Energien, E , i batteriet er gitt ved:

$$E = P * t, \quad (4.2)$$

eller

$$E = I * V * t$$

Hvor t er tiden i timer (h) og P er effekt i W, som igjen er produktet av strøm, I (A), og spenning V (V).

I de fleste batterier er den en sammenheng mellom dyp utladning og livssyklusen til batteriet. Desto oftere batteriet blir ladet og utladet, jo kortere vil livssyklusen værere. Det er som regel ikke anbefalt å utlade batteriet fullstendig, ettersom dette vil redusere livstiden til batteriet drastisk. Derfor er det mange batteriprodusenter som spesifiserer maksimum anbefalt dyp utladning for gunstig drift.

En livssyklus til et batteri er antall sykluser et batteri kan opprettholde i optimal drift. En syklus er utladning av batteriet, med etterfølgende full oppladning. Hvis batteriet utlades jevnlig på anbefalt dyp utladning så vil batteriet ha flere brukbare sykluser, enn hvis batteriet blir fullstendig utladet. En annen faktor som er avgjørende for batteriets levetid er hvordan den ivaretas, da særlig i forhold til temperaturen. Er omgivelsestemperaturen for varm kan batteriet overopphetes, og er det for kald må batteriet jobbe hardere og krever en høyere spenning for å lades. Begge disse faktorene kan redusere livstiden til batteriet og derfor burde de holdes på en mild temperatur.

Det vil også skje tap i et batteri. Et standard batteri har en effektivitet på 80%, som igjen betyr at for å få ut 100 Ah av batteriet må den lades med 120 Ah.

4.1.4. Overføring av ulike energiformer til elektrisitet

Fornybar energi er energi som blir hentet fra naturlige, repetitive og vedvarende energistrøm som forekommer i lokalmiljøet. Eksempler på dette er solstråling, vind, biomasse og vann. Begrepet vannkraft betyr å høste fallende vann for å produsere effekt, vanligvis i form av elektrisk effekt. Historisk har vannkraft blitt mye brukt, blant annet for å kverne korn. Andre kilder av vannkraft er bølger og tidevann. Vannkraft er et de de mest etablerte, brukte og langt levende fornybare energikilden til generering av elektrisitet. Vannkraft kan variere fra veldig stor skala, på gigawatt, til liten skala, på kW.

Mulighetene for å benytte vannkraft er avhengig av topografi og mengde regn som kan gi nok vann, men potensialet er stort. Dette potensialet blir ofte undervurdert på grunn av at gunstigheten i små tomter blir neglisjert, selv om disse installasjonene av vannkraftverk er størst i antall. Vannkraftanlegg har noe av den beste omgjørings effektiviteten av alle kjente energikilder, med opptil 90 % fra vann til ledning. Det kan ofte være kostbart å bygge, men kostnadene blir kompensert med den lange levetiden og lavvedlikeholds og operasjonskostnader.

Vannkraftverk blir kategorisert etter størrelse, stor (mer enn 100 MW), medium (15 til 100 MW), mini (0.1 til 15 MW) og mikro (mindre enn 100 kW). En ulempe ved vannkraft er den store påvirkningen det kan ha på miljøet i område rundt, dette gjelder hovedsakelig de store vannkraftverkene [29].

For å estimere vannkraft potensialet for et sted kan man bruke likning 4.3, som viser likning for potensiell effekt:

$$E_p = \rho Q_m g H, \quad (4.3)$$

hvor Q_m er massestrømmen, ρ er vannets tetthet, g er tyngdeakselerasjonen og H er den vertikale høyden til vannet. For å finne egenskaper i vannet kan man benytte Bernoulli sin ligning, som tar for seg prinsippet energibevaring:

$$p_0 + \frac{1}{2} \rho_0 v_0^2 + \rho_0 g h_0 = p_1 + \frac{1}{2} \rho_1 v_1^2 + \rho_1 g h_1 \quad (4.4)$$

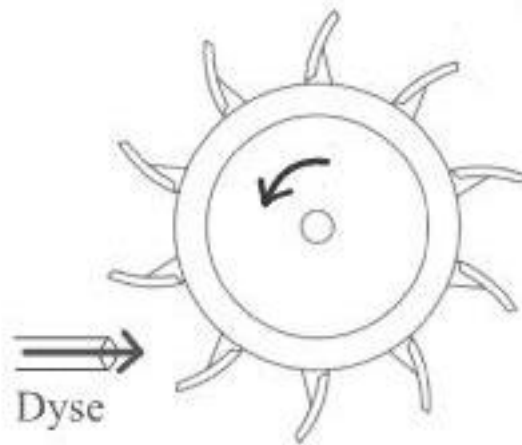
Ligningen kan sees på som en energiligning eller en trykklikning og benyttes for å beregne trykk og hastighet for væsker som strømmer inn eller ut av rør, dyser og tanker. I ligning 4.4 er p trykket, ρ massetettheten til vannet, g gravitasjonskonstanten, v er hastigheten og h er den

vertikale høyden i gravitasjonsfeltet. Tallene 0 og 1 viser til de ulike systemene hvor vannet befinner seg. Man kan også ta med friksionskontanten som oppstår i en turbin kan man benytte energi likningen:

$$p_0 + \frac{1}{2}\rho_0 v_0^2 + \rho_0 g h_0 + h_p = p_1 + \frac{1}{2}\rho_1 v_1^2 + \rho_1 g h_1 + h_t + h_L, \quad (4.5)$$

hvor h_L er tapshøyde, h_t er tapshøyde som oppstår i turbinen og h_p er tilført høyde fra pumpe [28]. Ved hjelp av turbiner blir energi fra vannet omformet til akseeffekt. Valget av turbiner er avhengig av både område og den nødvendige generatorhastigheten.

Turbiner kan bli delt inn i to grupper, impuls- og reaksjonsturbin, hvor forskjellen er måten de henter ut energi på. Felles trekket ved alle turbiner er løpehjulet, som er roterende elementet som omformer vannets potensielle energi til akseeffekt. I en impulsturbin opererer løpehjulet i luft og roterer på grunn av en vannstråle fra en dyse. Løpehjulet er designet slik at mest mulig av bevegelsesmengden til vannstrålen blir overført rotasjon akseeffekten. Etter at vannet har hatt kontakt med løpehjulet skal vannet ha mistet all energien og forsvinne ned i haleløpet. Impuls turbiner blir vanligvis brukt steder med store fallhøyder og lite strømningsapplikasjoner. Fallhøyde er den vertikale høydeforskjellen mellom gitt referansepunkt og fri væskeoverflate i reservoaret. På grunn av impulsturbinene sin enkle konstruksjon er de som regel lite kostbare. Dette sammen med deres gode pålitelighet i fallhøyde- og strømningsvariasjoner, og enkle vedlikeholdelse gjør at de ofte er den billigste turbinen for småskalaanlegg [30].



Figur 4.1: Illustrasjon over hvordan en vannturbin fungerer.

Akseeffekten beregnes ved rotasjonshastigheten til turbinen og momentet som generes ved formelen

$$P_a = \omega T = \frac{2\pi n}{60} T, \quad (4.6)$$

hvor T er momentet, n er turbinens turtall og ω er vinkelhastigheten. Hvor uttrykket for T er

$$T = \rho Q v_j r. \quad (4.7)$$

v_j er hastigheten på vannet fra dysen og r er avstanden mellom løpehjulets sentrum og punktet hvor vannstrålen treffer skovlen. Den totale virkningsgraden til en impulsturbin er gitt ved [29]

$$n_t = \frac{2\pi n T}{\rho g H Q_m} * 100\% \quad (4.8)$$

En reaksjonsturbin har et løpehjul som er nedsunken i vann og befinner seg i en trykk-beholder. Løpehjulet og beholderen er nøye konstruert for å minimere klaringen mellom dem slik at all vannet passerer gjennom løpehjulet. Bladene på løpehjulene er profilert slik at trykk forskjellen på bladene skaper en løftekraft og får løpehjulet til å rotere. Reaksjonsturbiner har trekkør, som er et konisk rør som strekker fra beholderen rundt løpehjulet til under det nedre vannivået. Effekten dette har er at trekkørret øker netto fallhøyde over løperen. Netto fallhøyde er summen av trykkhøyde og hastighetshøyde like før vannet går inn i turbinen. Reaksjonsturbin blir brukt i mikrovannanlegg steder hvor det er stor strømning, men lite høyde [30].

For å kunne designe ett tilstrekkelig hydroanlegg er det nødvendig å finne ut hva vannføringen og vannhastigheten er i en bekk eller elv. Dette kan gjøres på forskjellige måter og vil variere utfra budsjett, tidsbegrensning og strømningstype. Den enkleste måten å finne vannstrømning på er å benytte bømte-metoden som bare vil gjelde for små bekker. Metoden går ut på bruker hele vannstrømmen for å fylle en bømte med et bestemt volum og måle tiden dette tar. Dette ser man fra likningen for volumstrømmen Q :

$$Q = v * A \quad (4.9)$$

Eller

$$Q = \frac{V}{t} \quad (4.10)$$

Hor v er hastigheten, A er arealet, V er volumet og t er tiden. Bømte-metoden vil være nødvendig å gjennomføre flere ganger i løpet av året for å få kartlagt variasjonene i vannstrømningen.

En annen metode som kan benyttes er hastighets-område metoden («*velocity-area methode*»). Denne metoden kan benyttes for størres vannstrømninger som elver og større bekker. For denne metoden bruker man likning 4.9, altså finner man hastigheten vannet bruker gjennom ett gitt areal. Dette kan man finne ut ved blant annet en strømningsmåler som har en propell med ett gitt areal, hvor måleren viser hvilken hastighet som er i vannet. Etersom vannets hastighet varierer utfra hvor målingen blir tatt er det nødvendig å utføre målinger for ulike steder i tvernsnittsarealet av elven eller bekken for å få et mer nøyaktig resultat.

4.2. Aktuelle teknologiløsninger

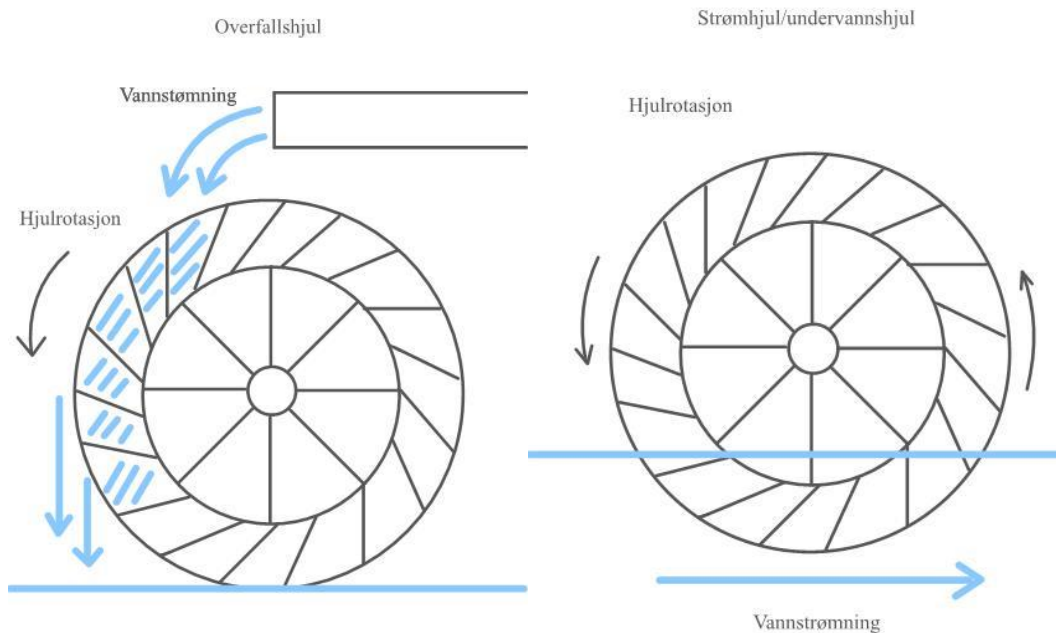
4.2.1 Vannhjul

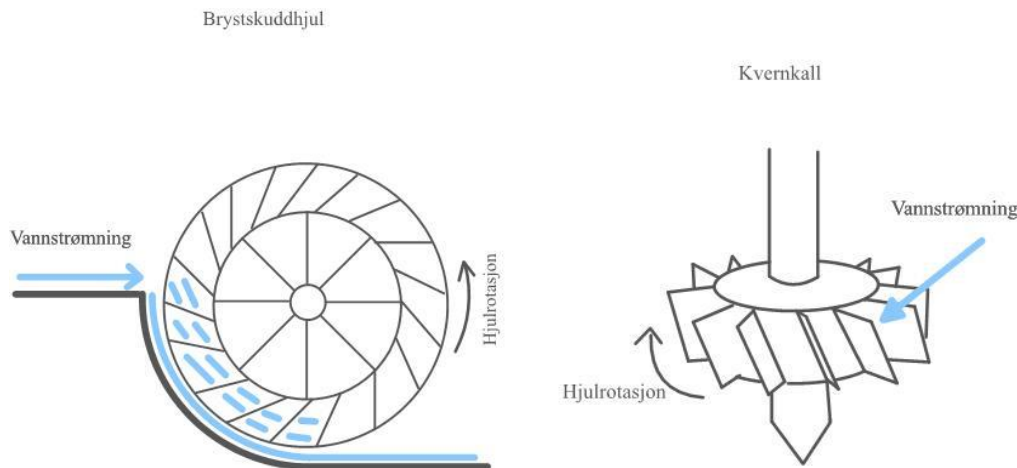
Å benytte vann til mekanisk energi er en gammel teknologi. Fra gammelt av hadde man vannhjul som ble benyttet for å drive kvernsteiner, som igjen kvernet korn til mel, hvor vannhjulene gikk rundt ved hjelp av vannet i bekker, fosser eller annet vannfall. Det har blitt gjort funn av vannhjul i Midtøsten som er rundt 2000 år gammel, hvor funnet var av en vertikal-akset vannhjul, kalt kvernkall. En kvernkall går rundt ved å hjelp av støt fra vannets

bevegelsesenergi som skjer når en vannstråle i fri luft strømmer mot kvernkallens skråstilte skovler. En vertikal-akset vannhjul er mindre effektivt enn et horisontal-akset vannhjul, dette.

Ved den industrielle revolusjonen var vannhjul et kjent konsept, hvor den vanligste var den horisontal-akse overfallshjul. Dette vannhjulet går rundt ved at vannet kommer ovenfra og benytter tyngdekraften, hvor det er bygd blader inntil kanten av hjulet slik at de fungerer som bøtter som fanger vannet, og på grunn av tyngden får hjulet til å spinne, som igjen genererer effekt. En annen type horisontal-akse vannhjul var strømhjulet eller undervannshjulet som ble montert i en elv hvor vannets bevegelse fikk hjulet til å gå rundt. Fordelen med overfallshjulet var at den var vanligvis mer effektiv og mindre utsatt for oversvømming enn strømhjulet, men ulempen er at den kan bare bli brukt steder hvor forskjellen mellom innstrømmingen og utstrømmingen til vannete er i det minste tilsvarende diameteren til hjulet.

Det ble også oppfunnet et hjul som kalles brystskuddhjul som er et kompromiss mellom overfallshjul og undervannshjul. Ved brystskuddhjul ankommer vannet på samme nivå som med hjulets akse og renner på undersiden av hjulet. Derfor krever dette hjulet lite fallhøyde samtidig som det ikke er like utsatt for oversvømming som det undervannshjulet er. Etter hvert ble vannhjulene byttet ut med de mer rimelige og effektive turbinene hvor den første vannturbinen ble utviklet i Frankrike i 1832. En turbin er annerledes enn et vannhjul ved at de driftes fullstendig nedsenket i vann, vannet blir ledet inn på bladene [30].





Figur 4.2: Illustrasjon av ulike vannhulløsninger.

4.2.2. Turbiner

Vanlige turbiner innenfor impulsturbiner er peltonturbin, turgoturbin og cross-flow turbin. Peltonturbin er mest effektiv for vannstråling med høyt trykk og lite vannmengde, og passer derfor best steder med mulighet for stor fallhøyde. Disse type turbiner er gunstige ettersom de har et lang livsløp og er svært effektive under riktige forhold. Løpehjulet til turbinen har et sett med skovler hvor vannstråle fra et eller flere munnstykker treffer en skovle etterhvert som hjulet roterer [30].

Turgoturbinen har et løpehjul som ligner på det peltonturbiner har bare delt i to og derfor også billigere enn løpehjulet til en peltonturbin. Turgoturbiner passer steder med fallhøyde fra 10 m og oppover. De regnes som effektive og pålitelige turbiner, med lang levetid. De er riktignok ikke mye i bruk ettersom de krever dyr støpning. Turgoturbin kan brukes i situasjoner med mer vannmengde enn peltonturbin, og derfor kan de generere mer effekt med mindre fallhøyde [30].

Cross-flow turbin, blir også kalt Mitchell- eller Bankiturbin, er en relativ enkel turbin å lage og kan benyttes fra et bredt utvalg av fallhøyder, fra 3 til 60 m. Dette er en turbin som har et lavt maksimum effektivitet, men kan holde en rimelig høy del-strømnings effektivitet. De er enkle å vedlikeholde og blir som regel brukt til lokale energianlegg i utviklingsland [30].

Vanlige turbiner innenfor reaksjonsturbinen er propeller- og Francis turbin. En propellerturbin ligner på propell som skip bruker, men i stedet for at propellen påvirker vannet, vil turbinen gå rundt på grunn av at vannet beveger seg. Disse turbinene kan bli installert på mange forskjellige måter og ofte bygges de inn i demninger. Propellerturbiner er store ettersom de driftes i store vannmengder og bladene på turbinene krever nøyaktige maskineringer, noe som fører til at disse turbinene er veldig dyre. Fordelen er at propellertrubin kan driftes på en fallhøyde så lavt som 1.5 m. Kaplanturbinen er en propellerturbin hvor vinkelen til bladene på turbinen kan justeres for å driftes ved lavere strømningsrate, noe som gjør denne type turbin enda dyrere igjen. [30].

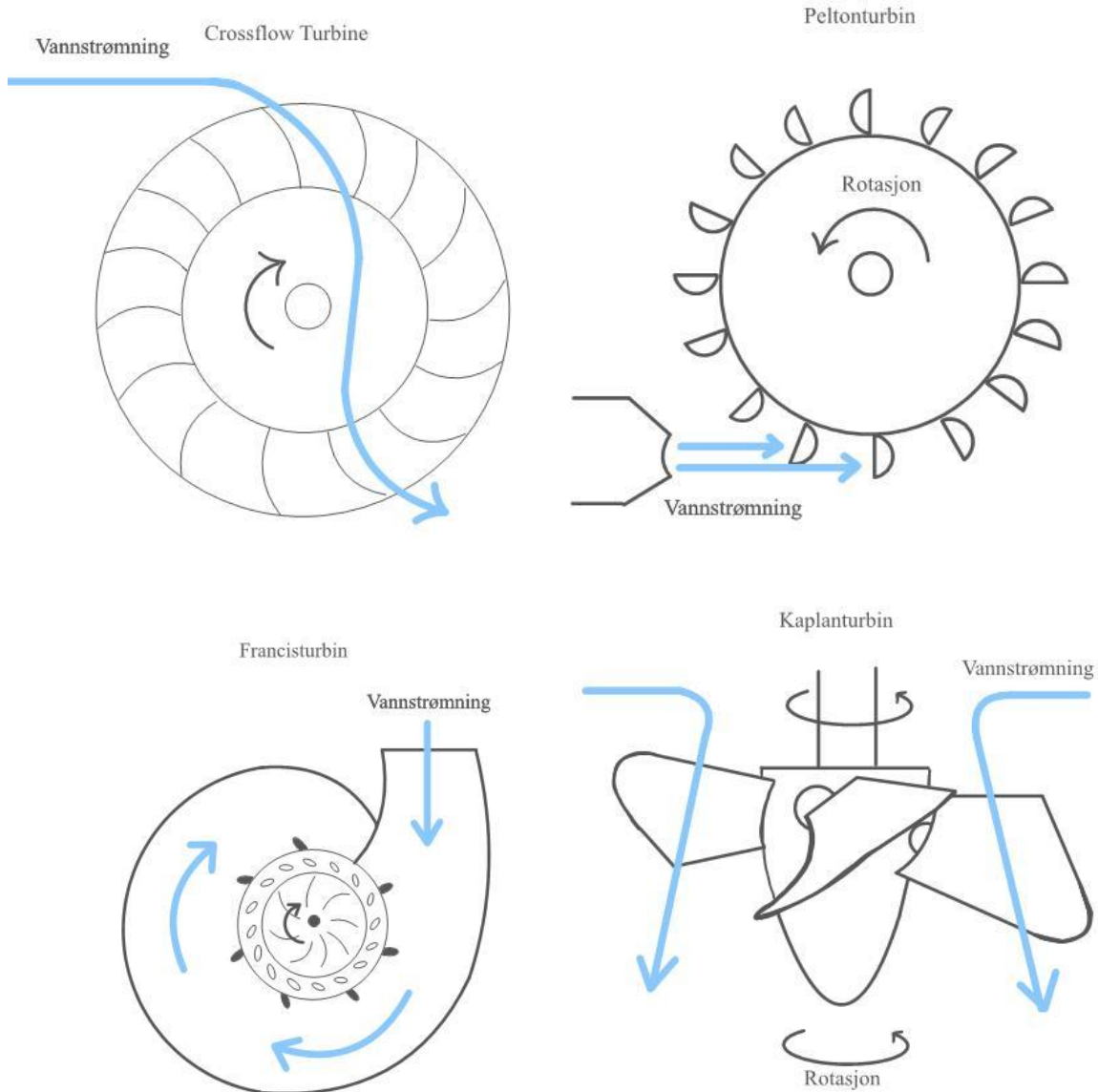
Francisturbinen er den mest vanlige maskinen som brukes i store installasjoner, men de er vanskelig å støpe og er derfor svært dyre. Dette er grunnen til at de sjelden bli brukt i små anlegg, men det har i nyere tider blitt produsert mindre modeller som er mye billigere fra smidd

og sveiset stål. Francisturbiner krever fallhøyde på minst 2.5 m og er utsatt for skader fra steiner som minker effektiviteten i stor grad [30].

Når man skal velge hvilke turbiner en skal ha er det en rekke faktorer man må se på. Generelt er reaksjonsturbiner egnet for høy strømming og lav fallhøyde, mens impulsturbiner er mer egnet for høy fallhøyde og lav strømming. Det er også turbin typer som overlapper hverandre når det kommer til faktorer som vannstrømming og fallhøyde, og de viktigste faktorene og ta i betraktning ved valg av turbin type er effektivitet, kostnader og vedlikehold. For å få maksimum effektivitet må turbinen opereres med korrekt omdreiningstall for det trykkhøyde den driftes under. For å finne passende turbin blir det derfor benyttet en klassifisering etter spesifikk omdreiningstall, N_s , som følger likningen:

$$N_s = \frac{n \cdot (P_a \cdot 1,4)^{0,5}}{H^{1,25}}, \quad (4.11)$$

Hvor H er fallhøyde (m), n er turtall (rpm) og P_a er effekten (kW) som turbinen vil produsere. Hvor stort turtallet er vil være avhengig av type generator som benyttes og om hvorvidt den drives direkte av turbinen.



Figur 4.3: Illustrasjon av ulike vannturbiner.

4.2.3. Generatorer

En elektrisk generator er en enhet som benytter elektromagnetisk induksjon for å omdanne bevegelsesenergi til elektrisitet. Ved induksjon vil en elektrisk ladning i nærvær av et magnetisk felt i relativ bevegelse til ladningen, enten ved forskyvning eller endring av intensitet, oppleve en kraft i en retning vinkelrett til både retningen for relativ bevegelse og magnetfeltlinjene. Det er denne kraften som blir en elektromotorisk kraft (emf) som produserer en spenning eller potensialfall langs lederen og skaper en elektrisk strøm. Generatorer har en stator, som er en spole med ledninger eller permanente magneter som forblir statiske, og en rotor, som er magneter eller en spole med ledninger som roterer inne i statoren. Når rotoren begynner å rotere vil det bli produsert en elektrisk strøm. Generatorer kan deles i to hovedkategorier, likestrøms- (DC-) og vekselstrømsgenerator (AC-generator).

I en vekselstrøm synkrongenerator er frekvensen til spenningen som blir generert proporsjonal med turtallet til rotoren. Dette er en standardtype generator som brukes i kraftsystemer.

En vekselstrøm asynkrongenerator har en viktig anvendelse i kraftsystemer i forbindelse med vindturbiner. Asynkrongeneratoren kan absorbere de uberegnelige svingningene i mekanisk kraft levert av vindressursen og koster mindre enn synkrongeneratorene, spesielt i størrelsen opp til en megawatt. Den viktigste egenskapen til asynkrongeneratoren er at rotasjonshastigheten ikke er fast, slik som i synkrongeneratoren, men varierer ut fra dreiemomentet eller effekten som leveres [32].

Likestrømgeneratorer

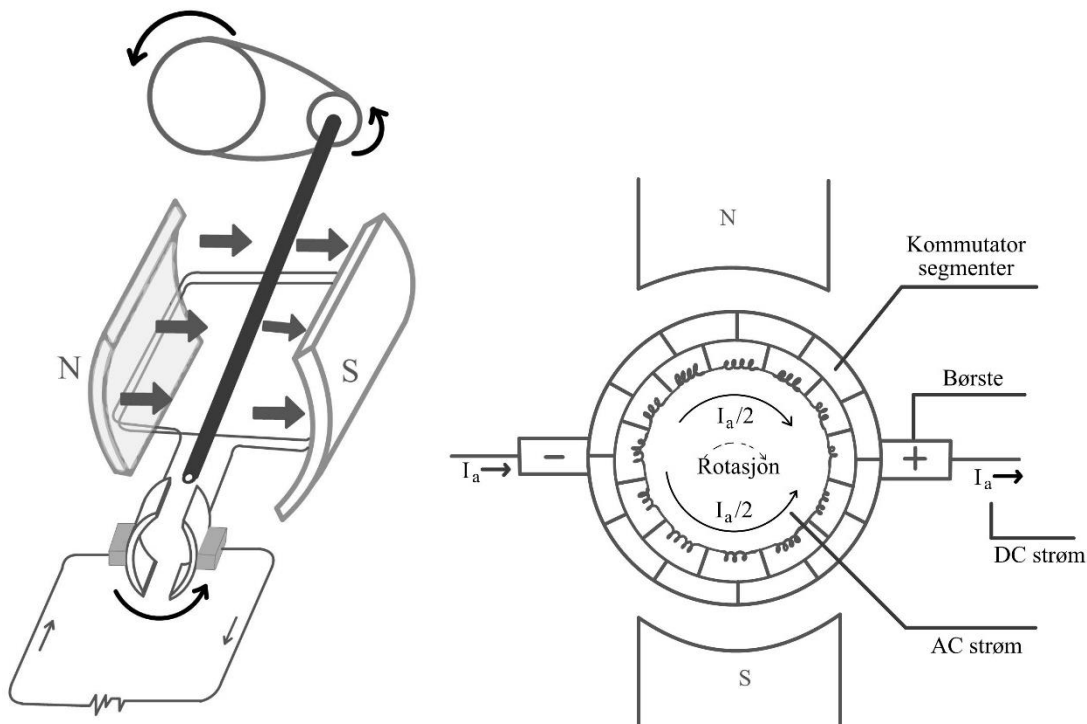
En likestrømsgenerator omformer mekanisk energi til likestrøm. Dette skjer ved hjelp av magnetfeltet som oppstår mellom polene som er plassert i den sirkelformede statoren sin indre omkrets. Rotoren som er plassert i statorens senter har viklinger som er tilknyttet lamellene i en kommutator. Når rotoren roterer oppstår det en elektromagnetisk induksjon, og gjennom kommutatorene ledes det likestrøm til nettet.

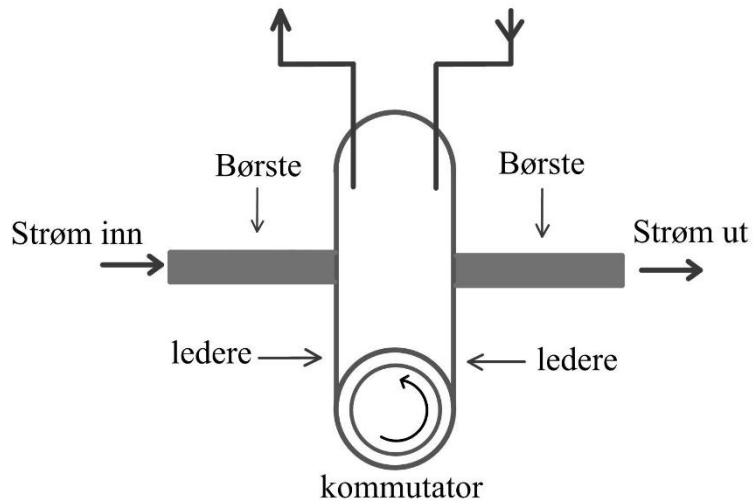
Vekselstrømgeneratorer

Vekselstrømsgenerator omformer mekanisk energi til vekselstrøm. Det finnes to forskjellige typer av vekselstrømsgenerator, det er synkrongenerator og asynkrongenerator. Ved en synkrongenerator er frekvensen som genereres direkte koblet til turtallet til rotoren, som igjen gjør at generatoren fungerer ved forskjellige turtall. Dette fungerer ved at rotoren setter opp et roterende magnetfelt som induserer spenning i statorens viklinger. Synkrongeneratorer er det som hovedsakelig blir benyttet og i moderne kraftsystemer blir disse koblet parallelt med hverandre. De større generatorene må ha turtallsregulering og spenningsregulator for å ha konstant frekvens og spenning, men dette er ikke nødvendig for små generatorer til mikrokraftverk.

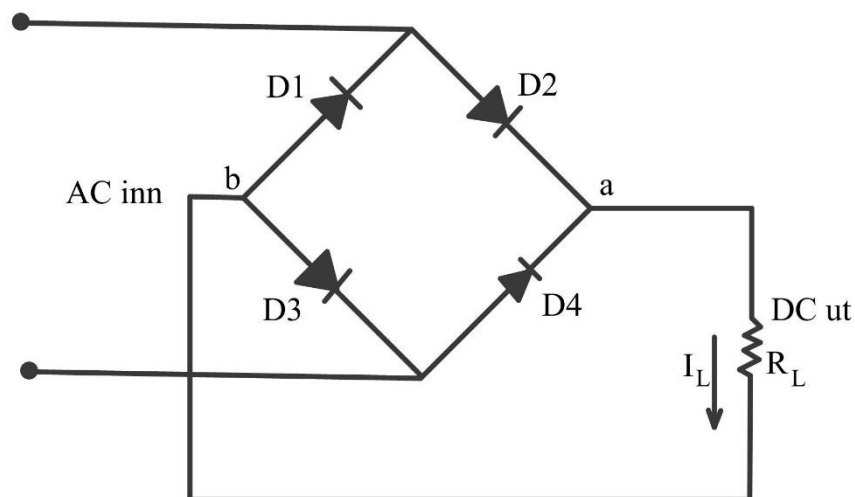
En asynkrongenerator er ofte en elektrisk motor som drives i revers for å produsere elektrisitet. Disse generatorene er billigere, mer robuste og mer tilgjengelige enn synkrongeneratorer. Asynkrongeneratorer har en frekvens som er avhengig av akselhastighet og last. Siden frekvensen til denne generatoren er utsatt for svingninger er applikasjonene begrenset ettersom problemer med følsom elektronikk kan oppstå, som TV-skjerm og PC. Dette problemet kan igjen løses med en induksjonsgenerator-kontroller som kan forbedre frekvens kontrollen, men dette vil igjen gjøre at kostnadene øker. Generelt blir det anbefalt å benytte en synkrongenerator fremfor en asynkrongenerator.

Ettersom batterier blir ladet opp med likestrøm behøves det en likeretter for en vekselstrømsgenerator. En likeretter er et elektronisk apparat som omformer vekselstrøm til likestrøm. Det finnes ulike typer likerettere. En av typene er mekanisk likeretter som omformer AC-strøm til DC-strøm ved hjelp av en mekanisk bryter. Kommutator, som benyttes i elektrisk generator, er et eksempel på en mekanisk likeretter som snur strømmen ved å bytte om tilledningene til strømkretsen ved hjelp av å rotere. En annen type likeretter er elektronisk likeretter som omformer strømmen ved halvledere som dioder. Dioder vil blokkere strømmen for den negative delen av strømbølgen og lede den positive, eller motsatt, slik at det blir en DC-strøm.





Figur 4. 4: Illustrasjon av en dynamo med fokus på funksjonen til en kommutator, som er en mekanisk likeretter.



Figur 4. 5: Figuren viser en elektrisk likeretter som benytter dioder, D1, D2, D3, D4 i en strømkrets for å konvertere AC-strøm til DC-strøm. Denne typen kalles en helbølge likeretter.

4.2.4. Mekanisk effektoverføring og omgiring

For å kunne overføre effekt fra turbin- eller vannhjulakslingen over til generatorakslingen behøves det et mekanisk girsystem. Et girsystem vil muliggjøre at turbinen eller vannhjulet kan drifte på deres optimale turtall samtidig som generatoren vil produsere korrekt spenning og frekvens som behøves. Det finnes ulike typer girsystemer som kan benyttes, som for eksempel tannhjul, planetgir og reim. Som nevnt tidligere kan turbin-/vannhjulakslingen være direkte koblet til generatoren, uten girsystem, men det gjør at generatoren vil koste mer. Fordelen med dette er at det er omtrent 100 % effektivt i effekt overføringen og det behøves ingen vedlikehold.

Reimdrift er en svært effektiv måte å overføre effekt på for de ulike turtallene på turbinen/vannhjulet og generatoren. Reimdrift behøver en del vedlikehold som innebærer at de er rene, tørre, hardt strammet og riktig justert for at de skal være effektive. Det finnes ulike typer reimdrifter som kan vurderes for et mikrovannsystem, det er kilereimer, flatreimer og tannreimer.

- Flatreimer: har en effektivitet på 95 – 98 %, er stille og må være svært strammet. Dette fører til stor belastning. Nøye tilpasning behøves og girforholdet går opp til 5:1.
- Kilereimer: er robuste med mye toleranse for tilpasningen (alignment) og spenningsjusteringer. Effektiviteten ligger på 90 til 95 % og kan ha et girforhold på 5:1.
- Tannreimer: velig effektive med virkningsgrad på 95 – 98 % med lite behov for spenning. Det er dyrere enn kilereim og mindre levetid. God tilpasning er viktig og girforholdet kan gå opp til 7:1.

En mekanisk girboks med tannhjulsviksel tillater en rate på 10:1 til 50:1. En girboks lager mer støy, er kostbare og mindre effektive en reimdrift, og er derfor ikke anbefalt for mindre systemer.

4.2.5. Batteriteknologi

Batterier er under konstant utvikling og finnes i stort omfang. Vanlige oppladbare batterier er blybatterier som er mye brukt i kjøretøy og andre applikasjoner som behøver høy verdier av strøm last. Disse type batteriene har fordelen med lave kostnader, enkle å produsere, effektivt å resirkulere og presterer godt under lave og høye temperaturer [34].

AGM-batterier (absorberende Glass Matte) er en type bly-batteri, men batteriet har et glassfibernet mellom batteriplatene som tjener til å holde på elektrolytten og skille platene. Syren renner ikke ut om det skulle gå hull på batteriet. Et slikt batteri koster ofte mer enn et standard bly-batteri, men har fordelen av å tåle flere dyputladninger og flere sykluser før den må kastes. GEL-batteri er et annet eksempel på ett bly-batteri hvor silikastøv tilføres til elektrolytten og det dannes en tykk masse, som gele. Et GEL-batteri har mange av de samme fordelene som AGM, i forhold til et vanlig bly-batteri, ved at de har kortere ladetid og lengere levetid. Fordelene ved AGM er at de er et bra starts batteri og kortere ladetid enn GEL. Fordelene med Gel er at de er optimale for gjentatte dype utladninger, tåler flere sykluser enn AGM og har den beste motstanden mot støt og vibrasjoner. Fordelen med de begge er at de kan monteres og brukes i alle retninger. Tabellen 4.1 gir en oversikt over aktuelle batterityper.

Tabell 4.1: Oversikt over aktuelle batterier som kan benyttes til batterilagring, med informasjon over batteriets egenskaper.

Batteri-type	Spennning	Kapasitet	Pris	Størrelse	Dyputladning	Levetid (antall sykluser for dyp utladning)
DYNAC AGM	6 V	240 Ah	3 400 kr	261x181xH276mm	80 %	550

DEEP CYCLE						
Monolith Power	6 V	210 Ah	4 059 kr	264x181xH241mm	80 %	550
LP, Faston PS-612, AGM	6 V	1,2 Ah	239 kr	97x24xH58 mm		
Faston, Standard blybatteri	12 V	4 Ah	328 kr	195x47xH74 mm		
T1 Faston, AGM blybatteri	6 V	7 Ah	361 kr	151x34xH100 mm		
Faston standard AGM	12 V	7 Ah	329 kr	151x65xH100 mm		

Behovet en har for elektrisitet varierer gjennom dagen, hvor batteriene kan bli ladet opp når elektrisiteten ikke benyttes ellers. For et mikrohydroanlegg vil det vanligvis generere strøm med samme rate gjennom hele døgnet. Mikrohydroanlegg har tendenser til å produsere mer effekt enn det som behøves, noe som kan føre til at batteriet overlader. Hvis et batteri fortsetter å bli ladet opp etter at den er fulladet, vil energien som er lagret bli brukt til å «koke» opp elektrolytten som igjen fører til at batteriet blir tørket ut og ødelagt. Derfor behøves det ladekontroll som kan oppnås ved en ekstern regulator som merker spenningen i batteriet. Når spenningen er for høy, som indikerer at batteriet ikke behøves å lades mer, så vil regulatoren sette på en dump load, som vil si at strømmen vil bli sendt til et lite varmeelement i stedet for batteriet.

Batterier kan kobles på to forskjellige måter, ved seriekobling eller parallellkobling. Ved seriekobling er batteriene koblet i serie og den tilsvarende strømmen går igjennom batteriene, som vil si at strømmen er lik over alt i kretsen. Resistansen til kretsen er summen av resistansene til alle komponentene i kretsen, det samme vil også gjelde for spenningen. Dersom en komponent slutter å lede strøm, eller det er et punkt i kretsen som ikke leder strøm, vil dermed ikke noe strøm i kretsen bli ledet. I parallellkobling blir spenningen over batteriene lik spenningen over hele kretsen. Dersom et batteriene har en spenning på 7 V, så vil spenningen over hele kretsen være 7 V. Strømmen i kretsen blir fordelt over hver av batteriene, strømmen er derfor ikke lik over alt i kretsen, men strømmen inn og ut av kretsen vil være lik, vist i likning 4.13. Ved å dividere én på resistansen i hvert ledd og summere dette finner man resistansen for hele kretsen, som kommer av Ohms lov, formel 4.12, som sier at strøm er lik spenning dividert på resistans. Det er også muligheter for å kombinere serie og parallellkobling for å få ønsket strøm og spenning.

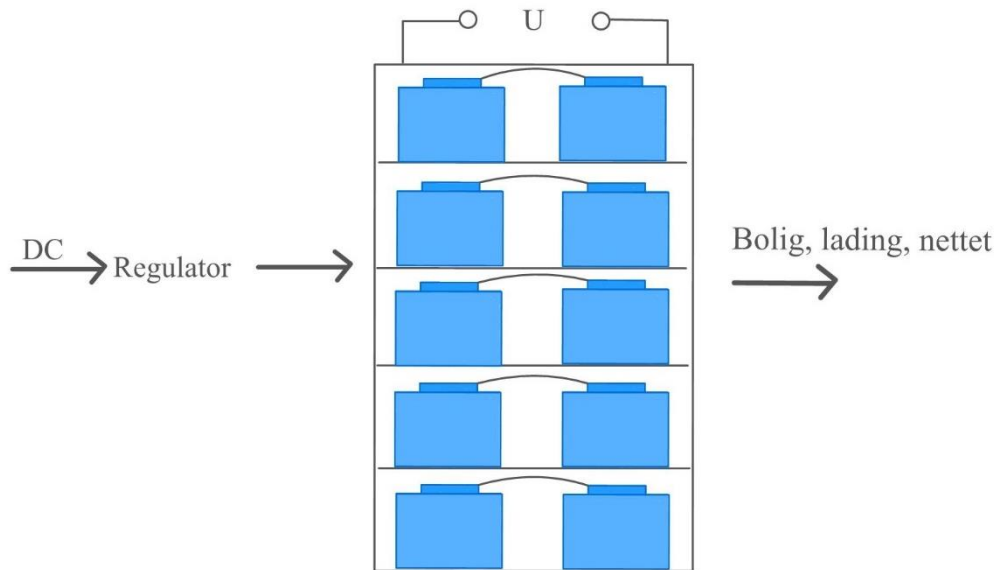
$$U = I * R \quad (4.12)$$

Ohms lov sier at spenning, U , er strøm, I , multiplisert med resistans, R .

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad (4.13)$$

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n \quad (4.14)$$

Likningene 4.13 og 4.14 viser hvordan resistansen, R , og strømmen, I , blir beregnet for kretsen utfra strømmen og resistansen i til hvert av leddene, fra ledd 1 til ledd n , for en parallellkobling.



Figur 4.5: Illustrasjon av batterilagring. Eksempel på stabling av batterier, hvordan de kan motta strøm fra fornybare energikilder og kjøpe strøm fra nettet, hvordan den kan selge/levere strøm til husstand og andre enheter, samt selge strøm til nettet igjen.

Tabell 4.2 gir en oversikt over elbiler som blir benyttet mye i Norge, med fokus på batteriet og hva som kreves for å lade det.

Tabell 4.2: Oversikt over eksempler på elektriske biler som benyttes i Norge, med tilhørende informasjon av bilens batteri og rekkevidde kjøretøyet har.

Modell	Ladetid fra 10 til 80 %	Maks ladeeffekt	Oppgitt ladeeffekt	Batteri netto/brutto	Oppgitt rekkevidde (WLTP)
Audi e-Tron GT	19 min 15 sek	265 kW	270 kW	83,7/93,4 kWh	468 km
Tesla Model 3 SR	23 min 55 sek	155 kW	170 kW	50 kWh	448 km
Opel Mokka-e	26 min 47 sek	101 kW	100 kW	46/50 kWh	324 km
Tesla Model 3 LR	32 min 30 sek	230 kW	250 kW	?	614 km

Polestar 2	36 min 6 sek	153 kW	150 kW	75/78 kWh	470 km
Volvo XC 40	37 min 5 sek	151 kW	150 kW	75/78 kWh	417 km

Et bilbatteri behøves ikke å lades raskt, dersom den ikke skal benyttes med en gang. For en fritidsbolig hvor bilen vil stå lenge til lading før den benyttes, behøves det derfor ikke en hurtiglader. Ett typisk bilbatteri er på 12 V, hvor lading og utladings effektiviteten er en skala som kan brukes for å vise hvor effektivt ett batteri er. AGM batterier har typisk 80 % dyp utladning. Utladningseffektiviteten – virkningsgraden er den målte energien du kan ta ut av batteriet delt på energien som behøvdtes for å lade batteriet. For AGM er dette typisk 95 %. Det finnes ulike typer elbilladere, hvor level 1 elbillader benytter 120 V AC og tapper 12-15 A. Level 2 lader benytter 240 V AC. Fra generator til strøm til batteriet skjer det tap, som igjen påvirker virkningsgraden.

For å finne ut hvor det er aktuelt å benytte mikrovannkraftanlegg må man ta hensyn til ulike faktorer som hvor mye vannstrømning er tilgjengelig og hvor myes statisk trykk eller høyde er til stedet. Dette vil avgjøre om det vil lønne seg med rør som leder vannet, eller andre vannførende løsninger og hvilke maskiner som er aktuelle for å hente ut energien.

5. SPESIFISERING

Spesifiseringen danner grunnlaget for krav man må stille til produktløsningene, både med hensyn til egenskaper, fysiske størrelser og dimensjonering. På den måten kan det i størst mulig grad tilfredsstillende de egenskapene man måtte ønske som kjøper eller bruker av løsningen.

5.1. Produktmål

Målet for produktet presenteres i denne delen og danner grunnlag for egenskaper som det er ønskelig at produktet har. Delmålene blir kategorisert for å få bedre oversikt og for å unngå at viktige delmål blir glemt.

5.1.1. Hovedmålsetting

Følgende produktmålsetting kan settes i forhold til kundens eller brukerens krav:

Energiproduksjonen skal skje ved en så enkel som mulig utnyttning av lokal vannkraft og energilagring, være mest mulig driftssikker og pålitelig over tid og medføre mulige investerings- og driftskostnader i forhold til energiproduksjon. Systemløsningen skal også omfatte muligheter for tilkopleing fra andre strømkilder, med fokus på lokal energilagring med batterikapasitet og konvertering til mindre boliger og lokal elbilladning.

For en kunde som skal benytte seg at et mikroenergianlegg er det viktig at anlegget er driftssikkert og pålitelig. Anlegget må være lett å vedlikeholde og muligheter for utskifting av deler. Dette vil gjelde for både energiproduksjonen, energilagringen og konverteringsprosessen.

5.1.2. Delmålsettinger/fokuspunkter

Delmål

Konstruksjonsmål

- Konstruksjonen er lite kompleks og er designet etter prinsipper om standardisering og modularisering.
- Anlegget skal være driftssikker, særlig med tanke på elektrisitet og mekaniske komponenter.
- Anlegget skal ikke være for komplisert og rimelig å bygge.
- Produktet skal være trygt.
- Konstruksjonen burde være robust og kunne vare i lang tid.

Brukermål

- Alle komponentene i anlegget skal være enkelt å montere og det skal være mulig å bytte deler.
- Det burde ikke være for mye vedlikeholdsarbeid, og det å vedlikeholde komponentene skal være enkelt å gjennomføre.
- Det skal være trykt for bruker å drifte anlegget, å kunne demontere og vedlikeholde det.

Systemmål

- Batterikassen skal kunne levere en DC-spenning på 12 V til omformer.
- Omformeren skal gjøre om spenning fra batterikassen til 230 V AC til boligen.
- Batterikassen skal kunne ha tilstrekkelig med batterikapasitet til å kunne dekke drift av bolig og elbil for gitt periode.
- Batterikassen skal kunne få strøm fra andre kilder i tillegg som f.eks. solcellepaneler.

Designmål

- Produktet skal ikke være sjenerende og visuelt ødelegge landskapet.
- Anlegget skal ikke gjøre skade på omgivelsene rundt seg og være minst mulige inngripende.

Økonomiske mål

- Anlegget skal lønne seg i lengde, hvor man vil spare penger over tid.
- Anlegget vil ha deler som er lett tilgjengelige og rimelige.

En batterimodul må kunne forsyne det man kan tenke seg å være en typisk norsk kjernefamilie med en bolig på omkring 130 m² eller to hytter på 60 m².

Elektrisitet skal generes ved hjelp av vannturbiner, lagres av batterier og benyttes på et avsidesliggende område for tre boliger med tilhørende elektriske biler.

Bilene som tilhører disse hyttene vil gå ut fra spesifikasjonene til bilmodellen Audi e-Tron som har en maks ladeeffekt på 265 kW og batterikapasitet på 64 kWh. Ettersom dette foregår ved hytter er det ikke nødvendig med hurtigst mulig lading av bilene, derfor vil det holde med to til tre vannhjul eller turbiner.

Det må også vurderes hvor mye elektrisk effekt en hytte vil trekke. Her må det altså vurderes hvilke apparater som benyttes og mengde strøm de trekker. I tillegg må hyttenes størrelse og oppvarmingsbehov bestemmes og om dette skal dekkes av strøm alene. Alle disse faktorene vil være avgjørende for batteriene som behøves.

Batteriene vil måtte kunne levere nok effekt til både hyttene og bilene, og i tillegg ha betydelig mengde lagringskapasitet for tider når bekken ikke renner. Det vil også være aktuelt å se på andre energikilder som kan kombineres med vannturbinene, som vindmøller og solceller.

5.2. Produktkrav

Fra Pugh sin metodikk har man en skala som benyttes for å vektlegge de ulike egenskapene som er nødvendig.



Figur 5.1: Gradering fra Pughs metodikk som viser viktighetsaksen, hvordan produkttegenskaper vektlegges.

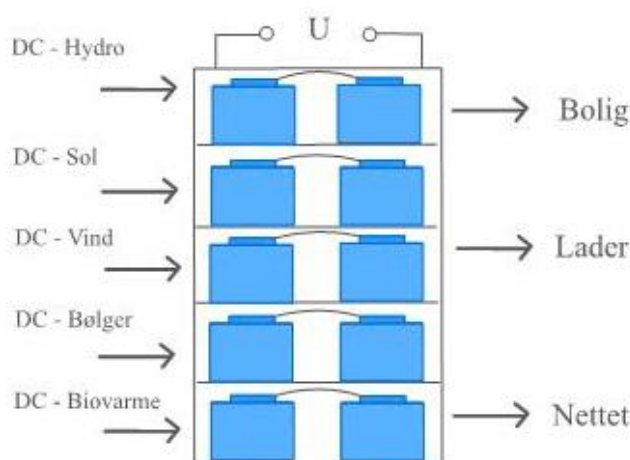
Tabell 5.1: Produkttegenskaper og deres gradering av viktighet, med utdyping og merknad.

Hovedegenskap	Utdypning	Viktighet	Merknad
Konstruksjonskrav			
Kompleksitet	Det er viktig med en enkel modell som ikke er for komplisert, innenfor dette vil det inngå antall deler og hvor enkelt den er å demontere for bruker.	5	175 kWh
Vedlikehold	Lettvint å kunne vedlikeholde komponentene, ha oversikt og tilsyn. Kunne gå an å skifte deler. Lite vedlikehold vil også være gunstig.	4	
Robusthet	Produktet må kunne tåle ulike værtyper og være driftssikkert. Det tenkes at dette produktet vil måtte tåle både kulde og varme, og lang levetid er gunstig.	4	20 år
Modularisering	Å benytte allerede eksisterende løsninger for elektriske komponenter og standarder. Dette er for å kunne ha mindre utgifter og enkelt kunne skifte ut eller reparere deler.	4	
Kostnad	At anlegget ikke skal være for dyrt å bygge. Det skal lønne seg å bygge og drifte dette anlegget.	4	
Brukskrav			
Brukervennlig	Hvor lett er produktet å drifte, montere, demontere og skifte deler for bruker.	4	
Mobilitet	Er det gunstig å kunne flytte de ulike komponentene i anlegget.	1	

Effekt	Er det viktig for turbinen å kunne generere mye effekt og å ha høy virkningsgrad.	3	7 kW
Lagringskapasitet	Viktigheten det er for batteriene å kunne lagre strøm over en lengre tid.	4	403 kWh
Sikkerhetskrav			
Hardførhet	Sikkerheten til anlegget. Anlegget tåler ulike vær fenomener uten fare for å skade mennesker eller dyr.	5	
Elektrisitet	De elektriske komponentene må være driftssikre. Det må ikke oppstå brann eller fare for personskade.	5	
Designkrav			
Estetikk	Hvordan designet vil passe inn i landskapet. Vil det være forstyrrende eller vil det skli naturlig inn.	3	
Naturvern	Det er viktig at komponentene er skånsomt mot naturen og ikke utgjør skade på dyr og fisker.	4	

5.3. Metriske grensespesifikasjoner

For å kunne ha en forutsetning for hvordan anlegget skal være, må det settes opp en metrisk grensespesifikasjon. Dette forteller hva anlegget må kunne tolerere, hvilken størrelse det kan ha og hvor mye energi den må kunne generere. Hvilken toleranse produktet kan ha settes opp i en tabell som viser hva makskravet og minimumskravet vil være.

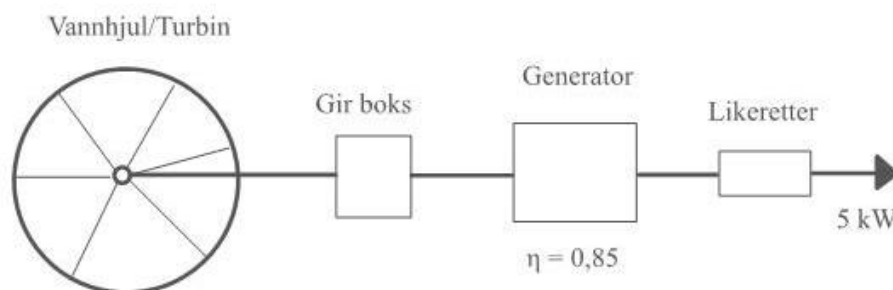


Figur 5.1: Illustrasjon av en batterikasse med strømkilde fra ulike fornybare kilder til bolig, elbillader og nettet.

Tabell 5.2: Tabell med metriske grensespesifikasjoner (toleranser) for batteriløsningen.

Egenskap	Minste	Median/optimalt	Maksimum
Lagringskapasitet	120 kWh	262 kWh	403 kWh
Lade tid	24 h	53 h	82 h
Utladingstid	30 dager	60 dager	90 dager
Lengde	135 cm	168 cm	200 cm
Bredde	135 cm	168 cm	200 cm
Høyde	235 cm	243 cm	250 cm
Virkningsgrad	0,90	0,95	0,99

Figur 5.2 viser en prinsipptegning over høsting av hydroenergi. Tegningen viser de ulike delene i energihøsting prosessen for å få en oversikt over ulike ledd som har en sentral rolle i strømgenereringen. Prinsipptegningen viser at det er en turbin/hjul som vil gå rundt fordi den blir påvirket av vannet. Dette fører til at armaturen til en generator vil gå rundt, men det vil først være nødvendig med en girboks som forandrer vinkelhastigheten på akslingen til et passende turtall for generatoren. Deretter vil det bli nødvendig å konvertere strømmen til DC med en likeretter, enten innebygd i generatoren eller som en egen enhet. Tegningen viser også at en effekt på 5kW skal komme ut av systemet etter at det har gått tap i alle deler av denne prosessen, noe som er viktig informasjon for i hvordan man skal lage dette produktet.



Figur 5.2: Grov systemskisse for hovedelementene i en mulig konseptløsning.

Tabell 5.4: Oversikt over metriske grensespesifikasjoner (toleranser) som turbinen eller vannhjulet kan ha.

Egenskap	Minste	Median/optimalt	Maksimum
Ytelse	5 kW	15 kW	20 kW
Turtall	20 rpm	40 rpm	60 rpm
Diameter (x-akse)	50 cm	165 cm	280 cm
Bredde (y-akse)	60 cm	90 cm	120 cm
Antall skovler	3	13	24
Lengde på renne	1 m	3 m	5 m

Antall generatorer	1	2	3
Turtall generator	2500 rpm	2750 rpm	3000 rpm
Generator størrelse (L x B x H)	30 x 20 x 20 cm ³	40 x 30 x 30 cm ³	50 x 40 x 40 cm ³
Generator ytelse	5 kW	15 kW	20 kW

5.4. Metriske grovspesifikasjoner

Metrisk grovspesifikasjoner gir inntrykk av produktets størrelse. Grunnmålene gir fundamentet for videre design- og utviklingsarbeid. Grovspesifikasjonene ligger innenfor toleranseområdet som er vist i tabell 5.2 og 5.4.

Tabell 5.5: Grove spesifikasjonsvalg for tidlig estimering av de ulike elementene i prosessen.

Egenskap	Grov verdi
Vannhjul:	
Diameter	120 cm
Lengde på renne/rør	5 m
Diameter	90 cm
Fall høyde på vannet	3 m
Generator:	
Ytesle	5 kW
Turtall	2500 rpm
Lengde	40 cm
Bredde	30 cm
Høyde	30 cm
Virkningsgrad	0,8

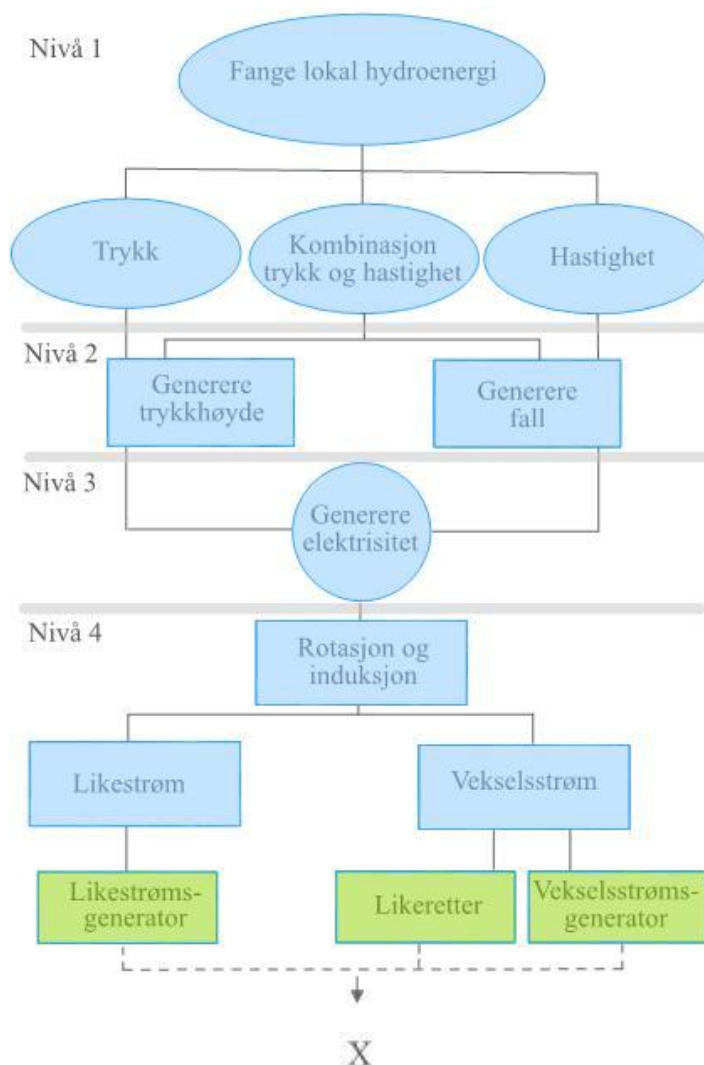
6. KONSEPTUTVIKLING

Dette kapittelet vil kartlegge og diskutere ulike komponenter som er nødvendige for å skape et konsept. For å komme frem til den beste løsningen benyttes funksjonsanalyse som grafisk organiserer og beskriver produktfunksjonene, og igjen gir en bedre oversikt over komponentene.

6.1. Overordnet funksjonsanalyse

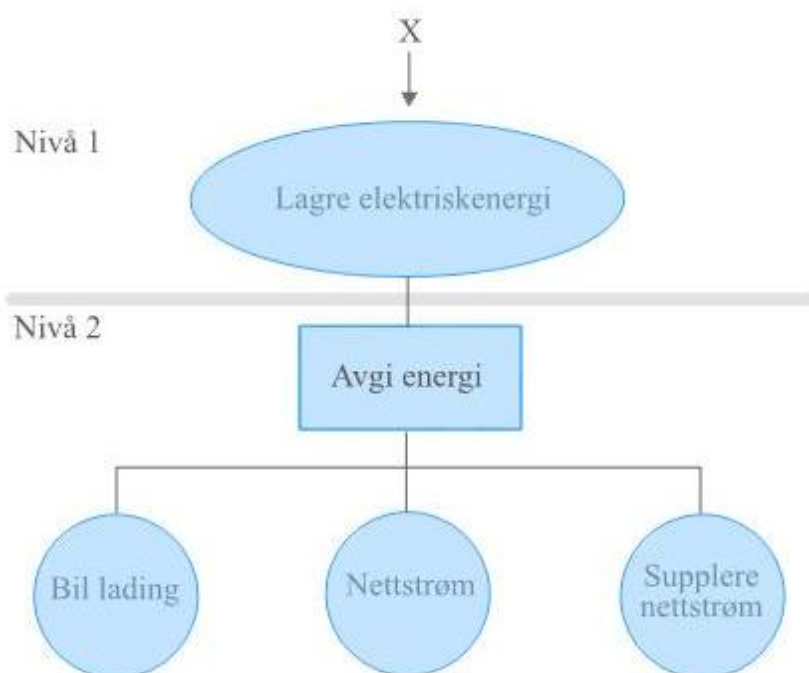
Funksjonsanalysen deles inn i fire nivåer hvor nivå 1 er primer funksjon, nivå 2 er sekundær funksjon og nivå 3 og 4 er øvrige funksjonsnivåer. Produktfunksjonen blir beskrevet forskjellig ved de ulike nivåene.

Del 1: Strømgenerering



Figur 6.1: Illustrasjonen viser funksjonsanalyse av delen i prosessen som omhandler strømgenerering. Det gir en oversikt over produktfunksjoner med ulike funksjonsnivåer hvor hvert nivå gir en bedre oversikt over hva som er produktfunksjonen.

Del 2: Lagring av strøm

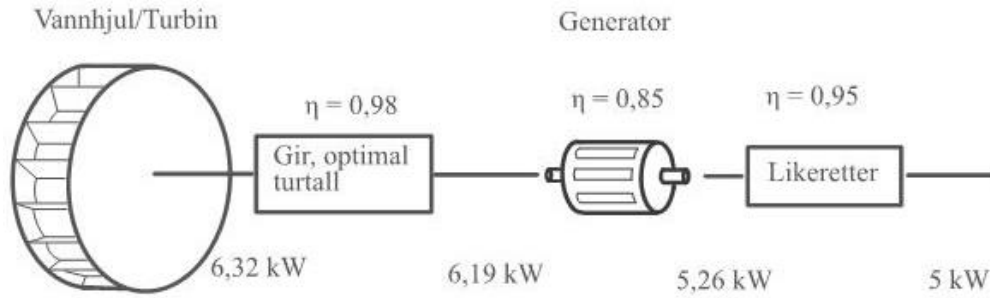


Figur 6.2: Dette er funksjonsanalysen over strømlagringsdelen i prosessen. Illustrasjonen presenterer produktets primærfunksjon som er at den skal kunne lagre elektrisitet og sekundærfunksjonen er at denne elektrisiteten igjen skal kunne avgis til billading, nettstrøm og supplere nettet.

I nivå 1 utdypes *hva gjøres*, nivå 2 blir *hvordan gjøres det* beskrevet, nivå 3 svares det på *hvorfor*, mens nivå 4 viser *hva som inngår og hvilke komponenter* som behøves. På denne måten blir produktfunksjonene systematisert og organisert. Dette skjer ved hjelp av en figur kalt funksjonstree. I treet blir de ulike nivåene representert, hvor primærfunksjonen og de viktigste sekundærfunksjonene etterfulgt av de resterende nivåene i form av forgreininger. Det er to forskjellige funksjonsanalysetrær en for strømgenerering konseptet og den andre for strømlagringen.

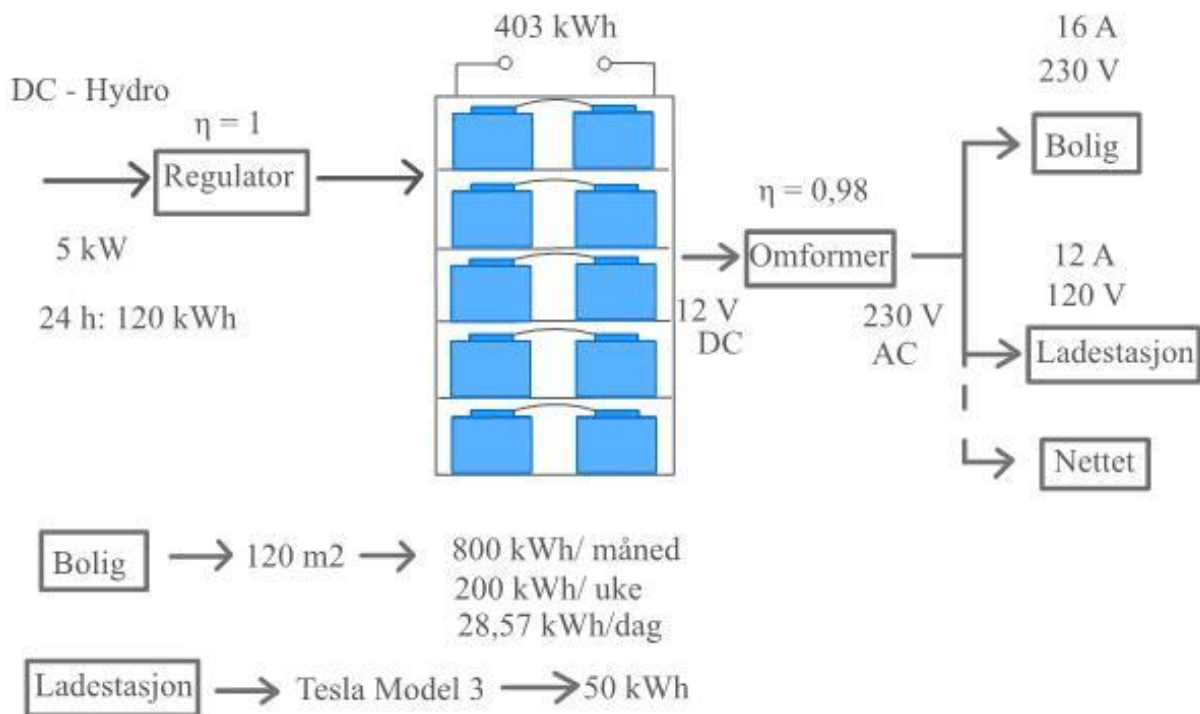
6.2. Grov systembeskrivelse for fangst av strømningsenergi

Systemet før fangst av strømningsenergi blir i grove trekk beskrevet i dette delkapittelet, fra energifangsten til strømlevering som skal til batteribanken.



Figur 6.3: Grov beskrivelse av effekt og energiflyt i systemet og ulike tapskilder som man må ta i betraktning.

6.3. Grov systembeskrivelse for lagring og overføring av elektrisitet



Figur 6.4: Detaljert beskrivelse av sentrale elementer i lagrings og konverteringssystemet for energi til ladestasjon, boliger og nett.

6.4. Drøfting for løsningsalternativer

Dette delkapittelet går igjennom ulike komponenter i prosessen og drøfter forskjellige alternativer for hvert element. De ulike alternativene blir skissert og beskrevet i tabeller.

6.4.1 Strømgenerering ved vannenergi

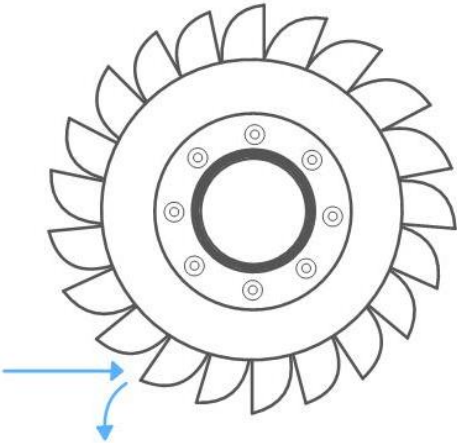
Det er ulike metoder for å generere strøm fra bekker og elver, både ved å benytte turbiner og vannhjul. Tabellen under beskriver ulike elementer for ulike turbiner, vannhjul og eventuelle andre løsninger som vil kunne være nyttige. For både turbiner og vannhjul vil skovlene, både form og vinkel, være av betydning for hvor mye energi de klarer å hente ut av vannstrømmen og de blir også derfor også diskutert enkeltvis og for mulige kombinasjoner.

Den følgende løsningsutredningen deles inn i tre trinn med to hovedtyper av turbiner/vannhjul i ulike varianter, samt ulike skovleformer, og til slutt generatoralternativer:

- Hurtigroterende turbiner (Pico, mikro og industrielle turbintyper)
- Sakteroterende vannhjul og enkle kvernkaller
- Aktuelle skovleformer og skovleløsninger, og evt. kombinasjoner
- Praktisk anvendbare generatortyper

Trinn 1: Ser først på hurtigroterende turbiner av ulike typer og varianter og egenskaper disse har (Jfr. Kapittel 5 og avsnitt 5.2. Produktkrav).

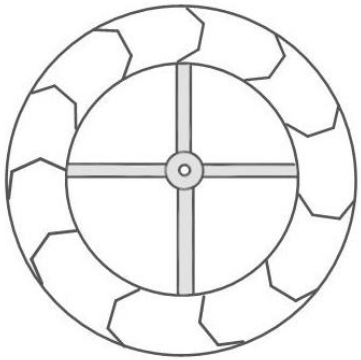
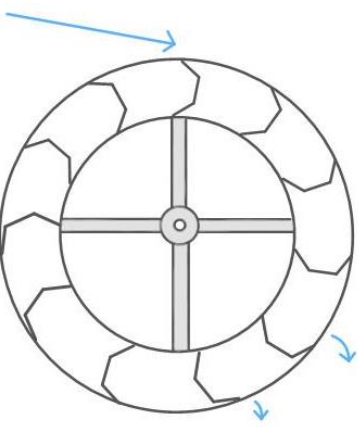
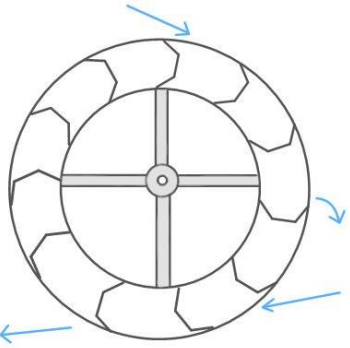
Tabell 6.1: Mulige løsningsalternativer for hurtigroterende turbintyper.

Løsning/skiss:		Fordeler	Ulemper
<p>Peltonturbin</p> 	<p>Impulsturbin. Virkningsgrad på 70 til 85 %. Kan oppnå opp til 95 %. Minste fallhøyde på 20 m.</p>	<p>Små-dimensjoner i forhold til effekt. Lang levetid. Kan være svært effektivt.</p>	<p>Krever høyt trykk og lite vannmengde. Komplisert vedlikehold. Dyr og krever mye beregninger. Hurtig roterende.</p>
<p>Turgoturbin</p>	<p>Impulsturbin. Fallhøyde fra 10 m og oppover.</p>	<p>Lang levetid. Effektivt. Pålitelig. Billigere løpehjul enn peltonturbin. Genererer mer effekt enn peltonturbin fra en lavere høyde.</p>	<p>Krever høyt trykk, men mindre enn peltonturbin. Dyr støpning. Kompliserte beregninger. Mindre effektive enn en peltonturbin.</p>

<p>Francisturbin</p>	<p>Reaksjonsturbin. Brukes vanligvis for store anlegg. Krever fallhøyde på minst 2.5 m.</p>	<p>Kan operere på både lav og høye fallhøyder.</p>	<p>Vanskelige å støpe og svært dyre. Utsatt for skader fra steiner som minker effektiviteten i stor grad.</p>
<p>Kaplanturbin</p>	<p>Reaksjonsturbin . Minste fallhøyde 1.5 m</p>	<p>Krever lav fallhøyde. Kan driftes på lave strømningsrate .</p>	<p>Store og krever nøyaktige maskineringer . Kostbare.</p>
<p>Crossflow-turbin</p>	<p>Impulsturbin. Fallhøyde fra 3 til 60 m.</p>	<p>Enkel å konstruere. Benyttes fra et stort utvalg av fallhøyder. Enkel å vedlikeholde.</p>	<p>Lavt maksimum effektivitet.</p>

Trinn 2: Ser deretter på enklere, mer tradisjonelle teknologiske løsninger som vannhjul og andre skovlløsninger som man finner hos gamle kvernkaller.

Tabell 6.2: Mulige løsningsalternativer for sakteroterende vannhjul.

Løsning/skisse:		Fordeler	Ulemper
<p>Vannhjul</p> 	<p>Et typisk vannhjul.</p>	<p>Enkel konstruksjon. Roterer sakte. Kan lages av tre.</p>	<p>Store dimensjoner i forhold til effekt. Lav effektivitet.</p>
<p>Overfallshjul</p> 	<p>Horisontal-akset vannhjul. Roterer ved hjelp av tyngdekraften fra vannet som kommer ovenfra. Fallhøyde på minst 4.5 m. Vanligvis en virkningsgrad på 50 til 70 %.</p>	<p>Enkel å konstruere. Sakte-roterende. Billig. Teknologi som har vært tilgjengelig lenge. Vanligvis mer effektiv enn andre vannhjul. Mindre utsatt for oversvømming enn Undervannshjul.</p>	<p>Store dimensjoner i forhold til effekt. Krever noe fallhøyde. Noe mer komplisert konstruksjon enn undervannshjul.</p>
<p>Pitchback- vannhjul</p> 	<p>Bygd tilsvarende som overfallshjul, men roterer motsatt vei og benytter dermed både tyngdekraften og vannstrømningen.</p>	<p>Enkel å konstruere. Krever mindre fallhøyde enn overfallshjul. Benytter energien i vannet to ganger, først fra tyngdekraften, deretter vannstrømninge</p>	<p>Krever store dimensjoner. Mer komplisert vannsystem enn overfallshjul.</p>

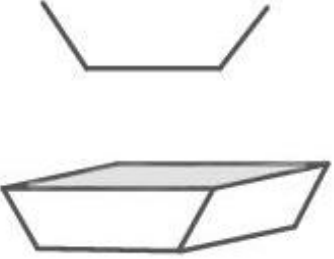
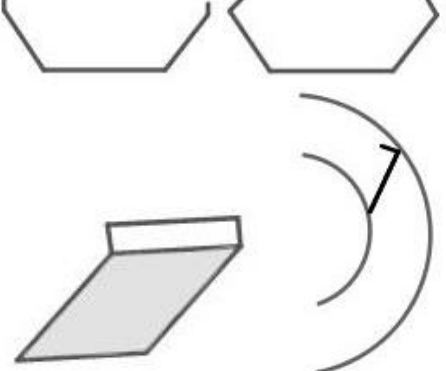
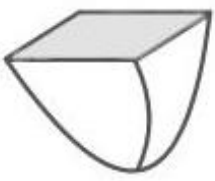
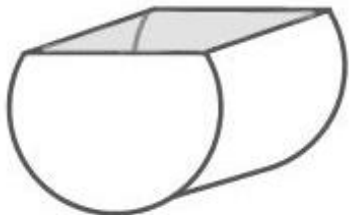
		n når den helles ut.	
<p>Undervannshjul</p>	<p>Horisontal-akset vannhjul. Roter pga. vannets bevegelsesenergi og monteres derfor i bekker eller elver. Virkningsgrad fra 30 til 40 %.</p>	<p>Krever ingen fallhøyde. Enkel konstruksjon.</p>	<p>Mindre effektiv enn overfallshjul. Mer utsatt for oversvømming. Krever mye vannstrømning.</p>
<p>Brystskuddhjul</p>	<p>Horisontal-akset vannhjul. Vannet ankommer på samme nivå som med hjulets akse og benytter vannets tyngde for å rotere. Fallhøyde mellom 1.8 til 2.4 m. Virkningsgrad på 50 til 65 %.</p>	<p>Krever lavere fallhøyde enn overfallshjul. Lite utsatt for oversvømming. Sakteroterende.</p>	<p>Store dimensjoner i forhold til effekt. Bruker bare én fjerdedel av rotasjonen til å benytte tyngdekraften. Derfor må hver bølge/skovle bære mer vekt enn på overfallshjul, øker belastning.</p>
<p>Kvernkall</p>	<p>Vertikal-akset vannhjul. Roter ved hjelp av trykk. Virkningsgrad 20 til 35 %</p>	<p>Enkel konstruksjon. Eldgammel teknologi.</p>	<p>Mindre effektiv enn horisontal-akset vannhjul.</p>




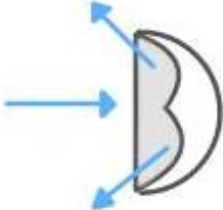
Trinn 3: Ser til slutt på ulike skovlformer og skovløsningsalternativer som kan være aktuelle ved videreutvikling og tilpasning av en løsning.

Tabell 6.3: Mulige løsningsalternativer og design for skovlformer.

Løsning/skisse:		Fordeler	Ulemper
Rett flate	Benyttet i vannhjul vil hjulet rotere ved vannets bevegelsesenergi.	Enkel konstruksjon, enkel å utføre.	Fanger ikke vannet og kan derfor kun bli brukt for å

			hente energi fra vannstrømming for vannhjul.
<p>Rett flate Rektangulært</p>	Kan benytte av et vannhjul, men vil da kun benytte bevegelsesenergien i vannet.	Enkel konstruksjon. Fordelen fremfor kvadratisk er at kan benyttes i smale og dype bekker, eller motsatt.	Fanger ikke vannet og kan derfor kun bli brukt til vannstrømming for vannhjul.
<p>Rettflate Skråstilt</p>	Benyttes i kvernkall i form av støt. Benyttes også for horisontal-akset vannhjul.	Enkel konstruksjon og design.	I turbiner vil dette lage støt, mindre energi blir overført. For vannhjul vil det ikke bære store mengder vann.
<p>Rett flate Krummet</p>	Benyttes blant annet i francisturbiner. Benyttes også for overfallshjul og brystskuddhjul.	Mindre støt og vannet kan forlate skovlen med liten hastighet (mer overført energi). For overfallshjul vil det fanger mer vann enn rett flate og vannet blir ikke like fort helt ut.	Mer avansert å lage/montere. Kan kreve avanserte beregninger.

<p>Firkantet</p> 	<p>Kan benyttes i overfallshjul, brystskuddhjul og Pitchback-vannhjul.</p>	<p>For vannhjul vil skovlen kunne fange store mengder vann og i tillegg benytte et stort areal for vannstrømning. Enkel å konstruere.</p>	<p>Ved mye vekt blir det mye belastning. Flere deler å koble sammen.</p>
<p>Firkantet med kant eller rett med kant.</p> 	<p>Kan benyttes i overfallshjul, brystskuddhjul og Pitchback-vannhjul. Fordelen er at når vannet treffer skålen, vil mindre skvette ut.</p>	<p>Enkel konstruksjon. Holder på vannet lenge. Vil kunne hindre vannet i å skvulpe over for innkommende vann.</p>	<p>Tilsvarende ulemper som ved firkantet og rettflate skråstilt.</p>
<p>Rektangulær åpning med oval bunn</p> 	<p>Kun aktuell for vannhjul.</p>	<p>Stort innputt areal, mer vann treffer skovlen.</p>	<p>Vil helle ut vannet fort. Lite volum i forhold til areal derfor lite vekt. Ikke enkleste konstruksjon.</p>
<p>Firkantet åpning med sirklet bunn</p> 	<p>Kun aktuell for vannhjul.</p>	<p>Vil holde på vannet lenge. Kan hindre vannet i skvulpe over ankomst. Rommer mye vann og dermed vekt.</p>	<p>Vil fungere dårlig for ved impuls.</p>
<p>Rund skålformet Sirkulær</p>	<p>Benyttes i noen peltonturbiner.</p>	<p>Kan benyttes i overfallshjul.</p>	<p>For en peltonturbin</p>

			vil det kreve høyt trykk og ikke like gunstig som en skjeformet skovle del på midten. Vil også være mer krevende å lage.
<p>Rund skål Oval (skjeformet)</p> 	Benyttes i noen peltonturbiner.	Kan benyttes i overfallshjul.	For et overfallshjul vil vannet bli helt ut raskere og derfor få mindre tyngde. Når det gjelder turbiner (da benyttes trykk) vil den ikke håndtere mye vannstrømning . For vannstrømning vil det være mindre areal.
<p>Halv rund skål Halvt Ovalt</p> 	Benyttes i turgoturbiner.	Kan brukes for mer vannstrømning	Ikke aktuelt for vannhjul.
<p>Skjeformet skovle delt på midten</p> 	Benyttes i peltonturbin. Er en skjeformet skovle som er delt i midten slik at når vannet treffer skovlen blir vannstrålen delt i to. Dermed	Hindrer vannet å treffe skovlen foran er derfor mer effektiv.	Krever mye beregninger. Mer komplisert å lage. Kostbart. Vil ikke være lønnsomt for vannhjul.

	forlater vannstrålen skovlen i en annen vinkel enn vinkelen vannstrålen traff skovlen.		
--	----------------------------------------------------------------------------------------	--	--

Tabell 6.4: Mulige løsningsalternativer for generatorer.

Løsning	Fordeler	Ulemper
Likestrømsgenerator	Leverer DC-strøm og behøver ikke en likeretter. Enkelt konstruert og billig.	Fra eldre tider, børster og kommutator. Har lavere virkningsgrad og mer slitasje.
Vekselstrøm synkrongenerator	Fungerer ved forskjellige turtall. De behøver lite vedlikehold og har en lang levetid. Er driftssikker og har høy virkningsgrad.	Behøver likeretter, som er et ekstra ledd og en ekstra kostnad. Kan være dyrt.
Vekselstrøm asynkrongenerator	Billigere og mer robuste enn synkrongeneratorene. De er også mer tilgjengelig.	Frekvensen er avhengig av akselhastighet og last. Frekvensen er utsatt for svingninger, dette gjør at applikasjonene er begrenset og en induksjonsgenerator kontroller ofte er nødvendig. Fører til ekstra kostnader. Behøver også likeretter.

6.4.2 Strømkonvertering og lagring av el-energi

For å finne ut hvor mange batterier som behøves og hvor mange det vurderes hvor mye spenning som systemet burde ha. I denne delen fremstilles ulike batteriløsninger og vurderinger.

Den følgende løsningsutredningen deles inn i tre trinn.

- Aktuelle batterityper og varianter som kan brukes
- Spenningen som batteriet burde levere, antall batterier som benyttes og koblingsmønster.
- Løsningsalternativer for sikker oppbevaring av batteriene.

Trinn 1: I trinn en blir det diskutert forskjellen på mange eller få batterier og utforsket forskjellige muligheter for spenningen batterikoblingen har.

Tabell 6.5: Mulige løsningsalternativer for strømkonvertering

Løsninger/skisse	Forklaring	Fordeler	Ulemper
Mange batterier		Billige. Enkelt å bytte ut hvis én eller flere skulle ryke.	Mere ledninger, mer tap i systemet. Mer plasskrevende.
Få batterier		Kan muligens kreve mindre plass totalt. Vil være mindre tap i systemet. Færre ledninger. Kan også bli billigere totalt.	Dyrt, mer kostbart å bytte ut.
Omformer 230 V		Det er vanlig at boliger ligger på 220 til 230 V.	
Levere 12 V	For ett forbruk energilagring på 262 kWh behøver det batterikapasitet på 21,8 kAh.		Krever mange batterier. Mye parallellkoblinger for å øke strømmen. Vil kreve dyre batterier for å levere høy nok strøm (må ha 100 batterier =for mye).
Levere 24 V	For ett forbruk energilagring på 262 kWh behøver det batterikapasitet på 10,9 kAh.		Av dyre batterier behøves det ca. 45 stk. Dyrt.
Levere 48 V	For ett forbruk energilagring på 262 kWh behøver det batterikapasitet på 5,5 kAh.		Mye seriekobling for å øke spenningen. Av dyre batterier
Levere 100 V	For ett forbruk energilagring på 262 kWh behøver det batterikapasitet på 2,62 kAh.	Av dyre batterier krever det 11 stk.	Høy spenning er vanskeligere å lade.
Levere 200 V	For ett forbruk energilagring på 262 kWh behøver det	Av dyre batterier krever det 6 stk.	Vanskeligere å lade.

	batterikapasitet på 1,31 kAh.		
Leverer 230 V	For ett forbruk energilagring på 262 kWh behøver det batterikapasitet på 1,12 kAh.	Av dyre batterier krever det kun 5 stk. Kan blande ulike typer batterier.	Lade vanskligheter.

Trinn 2: I denne fasen blir det drøftet ulike batterityper som kan være aktuelle for å benytte for å lagre energien. Det blir diskutert hvilke typer som kan være aktuelle, hvordan det skal kobles sammen og hvordan det skal lagres.

Tabell 6.6: Løsninger på hvordan lagre strømmen.

Løsninger/skisse	Fordeler	Ulemper
AGM	Lang levetid, tåler dyputladning. Bra startsbatteri og kortere ladetid. Kan monteres og brukes i alle retninger.	Ofte mer kostbart. Kortere levetid enn GEL-batterier.
GEL	Tåler dype utladninger og motstandsdyktig mot støt og vibrasjoner. Kan monteres i alle retninger.	Bruker lengere tid på å lade enn AGM.
DYNAMIC AGM DEEP CYCLE	Mye batterikapasitet 240 Ah. Trenger ikke mange. Lav spenning. Lang levetid.	Dyrt. Tar mye plass.
Monlight, Power	Stor batterikapasitet 210 Ah. Lang levetid	Kostbart. Tar mye plass.
LP, Faston PS-612, AGM	Koster lite. Tar lite plass, er den minste.	Veldig lite kapasitet på 1,2 Ah. Må derfor ha veldig mange.
Faston Standard, blybatteri	Koster lite. Krever lite plass.	
T1, Faston, AGM, blybatteri	Billig. Høy spenning.	Lite batteri kapasitet, vil kreve mange.
Faston, Standard, AGM	Høy spenning på 12 V. Trenger ikke å eskalere spenningen i like stor grad. Billig. Krever lite plass.	Lite batteri kapasitet. Trenger mange.
Seriekobling	Mindre ledninger. Vil øke spenningen.	Kortslutter enklere enn parallellkobling. Vil ikke øke strømmen

<p>Parallellkobling</p>	Mindre sannsynlig å kortslutte. Vil kunne øke strømmen.	Vil ikke øke spenningen.
<p>Seriekobling og parallellkobling</p>	En kombinasjon vil gjøre at man kan bestemme spenningen og strømmen.	Mer komplisert, men ikke veldig. Trenger flere ledninger.

Trinn 3: For at batteriene skal operere optimalt og ikke bli ødelagt er det viktig med ett oppbevarings sted som er godt isolert, tørt, oversiktlig og har ventilasjon for giftige gasser. Tabellen under drøfter ulike metoder som batteriet kan bli oppbevart på. Vedlikehold er også viktig når det kommer til oppbevaring av batterier. Batteriene må være rene og tørre og sikre at tilkoblingene til batteripolene er godt tilskrudd.

Tabell 6.7: Løsningsalternativer for oppbevaring av batterier.

Figur		Fordeler	Ulemper
Lite hus, eller skur av tre. Samme teknologi som en utedo.		Enkelt å bygge. Solid. Ser pent ut. Enkelt materiale. Beskytter mot	Kan være litt dårlig isolasjon mot temperaturforandring. Muligens nødvendig

		elementene. En kjent metode.	med noe form for kulde- eller varmelementer.
Skap i skuret/huset.	I skuret kan det være hyller, eller skap slik at man enkelt får tilgang til batteriene	Velig enkel konstruksjon. Lett å bygge selv. Billig.	Ikke den beste oversikten. Må ha en metode for lufting.
Skap med skuffer, dra ut og inn. Metall.		Oversiktlig. Lett å få tak i. Billig.	Kan føre til lengere ledninger.
Varmeelementer	Varmeelementer for huset/skuret.	Holder huset varmt om vinteren. Noe av strømmen fra energihøstingen kan brukes her. Krever lite strøm	Mindre strøm til batteriene.
Vifte	Vifte for huset skuret.	Holde huset kaldt om sommeren og kan fungere som ventilasjon. Benytter høstet energi.	Mindre strøm til batteriene.

7. EGENSCREENING OG LØSNINGSVALG

For å finne ut hvilke av løsningsalternativene som passer best vil de karakterettes utfra kriteriet og vektleggingen i seleksjonsmatriser fra Pughs metodikk. Karakterene vil kunne avgjøre hvilke alternativ som når produktmålene best.

Fra Pugs metodikk og poengskalaen fra figur 3.2 utvikles det seleksjonsmatriser som gir poeng til de ulike løsningsalternativene. I matrisene vil hvert de ulike egenskapene til løsningsalternativet bli gått igjennom og bli vurdert utfra viktighet- og kvalitetsaksene hvor hver av aksene gir en poengsum fra 1 til 5. Hver av poengene som aksene gir blir multiplisert med hverandre for tilsvarende egenskap og poengene blir summert som en avsluttende karakter på hvor godt produktet er. Høyere poengsum viser til ett bedre alternativ. Det vil kun bli gjort en screening for løsningskonseptet for vannhjulet.

7.1. Vurdering/screening av hurtig og sakteroterende løsninger

Tabell 7.1: Seleksjonsmatrise for ulike turbiner.

Turbiner						
Kriterium	Vekting	Pelton-turbin	Turgo-turbin	Francis-turbin	Kaplan-turbin	Crossflow-turbin
Kompleksitet	5	2	2	3	2	4
Vedlikehold	4	2	3	3	3	4
Robusthet	4	4	4	4	4	4
Kostnad	4	2	2	2	2	3
Brukervennlig	4	4	4	5	3	3
Mobilitet	1	2	2	2	1	2
Effekt	3	5	4	4	5	4
Hardførhet	5	3	4	4	4	4
Estetikk	3	2	2	2	2	2
Naturvern	4	2	2	2	2	2
Sum		104	110	119	108	124

Fra tabell 7.1 kan man se at turbinen Crossflow kommer best ut med en karakter på 124. Dette kommer hovedsakelig av dens enkle design, at den er enkel å vedlikeholde og er robust.

Tabell 7.2: Seleksjonsmatrise for ulike vannhjul.

Vannhjul						
Kriterium	Vekting	Overfalls-hjul	Pitchback-vannhjul	Undervannshjul	Brystskudd-hjul	Kvernfall

Kompleksitet	5	4	3	5	3	4
Vedlikehold	4	4	4	4	4	4
Robusthet	4	4	4	4	4	4
Kostnad	4	4	4	4	4	4
Brukervennlig	4	4	4	3	3	4
Mobilitet	1	1	1	1	1	1
Effekt	3	4	4	2	3	1
Hardførhet	5	4	4	3	3	4
Estetikk	3	4	4	4	4	4
Naturvern	4	5	4	4	4	5
Sum		149	140	135	128	140

Tabell 7.2 viser at overfallsvannhjul scorer høyest med 149. Dette er bedre enn hva crossflow-turbin fikk og vil utfra Pugs metodikk være den beste løsningen. Overfallsvannhjul fikk et høyt resultat takket være dens enkelhet sammen med dens effektivitet og at den er lite inngripende i naturen. Ettersom overfallshjul fikk høyest karakter og derfor blir den valgt videre fremover.

7.2. Vurdering/screening av ulike skovlformer og design

Tabell 7.3a: Seleksjonsmatrise for ulike skovledesign.

Bladdesign					
Kriterium	Vekting	Rett flate, kvadrat	Rett flate, rektangulært	Rett flate, skråstilt.	Rettflate krummet
Kompleksitet	5	5	5	5	4
Robusthet	4	5	5	5	5
Effekt	3	2	2	3	4
Estetikk	3	5	5	5	5
Sum		66	66	69	67

Tabell 7.3b: Seleksjonsmatrise for ulike skovledesign.

Bladdesign					
Kriterium	Vekting	Firkantet	Firkantet/rett med kant.	Rektangulær åpning, oval bunn	Firkantetåpning, sirklet bunn.
Kompleksitet	5	5	5	2	3
Robusthet	4	4	4	3	3
Effekt	3	4	5	4	4

Estetikk	3	4	5	2	2
Sum		69	71	40	45

Tabell 7.3c: Seleksjonsmatrise for ulike skovledesign.

Bladdesign					
Kriterium	Vekting	Rund skål- formet, sirkulær	Rund skål- formet, oval	Halv- rund skål.	Skje- formet skovle delt på midten
Kompleksitet	5	3	3	3	2
Robusthet	4	3	3	3	3
Effekt	3	4	3	3	3
Estetikk	3	3	3	3	3
Sum		48	45	45	40

Det er mange forskjellige muligheter for skovledesign, men firkantet/ rett med kant kommer best ut, som en kan se i tabell 7.3b. Det gir riktignok mye rom for hvordan å stille en slik skovle, blant annet med tanke på vinkler.

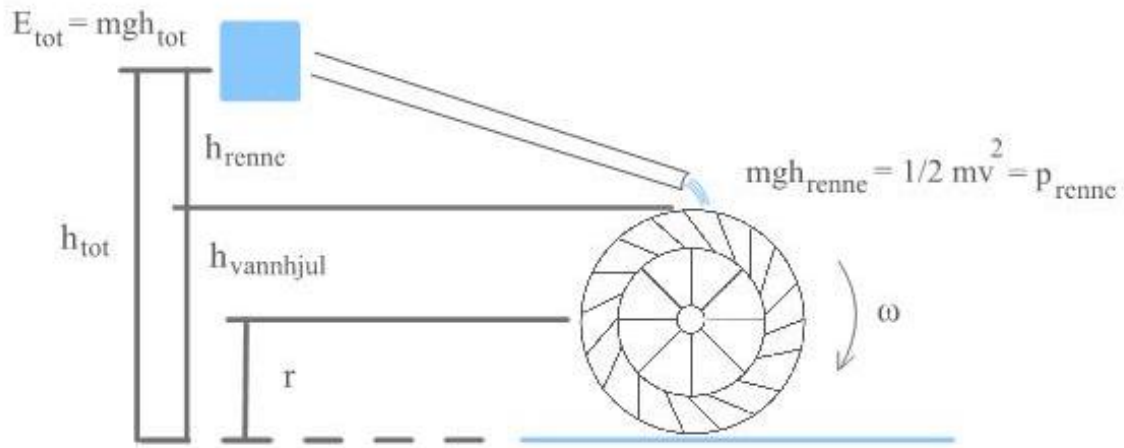
7.3. Vurdering/screening av generatoralternativer.

Tabell 7.4: Seleksjonsmatrise for generatorer

Generatorer				
Kriterium	Vekting	DC	AC synkron	AC asynkron
Kompleksitet	5	4	3	2
Vedlikehold	4	2	3	3
Robusthet	4	2	3	4
Kostnad	4	3	2	2
Effekt	5	2	4	3
Sum		58	67	61

Fra tabell 7.4 kan en se at det er AC synkrongeneratoren som kommer best ut av egenscreeningen over generatorer. Synkrongeneratoren fikk høyest karakter takket være dens

effektivitet og lite krevende vedlikehold. Derfor vil AC generator bli valgt videre for produktet. Figur 7.1 illustrer hvilke prosesser som blir implementert i neste steg.



Figur 7.1: Illustrerer prosessen som vannhjulet vil måtte igjennom

8. GROV OG YTELSESBEREGNINGER

Før arbeidet med utforming av en konstruksjonsløsning kan begynne, må det utføres grove grunnlagsberegninger som er knyttet til ytelser og fysiske dimensjoner ut fra de tidligere spesifikasjonene som er gitt. Hensyn til sikkerhet og andre viktige forhold vil også bli tatt hensyn til.

8.1. Beregningsmål for energigenereringen

Grunnlagsberegninger vil kunne kartlegge gjennom enkle beregninger de nødvendige dimensjonene for å kunne generere effekt og lagre ønsket energi. Beregningene vil også vise hvordan krefter vil belaste vannhjulet og annet utstyr.

Hovedmål

Grunnlagsberegningene utføres med formål å kunne utforske finne ut av dimensjoner for vannhjul og batterikapasitet. Beregningene vil gjøre det mulig å finne ut av hvilke nødvendig fallhøyde, hvilke radius og bredde på vannhjulet som er nødvendig for å få ut ønsket effekt på 5 kW.

Delmål

Gjennomføringen av de grove beregningene av viktige data vil være knyttet til dimensjoner og ytelser hos

- a) Generatorer, som vil si tilført og avgitt effekt, dreiemoment og turtall.
- b) Finne ut av momentet som vannhjulet må gi og på hvilke turtall.
- c) Hvilke radius burde vannhjulet ha.
- d) Hvilke areal og dybde burde skovlene ha.
- e) Grove konstruksjonsberegninger på hoveddel som aksel, opplagring og armer.
- f) Finne ut hvordan kreftene vil påvirke utstyret og hvilke materialvalg som blir nødvendig.

8.2. Forutsetninger

Det er ønskelig at mikrohydroanlegget leverer en elektrisk effekt på 5 kW, samtidig som grovspekifikasjonene viser til at vannhjulet ikke kan ha en diameter som er større enn 280 cm, bredde på 90 cm og fallhøyde på maks 3 m. For å finne ut nødvendige dimensjoner er følgende antagelser gjort:

- Virkningsgrad på likeretter settes til: $\eta_l = 0,95$
- Virkningsgrad på giring settes til: $\eta_{gir} = 0,8$
- Vannets tetthet: $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$
- Generatorens virkningsgrad settes til: $\eta_g = 0,85$
- Generatoren driftes da på optimal turtall som settes til: $n_g = 2500 \text{ rpm}$
- Vannhjulet har en virkningsgrad som settes til: $\eta_{hjul} = 0,8$
- Vannhjulet sin rotasjonshastighet vil måtte økes ved omgiring for å få passende turtall til generatoren, trolig i et forhold på en til 50 eller en til 60 ganger høyere akselhastighet.

8.3. Beregningstrinn

For å gjøre beregningene for vannhjulets høsting av energi oversiktlig, deles beregningene opp i trinn med underpunkter. Trinnene er energiflyt i systemet fram til batteriet, nødvendig kraft og momentbalanse hos vannhjulet

8.3.1. Energiflyt i systemet fram til batteri

For å estimere størrelsen på vannhjulet og fallhøyde går en utfra elektrisk effekt ut er $P = 5 \text{ kW}$. Dette fører til at:

- Effekt inn til likeretter er: $P_l = P/\eta_l = 5,263 \text{ kW}$
- Effekt inn til generator er: $P_g = P_l/n_g = 6,192 \text{ kW}$
- Effekt før omgiring er : $P_{gir} = P_g/n_{gir} = 6,318 \text{ kW}$
- Effekt inn mot vannhjulet: $P_{hjul} = P_{gir}/\eta_{hjul} = 7,74 \text{ kW}$

8.3.2. Nødvendig kraft og momentbalanse hos vannhjulet

For å finne ut av hvilke moment som påføres vannhjulet for å brukes likningen:

$$M = \frac{P * 9550}{n}$$

$$M_{hjul} = \frac{P_{hjul} * 9550}{n_{hjul}} = \frac{P_{hjul} * 9550}{\frac{n_g}{5}} = \frac{7,74 * 9550}{\frac{0,85}{5}} = 150,85 \text{ Nm}$$

Det er flere faktorer som påvirker momentet som virker på vannhjulet. Det ene er trykk på skovlene, det andre er vannets vekt i skovlene og det tredje er momenttap.

a) Moment fra vanntrykk mot skovlene:

Virkingen av vanntrykket på skovlene, se figur 8.1, er bare avhengig av fallet på renna og initialhastighet. Momentet som kommer fra kraften påført av trykket fra innkommende vann er gitt ved

$$F_{trykk} = \frac{M_{trykk}}{r}$$

Fra denne kraften kan man finne trykket:

$$p = \frac{F_{\text{trykk}}}{A},$$

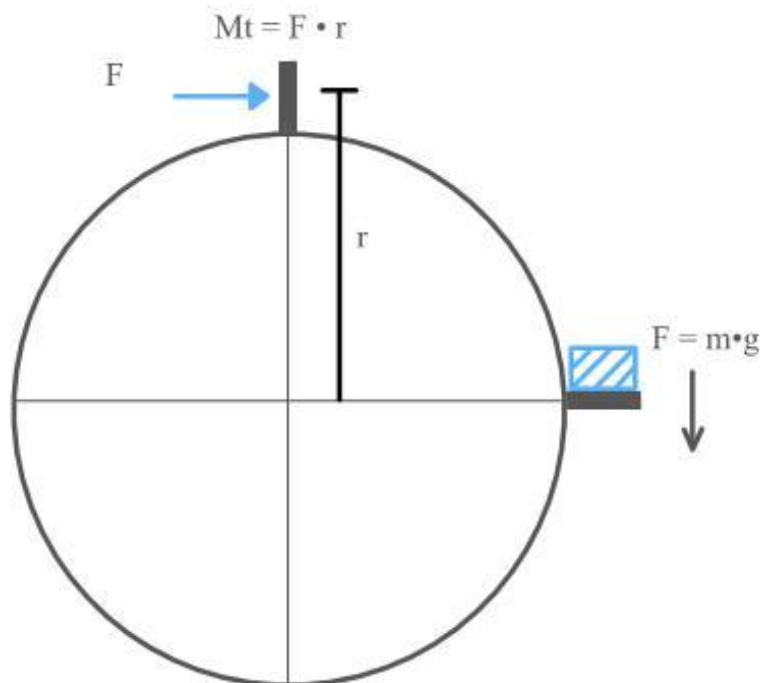
som igjen fører til at fallhøyden kan estimeres fra Bernoullis likning:

$$p_0 + \frac{1}{2}\rho v_0^2 + \rho g h_0 = p_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g h_1$$

$$v_0 = 0, \quad p_0 = 0 \rightarrow h = \frac{p_1}{\rho g}$$

$$v_0 = v, \quad p_0 = 0 \rightarrow h = \frac{p_1}{\rho g} - \frac{v^2}{2g}$$

Dette vil gjelde for ett åpent system.



Figur 8.1: Illustrasjon av hvordan momentet blir påført av kraften fra vanntrykket og kraften fra vannvekten.

b) Moment fra vekten av vann i skovlene:

Vekten av vannmengden som oppbevarer seg i skovlene vil også påvirke momentet, se figur 8.1. Dette kan beregnes som følgende:

$$M_{\text{vekt}} = F_{\text{vekt}} * r = m * g * r$$

Massen m er vekten til vannet i skovlene, hvor vekten finner en fra likningen:

$$m = V * \rho = A * d * \rho$$

Skovlene bærer ulike mengde vann og dermed også vekt. I tillegg er det ulikt hvordan skovlene påvirker momentet utfra vinkelen de er befinner seg i. Utregningen for den totale massen til skovlene blir derfor beregnet som følge:

$$m = \sum_1^i (A * d * \sin(Vinkel_i) * r)$$

Hvor *Vinkel* er vinkelen hver skovle befinner seg. Vinklene til skovlene blir funnet ut ved å vinkle differansen $Vinkel_d$ som er 360° dividert på antall skovler. Deretter finner man hver vinkel for de første halvdelene av skovlene, hvor vannet ligger. Dette gjøres ved å gi skovle nummer 1 vinkel 0° også summeres hver skovlevinkel med vinkeldifferansen til tilsvarende skovle nummer.

I tillegg må en anta at vannet begynner å renner ut, det antas at dette skjer etter $\frac{1}{4}$ omdreining. Derfor vil mengde vann i hver skovle reduseres etter $\frac{1}{4}$ omdreining til $\frac{1}{2}$ omdreining som vil skje prosentvis fra original vannmengde til det er 100 % reduksjon som blir fordelt på skovlene som er plassert på den gjenværende $\frac{1}{4}$ omdreiningen.

c) Eventuelle momenttap på grunn av sentrifugalkraft (og evet. lekkasje):

Dersom vannhjulet har en rask rotasjonshastighet kan sentrifugalkraften gi momenttap ettersom dette vil kunne gjøre at ikke alt av vannet i skovlen forsvinner etter $\frac{1}{2}$ omdreining. Sentrifugalakselerasjonen inntreffer hvis den overstiger gravitasjonen

$$a_c = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r < g$$

Virkningsgraden til vannhjulet kan derfor gå ned dersom vinkelhastigheten er større enn

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{r}} = \sqrt{\frac{9,81 \text{ m/s}^2}{0,5 \text{ m}}} = 4,4294 \text{ rad/s}$$

Dette gir en rotasjonshastighet på

$$n = \omega * \frac{60}{2 * \pi} = 4,4294 * \frac{60}{2 * \pi} = 42,298 \text{ rpm}$$

Hvis rotasjonshastigheten overstiger 42,3 rpm vil virkningsgraden til vannhjulet reduseres.

Inertia forklart:

Energibevaring, fra inn i renne til rotasjonsenergi:

$$E = mgh + \frac{1}{2}mv^2$$

$$E = \frac{1}{2}I\omega^2$$

Tregghetsmoment

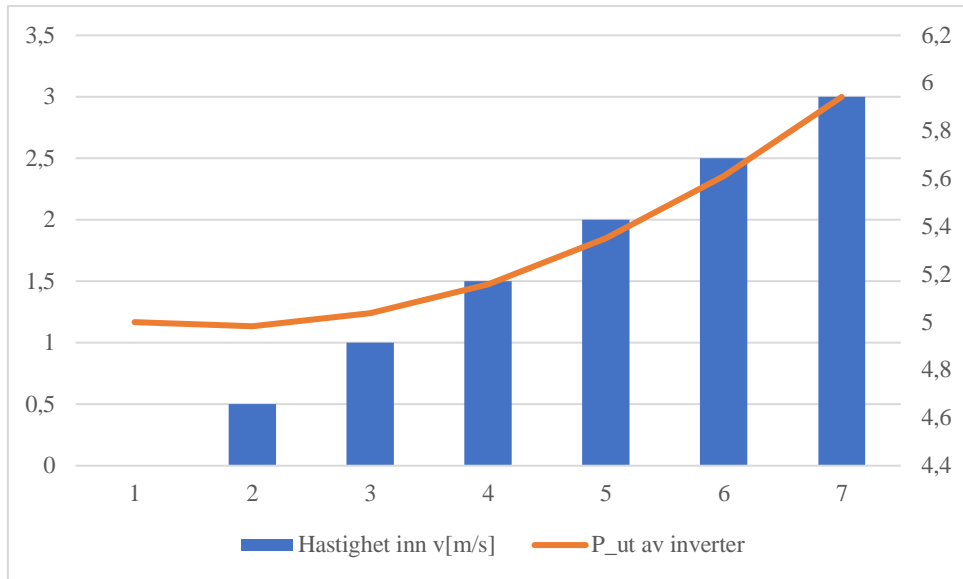
$$I = Mr^2$$

Ved innkommende vannstrømning kan vannet lekke, dette vil kunne ha påvirket effektiviteten til vannhjulet, men dette neglisjeres for utregning.

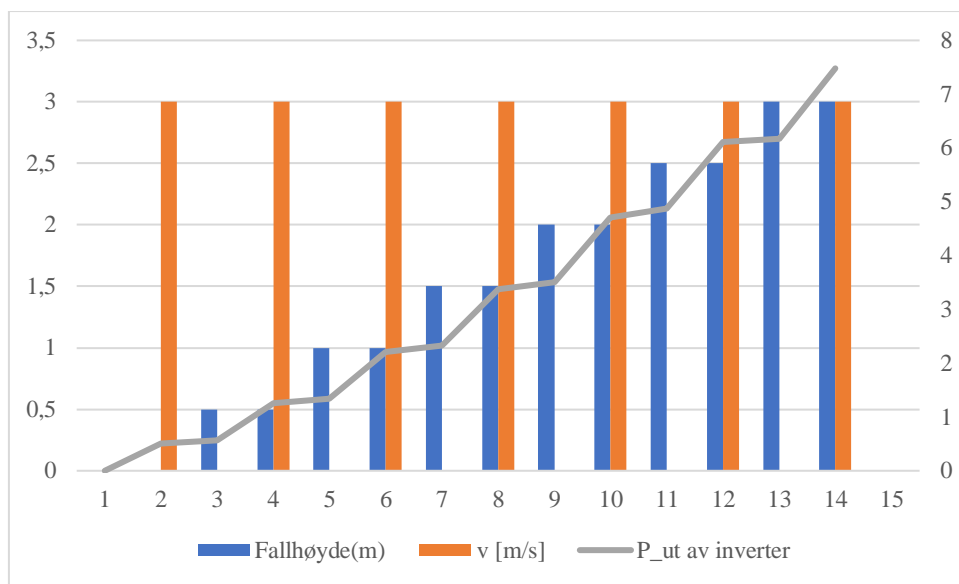
Tabell 8.1: Er en oversikt over resultatet fra utregningene. h er fallhøyde, v_0 er vanninnstrømningshastighet, A er skovlearealet, r er radiusen til vannhjulet, m er vannmassevekten og n er vannhjulets turtall. P er elektrisk effekt som blir levert.

h (m)	v_0 (m/s)	A (m ²)	d (m)	r (m)	Skovle antall	m (kg)	n (rpm)	P (kW)
2,546	0	0,16	0,2	0,5	12	44,785	41,667	5
2,546	0,5	0,16	0,2	0,5	12	44,785	41,758	4,983
2,546	1	0,16	0,2	0,5	12	44,785	42,069	5,037
2,546	1,5	0,16	0,2	0,5	12	44,785	42,582	5,159
2,546	2	0,16	0,2	0,5	12	44,785	43,290	5,350
2,546	2,5	0,16	0,2	0,5	12	44,785	44,183	5,611
2,546	3	0,16	0,2	0,5	12	44,785	45,251	5,942

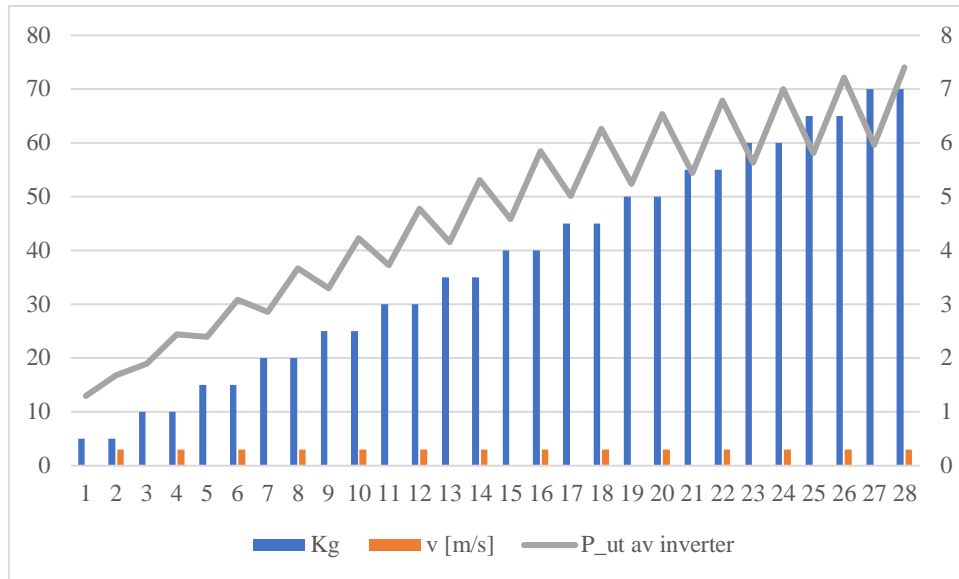
Farten bil før høy som vil trekke momentet motsatt vei og gjør vannhjulet mindre effektivt, som vil si at resultatene på slutten antageligvis er mindre enn 5.



Figur 8.2: Illustrasjon over hvordan den elektriske effekten, P , ut av systemet blir påvirket av hastigheten inn, v , i rørsystemet.



Figur 8.3: Illustrasjonen viser hvordan den elektriske effekten ut, P , blir påvirket av fallhøyden, h , og farten inn i rørsystemet.



Figur 8.4: Diagrammet gir en oversikt over hvordan den elektriske effekten ut av systemet blir påvirket av vekten som avgir moment på systemet, samt hastighetsforskjellene inn i rørsystemet som ledes mot vannhjulet.

9. GROVE KONSTRUKSJONBEREGNINGER

I denne delen av rapporten gjennomføres det grove betraktninger og beregninger for å kunne gi et estimat av produktets størrelse, krefter og andre elementer som vil kunne ha innvirkning på dimensjonene og modelleringen av produktet.

9.1 Beregningsmålsetting

Det er nødvendig å sette forutsetninger for beregningene derfor kartlegges belastninger, dimensjoner og materialspenninger i konstruksjonen hos konseptløsningen for vannhjul og generering av strøm med generator. Dette blir gjort for å kunne gjøre tverrsnitts- og materialvalg. Likeledes blir dette gjort for enheten for batterilagringen av strøm.

Hovedmål

Konstruksjonsberegningene utføres ved å gjennomføre generelle grunnleggende beregninger for belastninger for å finne nødvendige dimensjoner og materialer for vannhjul og batterikasse.

9.2. Beregninger for vannhjulet

Kreftene som viker på vannhjulet må kartlegges for å finne de statiske belastningene på systemet. Utfra dette kan det finnes ut av hvordan vannhjulet skal konstrueres.

9.2.1. Forutsetninger

For å kunne gjøre forenklete beregninger settes følgende forutsetninger:

- a) Vannhjulet har en fast rotasjonshastighet og sentrifugalkrefter sees bort ifra.
- b) Kraftspillet i vannhjulet beregnes med utgangspunkt i bremsemomentet fra generatoren, dvs. 150,85 Nm.
- c) Det forutsettes at disse kreftene tas opp i høyresiden av vannhjulet, mens venstresiden betraktes som kraftløs, den er tømt for vann.
- d) Ved valg av sikkerhet forutsetts dynamisk belastning,
- e) Vannhjulet har en radius på: $r = 0,5 \text{ m}$
- f) Vannhjulet har en bredde på: $b = 0,8 \text{ m}$
- g) Skovlene i vannhjulet har en dybde på: $d = 0,2 \text{ m}$
- h) Vannet ankommer vannhjulet fra en kulp uten starthastighet inn i røret.

9.2.2. Beregningstrinn

For å gjennomføre de grove konstruksjonsberegningene for vannhjulet deles beregningene opp i trinn med underpunkter.

a) Aksel

I dette beregningstrinnet skal en finne tverrsnittet til akselen som går fra sentrum av vannhjulet til generatoren. Antar i utgangspunktet at vannhjulet har en vekt på 200 kg totalt. Antar at akselen er laget av materialet S355, som er en type stål.

Jevnførende spenning som er tillatt spenning er gitt ved:

$$\sigma_j = \frac{\sqrt{(M_b)^2 + 0,75 * (\alpha_o * M_v)^2}}{\frac{\pi d^3}{32}}$$

Dette gir et uttrykk for diameteren

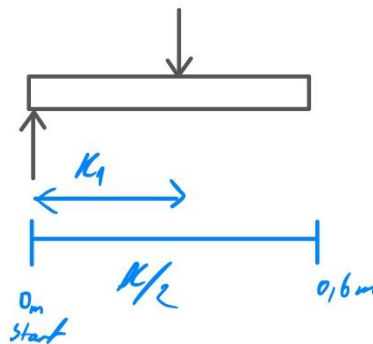
$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \sqrt{(M_b)^2 + 0,75 * (\alpha_o * M_v)^2}}{\pi * \sigma_j}}$$

Finner momentet M:

$$M = \frac{F}{2} * x_1 + \left(\frac{F}{2} * \left(x_1 + \frac{x}{2} - x_1 \right) \right) * \frac{1}{2}$$

$$M = 343035 \text{ Nm}$$

Bokstavene er henvist til figur 9.1.



Figur 9.1: Illustrasjon over hvor kraften F virker på akselen i vannhjulet.

M_v fant en i kapittel 8.

Tillatt spenning:

$$\sigma_j = \frac{Re}{4} = \frac{335}{4} = 83,75 \text{ N/mm}^2$$

Får en nødvendig diameter på akselen:

$$d = 57 \text{ mm}$$

b) Stativ

Antar at stativet som holdet vannhjulet oppe er en bjelke. I dette trinnet så finner en ut av hvor tykk denne bjelken må være. Ser på to forskjellige materialer S355 og treverk. Bjelken må være lengere enn radiusen til vannhjulet. Antar at bjelken har en lengde, l , på 0,7 m. Antar igjen at vannhjulet veier 200 kg. Dette gir en kraft på 981 N på hver side av vannhjul-akselen. Vannhjulet opplever i tillegg kraft fra trykk, som har blitt regnet på tidligere.

Stativet på den ene siden opplever følgende moment:

$$M_{tot} = \frac{F_{trykk}}{2} * l_{trykk} + \frac{F_{vektvann}}{2} * l_{vektvann} + \frac{F_{vekt_hjul}}{2} * l_{vekt_hjul}$$

$$M_{tot} = \frac{3995,65}{2} * (0,5 + 0,7) + \frac{16 * 9,81 N}{2} * 0,5 + \frac{1962}{2} * 0,5$$

$$M_{tot} = 3323,44 Nm$$

Antar at stativet har en bjelke på hver side, med et tverrsnitt på $h * b$, hvor det antas at h er 20 cm og b er 30 cm. Tverrsnittspenningen som bjelken blir påført:

$$\sigma_B = \frac{M}{I} y = \frac{M}{I} * \frac{h}{2} = \frac{12 * M}{b * (h^3)} * \frac{h}{2} = 1,107810 N/mm^2$$

Tillatte spenningen for S355:

$$\sigma_{til} = \frac{355}{2} = 177,5$$

Dette er mindre enn spenningen som blir påført og er derfor innenfor toleransegrensen.

For treverk materiale eik Re 12,75

$$\sigma_{til} = \frac{12,75}{2} = 6,37$$

Eik er også innafor grenseområdet.

b) Skovler og skovlefeste

Antar at skålene er laget av materialet S355 som er avbøyd fra i utgangspunktet en rektangulær plate. Det antas at kreftene som treffer skålen er uniformt fordelt. Skovlen må tåle trykk fra innstrømning og vekt fra vannet den bærer, men ettersom kraften fra vanninnstrømningen er størst er det bare den som blir tatt med. Antar at platen er rektangulær med en høyde på 0,8 m og en bredde på 0,2 m.

Tillatt spenning:

$$\sigma_b = \frac{355}{2} = 177,5 \text{ N/mm}^2$$

Trykket skovlen opplever:

$$p = \frac{F_1}{A_{skovle}} = \frac{3995 \text{ N}}{0,16 \text{ m}^2} = 24968,75 \text{ N/m}^2$$

Skålene er laget av en avbøyd stålplate S355 Re. Platen er i utgangspunktet rektangulært. Det antas at kraften treffer skålen uniformt fordelt noe som gjør at uttrykket for bøyespenningen blir slik

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W} = \frac{0,75 * p * b^2}{t^2 \left(1,61 * \left(\frac{b}{a} \right)^3 + 1 \right)}$$

Gjør om formelen slik at det blir ett uttrykk for tykkelsen t og finner t :

$$t = \sqrt{\frac{0,7 * p * b^2}{2 * \sigma_b * \left(1,61 * \left(\frac{b}{a} \right)^3 + 1 \right)}}$$

$$t = 1,96 \text{ mm} \approx 2 \text{ mm}$$

For å feste skovlene kan de sveises til trommelen. For stål S 355 så er flytegrensen for antatt sveis $\sigma_F = 510 \text{ N/mm}^2$ og materialfaktoren for sveisefobindelsen er $\gamma_m = 1,25$

$$\sigma_j = \frac{\sigma_F}{\gamma_m} = \frac{510}{1,25} = 408 \text{ N/mm}^2$$

Spennings som kommer av sveisen på skovlen blir:

$$\sigma = \frac{F * \gamma_f}{A} = \frac{F * \gamma_f}{l_{sveis} * t_{sveis}} = \frac{1,1 * 1998 \text{ N}}{400 \text{ mm} * 3 \text{ mm}} = 1,83 \text{ N/mm}^2$$

Dette er innenfor grenseområdet.

c) Nav

Under på pressing av nav blir det et stort flattrykk p som en forutsetter vil fordele seg jevnt på overflaten. Dersom nav er i støpejern S 776 vil flytespenningen bli:

$$\sigma_{Nav} = \frac{776}{2} = 388 \text{ N/mm}^2$$

d) Opplagringsbukk

Lager bestemmes fra en tabell utfra ønsket kvaliteter. Antar en levetid på 16 000 timer, vet at akseldiameteren er 57 mm og vektor er 981 N, med turtall på 42 rpm. Ettersom vannhjulet veier en del, benyttes rullelager siden dette tåler best vekt.

9.2. Beregninger for batterilageret

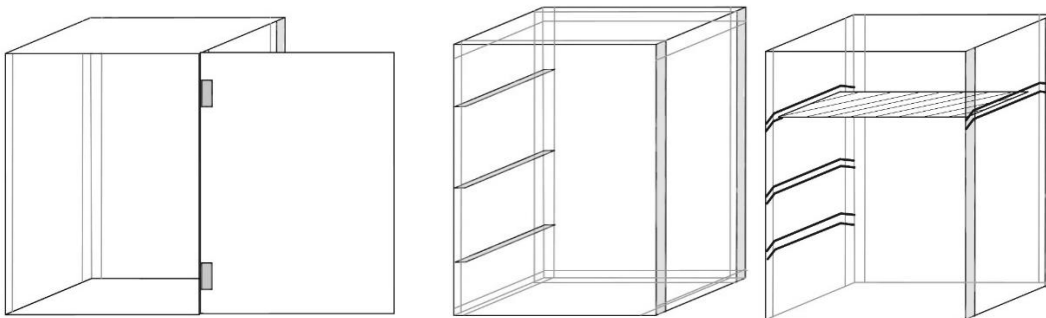
Kreftene som viker på batterilagringen må kartlegges for å finne de statiske belastningene på systemet. Utfra dette kan det finnes ut av hvordan batterikassen skal konstrueres.

9.2.1. Forutsetninger

For å kunne gjøre forenklete grunnlagsberegninger forutsettes det:

- At batteriet som benyttes er av typen «Dynamic AGM Deep CYCLE» som veier 30 kg per stykke.
- Det benyttes 23 batterier.
- Batteriet har en høyde på: $h_B = 276 \text{ mm}$
- Batteriet har en bredde på: $b_B = 131 \text{ mm}$
- Batteriet har en lengde på: $l_B = 261 \text{ mm}$
- Batteriene fordeles på 5 hyller.
- Maksimalt antall batterier på én hylle er 5 stk.
- Det forutsettes en avstand mellom hvert batteri i lengden og bredden på: $\Delta b_B = 50 \text{ mm}$
- Det forutsettes en avstand mellom hvert batteri i høyden på: $\Delta h_B = 50 \text{ mm}$
- Det holdes av plass til transformator i bundet av skapet, ved å designe en ekstra skuff.
- Det holdes av plass for ventilasjon.
- Det forutsettes at det er symmetri i systemet. Lastfordelingen vil bære symmetrisk.

Illustrasjoner av planløsning:



Figur 9.2: Illustrasjon av oppbygging/skall til batteriet. Da ser en hvilke forutsetninger som skal gjøres.

Batterilageret skal ha en kapasitet på omtrent: 262 kWh. Fra dette beregnes det nødvendig antall batterier, med forutsetning at spenningen for kretsen er på 48 V.

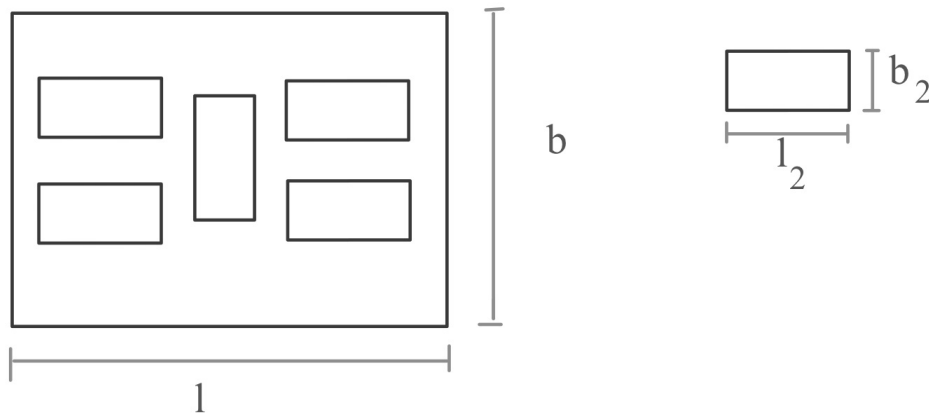
$$\frac{Pt}{U} = \frac{262 \text{ kWh}}{48 \text{ V}} = 5458 \text{ Ah}$$

Antar at det benyttes et AGM batteri på 6V og 240 Ah. Finner antall batterier:

$$\frac{5458Ah}{240Ah} = 22,74 \approx 23$$

Antar at det benyttes 5 hyller eller skuffer. I hver skuff blir det maks fem batterier, hvor hver antas å veie 30 kg. Dette fører til at en skuff må kunne tåle 150 kg. Skapet må da kunne tåle 5 slike skuffer, som gir 750 kg. Dette vil gi rom for mer vekt, ettersom hver skuff ikke vil ha fem batterier hver.

Plasseringen vil kanskje se slik ut, som figur 9.3:



Figur 9.3: Batteriutforming. Batteriene er illustrert ved små rektangler, mens hyllene er illustrert ved stort rektangel med bredden, b , og lengden, l .

I dette skapet antas det at det benyttes profiler i hvert hjørne for å holde skapet sammen. Disse profilene blir antatt å vær av materialet S355.

Batteriskapet må i tillegg til å ha batteriene, vil den måtte behøve rom fro transformator og ventilasjon. For enkelthetens skyld, settes det derfor på enda en hylle på skapet. Batteriene som det antas blir brukt er 276 mm høye. Det settes en margin og det antas at en skuff vil være 300 mm bredt, 512 mm høyt og 903 mm langt. Skapet vil være 2296 mm høyt og 1009 mm bredt med margin.

Antar en jevn fordeling av skjærkraften gjennom hele profilen, for én profil, som er:

$$F_{skjær} = \frac{150 * 9,81N}{4} = 367,9 N$$

$$\tau \approx \frac{F_{skjær}}{A}$$

Antar at profilen har en tykkelse på 5 mm, og at profilene er trekantet utformet. Dette gir en tillatt spenning på:

$$\tau = \frac{367,9N}{25mm^2} = 14,7 N/mm^2$$

Antar at profilene er laget av materialet s355 som gir.

$$\sigma_{till} = \frac{355}{2} = 177,5 N/mm^2$$



Profiltykkelsen er innenfor toleranse området.

10. ROBUST OG BÆREKRAFT

Et viktig element for mikrohydroanlegg er bærekraftighet og derfor også robusthet for å sikre at anlegget driftes sikkert og har et langt livsløp. Kapittelet går igjennom elementer som kan påvirke driften og levetiden på hydroanlegget, samt også faktorer som påvirker sikkerheten. Gjennomgangen av dette vil kunne gi grunnlag for videre optimering av produktet og å redusere vedlikeholdsarbeid og reparasjonskostnader, samt annet risiko.

Mekanisk slitasje og korrosjon:

For et mikroanlegg er det en rekke faktorer som kan påføre slitasje. For vannhjulet kan det komme sand inn som kan slite på vannhjulet og spesielt skovlene over tid. En måte å redusere dette på er å skape synkekanne før renna, slik at sanden aldri kommer inn i røret som leder vann til vannhjulet og da heller ikke når hjulet. Et annet moment er korrosjon, som kan bli forårsaket av luft, vann, UV-stråling med mer. Derfor kan det lønne seg å beskytt materialet, for eksempel ved sinkmaling.

Naturlige forurensinger:

Ett annet faktor som kan slite på vannhjulet og påvirke driften er greiner, kvist og kvas og andre gjenstander som vil kunne komme gjennom tilførselskanalen til vannhjulet. En metode som kan fungere her er å ha en grov grind/netting foran røret/vanninntaket som kan tas av og på for å enkelt å fjerne elementer som setter seg fast der.

Kulde og varme:

Frost kan spille en stor rolle for driften og levetiden av anlegget. En måte å sikre at vannet ikke fryser er å la vannet konstant renne i røret. For øvrig vil det være aktuelt å benytte overskuddsvarme fra generatoren, evt. tilleggsvarme for å holde vannhjulet rent for i innkapsling. Om sommeren, viktig å få ut overskuddsvarme fra generatoren ved lufting.

For batterilagringsen er kulde ett stort problem. Derfor er det viktig at batteriene er plassert ett trygt sted med beskyttelse mot elementene. En metode for at batteriene ikke skal fryse er derfor å plassere noe elektriske varmeelementer i «huset» til batteriene. På sommeren kan det oppstå varmeproblemer som heller ikke er bra for batteriene, da kan det lønne seg med en vifte for å holde dem kjølige.

Skjerming og HMS-hensyn:

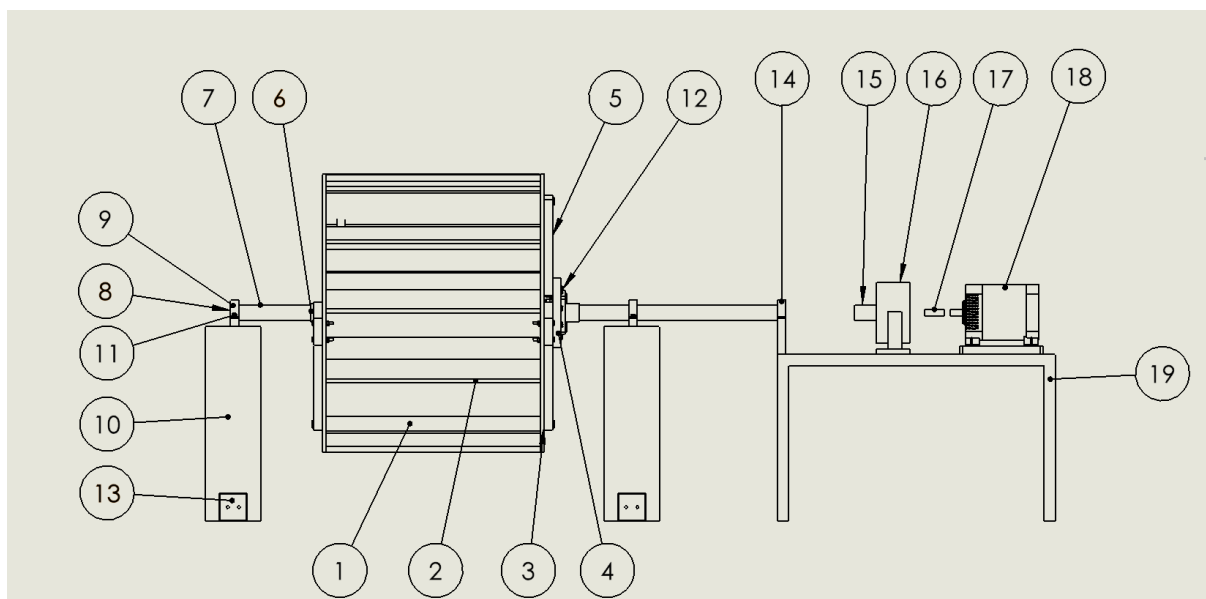
Det kan også være smart å dekke til vannhjulet for å hindre skader på mennesker og dyr, dette vil også kunne beskytte vannhjulet mot naturelementer. Anlegget skal helst stå litt isolert og vil ikke alltid ha tilsyn. Derfor er det viktig å sikre anlegget for å hindre skade. Det er også viktig å hindre sabotasje, derfor er det nødvendig med lås på anlegget, slik at uvelkomme gjester ikke kan komme inn. I tillegg er det viktig med faste rutiner og sjekk for å se at anlegget er i god stand. For batteriene er det viktig å ta hensyn til gassutvikling.

11. LØSNINGSARKITEKTUR

I denne delen presenteres konseptdesignet som er 3D CAD modellert i SolidWorks. Modellen er basert på valgte løsningsalternativer fra egenscreeningen og videre utvikling underveis i modelleringen. Fremstillingene skal gi innsikt i konseptdesignet til vannhjulet og batteriskapet, og illustrere hvordan den er bygget opp.

11.1. Helhetstegning for vannhjul og strømgenerering

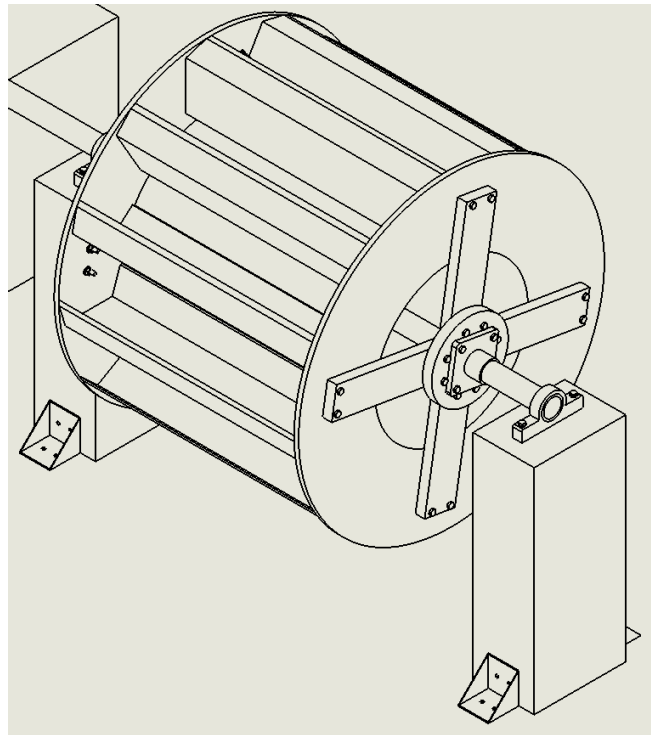
I denne delen illustreres og presenteres vannhjulkonseptet med nummeranvisninger og forklaringer.



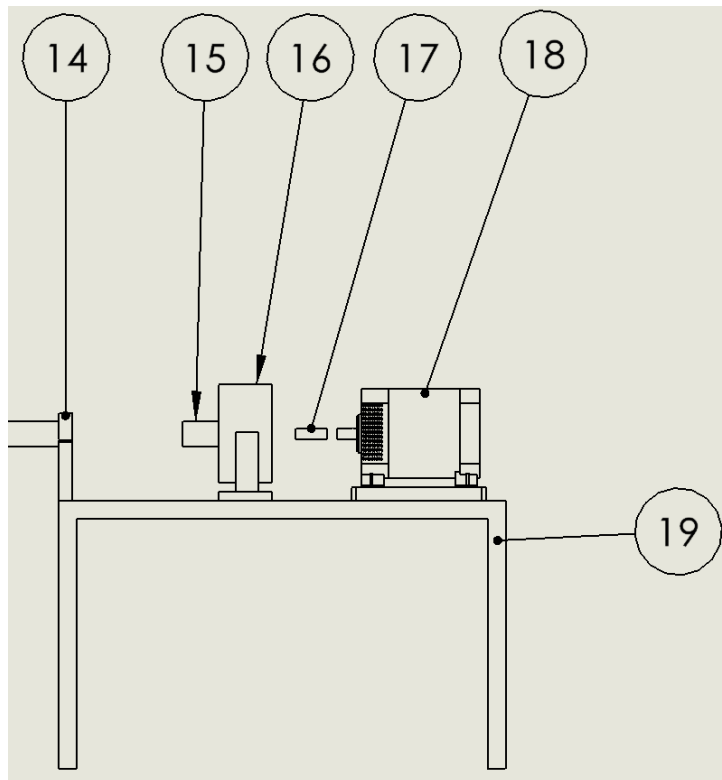
Figur 11.1: Helhetstegning for vannhjul med generatorutrustning

Tabell 12.1: Oversikt over deler i sammenstillingen for vannhjul og generator.

Del nr.	Viser	Del nr.	Viser
1	Skovle	11	Skrue (M10)
2	Trommel	12	Skrue (M8)
3	Stabilisatorring	13	Forankring
4	Festering	14	Lagerhus
5	Eiker	15	Gir
6	Nav	16	Girhus
7	Aksel	17	Overgangshylse
8	Lager	18	Generator
9	Lagerhus	19	Plattform
10	Støtte		



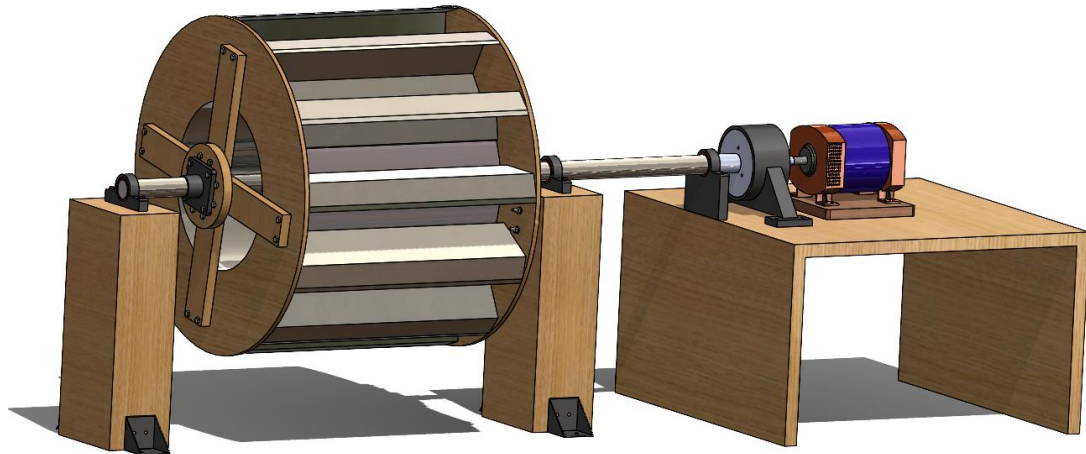
Figur 11.2: Detaljutsnitt av vannhjul med hovedelementene: 1-skovler, 2-Trommel og 3-Stabiliseringsring.



Figur 11.3: Detaljutsnitt av 14-lagerhus, 15-gir, 16-girhus, 17- akseloverføring, 18-generator og 19-plattform.

11.2. Helhetstegninger for vannhjul og strømgenerering i 3D

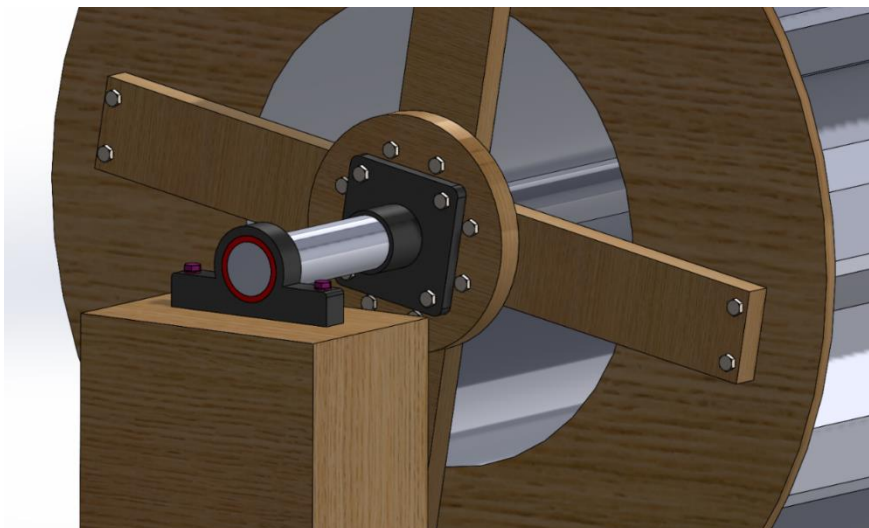
I dette delkapittelet blir det helhetlige designet av vannhjulet presentert.



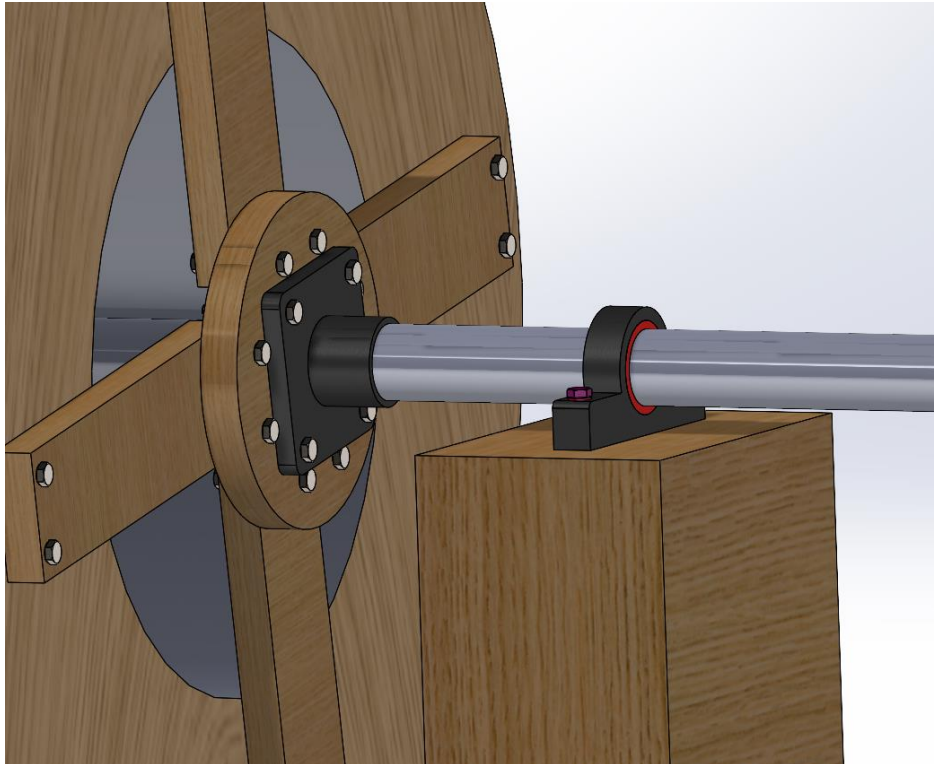
Figur 11.4: Oversiktstegning av hele vannhjulskonstruksjonen med akser, girboks, generator, plattform, lager og fester.

11.3. Hoveddeler for vannhjul og strømgenerering

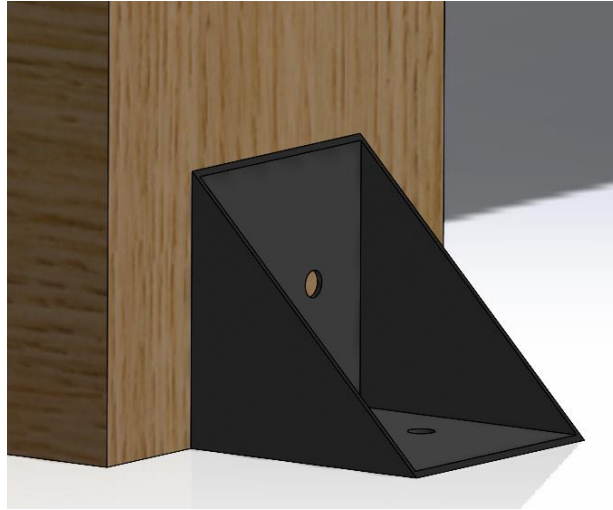
Hoveddelene i modellen av vannhjulet med generator blir presentert i denne delen.



Figur 11.5: Oversiktstegning av vannhjulet sett fra venstresiden, med fokus på nav, lager, stativ og stabilisatorring.



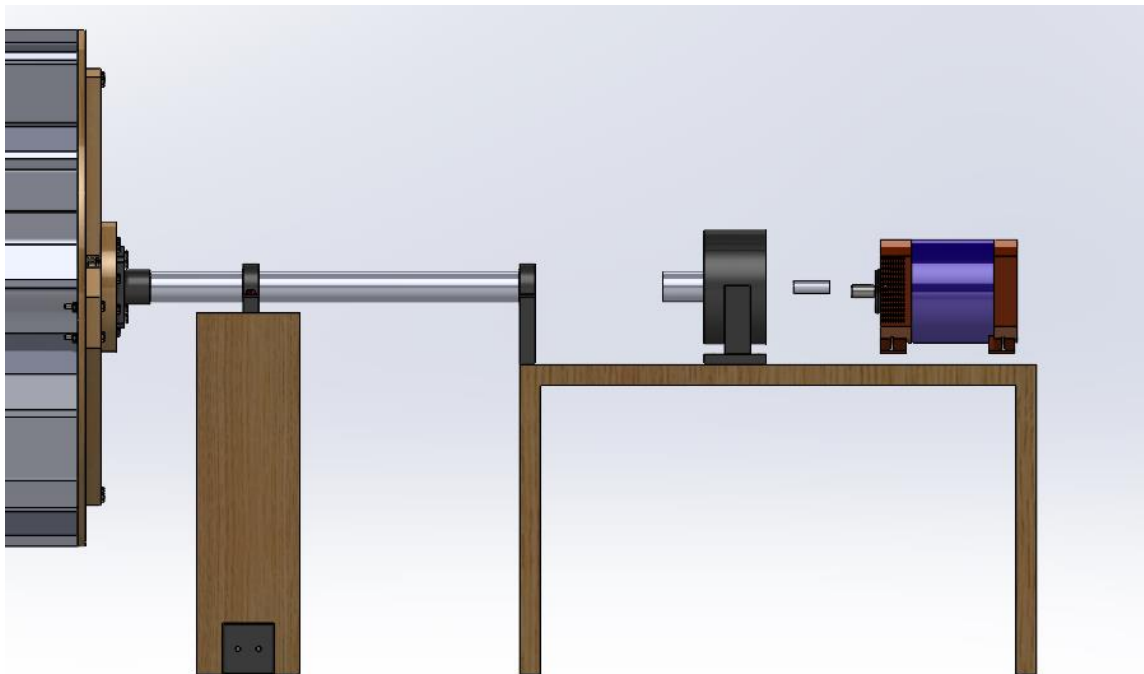
Figur 11.6: Oversiktstegning sett fra høyresiden av vannhjulet. Viser hvordan akselen til vannhjulet er festet i navet og lageret. Videre sitter lageret i et lagerhus, som igjen er festet til støtte. Navet festes til festering ved hjelp av M8 skruer, hvor festering er montert til fire eiker som er skrudd fast i stabilisatorring.



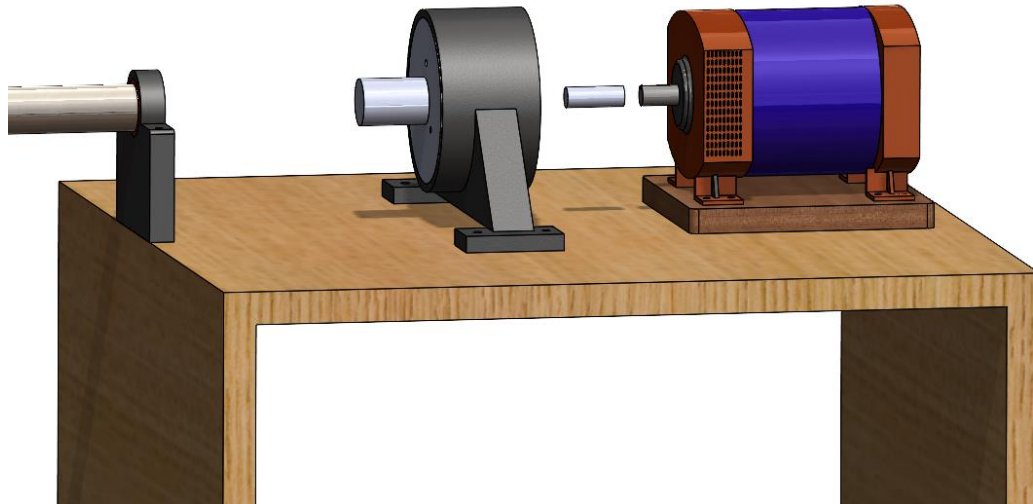
Figur 11.7: Oversiktstegning sett fra venstre side av støtte og forankring. Viser hvordan støttene til vannhjulet kan festes til et fundament, hvor hullene i forankringen gir mulighet til feste med skruer eller bolter.

11.4. Større komponenter for vannhjul og strømgenerering

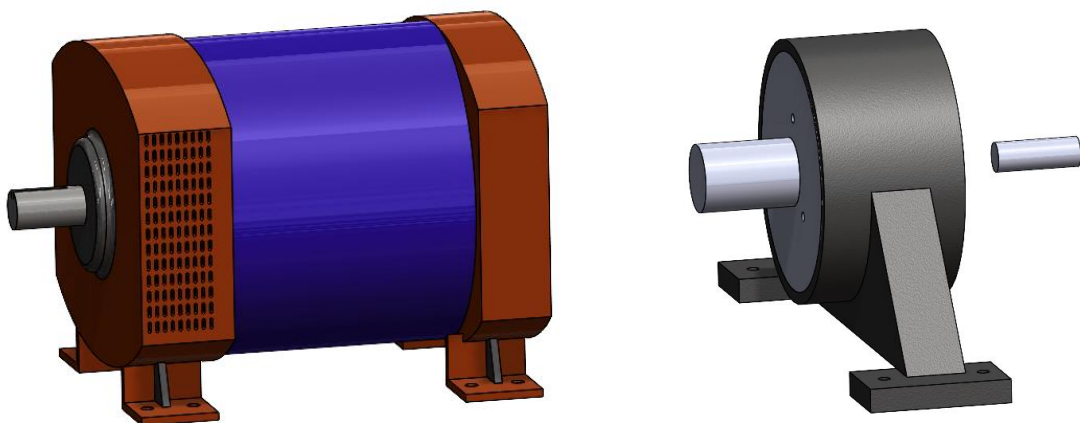
I denne delen blir vannhjulet med generator presentert fra en eksplosjonstegning hvor enkelte deler blir vist og forklart grundigere.



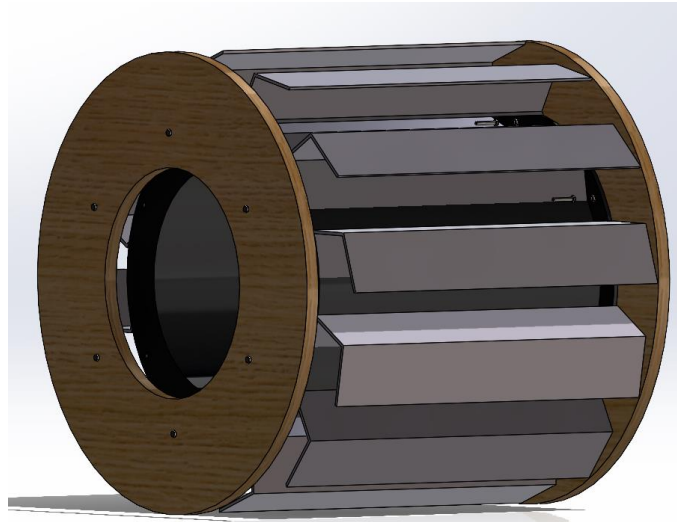
Figur 11.8: Oversiktstegning sett fra forsiden av vannhjulet og generatoren. Viser hvordan akselen til vannhjulet er koblet til giret som er koblet til generatoren.



Figur 11.9: Oversiktstegning med girboks, girhus, lager, lagerhus, akseoverføring, plattform og generator.



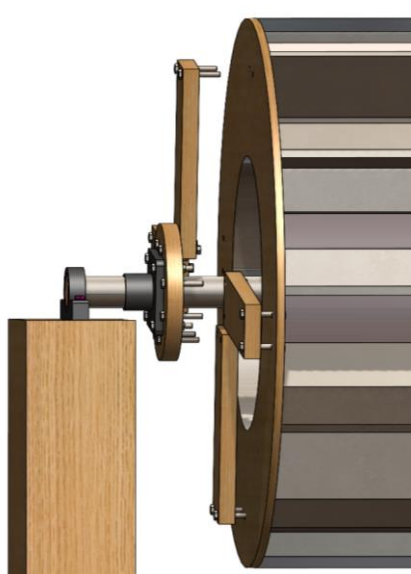
Figur 11.10: Oversiktsbilde med gir, girhus og overføringsaksel. Elementene



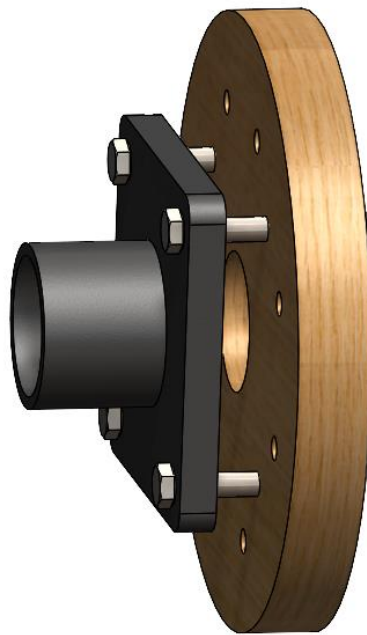
Figur 11.11: Eksplosjonstegning av vannhjulet sett fra venstresiden av hjulet. Illustrerer hvordan skovlene og trommelen er plassert i forhold til stabilisatorring.

12.5. Mindre komponenter og moduler for vannhjul

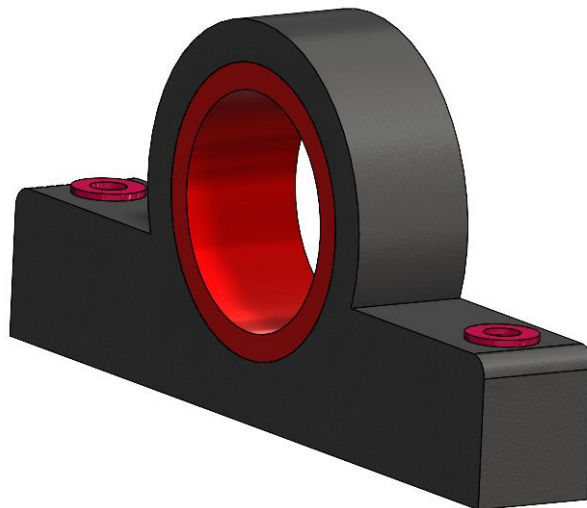
I denne delen blir mindre komponenter for vannhjulet presentert.



Figur 11.11: Eksplosjonstegning av eiker feste til stabilisatorring.



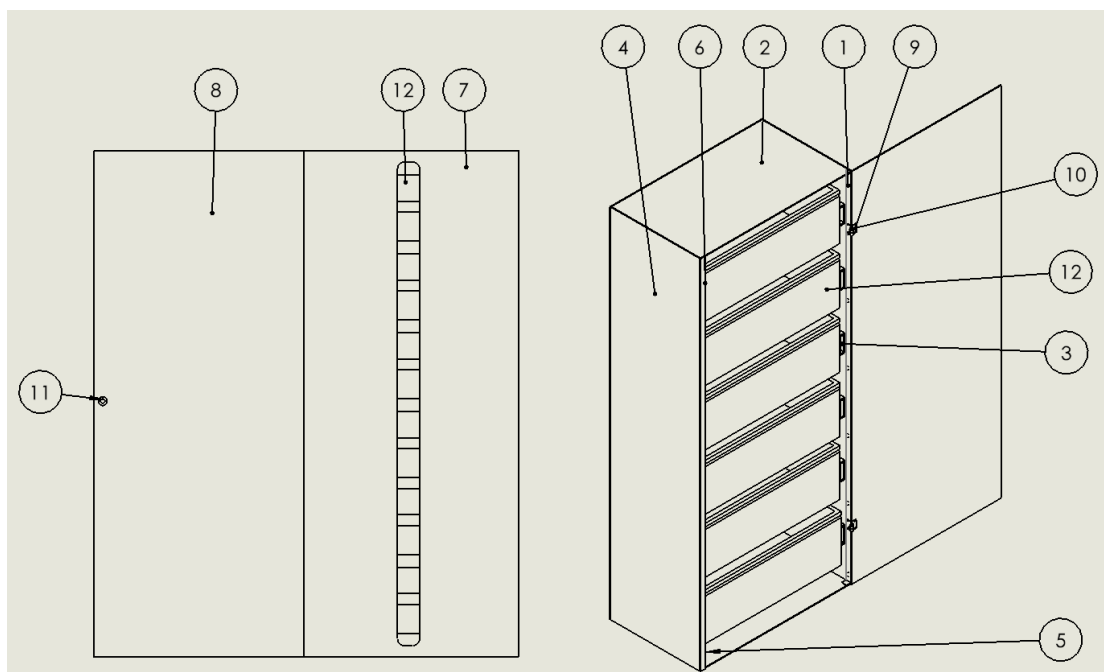
Figur 11.12: Eksplosjonstegning av nav og festering..



Figur 11.14: Oversiktstegning av lagerhus, med lager inni. Det er forskjellige lagre som blir benyttet, de vil passe de ulike akslene som de er tilknyttet.

11.6. Helhetstegning for batterilagring

I denne delen illustreres og presenteres vannhjulkonseptet med nummeranvisninger og forklaringer.



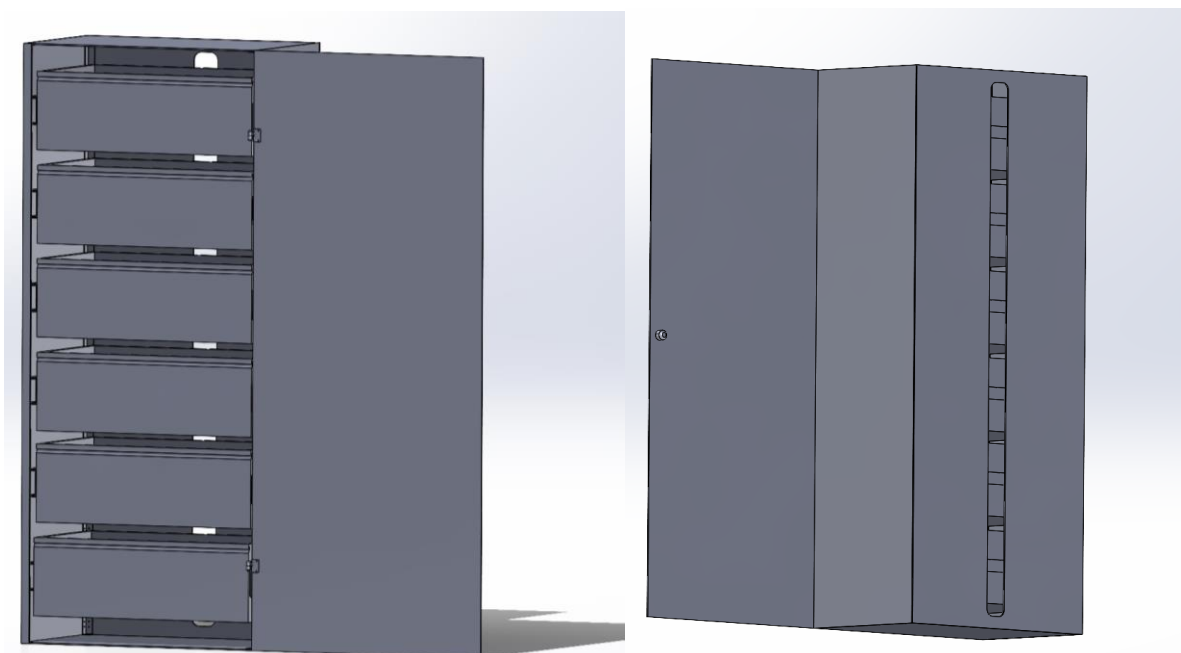
Figur 11.15: Batteriskap. Skinner og ekstra skuff til konverter.

Tabell 11.2: Oversikt over deler i sammenstillingen for batteriskapet.

Del nr.	Viser	Del nr.	Viser
1	Profil type 1, innvendig	7	Ytterskall i metall, bakvegger
2	Ytterskall i metall, topp og bunn.	8	Dør
3	Hylleskinner	9	Innvendige hengsler
4	Ytterskall i metall, side	10	Hengselfeste
5	Profil type 2, innvendig	11	Dørlås
6	Ytterskall i metall, foran.	12	Batterihyller

11.7. Helhetstegninger for batterilagring i 3D

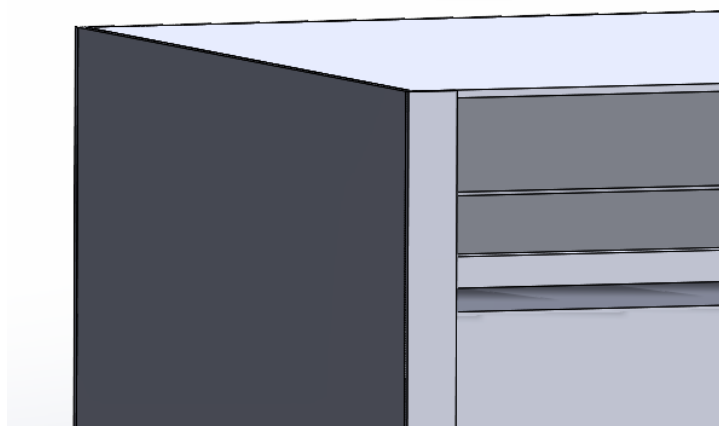
I dette delkapittelet blir det helhetlige designet av batterilagringen presentert.



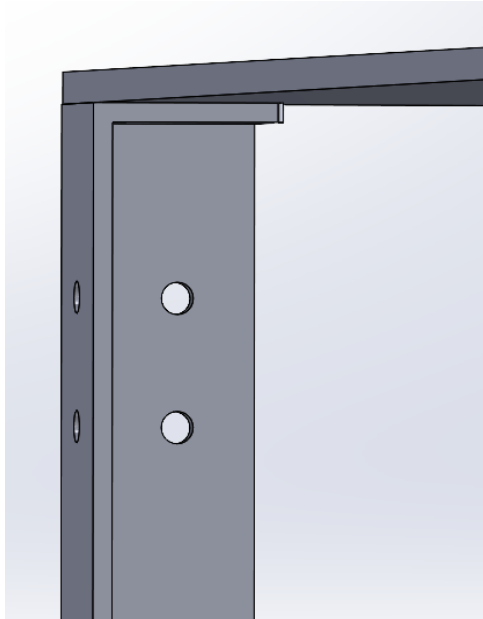
Figur 11.16: Oversiktstegning av hele batteriskapet med skuffer, hengsler, låsemekanisme, profiler og hylleskinner. Begge bildene viser batteriskapet med åpen dør. Bilde til venstre viser batteriskapet foran sett fra høyreside for skapet. Bilde til høyre viser baksiden av batteriskapet sett fra høyrevinkel for batteriskapet.

11.8. Hoveddeler

I denne delen blir batteriskapet presentert fra en eksplosjonstegning hvor enkelte deler blir vist og forklart grundigere.



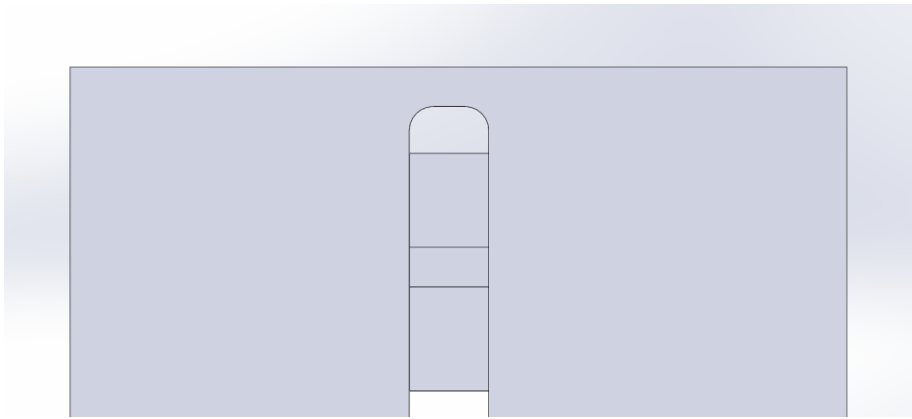
Figur 11.17: Oversiktstegning sett fra venstre side av skapet. Bildet viser hvordan forsiden er plassert i forhold til topplaten og sideplaten til skape, som til sammen danner hjørnet. Sidene er festet på innsiden takket være profiler.



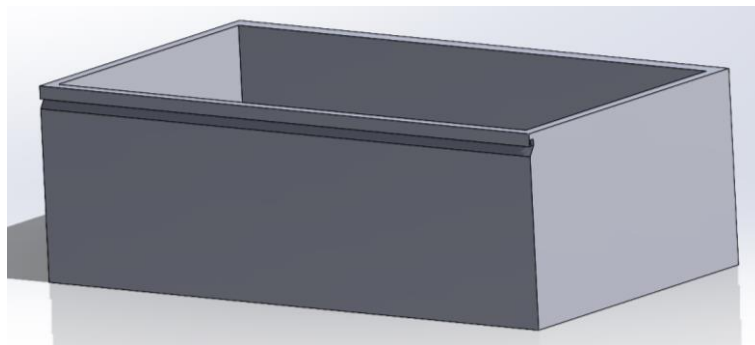
Figur 11.18: Eksplosjonstegning av hjørnet til skapet. Viser hvordan profil type 2 på innsiden er plassert. Denne kan bli skrudd fast eller sveiset fast til sidene av skapet.



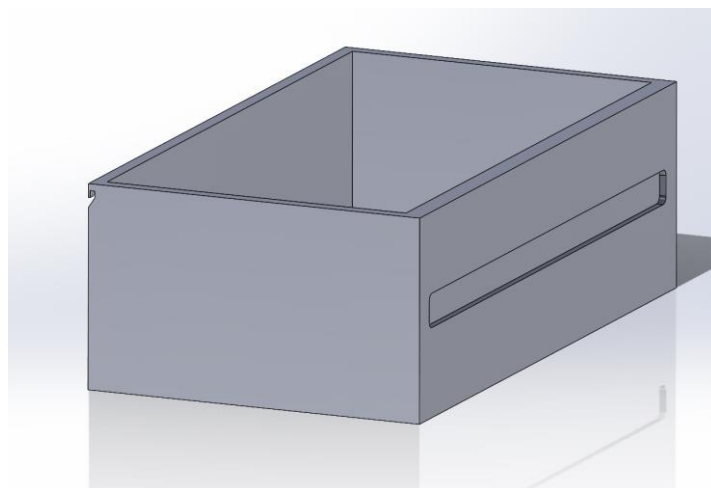
Figur 11.19: Viser hvordan profil type 1 er plassert i forhold til sideplatene Den blir montert på tilsvarende vis som profil type 2.



Figur 11.20: Et utsnitt av skapet bak. Viser hvordan det er laget hull i platen for å gi plass til ledninger og mulighet for ventilasjon.



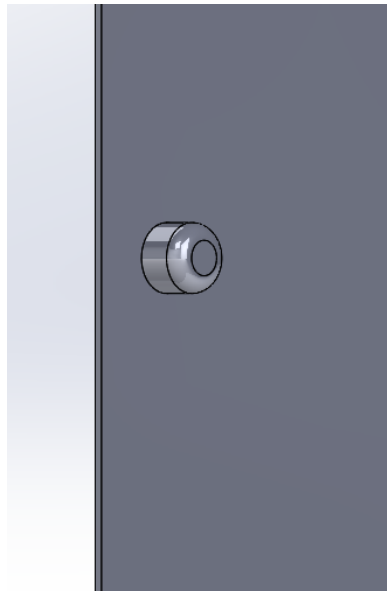
Figur 11.21: Viser hvordan skuffene til batteriskapet ser ut, sett fra høyresiden. Den er konstruert med en hemp som benyttes til håndtak for å dra ut skuffen.



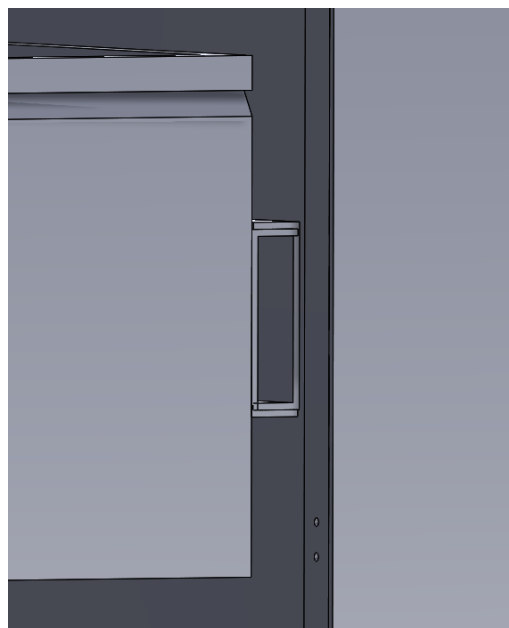
Figur 11.22: Viser hvordan skuffen ser ut bakfra sett fra høyreside. I skuffene er det designet et hull for å gi ledningplass, og ventilasjonsmuligheter for batteriene.

12.9. Mindre deler og standardkomponenter

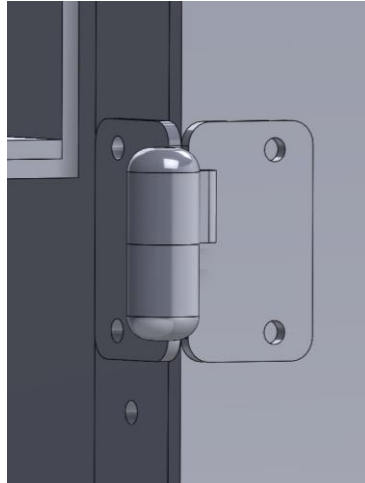
I denne delen blir mindre deler for batteriskapet presentert fra en eksplosjonstegning hvor enkelte deler blir vist og forklart grundigere.



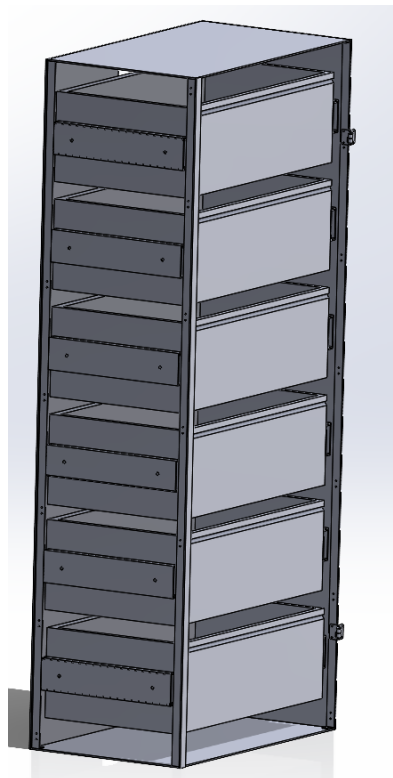
Figur 11.23: Viser en enkel modell av dørlåsen. Denne skal kunne lukke og åpne døra til batteriskapet, men også kunne låse skapet.



Figur 11.23: Bilde av hvordan hylleskinnen er plassert. De er festet på siden av skuffen til siden av skapet ved hjelp av M8 skruer. Dette gjør at skuffene kan dras ut og inn av skapet.



Figur 11.24: Viser hvordan hengselen er plassert. Den er festet til døra og profil type 1, på innsiden av skapet. Plasseringen av hengselen på innsiden av skapet gjør at det er vanskeligere å bryte opp skapet. Hengselen er laget med hull slik at M8 skruer kan benyttes.



Figur 11.25: Eksplosjonstegning av batteriskapet. Viser hvordan skuffene er plassert med hyleskinner og profiler. Batteriskapet er designet med seks hyller, på den måten er det plass til transformator i den ekstra skuffen. Eller den ekstra skuffen behøver ikke å bli montert og man kan ha transformatoren kun i bunden. I tillegg er det plass til vifte, men å ha en vifte i hver skuff til ventilering kan være lurt.

12. EKSTERNTTESTING OG EKSTERNINPUT

For å sikre at arbeidet er riktig er det nødvendig med eksperttesting og/eller ekspertinput. Kapittelet går derfor igjennom planleggingen og gjennomføringen av testing, og henting av informasjon og input fra eksperter på sine respektive fagområder. Det vil også være nyttig å intervju og å hente informasjon av andre personer som ikke nødvendigvis er eksperter, men kan komme med tilbakemeldinger.

12.1 Testmål

For å kunne gjennomføre en eksterntesting det viktig å få en oversikt over hva som skal testes, og finne fram til en god testpopulasjon med både teknisk, bruksmessig og annen praktisk innsikt og ekspertise. På denne måten kan man sikre at hovedmålsettingen for konseptet nås og at produktet er av god kvalitet. For å få en ryddig dialog med testpersoner blir hovedmålet for testingen delt inn i delmål.

12.1.1. Hovedmål

Hovedmålsetting for testingen formuleres på denne måten:

Å teste ulike elementer av konsptutviklingsarbeidet ved hjelp av eksperter og samle andre innspill andre for å få tilbakemelding på produktkonseptet og de betraktningene som har blitt gjort i utrednings- og utviklingsfasen. Dette gjelder både konseptuelle valg og funksjonelle og tekniske aspekter . Det vil også bli undersøkt eventuelle designmessige forbedringer av konseptet.

12.1.2.Delmål/fokuspunkter

Følgende stikkord er en nærmere nedbrekning fra hovedmålet og vil kunne bidra til oppklaring av resultatene en får av testingen. De deles inn på følgende måte:

- Er konseptet realistisk med hensyn til teknisk oppbygging, forbedringspotensialer?
- Er det svakheter i tilknytning til tekniske og ytelsessmessige grovberegninger, eller forutseneringer som må ses nærmere på
- Forhold knyttet til materialer, produksjonsmetode etterbehandling.

12.1. Undersøkelsen

Det blir på forhånd gjort avtaler om undersøkelsen med testpersonene hvor testen skjer over Zoom, Team, e-post eller i form av fysisk møte. Nødvendig materiale for testingen og rapporten blir send ved behov. Referat og resultat fra eksperttestingen blir dokumentert i neste delkapittel.

12.2.1. Undersøkelse 1: Tekniskdel

I den tekniske delen av undersøkelsen blir spørsmålsgrunnlaget om konseptløsning og grunnlagsberegninger er logisk. I den forbindelse stilles det spørsmål om tilbakemelding og vurdering av løsningsalternativet. I tillegg til råd på viktige deler av produktet.

12.2.2. Undersøkelse 2: Kundedel

Grunnlaget for spørsmålene som stilles til eksterngruppen omhandler design, nytteverdi og aktualitet for personen.

- Vil dette være en aktuell løsning for testperson.
- Hvor kunne personen tenke seg at en slik hydroanlegg vil passe.
- Hvilke design foretrekkes, i form og materiale.
- Synes personen at produktet vil være verdt bryet med vedlikehold.

12.2. Testpersoner

Testen blir delt i to deler. Den ene delen, kalt teknisk del, er for utvalgte ansatte ved NMBU som besitter relevant kunnskap om emner som omhandler prosjektet har blitt utvalgt til å ekspert i denne testen. Den andre delen, kalt kundegruppen, er for personer som ikke har ekspertise på området men har kommentarer om nytteverdien produktet vil kunne ha for dem og eventuelt andre kommentarer. Denne gruppen vil ha ett spredt spekter av kompetanse/jobb og kunne gi ett nytt perspektiv på produktet.

Tabell 12.1: Oversikt over ekspertene som det har blitt rådført med, deres kompetanse og ekspertområde.

Navn	Kompetanse	Ekspertområde
Egil Stemsrud	Senioringeniør	Konstruksjon, beregninger og konsept.

Tabell 12.2: Oversikt over testpersoner og hva de tenker/synes om produktet.

Navn	Kompetanse/jobb	Personlige opplysninger
Margit Langmoen Olsen	Ingeniør -Arealplanlegger	Boligeier
Bjarne Langmoen Olsen	Sivilingeniør -Geomatikk	Boligeier
Tirill Realfsen Andersen	Psykologistudent	
Christoffer Fuglset	Landskapsarkitektur student	
Eirik Nobuki Ellingsen Kosaka	Sivilingeniør -Elektronikk	Boligeier

12.3. Resultater

I denne delen blir resultatene fra testen redegjort. Hva testpersonen hadde som tilbakemeldinger og tanker, eventuelt input.

12.3.1. Tekniskdel

Stemsrud ble rådført for den tekniske delen. I den forbindelse ble han spurt om tanker om konseptet som hadde blitt til og grovberegningene som ble utført, med fokus på beregninger for

dimensjonering av vannhjul. I tillegg ble han rådført om konstruksjonsberegning av batteriskap og montering.

Fra dette møtet ble det klargjort at en viktig fundament for batteriskapet er viktig. Det er viktig at batteriskapet blir fraktet i deler. Batteriskapet ser lett ut å montere, men på grunn av tyngden vil det være viktig med et fundament som tåler skapet sin tyngde.

For vannhjulet vil det være mer uklart om hvor mye effekt det vil klare å generere. Det er en del enkle antagelser i vanninnstrømmingen, om det vil treffe passende eller sprute videre. I tillegg vil skovleformen være betydelig, som vil kreve grundigere matematiske beregninger. Videre mente han at sentrifugen vil ha minimal virkning på effekten, om noe i det hele tatt.

12.3.2. Kundedel

Kommentarene fra eksterntesting var som følgende:

- Boligeiere kan tenke seg innovative løsninger for energihøsting.
- Det har blitt aktuelt for boligeiere å se på andre metoder for å få strøm, og i større grad etter at strømprisene har økt.
- En av boligeieren hadde en dam rett ved hagen og så på det som gunstig å kunne benytte den.
- Mange av testpersonen så på dette som en aktuell energihøstingsmetode dersom de hadde mulighet til dette i omgivelsen.
- Flere av testpersonen så på det som aktuelt å ha både batteriskapet og vannhjulet litt lengere unna boligen, hvor det ikke syntes så godt.
- Flere av testpersonene mente at et gunstig utseende for produktet er en bekledning som passer boligen, dersom produktene er nærmere huset.
- Dersom produktet er lengere borte fra boligen ble det sett på som gunstig at det passet inn i naturen.
- For flere var det lite mulighet å benytte et slikt produkt, på grunn av lite tomteareal og ingen tilgang til bekk eller vann.
- Testpersonene syntes at en mer organisk materialvalg var å foretrekke.

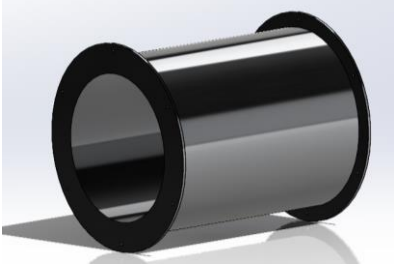
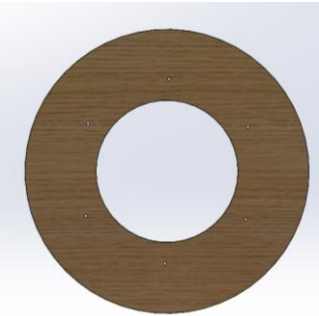
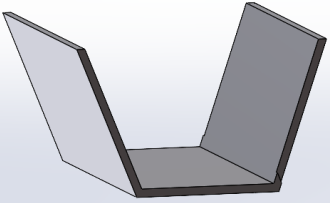
13. TILVIRKNING OG ØKONOMI


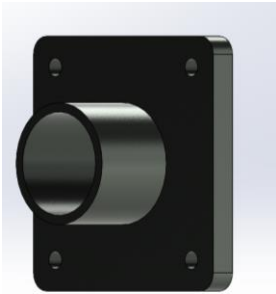

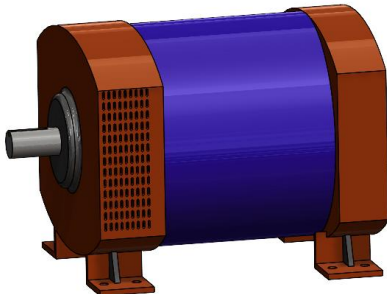
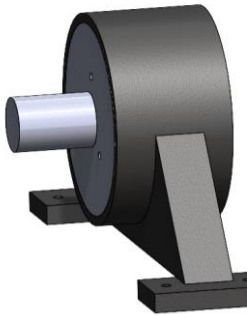

Denne delen av rapporten skal redegjøre for produksjon- og sammenstillingsmetoden for ulike komponenter i vannhjulet og batterilagringen. I tillegg blir det gjort et grovt estimat av de økonomiske utgifter som kreves for å produsere prototype av produktet. Det vil også bli gjort et estimat av serieproduksjon for konseptene. Metodene og estimatene vil gi innsikt i hvor stor grad det er gjennomførbart å produsere produktet og kostnadene forbundet med å produsere et visst antall moduler.




13fe.1. Produksjonsanvisninger

Produksjonsanvisninger for komponentene som inngår i prototype til vannhjulet og batteriskapet blir presentert i denne delen, hvor elementer for vannhjulet blir presentert i tabell 13.1.

Tabell 13.1: Tabell med produksjonstrinn for vannhjul.

Tegning av komponent	Komponent	Forklaring
	Trommel	Plater knekkes og formes eller stanses ut med form
	Stabilisatorring	Skjæres ut og tilpasses mot skålfestene.
	Skåler antall 12	Plater knekkes og formes eller stanses ut med form

	<p>Eiker</p>	<p>Kjøpes inn.</p>
	<p>Nav</p>	<p>Kjæres ut av plate, bores til nav og festes til eiker</p>
	<p>Aksel</p>	<p>Kappes til av rundstål</p>
	<p>Generator</p>	<p>Kjøpes inn</p>
	<p>Girboks</p>	<p>Kjøpes inn</p>
	<p>Overgankshylse/splineshylse til aksler</p>	<p>Kjøpes inn, Bosh Rexroth eller Egil Engh AS.</p>
	<p>Lagerhus</p>	<p>Kjøpes inn.</p>

		
	Lager	Kjøpes inn
	Festeskruer til girveksel og generator, M8 og M10	Kjøpes inn, Sverre Tingstad AS, 40 stk. M8 og 12 stk. M10

13.2. Økonomiske analyser

I denne delen blir de økonomiske analysene presentert.

13.2.1. Egen tidsbruk

Tabell 14.2: Eget utviklingsarbeid.

Konseptutvikling	Timer	Pris [NOK]	Sum [NOK]
Utredning	125	550	68.750
Konseptutvikling	318	550	174.900
Dimensjoneringsarbeid	114	550	62.700
3D-modellering og tegning	143	550	78.650
Prosjektrapport	213	550	117.150
Sum konseptutvikling	913	-	502.150

13.2.2. Materialer og komponenter

Tabell 14.3: Materialer og komponenter til konstruksjon av vannhjul og skap

Materialer og komponenter	Mengde/antall [kg eller stk]	Pris [NOK/kg]	Sum [NOK]
Vannhjul og el-generieng:			
Stålplate til skovler (7 mm)	3,4 m ²	350	1.190
Trommelrør (500 x7 mm)	0,8 m	-	2.500
Heltrestokk til støtter	1,5 m ³	1000	1.500
Trematerialer til eiker mm	-	500	500
Treplater til støttering	2,9 m ²	850	2.450
Rullelagre	2 stk	135	270
Lagerhus	2	140	280
Skruer, M10	12	15	180
Småkomponenter/plater	-	-	550
Batteriskap:	10 stk	75	750
Stålplate til skap (3 mm)	10 m ²	175	1.750
Profiler (5x25x25 mm)	4,6 kg	37	170
Skinner	10 stk	75	750
Skruer, M8	40 stk	8	320
Hengsler (Robuste)	2 stk	125	250
Lås med kode	1 stk	250	250
Skiver og smådeler	-	-	100
Sum materialer og deler	-	-	12.920

13.2.3. Girboks, generator og transformator

Tabell 14.4: Utrustning for kraftoverføring og strømgenerering.

Større innkjøpte komponenter	Mengde/antall [kg eller stk]	Pris [NOK/kg]	Sum [NOK]
Girboks, 1800 Nm, 60:1	1 stk	4.750	4.750
Genrator, 6.5 kW	1 stk	5.750	5.750
Transformator	1 stk	6.550	6.550
Sum			17.050

13.2.4. Verkstedarbeid og tilvirkning

Tabell 14.5: Verkstedarbeid.

Konseptutvikling	Timer	Pris [NOK]	Sum [NOK]
Sveising av ramme/fot	10	650	6.500
Tilknekking av plater	15	650	9.750

Kapping og maskinering	25	650	16.250
Montering og tilpasning	15	650	9.750
Sum verkstedarbeid	65	-	42.250

13.2.5. Prototypekostnad (estimat én stykke)

Tabell 14.6: Alle postene slått sammen.

Hovedpost i utviklingsarbeid og tilvirkning	Sum [NOK]
Eget konseptutviklingsarbeid	502.150
Materialer og komponenter til bygging	12.920
Gir, generator og transformator	17.050
Innkjøp av batterier, 23 stk 6 Volt, a kr. 3.400	78.000
Verkstedarbeid	42.250
Totalsum for pototype	652.370

13.2.5. Seriestemat (fordelt på økende antall)

Tabell 14.7: Grovt serieestimert ved økende produksjonstall

Hovedpost	1 stk	10 stk	100 stk *)	1000 stk*)
Eget utvikingsarbeid	502.150	50.220	5 022	502
Produksjon og komponenter	150.220	1 502.200	7 511 000	150 220 000
Sum per enhet **)	652.370	155.242	75.160	75.110

*) Forutsetter 50% i masserabatter i fradrag ved 100 eller mere produsert per år.
Sannsynligvis vil man kunne få enda mer ved 1000 stk. eller over dette

***) Renter vil komme i tillegg, men regnes ikke inn her.

Dersom generatoren til anlegget produserer ca. 5.5 kW i omkring 80% av årets måneder betyr dette at omtrent:

$$365 \text{ dager} * 24 \text{ timer} * 0,8 = 7,008 \text{ kWh}$$

Det gir 7. 008 kWh i året. Ved en gjennomsnittsstrømpris på 2,0 kroner per kWh, og en årsproduksjon på 100 stk vil man få en balanse ved

$$\frac{75\,160 \text{ kWh}}{7,006 \text{ kWh} * 2 \text{ kr/kWh}} = \frac{75\,160 \text{ kWh}}{14016 \text{ kWh}} = 5,36$$

Fra disse antagelsene vil det ta 5.36 år å tjene inn beløpen som ble brukt på å kjøpe produktet. Ved et avansepåslag ved salg med en faktor 2 til transport, fortjeneste mm. så vil kjøperen/brukeren kunne tjene inn anleggsinvesteringen i løpet av 10-11 år.

14. MILJØ OG MARKEDSRENDRING

I denne delen er hensikten å vise hvordan prototypen vil se ut i verden. Dette vil vise renderte fremstillinger i ulike omgivelser.

14.1. Løsningskonsept i naturlig miljø

Renderte bilder av batteriskap og vannhjulet blir fremstilt i forskjellige omgivelser og miljøer som er aktuelle for konseptløsningen



Figur 14.1: Vannhjulet er plassert ved en elv ved ett fritidsbolig. For denne løsningen vil det behøves å tilpasse elevstrømningen og gjøres utbyggelsler. Generatoren er ikke tatt med i bilde, og må forestilles å være på siden i en bebyggelse.



Figur 14.2 Vannhjulet er plassert ved en elv ved ett fritidsbolig, sammen med batteriskapet. Her er skapet plassert rett ved boligen



Figur 14.3: Konseptløsningen er plassert ute i skogen. Batteriskapet kan pakkes inn i en bekleddning som vil gjøre at den nesten ikke synes. For denne situasjonen vil det behøves en renne eller rør.



Figur 14.4: Konseptløsningen er plassert i fjellet ved en hytte. For denne løsningen vil det behøves en utbyggelse får å få vannet til å falle mer.



Figur 14.5: Konseptløsningen er plassert ved et gjorde og kan supplere strøm til tomten. I denne situasjonen vil det behøves en renne eller rør.

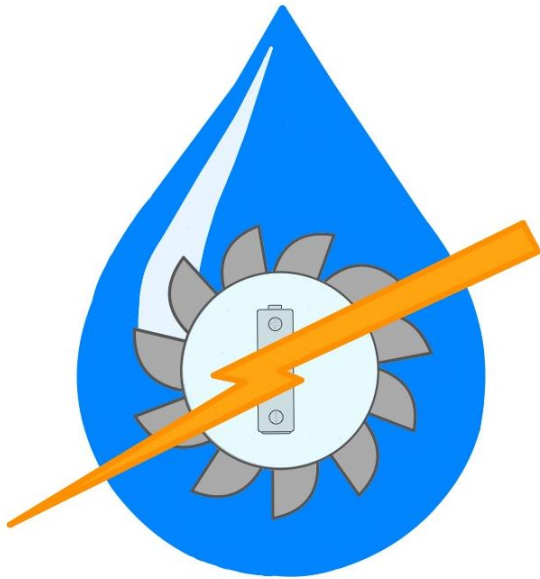


Figur 14.6: Vannhjulkonseptet er plassert ved en renne, som er den tiltenkte måten for vannet å strømme inn på.

14.2. Varemerke

For dette produktet har en logo blitt formet og uttenkt. En logo er kjennemerke for en virksomhet eller for eksempel en organisasjon. En logo har som formål å gi en forståelse av hva virksomheten representerer. I tillegg burde logoen ha ett særpreg som gjør at den skiller seg ut og blir lagt merke til. Logoen som er tiltenkt for denne oppgaven har derfor en vandråpe, vannhjul/turbin, batteri og et lyn. Disse komponentene skal illustrere mekanisk generering av strøm ved hjelp av vann, lading og lagring av elektrisiteten. Den er i en litt dyp blå farge, med et oransje lyn, som fanger blikket.

I tillegg er det uttenkt varemerke. Et varemerke skal identifisere produktet og være originalt. For denne oppgaven velges Langmoen Hydro 5000. Dette skaper originalitet til produktet ved navnet til oppfinneren, hydro 500 viser til produktet.



Langmoen  Hydro 5000

Figur 14.7: Illustrasjon til venstre er den designede logoen for konseptet, men Langmoen Hydro 500 er varemerket.

15. PROSESSEVALUERING OG DISKUSJON

Det er viktig å reflektere over de ulike trinnene gjennom dette prosjektarbeidet for å kunne identifisere forbedringspotensialer i forhold til en oppfølging og videre arbeid. Derfor vil det i dette kapitlet bli diskutert utredning- og utviklingspotensialet i en trinnvis drøfting som er koplet til prosessdiagrammet. I tillegg vil resultatene av arbeidet bli drøftet og svakheter og usikkerhetsmomenter i vurderingene som er gjort og valgene som er tatt blir vurdert.

15.1. Kompetanseutvikling og læring

Personlige erfaringer fra det utførte prosjektarbeidet blir presentert punktvis i dette delkapitlet med søkelys på kompetanseutvikling som har bidratt til gjennomføringen av de ulike prosessene:

- Oppgaven har bidratt til økt kunnskap gjennom teoriutredelse. Blant annet kunnskap om høsting av hydroenergi ved hjelp av vannhjul og vannturbiner, men også kjemisk lagring av energi.
- Planleggingen var utfordrende å forholde seg til og oppgaven har gitt en bedre grunnleggende forståelse av viktigheten og problemstillingen av nøye og realistisk planlegging for prosjektet. Oppgaven sin størrelse og kompleksitet var krevende. Oppdraget virket overveldende etter hvert som prosjektet ble utført fordi det stadig ble oppdaget flere hindringer, elementer og hensyn som måtte tas i betraktning.
- Arbeidet har gitt meg innsikt i egen kompetanse og ferdigheter, og da særlig mangel på det.
- Masterarbeidet har gitt mye læring av metodebruk for produktutvikling, noe som jeg ikke hadde erfaring på i utgangspunktet.
- Gjennom rapporten har jeg lært å skrive, forme og utføre et slikt omfattende prosjekt.
- Å benytte fagmiljøet mer i utredelsen av oppgaven kunne vært fornuftig, særlig med tanke på å forme tanker og idéer, samt fremstille dem fysisk i rapporten.
- Utførelsen av arbeidet har lært meg hvilke utfordringer det er å sette begrensninger og å gjøre valg.

15.2. Utredningsprosessen

Evalueringen av utredningsprosessen som har blitt gjennomført i oppgaven er som følgende:

- Den åpne oppdragsbeskrivelsen var utfordrende i den forstand at mange elementer kunne bli tatt i betraktning. Behovet for større teoretisk forståelse førte til mye utredelse.
- Erfaringen er at informasjon om teori- og teknologibeskrivelse for mikrohydroanlegg er vanskelig å finne fra pålitelige kilder.
- En omfattende metodebeskrivelse var nødvendig. Den ga rammer rundt hvordan å utforme prosjektet. Gjennom utførelsen oppnådde jeg en fullstendig forståelse for nytteverdien av metodene.
- Det var vanskelig å forstå omfanget av oppgaven. Først ved slutten av arbeidet har jeg innsikt i hvor krevende et slikt arbeid er.

- Prosessplanen er et viktig og nødvendig verktøy, men under utførelsen av arbeidet oppdaget jeg at den ikke alltid er enkelt å følge. Planen måtte opptatt underveis, ettersom enkelte elementer i rapporten tok lengre tid å utføre enn forventet.

15.3. Utviklingsfasen

Følgende evaluering av utviklingsfasen for prosjektarbeidet er punktvis presentert her:

- Det var utfordringer knyttet til gjennomføringen av produktspesifisering og funksjonsanalyse på grunn av kompleksiteten og utformingen av de forskjellige elementene. Derfor var det behov for å sette forenklinger og fokusere på kun noen aspekter.
- Ettersom vannhjul har en lang historie, var det krevende å utvikle nye visjoner og idéer for produktet.
- Egenscreeningen og valgene har blitt utført ved hjelp av Pug sin metodikk, hvor poengene som er tildelt er basert på tidligere visualisering av funksjonen til elementene i produktet. En grundigere utdyping og forklaring av de tildelte poengene i forhold til produkttegenskapene kunne ha blitt gjort.
- Det ble ikke utført analyse av hvilke antall skovler det er best å ha i vannhullet. Tolv skovler ble satt som et estimat utfra egen vurdering.
- I utviklingsfasen blir metoden modularisering implementert ved produktløsning og beregninger i form av symmetri.
- Gjennom hele arbeidet har det vært en kontinuerlig læringskurve, blant annet hvordan å strukturere rapporten, og å skape orden og systematisering gjennom hele prosessen.

15.4. Analysefasen

Av analysefasen i oppgaven er evalueringen som følgende:

- Grunnet mye tidsbruk av tidligere trinn i prosessen ble det igjen lite tid til utførelse av analysere og grundig beregninger.
- Det ble utført grove grunnlagsberegninger, hvor mange antagelser måtte tas. Det ble ikke tatt hensyn til skovleform og skovlevinkel i beregningene som vil kunne gi store avvik.
- Fra dette ble det gjort estimeringer av hva som ville lønne seg.
- For batterilagringsystemet ble det kun gjort grovberegninger på profilene for batteriskapet.

15.5. Ferdigstillingsfasen

Ferdigstillingsfasen av arbeidet ble evaluert til følgende punkter:

- Flere deler av modelleringen burde vært utført. En grundigere modellering av enkelte av komponenten hadde vært fordelaktig ettersom det gir en bedre forklaring.
- Batteriskapet ble høyere enn først antatt, ettersom det ble beregnet god margin for både batteri, transformator og vifter. Ved valg av andre mindre batterier vil skapet bli mindre.
- Flere løsningsalternativer for vannhjulet burde vært modulert, med hensyn på skovlevinkel, skovlefasong, stativ og benyttelse av andre elementer enn ytterringer.
- Forenklete modelleringer av lager, riller og låser har blitt gjort, ettersom dette lett kan kjøpes.
- Konseptløsning av flere hybridløsninger tilknyttet til batterilagingsproduktet har ikke blitt 3D-visualisert, men er diskutert.
- Grunnet tidsbegrensinger på slutten av rapporten har enkelte deler blitt utelatt. Slik som transformator, ledninger og vifte til batteriskapet har blitt utelatt. Likeretter er heller ikke blitt tatt med.
- Det ble ikke tegnet hus eller skjul som beskytter vannhjulet, generatoren og batteriskapet.
- En grundigere undersøkelse av montering av de forskjellige burde utføres.

15.6. Sluttdiskusjon

De resterende diskusjonspunktene for evalueringen av den helhetlige rapporten er som følgende:

- Videre arbeid for rapporten er å gjennomføre en grundig matematisk beregning og analyse av produktet. Dette gjelder hele produktet, fra vannhjulet sin høsting av energi og videre til lagring av energien
- Videre arbeid er FEM-analyse av kritiske deler.
- En fremstilling og analyse av andre energikilder som er tilknyttet batteriskapet.
- En gjennomføring av andre konseptuelle løsninger for systemet, med tanke på andre typer batterier, andre skovler for vannhjulet mm.
- Designing av rør som tilfører vannet til vannhjulet er aktuelt å se på fremover.
- Det er aktuelt å designe beskyttelses hus for vannhjulet. I tillegg er det nødvendig å designe hus hvor batteriskapet er plassert inni, som både beskytter og isolerer mot kulde. En annen løsning er eventuelt å ha batteriskapet inne i en allerede eksisterende bygning, eller som et påbygg.
- Det er aktuelt å se på antall skovler, skovlevinkel og former.
- Videre arbeid for sikring av batteriskapet, med særlig tanke på brann, ettersom dette er den mest brannfarlige delen.
- Sikring for produktene med tanke på værforhold, flom, og forbipasserende mennesker og dyr.

16. KONKLUSJON

Gjennom dette masterprosjektet er det blitt utredet, utviklet og dimensjonert et småskalasystem for generering og lagring av elektrisk energi basert på lokal vannkraft for effektområdet 5 kW. Det skal også være mulighet for lagring av elektrisk energi ved batterier. Formålet med produktet er å kunne utnytte systemet på rurale steder som ellers ikke har tilgang til elektrisitet, men som har bekker, elver eller vannreservoarer som kan utnyttes. Alle trinnene i arbeidet har blitt dokumentert ved trinnvis rapportering, tegning, tekniske anvisninger og anbefalinger.

Det har blitt designet et småskalhydroanlegg skal genere en effekt på 5 kW, ved hjelp av vannhjul. I designet er det også tatt med girboks og generator, med dette antas kjøpes inn. Videre er det designet et skap for batteriene som skal lagre strømmen. Vannhjulet er lite og tar derfor ikke mye plass i naturen. Å ha en innpakning vil derfor være enkelt å konstruere. For batteriskapet er det nødvendig med et bygg på utsiden som isolerer, men den enkle konstruksjonen til skapet gjør dette enkelt. Produktene benytter modularisering, er enkelt å enkelt produsere og montere på stedet. Den vil også være enkelt å vedlikeholde. Mange av komponentene er enkelt å få kjøpt.

Designet som er valgt basert på egenscreening er det gjort enkelte grovberegninger. Produktet er designet for å passe inn i naturen uten å være veldig synlig. Det skal heller ikke være nødvendig med store inngrep i naturen for at det skal fungere. Dette gjelder også montering og frakt.

16.1. Resultater og anbefalinger

Etter gjennomføringen av prosjektarbeidet er resultatene av hovedmålet og delmålene som følgende:

- Mikrohydroanlegget generer elektrisitet ved et overfallsvannhjul som benytter moment fra vanntrykk og vannvekt.
- Anlegget leverer elektrisk effekt på 5kW.
- Vannhjulet har en radius på 0,5 m og er 0,8 m lang. I tillegg har den 12 skovler som er 0,2 m dype.
- Batteriskapet ble designet for AGM Deep Cycle batterier og kan romme 23 stk. av disse. Batteriskapet vil også kunne ha plass til en transformator og vifter.
- Batteriskapet er 2,3 m høyt, 1,0 m bredt og 0,5 m dypt.
- Produktet er designet for enkel produksjon, transport, montering og vedlikehold. Produktet er designet for å vare lenge.
- Det anbefales et jevnlig vedlikehold og tilsyn på sikkerhet. I tillegg må en fagperson koble batteriene og nettet.

16.2. Videre arbeid

I dette prosjektarbeidet har det vært flere utfordringer som har oppstått underveis. På grunn av tidsbegrensninger har det vært nødvendig å utelate en del elementer. For å få en bedre og en mer helhetlig konseptløsning vil det være flere elementer som må løses. Anbefalingen for videre arbeid blir presentert punktvis fra det enkleste anbefalingen til det mer kompliserte alternativet og er som følgende:

- Gjennomføre grundigere kartlegging av løsningsalternativer og vurderinger for produktet. Dette vil gjelde skovleform, skovlevinkel og materiale. Det vil også være aktuelt å se på ulike former for stativfeste og generell designutforming for vannhjulet, og design for batteriskap.
- Designe beskyttelsesskur for vannhjulet og batteriskapet.
- En utredelse av markedspotensialet for produktet.
- Utreking av nødvendig sikring for værphenomener som flom, isgang og fremmedelementer.
- En utredelse av nødvendige løsninger for sensorer og alarmer, samt andre elektriske komponenter. Finne løsninger for å koble produktet til strømmettet, både levere og få strøm fra netter.
- Finne en løsning for innputt av andre lokale energikilder.
- Muligheten av fjernstyring av systemet og å holde kontroll på energiovergangene. Ideelt sett bli gjort fra telefonen.
- Utvikle en prototype, eller en skalamodell, og utføre testing for å kunne verifisere data.

17. REFERANSER

I dette kapittelet oppføres alle skriftlige og nettbaserte referanser som er benyttet under arbeidet av denne rapporten.

17.1. Skiftelige kilder

- [6] Deng, D. *Li-ion batteries: basics, progress, and challenges*, Department of Chemical Engineering and Material Science, Wayne State University, Detroit, 2015, s. 1-34.
- [15] Galby S. og Ersland H.B. *Utvikling og testing av læringsplattform for vannturbiner*, Fakultet for realfag og teknologi, Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, Ås, 2017, s. i-iv.
- [16] Solberg H. og Elsebutangen H. *Multitjeneste ladestasjon ved el-fergekai og/eller syasjonært energilager – potensiale og lønnsomhet i et systemperspektiv*, Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning, Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, Ås, 2018, s. II.
- [17] Inderberg S.M. *Småskala vindenergi, teknologi- og løsningsutvikling*, Fakultet for realfag og teknologi, Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, Ås, 2021, s. ii-iii.
- [18] Sivagami K. *Småskala solenergi, teknologi og designutvikling*, Fakultet for realfag og teknologi, Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, Ås, 2021, s. 4-5.
- [21] Magrab, E.B. et al. *Integrated Product and Process Design and Development: the Product Realization Process*, 2nd ed. CRC Press, New York, 2009
- [22] Pugh, S.C. *Creating Innovative Products Using*, Addison-Wsley Longman Publishing Co, Boston, 1996
- [23] Dieter, G.E. *Engineering design, Fourth Edition, McGraw-Hill*, McGraw-Hill International Edition, New York, 2009
- [24] Michalko, M. *Thinkertoys: A Handbook of Creative-Thinking Techniques*, 2nd ed. Ten Speed Press, Berkeley, 2006
- [25] Baxter, M. *Product Design (Design Toolkits)*, 1nd ed. CRC Press, Cheltenham, 1995
- [27] Matthews, P. *Introducing Renewable Energy*, 2015, Coventry, Greenstream Publishing Ltd. s. 34-37
- [29] Twidell, J. *Renewable Energy Resources Third Edition*. Routledge, New York, 2015
- [30] Elger, D. F. et.al. *Engineering fluid mechanics: International Student Version*, 11th ed, John Wiley & Sons. Singapore, 2016,
- [31] Langley, B. and Curtis, C. *Gowing With the Flow Small Scale Water Power*, The Center for Alternative Technology, Machnilleth, 2004

- [32] Meier, A.V. *Electric Power System A Conceptual Introduction*, Jhon Wiley & Sons, New Jersey, 2006
- [33] Asian Development Bank. *Handbook on battery energy storage system*, Asian Development Bank, Mandaluyong City, 2018, s.1-47

17.2. Nettbaserte kilder

- [1] Klima, Øverbø, O.A. Energi og Klima. Hentet 01.26.2022, Tilgjengelig: <https://energiogklima.no/klimavakten/global-temperatur>
- [2] Bærekraftsmål, FN-sambandet, Hentet 19.01.2022, Tilgjengelig: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal>
- [3] Energi, Rosvold, K.A. Store Norske Leksikon, Hentet 01.26.2022, Tilgjengelig: https://snl.no/energi_i_Norge
- [4] Elektrisk transport i Norge, Samferdselsdepartementet. Regjeringen, Hentet 01.26.2022, Tilgjengelig: https://www.regjeringen.no/no/tema/transport-og-kommunikasjon/veg_og_vegtrafikk/faktaartikler-vei-og-ts/norge-er-elektrisk/id2677481/
- [5] Strømpriser, Hafslund strøm, Hentet 25.01.2022, Tilgjengelig: <https://www.hafslundstrom.no/artikkel/derfor-er-stromprisen-uvanlig-hoy-i-ar>
- [7] Tesla, About Tesla, Hentet 02.01.2022, Tilgjengelig: <https://www.tesla.com/about>
- [8] Elektriske biler, Rustad M.E. E24, Hentet 02.05.2022, Tilgjengelig: <https://e24.no/det-groenne-skiftet/i/34X0Wv/ny-elbil-rekord-over-110000-biler-solgt-i-2021>
- [9] Elektriske ferjer, The Explorer, Hentet 03.02.2022, Tilgjengelig: <https://www.theexplorer.no/solutions/ampere--the-worlds-first-electric-car-and-passenger-ferry/>
- [10] Eklektiske ferjer, Energi og Klima, Hentet 01.02.2022, Tilgjengelig: <https://energiogklima.no/elektriske-bilferger-i-norge/>
- [11] Ladestasjon, Karlsen, T. Teknisk Ukeblad, Hentet 03.02.2022, Tilgjengelig: <https://www.tu.no/artikler/el-boom-pa-sjoen-antall-ladestasjoner-til-ferger-firedoblet-pa-to-ar/512677>
- [12] Elektrisk båt, RAND, Hentet 03.02.2022, Tilgjengelig: <https://randboats.com/boats/mana-23/technical-specifications-mana-23/>
- [13] Batteri, NikkeiAsia, Hentet 04.02.2022, Tilgjengelig: <https://asia.nikkei.com/Business/Automobiles/Panasonic-to-start-producing-new-Tesla-batteries-in-2023>

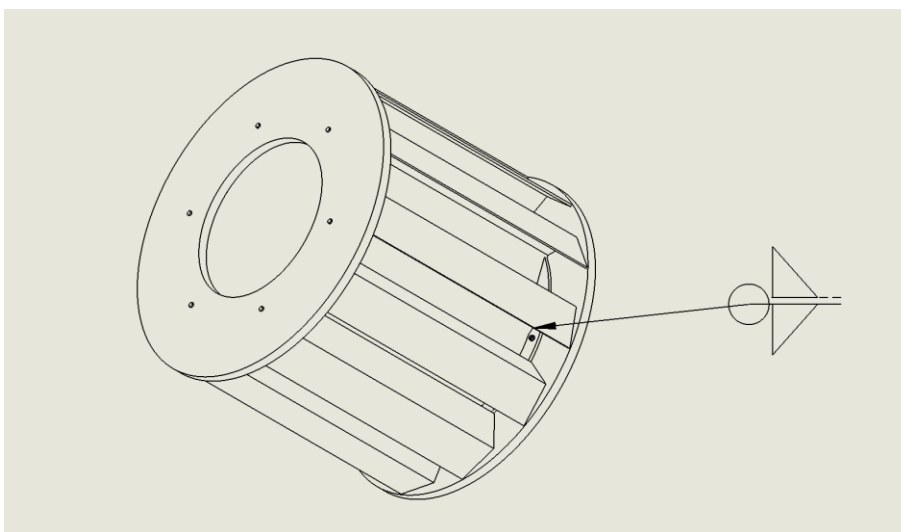
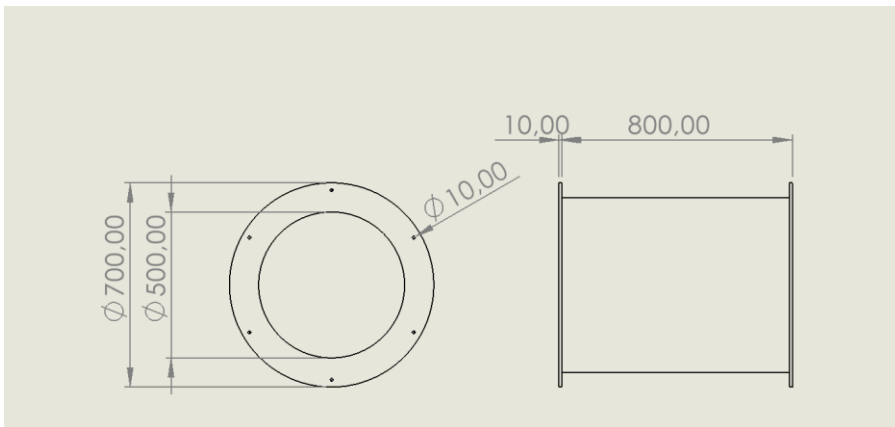
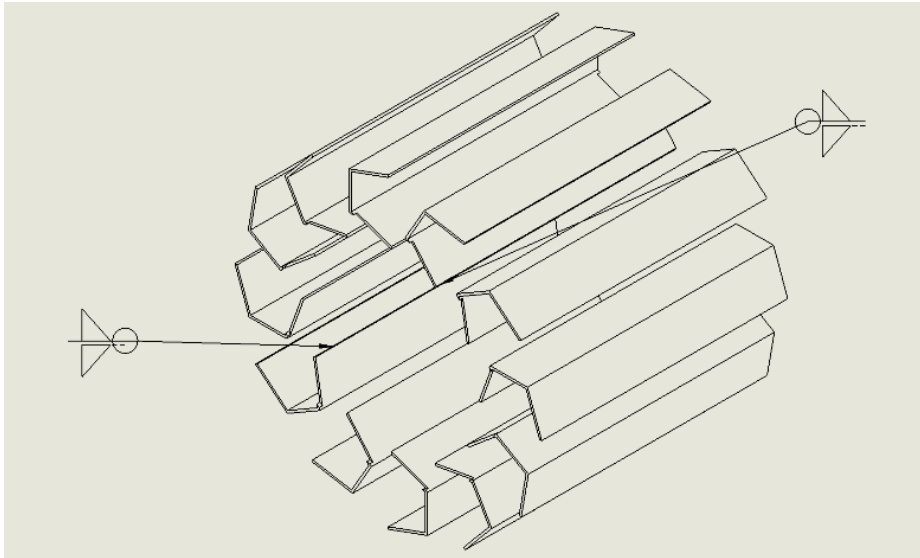
- [14] Strømforbruk, NVE, Hentet 15.11.2020, Tilgjengelig:
<https://www.nve.no/energi/energisystem/energibruk-effektivisering-og-teknologier/stromforbruk/>
- [19] Elektrisk bil, Rustad, M.E. E24, Hentet 05.02.2022, Tilgjengelig:
- [20] Hyttemarkedet, Lauridsen, H. Eiendom Norge Bransjen for eiendomsmeglingsforetak, Hentet 25.01.2022, Tilgjengelig: eiendommorge.no:
<https://eiendommorge.no/nyheter/veksten-i-hyttemarkedet-forsetter-article2077-919.html>
- [26] Elektrisitet, Rosvold, K.A. og Hofstad, K. Store Norske Leksikon, Hentet 29.03.2022, Tilgjengelig: <https://snl.no/elektrisitet>
- [28] Lading, Wikse, K.A. Store Norske Leksikon, Hentet: 25.04.2022, Tilgjengelig:
https://snl.no/ladningskapasitet_-_bilbatterier

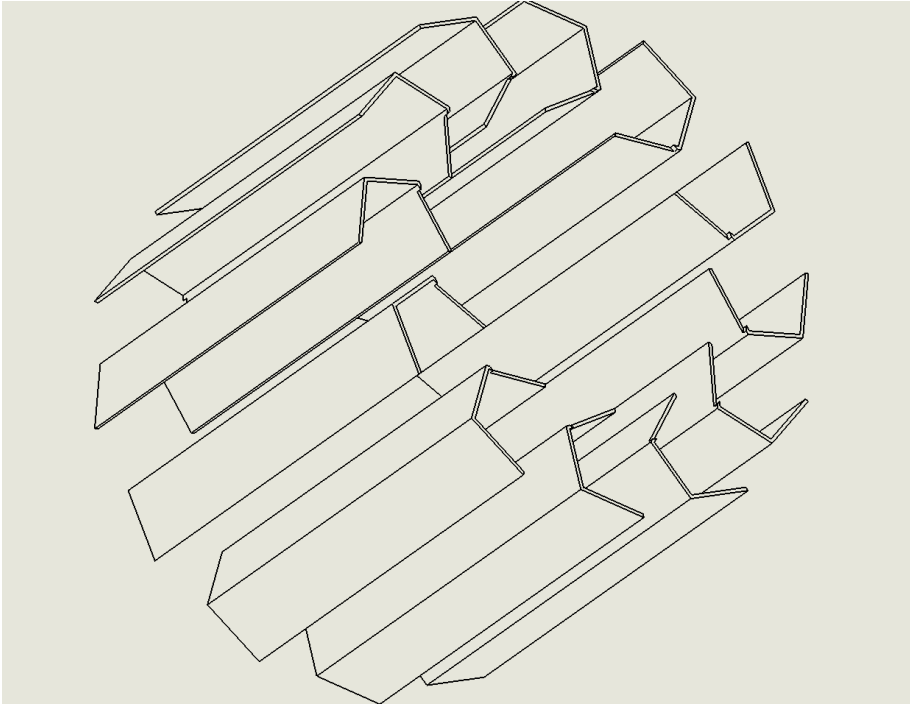
18. Vedlegg

Tabell VI. Oversikt over vedlegg til rapporten

Vedlegg nr.	Viser:	Side:
1	Tekniske måltegninger	

Vedlegg 1:







Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway