



*Desentralisert strømforsyning til  
brytere og signaler*

*Remote area power supply for switches and signals*

2016



**Jernbaneverket**

Elkraftteknikk, NTNU

Institutt for elektrofag og fornybar energi

Fakultet for teknologi

15.05.2016

Stian Aune

Mathias Røe

Odd Harald Johansen

Jørgen Sjøli



## Forord

Denne bacheloroppgaven er skrevet våren 2016 som avslutning på studiet elektroingeniør ved Institutt for elektrofag og fornybar energi ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU).

Emnet for oppgaven ble valgt av egen interesse, da det har vært mye oppmerksomhet på at jernbanen skal elektrifiseres nordover fra Trondheim den siste tiden. I tillegg er Jernbaneverket en stor og relevant instans for kommende ingeniører. Det rettes stor takk til Jernbaneverket for en spennende problemstilling, med god veiledning fra Brede Nerموen og Bente Langeland Roheim. Vi vil også takke veileder fra NTNU, Pål Glimen, for hyggelige samtaler og gode råd. Han har kommet med nyttige innspill og vært en viktig ressurs i utforming av oppgaven.

Kontakt med eksterne bedrifter for bransjeråd og produktforslag har også vært mye til hjelp for å komme frem til en god løsning. Vi vil derfor særlig gi en takk til Getek, Elpro, Gore Vent og Betamo for deres interesse i oppgaven.

Dette har vært en omfattende oppgave hvor vi har utviklet våre evner som elkraftingeniører gjennom å tenke helhetlig. Bacheloroppgaven har vært en lærerik prosess og en verdig avslutning på et utmerket studie.

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet

Trondheim, 25.05.16

---

Stian Aune

---

Jørgen Sjøli

---

Mathias Røe

---

Odd Harald Johansen





## Informasjon

<b>Tittel på oppgave:</b> Desentralisert strømforsyning for brytere og signaler	<b>Oppgave utlevert:</b> 14.01.16
	<b>Innleveringsfrist:</b> 25.05.16
	<b>Antall sider u/vedlegg:</b> 168
	<b>Antall vedlegg:</b> 12
<b>Project title:</b> Remote area power supply for switches and signals	<b>Antall filer levert digitalt:</b> 1
	<b>Intern veileder:</b>  Pål Glimen 924 86 311 <a href="mailto:pal.glimen@ntnu.no">pal.glimen@ntnu.no</a>
<b>Forfattere:</b>  Stian Aune 901 35 160 <a href="mailto:stian.aune@outlook.com">stian.aune@outlook.com</a>  Odd Harald Johansen 415 51 443 <a href="mailto:odd.harald.j@gmail.com">odd.harald.j@gmail.com</a>	  Mathias Røe 988 65 882 <a href="mailto:mathias.roee@gmail.com">mathias.roee@gmail.com</a>  Jørgen Sjøli 994 60 039 <a href="mailto:sjoeli@live.no">sjoeli@live.no</a>
<b>Studieretning:</b> Elkraftteknikk, AFT	<b>Prosjektnummer:</b> E1614 <b>Gradering:</b> Åpen
<b>Oppdragsgiver:</b>  Jernbaneverket   <b>Jernbaneverket</b>	<b>Kontaktperson hos oppdragsgiver:</b> Brede Nerموen 959 89 129 <a href="mailto:nerbre@jbv.no">nerbre@jbv.no</a> Bente Langeland Roheim 916 72 633 <a href="mailto:bl@jbv.no">bl@jbv.no</a>
	<b>Fritt tilgjengelig:</b> X
	<b>Tilgjengelig etter avtale med oppdragsgiver:</b>
	<b>Rapport frigitt etter:</b> <26.05.16>

## Sammendrag

Jernbaneverket har besluttet å elektrifisere jernbanen nord for Trondheim til Steinkjer. I det nye systemet skal det være en lastskillebryter for hver femte kilometer jernbanestrekning. Formålet med en slik bryter er å kunne utføre seksjonering av anlegget. Hensikten med oppgaven er å utrede en desentralisert strømforsyning til disse brytere med tilhørende styresignaler. Løsningen skal utfordre nåværende system med forsyning fra lokale el-nett.

Energikildene det er valgt å fokusere på er sol, vind og vann. På grunn av lavt energibehov er det sett på småskala produksjon fra energikildene. Energikildene vurderes ut fra kostnad, driftssikkerhet, vedlikehold, miljø, installasjon og produksjon. For å nyttiggjøre energien når det er behov, er ulike batteriteknologier kartlagt. Det er særlig kontinuerlige laster som er utfordrende i et slikt system, og det derfor sett på tiltak for å redusere disse.

Ut fra vurderingskriteriene ble sol valgt som energikilde. I et solcelleanlegg er vintermånedene utfordrende for å prosjektere en velfungerende løsning. Batteribanken er nødt til å dimensjoneres etter lite produksjon fra solcellene om vinteren. Det er lagt vekt på å lage en løsning som kan benyttes i dag, og det er derfor valgt å bruke den best egnede teknologien.

Ut fra de simuleringer og beregninger som er gjort vil en løsning med solcelle og batteribank tilfredsstillende Jernbaneverket sine krav. Omfattende modifiseringer er blitt gjort for å sikre et godt, miljøvennlig og driftssikkert system.

## Abstract

The Norwegian National Rail Administration has decided to electrify the railroad north of Trondheim to Steinkjer. The new system will be equipped with load disconnecter switches for every five kilometer stretch of railway. The main purpose of these switches is to perform sectioning of the system. The goal with this bachelor thesis is to design a remote area power supply to these switches with associated control signals. The solution will challenge the current system, which is supplied from local electricity grids.

The chosen energy sources are solar, wind and water. Due to low energy demand, small-scale production from these energy sources have been studied. The energy sources are evaluated based on cost, reliability, maintenance, safety, installation and production. To utilize the energy when needed, various battery technologies are surveyed. In systems like these, there are some challenges, especially with continuous loads. As a result of this, there has been considered various measures to reduce such loads.

Based on the assessment criteria, solar power was selected as energy source. In a photovoltaic construction, the winter is a challenging time to dimension an efficient solution. The battery bank has to be designed for a reduced production from the solar cells in the winter. The main objective is to design a solution that can be used today, and it is therefore chosen to use the most appropriate technology.

Based on the simulations and calculations carried out, a solution with solar cells and battery pack will satisfy The Norwegian National Rail Administration requirements. Extensive modifications have been made to ensure a good, environmentally friendly and reliable system.





## Innholdsfortegnelse

Forord .....	I
Informasjon .....	III
Sammendrag .....	IV
Abstract .....	V
1 Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn .....	1
1.2 Problemstilling og avgrensning .....	2
1.3 Definisjoner og uttrykk.....	3
2 Arbeidsmetode .....	6
2.1 Energi- og effektbehov .....	6
3 Teoretisk bakgrunn.....	7
3.1 Forskrifter for elektriske anlegg .....	7
3.1.1 Forskrift om elektriske lavspenningsanlegg (FEL).....	7
3.1.2 Forskrift for elektriske forsyningsanlegg (FEF06) .....	8
3.2 Jernbaneteknisk .....	10
3.2.1 Omformerstasjoner .....	13
3.2.2 Manøvermaskin.....	20
3.3 Solkraft .....	23
3.3.1 Energiproduksjon .....	24
3.3.2 Solcelletyper .....	26
3.3.3 DC-spenningsregulator i solcelleanlegg .....	29
3.3.4 Virkningsgrad .....	30
3.3.5 Miljø.....	32
3.3.6 Eksisterende solcelleanlegg i Norge .....	33
3.4 Vindkraft.....	34
3.4.1 Vind.....	35

3.4.2 Vindforhold og plassering av turbin .....	37
3.4.3 Energiproduksjon .....	38
3.4.4 Turbintyper .....	43
3.4.5 Generatortyper .....	45
3.4.6 Miljø.....	47
3.4.7 Småvindhkraft i Norge.....	49
3.5 Vannkraft .....	51
3.6 Energilagring .....	53
3.6.1 Elektrokjemisk energilagring.....	54
3.6.2 Sekundærbatteri .....	55
3.6.3 Koblinger av galvanisk element.....	60
3.6.4 Batteriformler.....	64
3.6.5 Valg av batterier.....	65
3.6.6 Miljøfotavtrykk ved batteriproduksjon .....	66
3.7 Elektriske høyspenningsbrytere.....	67
3.7.1 Brytertyper .....	67
3.7.2 Brytere i jernbanen.....	69
3.8 Transformator .....	71
3.8.1 Spenningstransformator .....	73
3.9 IP-klassifisering .....	75
3.10 Kondensering.....	76
3.10.1 Varme.....	78
3.10.2 Ventilering .....	78
3.10.3 Isolering .....	81
3.10.4 Kjemiske løsninger .....	81
3.11 RTU .....	87
4 Vurderinger .....	88

4.1 Vurdering av energiforsyning.....	88
4.1.1 Sol.....	89
4.1.2 Vind.....	91
4.1.3 Vann.....	93
4.2 Vurdering av energilagring.....	95
4.3 Vurdering av skap.....	96
4.4 Kommentar .....	99
5 Løsninger fra Jernbaneverket .....	100
5.1 Nåværende løsning med kabel fra lokalt nett .....	100
5.1.1 Nettilknytning .....	100
5.1.2 Kabelgrøft .....	101
5.1.3 Dokumentasjon .....	104
5.1.4 Pris .....	104
5.1.5 Vurdering av løsning.....	105
5.2 Spenningstransformator koblet på KL-anlegg.....	106
5.2.1 Pris og spesifikasjoner .....	108
5.2.2 Vurdering av løsning.....	109
6 Desentralisert strømforsyning .....	111
6.1 Solcellepanel og batteribank.....	111
6.1.1 Komponenter.....	112
6.1.2 Styring og kommunikasjon .....	117
6.1.3 Skapløsning.....	122
6.1.4 Plasseringsforhold.....	124
6.1.5 Skisse av anlegg .....	125
6.2 Kartlegging av energibehov.....	127
6.2.1 Aktuator .....	127
6.2.2 Kommunikasjon- og styringsenhet .....	128

6.2.3 Total .....	130
6.3 Elektrisitetsproduksjon fra solcelleanlegg.....	131
6.4 Kortslutningsberegninger, kabeldimensjonering og vern.....	134
6.5 Ventilering .....	145
6.6 Batteribank.....	146
7 Diskusjon.....	149
7.1 Energi- og effektbehov for brytere og signaler .....	149
7.2 Beregningsmetoder .....	149
7.3 Solceller .....	150
7.4 Energilagring .....	151
7.5 Energiforbruk i dvalemodus .....	151
7.6 Kondensering.....	152
8 Konklusjon .....	153
9 Forslag til videre arbeid.....	154
10 Tabelliste .....	158
11 Figurliste.....	159
12 Kilder og referanser.....	162
13 Vedlegg	





## 1 Innledning

Målet til bachelorgruppen er å få et innblikk i teknologien som eksisterer innen driftssikre selvforsynte energikilder. Det skal tilegnes kompetanse innenfor de mest kjente teknologiene. Oppgaven bygges opp slik at flere teknologier blir vurdert og sammenlignet. Den mest egnede teknologien vil bli dimensjonert og utformet. For å løse utfordringene i oppgaven er det kontaktet eksterne bedrifter og personer for innspill og synspunkter.

Prosessmålet til bachelorgruppen vil være å opparbeide erfaring innen prosjektstyring og ledelse. En sentral del av dette vil være å holde jevnlige møter internt og eksternt. Formell dokumentasjon i form av to-ukesrapporter og møtereferater skal utarbeides. Bakgrunnen for dette prosessmålet er å stå sterkere i overgangen til yrkeslivet. Et tilleggskrav til rapporten, er å utarbeide en A3-poster eller en populærvitenskapelig artikkel. For A3-poster henvises det til vedlegg nr. 11.

### 1.1 Bakgrunn

Oppgaven er gitt av Jernbaneverket, med lokaler i Osloveien 105, Marienborg Trondheim. Kontaktperson er Brede Neramoen, prosjektsjef infrastrukturprosjekter. Ansvarlig for tekniske spørsmål og spesifikasjoner er Bente Langeland Roheim. Ved elektrifisering av jernbanen nord for Trondheim er det krav til seksjonering av kontaktledning. Seksjoneringen utføres av motoropererte lastskillebrytere, styrt fra operasjonssentralen. Avstanden mellom hver bryter bør ikke overstige fem kilometer. Dette medfører at brytere kan bli plassert på ugunstige lokasjoner i forhold til tilgang på lokalt el-nett for forsyning til motorene. Jernbaneverket ønsker å finne nye miljøvennlige og kostnadseffektive løsninger på energiforsyninger til slike system. Det ønskes en løsning som driftes lokalt på bryteranlegget.

## 1.2 Problemstilling og avgrensning

«Desentralisert strømforsyning for brytere og signaler»

Ut i fra dette skal følgende punkter utredes:

- Vurdering av flere alternative forsyninger til brytere og signaler som ikke enkelt kan forsynes fra lokalt el-nett.
- Alternativene skal vurderes opp mot hverandre med hensyn på kostnad, kapasitet, driftskostnader, vedlikehold og driftssikkerhet.
- Vurdere om løsningen kan forbedres ved bruk av andre komponenter.

Disse energikildene blir vurdert i oppgaven:

- Solkraft
- Vindkraft
- Vannkraft

I denne oppgaven er det kun sett nærmere på elektrokjemisk lagring, da dette er mest egnet og hensiktsmessig med hensyn til funksjonskravene for dette systemet. Det skilles mellom primær- og sekundærbatterier. Primærbatterier er engangsbatterier, og vil ikke bli utredet i denne oppgaven. Videre er det utført et energiregnskap, for å kartlegge totalt energibehov for systemet. Det legges frem forslag til funksjonskrav for programmering av styringsenhet. Det har kommet frem at utfordringen ikke ligger i selve strømforsyningen, men heller det å redusere energibehovet til et minimum. Det er derfor sett på valg av andre komponenter, samt utformingen av skapet som inneholder manøvermaskin og kommunikasjonsenhet.



## 1.3 Definisjoner og uttrykk

Tabell 1 - Definisjoner og forklaringer

Begrep	Definisjon
<b>A</b>	
AC	Alternating Current, vekselstrøm. Strøm med vekslende polaritet.
Akkumulator	Enhet for oppsamling og lagring av energi.
Aktiv effekt (P, Watt)	Den effekten en last reelt trekker og kan nyttiggjøre.
Aktuator	Komponent som konverterer elektrisk energi til mekanisk bevegelse.
Anode	En elektrode som tar opp frie elektroner.
<b>B</b>	
Ballast	Innen jernbane er ballast det opparbeidede underlaget skinnene blir lagt på.
<b>C</b>	
CO <sub>2</sub> -ekvivalent	Enhet som sammenligner utslipp av forskjellige klimagasser med den globale oppvarmingseffekten som utslipp av 1 tonn CO <sub>2</sub> vil ha i løpet av 100 år.
<b>D</b>	
DC	Direct Current, likestrøm. Strøm med fast polaritet.
Diode	Halvlederkomponent. Dioder brukes i likerettere for elektrisk vekselstrøm. Topolt komponent, hvor polene kalles katode og anode. Strøm kan kun ledes fra anode til katode
Driescher Moosburg	Tysk, familieselskap som leverer elektrotekniske komponenter
<b>E</b>	
Effektfaktor (Cosφ)	Forholdet mellom aktiv effekt og tilsynelatende effekt
Entalpi	Et begrep innen termodynamikken som brukes for å beskrive mengden av varme i et system.
<b>F</b>	
Forrigling	En forrigling er en innretning som skal forhindre farlige eller uforutsette hendelser.
Forward bias	Forward bias er tilstanden en diode kommer i etter påtrykket positiv spenning i lederretning. Den slipper gjennom strøm når tilstanden oppnås.
<b>G</b>	
Galvanisk skille	Fysisk skille mellom to elektriske nett.
Getek	Norsk bedrift som har 30 års erfaring fra solcellebransjen.

GSM-R	Sambandssystem langs jernbanenettet basert på GSM-systemet og videreutviklet for Jernbaneverket.
GTO	Gate turn-off thyristor. Styrbar thyristor dimensjonert for høye effekter. Brukes ofte i frekvensomformere.
GWP	GWP er mål på gassenes effekt på atmosfærens oppvarming, i forhold til effekten den vanligste klimagassen CO <sub>2</sub> har (GWP for CO <sub>2</sub> er 1).
<b>H</b>	
HS	Høyspenning.
Høyspenningsanlegg	Anlegg med spenningsnivå over 1000 Volt AC eller 1500 Volt DC.
<b>K</b>	
Katalysator	Et stoff som øker farten på en kjemisk reaksjon uten å forbrukes. Farten øker fordi katalysatoren reduserer reaksjonens aktiveringsenergi.
Katode	En elektrode som avgir frie elektroner.
Kommutere	Forandre retning på en elektrisk strøm.
Kontaktledning (KL)	Ledersystem som forsyner traksjonseenheter med elektrisk energi via utstyr for strømtaking.
KU	Konsekvensutredning.
<b>L</b>	
Last (elektrisk betydning)	Den delen i en elektrisk krets der nytteeffekten forbrukes.
Lavspenningsanlegg	Anlegg med spenningsnivå opp til 1000 Volt AC eller 1500 Volt DC.
Likeretter	Innretning som omformer AC til DC.
LS	Lavspenning.
Lysbue	Elektrisk lysbue, en lysende, buet strømbane som går mellom to strømførende ledere i luft.
<b>M</b>	
Merkespenning ( $U_N$ , Volt)	Den spenningen et anlegg eller en komponent er dimensjonert for.
Monopol	Er en markedsform hvor det kun er en tilbyder (selger) av et produkt eller tjeneste.
<b>N</b>	
Nacelle	I en vindturbin er nacellen den konstruksjonen som inneholder alle de genererende komponentene: girboks, generator, vifte o.l.
NVE	Norges vassdrags- og energidirektorat.
<b>P</b>	
PL	Positiv leder i AT-systemet.

PSM

Powersave Mode, effektsparingsmodus.

## R

Reaktiv effekt (Q, Volt Ampere reaktiv/Var)

«Blindeffekt» i vekselstrømkretser. Er lik produktet mellom absoluttverdiene til strøm, spenning og sinus til faseforskyvningen mellom disse.

REN

Rasjonell elektrisk nettvirksomhet ([www.ren.no](http://www.ren.no)) standardisering av materiell og metoder i nettselskap.

Resistans (R,  $\Omega$ )

Forholdet mellom elektrisk spenning over en komponent og elektrisk strøm gjennom komponenten.

## S

Strømmiks

Strøm som stammer fra en blanding av energikilder, både fornybare og ikke-fornybare.

Sulfatering

Sulfatering oppstår hvis batterier blir stående helt eller delvis utladet i lengre tid og det skjer en krystallisering av blyulfatet som dannes under utlading. Krystalliseringen gjør det vanskeligere å lade batteriet og fører til redusert batterikapasitet.

Syklusdrift

I et batteri vil levetiden bestemmes av antall ut- og oppladninger.

Tilsynelatende effekt (S, Volt Ampere/VA)

Den effekten som «tilsynelatende» leveres en last. Produktet av absoluttverdiene til strøm og spenning.

Topplast

Med dette menes når belastningen er på sitt høyeste i et nett.

Trafo

Yrkesuttrykk for transformator. Elektrisk maskin som senker eller øker spenningsnivå.

Tyristor

Styrbar halvlederkomponent. Tyristoren sperrer mot strømgjennomgang i begge retninger inntil styre-elektroden påtrykkes en positiv impuls.

## U

$U_{oc\ stc}$

Spenning ved åpen krets ved standard prøvebetingelser.

## 2 Arbeidsmetode

I denne oppgaven er det gjennomført en litteraturstudie om alternativ energiforsyning til brytere og signaler på jernbanen, som i dag forsynes fra lokalt el-nett. Videre er det gjennomført en mulighetsstudie for alternativ energiforsyning til brytere og signaler. I mulighetsstudien er energibehovet til systemet og potensialet til den utvalgte energikilden blitt beregnet. Her er det grundig gjennomgått hvilke faktorer som virker svekkende eller styrkende ved bruk av en desentralisert strømforsyning.

Det har blitt utført et teknologisøk som dokumenterer hvilke løsninger og teknologier som allerede finnes på markedet, og som ofte blir brukt i slike sammenhenger.

Formålet med denne fremgangsmetoden er å bygge et godt teoretisk grunnlag for å sammenligne de forskjellige løsningene. Det blir presentert ett løsningsforslag, med komplett dimensjonering og forklaring av komponenter. Løsningen blir vurdert opp mot tradisjonell løsning med forsyning via nedgravd kabel fra lokalt el-nett, samt Frank Martinsens (sivilingeniør Jernbaneverket) pilotprosjekt der en spenningstransformator kobles på KL-anlegg for effektuttak. Begge systemene er forklart i rapporten.

### 2.1 Energi- og effektbehov

Det er ikke er ført statistikk på hvor ofte brytere langs jernbanen opereres. Det er derfor tatt utgangspunkt i funksjonskravet som gjelder ved bortfall av normal strømforsyning for manøvermaskinen som styrer bryterne:

*Manøvermaskinen skal ha en kapasitet på minimum 3 betjeninger når som helst i løpet av 8 timer ved bortfall av normal strømforsyning.<sup>1</sup>*

Funksjonskravet vil sette premisser for valg av effekt og kapasitet på energiforsyning og energilagring. Av hensyn til driftssikkerhet må disse komponentene dimensjoneres etter skjønsmessige ingeniørvurderinger. Hvor mye periodiske energikilder som f.eks. vind- og solenergi kan utnyttes varierer stort gjennom et år, og disse energikildene er derfor avhengige av en god metode for energilagring.

## 3 Teoretisk bakgrunn

I denne bacheloroppgaven er det valgt å ha en omfattende teoridel. Kapittel 3 omfatter forskrifter, innføring av elektro på jernbanen, fornybare energikilder, energilagring, IP-klassifisering, brytere, transformatorer, kondensering, styring og kommunikasjon. Teoridelen er ment å være et oppslagsverk for videre begrunnelser i oppgaveløsningen. I løsningen av oppgaven kan det derfor være nyttig å bla tilbake til kapittel 3, for å få en bedre forståelse for valg som gjøres i oppgaven.

### 3.1 Forskrifter for elektriske anlegg

Elektriske anlegg omfatter alt fra forsyningsanlegg (høyspenningsanlegg) til lavspenningsanlegg som f.eks. bygningsinstallasjoner, alarm-/signalanlegg og kommunikasjonsanlegg. Lov og forskrifter regulerer hvem som får utføre, reparere og vedlikeholde elektriske anlegg.<sup>2</sup> Forskriftene inneholder alle krav/bestemmelser som må følges i elektriske anlegg. I denne oppgaven er dimensjoneringer og utføringer gjort i henhold til følgende forskrifter og normer: FEL, FEF06, NEK400:2014, og FEF med REN-kommentarer.

#### 3.1.1 Forskrift om elektriske lavspenningsanlegg (FEL)

Formålet med forskriften er å oppnå forsvarlig elsikkerhet ved prosjektering, utførelse, endringer og vedlikehold av elektriske lavspenningsanlegg og ved bruk av elektrisk utstyr tilkoblet slike anlegg.<sup>3</sup> Forskriften gjelder for prosjektering, utførelse, endring og vedlikehold av elektriske lavspenningsanlegg, herunder lavspenningsanlegg for hoved-, reserve- og nødstrømsforsyning. Forskriften gjelder også for bruk av elektrisk utstyr, inkludert høyspenningsutstyr, tilkoblet lavspenningsanlegg.<sup>4</sup>

Forskriften gjelder ikke for<sup>4</sup>:

- Elektriske forsyningsanlegg, omfattende elektriske anlegg for produksjon, overføring og fordeling av elektrisk energi, visse elektriske anlegg i kraft- og transformatorstasjoner samt høyspenningsanlegg i industribedrifter.
- Elektriske anlegg om bord i skip og sjøredskaper, herunder flyttbare boreplattformer og lignende.
- Elektriske anlegg på innretninger som brukes til undersøkelse og leteboring i petroleumsvirksomheten.
- Elektriske anlegg i luftfartøyer.
- Elektroniske telekommunikasjons- og informasjonssystemer.

## **NEK400**

Norsk Elektroteknisk Komite (NEK) har utarbeidet en norm i samsvar med forskriften FEL. Denne heter NEK400, og gjeldende utgave er NEK400:2014 (5. utgave, utgitt 1. juli 2014<sup>5</sup>). Forskrift for elektriske lavspenningsanlegg viser til NEK400 som metode for hvordan gjeldende sikkerhetskrav kan tilfredsstilles. NEK400 er inndelt i 8 deler, hvor del 1-7 er basert CENELEC HD384 og IEC 60364.<sup>5</sup> NEK400 er en bearbeidet oversettelse av disse europeiske og internasjonale standardene.

### **3.1.2 Forskrift for elektriske forsyningsanlegg (FEF06)**

Forskrift om elektriske forsyningsanlegg ble fastsatt av Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) 20. desember 2005 og trådte i kraft 1. januar 2006 med hjemmel i lov 24. mai 1929 nr. 4 om tilsyn med elektriske anlegg og elektrisk utstyr. Forskriften erstatter forskrifter av 18. august 1994 for elektriske anlegg – forsyningsanlegg.<sup>6</sup>

Elektriske anlegg skal prosjekteres, utføres, driftes og vedlikeholdes slik at de sikkert ivaretar den funksjon de er tiltenkt uten å fremby fare for liv, helse og materielle verdier.<sup>7</sup> Forskriften gjelder for prosjektering, utførelse, drift og vedlikehold av elektriske forsyningsanlegg. Dette omfatter elektriske anlegg med tilhørende bygninger for produksjon, omforming, overføring og fordeling av elektrisk energi, samt høyspenningsinstallasjoner i industribedrifter og lignende.<sup>8</sup>

Forskriften gjelder ikke for<sup>8</sup>:

- Elektriske lavspenning i andre bygg og annen industri.
- Elektrisk utstyr som tilbys eller omsettes til bruk i elektriske anlegg.
- Elektriske anlegg om bord i skip og sjøredskaper, herunder flyttbare boreplattformer og lignende (maritime installasjoner).
- Elektriske anlegg på innretninger for utnyttelse av petroleumsforekomster i indre norske farvann, norsk sjøterritorium og den del av kontinentalsokkelen som er undergitt norsk jurisdiksjon.
- Elektriske anlegg på land for petroleumsprosessanlegg som er omfattet av petroleumstilsynets forskrifter.
- Elektriske anlegg i luftfartøyer.
- Teleanlegg.

### **FEF06 med REN-kommentarer**

Rasjonell elektrisk nettvirksomhet (REN) har laget en egen brukerguide av FEF06 som skal gjøre det lettere å finne frem til gjeldende praksis. Forskriften blir her gjennomgått paragraf for paragraf, med REN sine kommentarer uthevet i grønne felt. Disse viser hvordan arbeidet skal utføres i praksis. Under femte del i denne utgaven finnes *kapittel 8: Elektriske jernbaneanlegg*.<sup>9</sup>

## 3.2 Jernbaneteknisk

Jernbanens hovedelementer kan deles inn i fire punkter:

- Under- og overbygning
- Strømforsyning
- Signal- og sikringsanlegg
- Teleanlegg

Figur 1 viser de forskjellige elementene i jernbaneanlegget. Strømforsyningsanlegget består av banestrømforsyning, kontaktledningsanlegg (KL-anlegg) og lavspenntanlegg, sporvekslervarme og fjernkontroll for styring av brytere.

### Strømforsyningsanlegg

Fører kontaktledningsspenning til lokomotivets strømtaker. Står for om lag 10 prosent av utbyggingskostnadene.

### Signalanlegg

Sikrer trygg, rask og punktlig togframføring. Står for om lag 10 prosent av utbyggingskostnadene.

### Underbygning

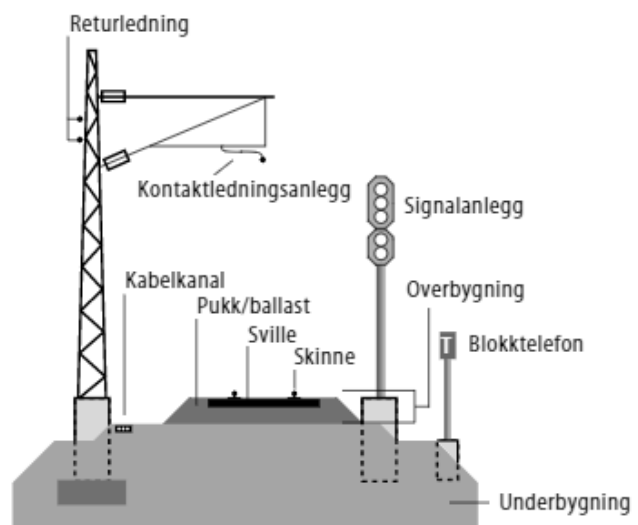
Sikrer at sporet ligger stabilt. Står for om lag 50% av utbyggingskostnadene.

### Teleanlegg

Sikrer nødvendig samband.

### Overbygning

Sikrer at krav til aksellast, komfort, sikkerhet og hastighet ivaretas i togframføringen.

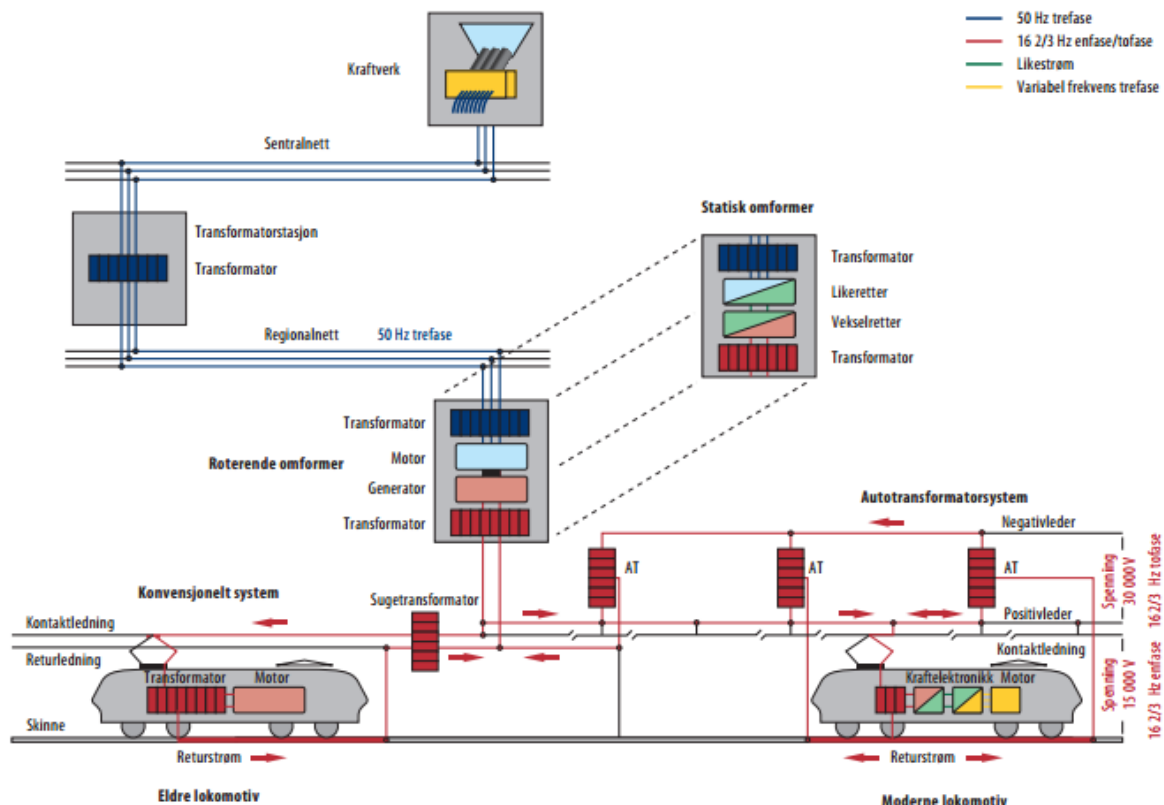


Figur 1 - Hovedelementer i jernbanen<sup>10</sup>

Frekvensen i KL-anlegget er  $16 \frac{2}{3}$  Hz. I startfasen av jernbaneanlektrifiseringen ble det bestemt at enfase seriekommutatormotor var velegnet som fremdriftssystem for datidens tog. Denne motoren kunne gi toget de riktige trekkegenskapene med enkel hastighetsstyring. Det er forbundet med problemer å drifte en slik motor på frekvensen som er i det norske nettet,

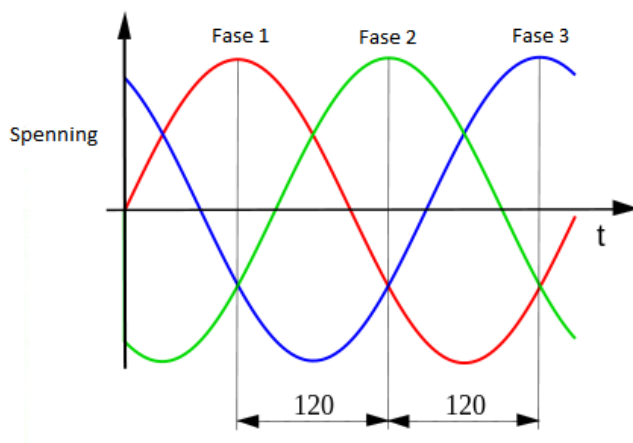


50Hz. Kommuteringen blir dårlig over hele hastighetsspekteret, og det kan oppstå gnistdannelse som kan føre til skader på utstyr. Det var ifølge sakkynndige enklere og mer hensiktsmessig å styre denne motoren ved 16 2/3Hz. Dette la grunnlaget for hvorfor frekvensen i KL-anlegget er forskjellig fra frekvensen i det nordiske strømnettet.<sup>11</sup> I moderne tog brukes induksjonsmotorer hastighetsstyrt av frekvensomformere. Kontaktledningens oppgave er å overføre elektrisk energi fra omformerstasjon til togvogn. Det stilles store krav til KL-anlegget som skal sørge for jevn og uavbrutt kontakt med tog som kan ha en hastighet på opptil 200 km/t. KL-anlegg er samlebetegnelsen på de komponenter som er nødvendige for at energioverføring fra omformerstasjon til tog skal finne sted. Dette er i grove trekk ledninger, master, mastefundamenter, utligger og åk.



Figur 2 - Strømmens vei fra kraftverk til tog<sup>12</sup>

Figur 2 viser elektrisitetens vei fra kraftverk og frem til tog. Elektrisiteten produseres ved en kraftstasjon og overføres via sentral- og regionalnett. Overføringen i sentral- og regionalnett skjer via et trefasenett. KL-anlegget er et enfaset nettsystem.



Figur 3 - Trefasesystem<sup>13</sup>

Enfase vekselspanning er i denne sammenhengen kun en av de tre sinuskurvene i figur 3.

Trefasesystemet har alle tre kurver, med 120° faseforskyvning mellom hver kurve. Hver kurve tilsvarer én fase. I et enfasesystem er det to elektriske ledere, mens i et trefasesystem er det minst tre elektriske ledere.

Trefasesystemet er i hovedsak forbundet med energidistribusjon, da dette kan overføre store effekter med mindre effekttap enn tilsvarende overføring i et enfasesystem. Trefase er derfor å foretrekke når det skal overføres elektrisk energi over lengre avstander. Spenningen transformeres opp til høye verdier (typisk 66kV, 132kV, 300kV og 420kV i Norge), for å redusere effekttap. Effekttap er forbundet med hvor stor strøm det går i hver leder. Dette er gitt av ohms lov<sup>14</sup>:

$$P_r = I_f^2 \times R \text{ (pr. fase)}$$

$P_r$  Aktivt effekttap [W]

$R$  Resistans i leder [ $\Omega$ ]

$I_f$  Fasestrøm [A]

$$I_f = \frac{P}{U \times \cos\varphi \times \sqrt{3}}$$

- $I_f$     *Fasestrøm [A]*  
 $U$     *Systemspenning [V]*  
 $P$     *Lasteffekt [W]*  
 $\cos\varphi$  *Effektfaktor for belastning*  
 $\sqrt{3}$     *Faktor for trefasesystem*

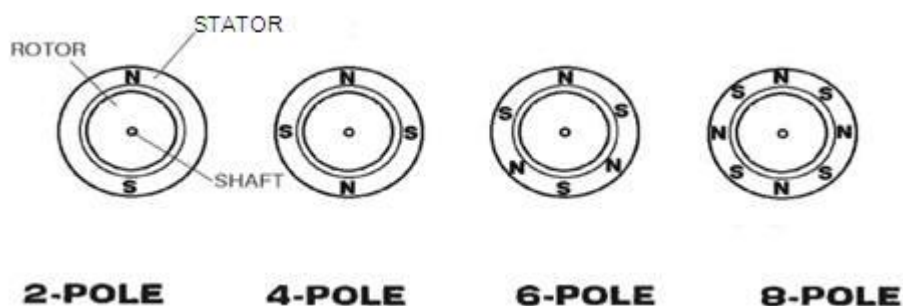
Det kan sees av ohms lov at dersom spenningen øker, senkes strømmen i overføringslederen, som fører til reduserte effekttap.

### 3.2.1 Omformerstasjoner

Omformerstasjonene er koblet til regionalnettet i Norge, med typisk systemspenning på 66kV eller 132kV. I dette tilfellet er det spenning og frekvens som må omformes. Siden KL-anlegget opererer på 16 2/3Hz, må frekvensen på spenningen omformes før den elektriske energien distribueres videre. Det skiller mellom to hovedtyper omformere: roterende- og statisk omformer.

#### Roterende omformer

En roterende omformer består av tre hoveddeler: transformator, synkronmotor og enfasegenerator. Transformatoren senker spenningen fra distribusjonsnettet til ønsket nivå, med tanke på merkespenning for motor i omformeren.



Figur 4 - Poloppsett i stator<sup>15</sup>

Motoren deles opp i stator og rotor. Statoren er den stasjonære delen i maskinen, og rotor er den eneste delen som roterer i maskinen. Statoren har viklinger oppsatt i en sirkulær form. Viklingene fordeles i poler. Kort forklart kan det tenkes at polene er elektromagneter. Når statoren kobles til et trefasenett, settes det opp et roterende magnetfelt i stator, som får rotoren til å rotere. Dette gjøres ved at hver fase kobles til et visst antall poler. Rotoren kan være en permanentmagnet eller en elektromagnet magnetisert av eksternt utstyr. Benevnelsen «synkron» betyr at rotoren følger det roterende feltet i stator og går med lik rotasjonshastighet. Antallet poler og hvilken frekvens det er på tilført spenning i statorviklingene bestemmer turtallet til det roterende feltet i stator, og kan beregnes vha. formelen:

$$n_s = \frac{120 \times f}{p}$$

$n_s$       *synkronturtall [o/min]*

$f$         *Frekvens [Hz]*

120      *Omgjøringsfaktor*

$p$         *Antall poler*

Statorviklingen til motoren i de roterende omformerne har 12 poler<sup>16</sup>, og nominell spenning på 6,3 kV gitt fra transformator. Dette gir motoren følgende synkronturtall:

$$n_s = \frac{120 \times 50 \text{ Hz}}{12 \text{ poler}} = 500 \frac{o}{min}$$

Motorens oppgave er å drive en enfase 4-polet generator. Denne genererer elektrisitet fra den mekaniske rotasjonsenergien tilført av motoren som er tilkoblet trefasenettet. Når rotoren i generatoren roterer, induseres spenning i stator, og elektrisitet blir produsert. Ved omorganisering av formelen over, kan utgangsfrekvensen utregnes. Turtallet på motorakslingen tilkoblet generatoren er 500 o/min, og den genererte utgangsspenningen har nå frekvensen:

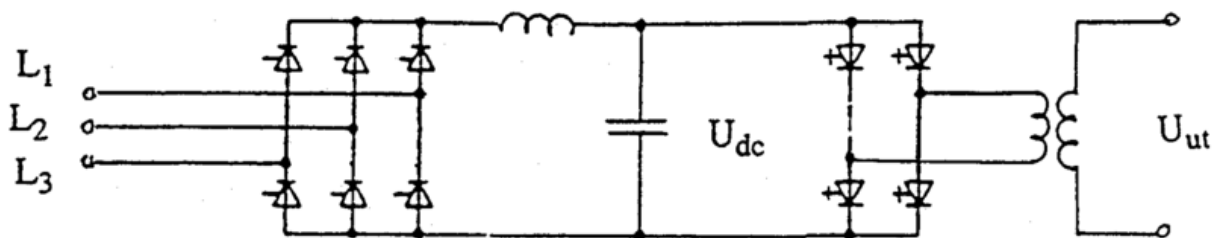
$$f = \frac{500 \frac{o}{min} \times 4 \text{ poler}}{120} = 16 \frac{2}{3} \text{ Hz.}$$

Utgangsspenningen varierer fra 3-5,2kV avhengig av omformerytelse, og må transformeres opp til 16-16,5kV før den distribueres videre i KL-anlegget. Dette er den konvensjonelle metoden for å omforme 50Hz til 16 2/3Hz. Roterende omformere produseres ikke lenger, men det finnes fortsatt flere stasjoner hvor disse er i drift. Det er som beskrevet over, mange roterende og store maskindeler i en slik omformerstasjon. Dette medfører mye vedlikehold og dyre driftskostnader. Elektrisiteten går gjennom mange ledd før frekvensen blir endret, og dette medfører store tap.<sup>16</sup>

### **Statisk omformer**

Den første statiske omformerstasjonen i Norge ble satt i drift i Sarpsborg i 1994.<sup>17</sup> I en statisk omformer finnes det ingen roterende deler. Statiske omformere baserer seg på egenskaper til halvledermaterialer, og er bygd opp av kraftelektronikk, spoler og kondensatorer.

Det skilles her mellom to typer statiske omformere: direkteomformer og mellomleddsomformer. Direkteomformer omformer 50Hz trefasespenning direkte til 16 2/3Hz enfasespenning uten å konvertere til likestrøm først. Med en mellomleddsomformer konverteres først trefasespenningen til en likespenning som så gjøres om til enfase vekselspanning med hensiktsmessig størrelse og frekvens. I Norge er det bare brukt mellomleddsomformere<sup>17</sup> Mellomleddsomformer kalles også pulsomformer (Pulsbreddemodulering, PBM). Disse har lik oppbygning som en frekvensomformer for styring av induksjonsmotorer, sett bort fra at utgangsspenningen for jernbaneomformere er enfaset. En slik omformer består av tre ledd: likeretter, filter (mellomledd) og vekselretter.

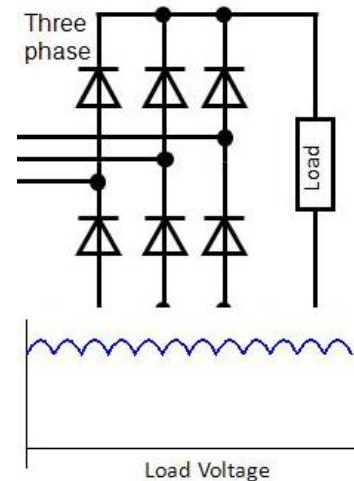


Figur 5 - Mellomleddsomformer<sup>18</sup>

Sinussignalet på enfase-siden blir oppbygd av firkantpulser med ulik varighet gitt fra styrbare tyristorer (GTO). Spenningsnivået på utgangen bestemmes av spenningen i mellomleddet. Omformere av denne typen setter ingen krav til kortslutningseffekt på trefasenettet. Den genererer en reaktiv effekt på ca. 30% av omformereffekten, avhengig av nettspenning og regulering av likeretteren.<sup>18</sup>

### Virkemåte:

1. Likeretterdelen konverterer trefasespenningen fra regionalnettet til likespenning. Dette gjøres via 6 parallellkoblede GTOer. Hver fase kobles mellom to seriekoblede GTOer, for å likerette alle halvperioder av vekselspanningen. En tennpuls sendes til GTO som bestemmer når på perioden av sinuskurven den skal lede strøm. Forløpet av den likerettede spenningen i mellomledet vises i figur 6.



Figur 6 - Spenningsforløp i mellomkrets<sup>19</sup>

2. Filterets oppgave er å kontrollere, stabilisere og glatte ut likespenningen som er gitt fra likeretterleddet. Filteret er satt sammen av kondensatorer og spoler. I en sammensetning glatter disse ut den pulserende likespenningen fra likeretteren i omformereren.
3. Vekselretteren skal omdanne likespenningen fra mellomkretsen til en vekselspanning der det er mulig å bestemme både amplitude, frekvens og dreieretning.

Gjennom disse stegene blir 50Hz omformet til ønsket frekvens, 16 2/3Hz. Sammenlignet med roterende omformer er dette en mer effektiv metode å omforme frekvens på. Det er ingen roterende slidedeler, og effekttapene er betydelig redusert. I tillegg til dette er en statisk omformer billigere og mer driftssikker enn en roterende omformer.<sup>20</sup>

## **Fra omformer til tog**

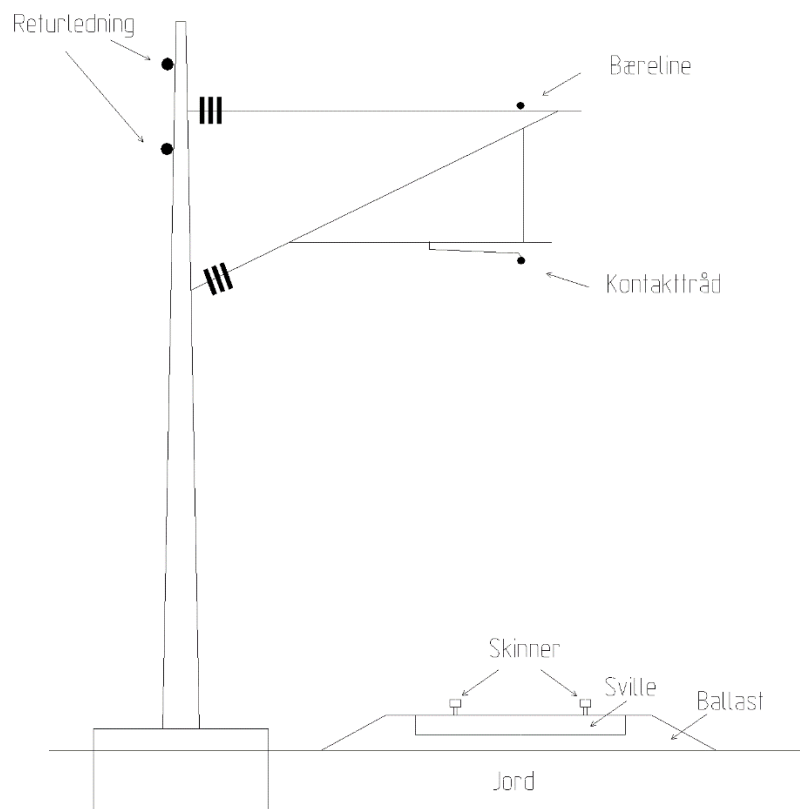
Energien transporteres fra omformerstasjonen til tog, og deretter tilbake til omformerstasjonen. Ved nedbremsing kan motorene i toget generere energi, som kan mates ut på trefasenettet, eller forbrukes av andre tog. For å kunne mate effekt tilbake på trefasenettet må omformeren også ha vekselretter på trefasesiden.<sup>17</sup> Den elektriske utrustningen som leder strømmen frem til toget, kalles fremleder. Den elektriske utrustningen som trengs for å føre strømmen fra tog tilbake til omformerstasjon kalles returkrets. Kort forklart er returkretsen skinner, jord og returledning. Kontaktledningen henger i et stag som kalles utligger.

Det skilles mellom to systemer som brukes i KL-anlegget for å blant annet redusere lekkstrømmer og energitap: AT-system og BT-system.

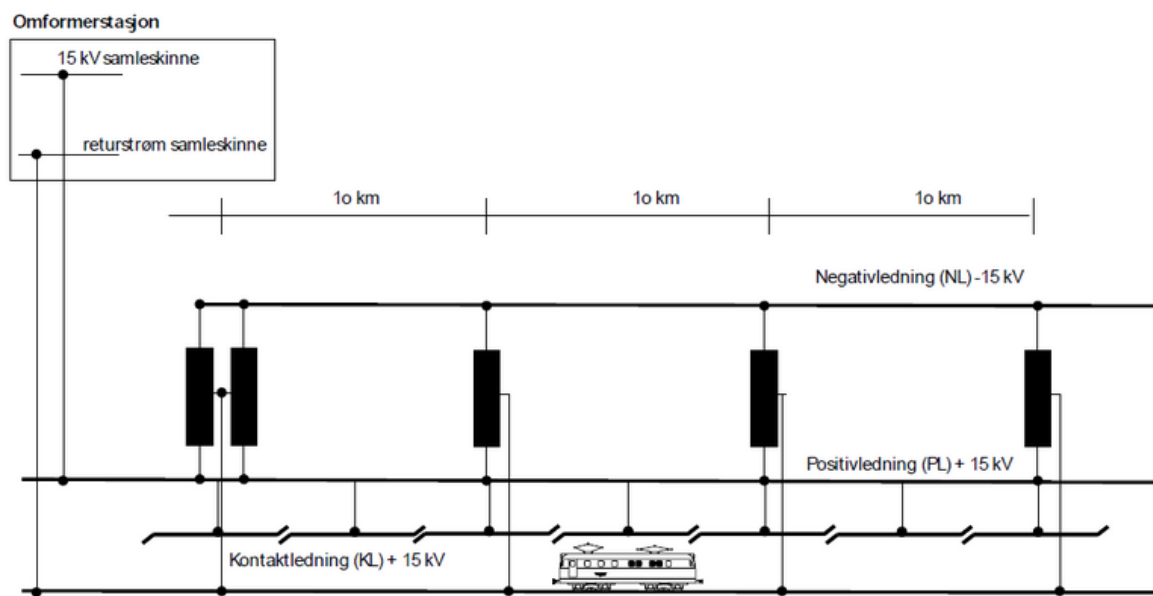
BT-systemet benytter en transformator med 1:1 omsetningsforhold. Primærsiden er tilkoblet banestrømkretsen, og sekundærvikling er tilkoblet returkretsen for å føre returstrømmen tilbake til omformerstasjon. Av den grunn kalles ofte en slik trafo for sugetransformator. Sugetransformatoren skal unngå at returstrømmen «lekker» ut av skinnene og ned i jordsmonnet.<sup>21</sup>

I AT-systemet benyttes det autotransformatorer. Konseptet går i hovedsak ut på at det bygges to ekstra høyspent -ledere med 30kV spenning langs hele strekningen ved bygging av nytt KL-anlegg. For ca. hver tiende kilometer plasseres autotransformatorer i egne bygg eller kiosker. Transformatorene bidrar til å mate effekten til togene som kjører på 15kV. De to lederne (kalt positiv- og negativleder, PL og NL) føres normalt som blanke ledninger på toppen av KL-mastene, men legges i kabler der det ikke er plass for blanke ledere, f.eks. i tunneler, under bruer eller andre hindringer. Konseptet med AT-system eliminerer behovet for sugetransformatorer på strekningen. Effekten for togtrafikken er at det kan kjøres flere og tyngre eller lengre tog på strekningen, samt langt mer robust strømforsyning med mindre spenningsfall. Med AT-system kan lengre jernbanestrekninger forsynes uten å måtte bygge nye omformerstasjoner. Grunnprinsippet for AT-systemet er at kontaktledningen seksjoneres slik at denne ikke bidrar med en gjennomgående laststrøm på matestrekninger. Seksjonering av kontaktledningen bør gjøres med maksimalt 5 km. avstand mellom hvert seksjonsdel.<sup>22 23</sup>





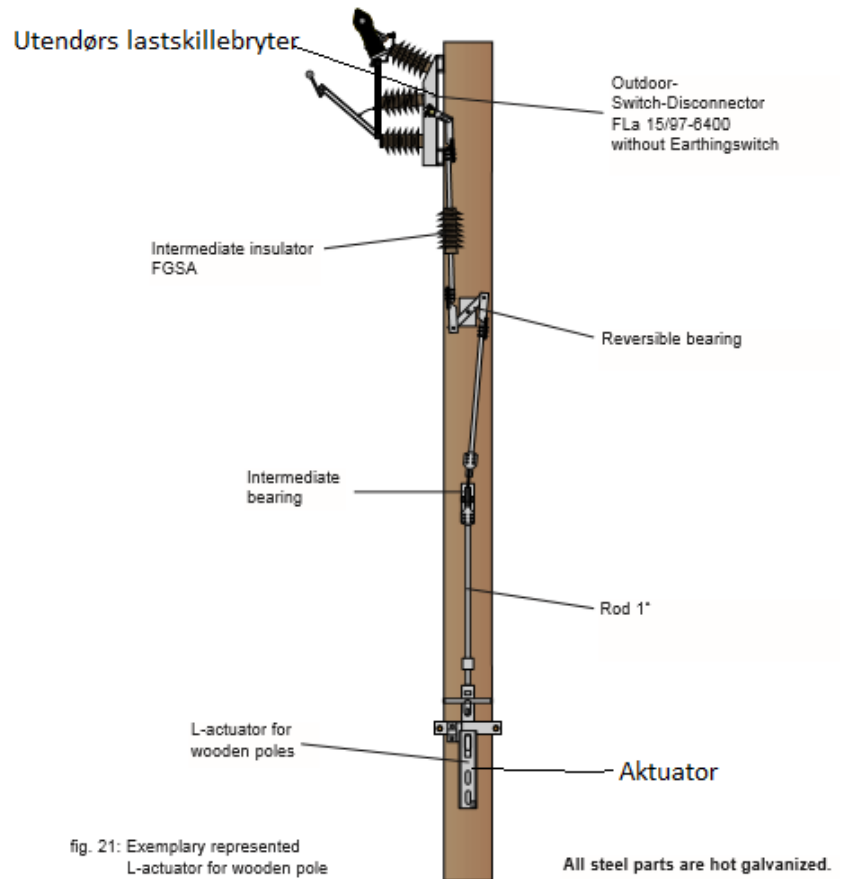
Figur 7 - Prinsippskisse av frem og returleder av KL-anlegg<sup>24</sup>



Figur 8 - AT-system<sup>25</sup>

### 3.2.2 Manøvermaskin

I dette avsnittet er det fokus på manøvermaskinen som driver lastskillebryteren. Motoren i manøvermaskinen er en 230V AC/24V DC universalmotor. Motorakslingen er koblet på et drev som driver et tannstang i vertikal retning, som kobler bryteren inn eller ut. Se figur 9<sup>26</sup>. For å lage et grunnlag for forståelse blir det gjennomgått generell teori om elektriske DC-motorer. Disse består i hovedsak av to komponenter, stator og rotor. Generelt baserer elektriske motorer seg på lorentzkraften. Den sier at hvis en strømførende elektrisk leder plasseres i et magnetfelt, vil det bli utøvd en kraft på den elektriske lederen.



Figur 9 - Prinsippskisse lastskillebryter og aktuator<sup>26</sup>

### DC-motorer

I DC-motorer spenningsettes rotoren og strømmen ledes gjennom viklinger. Strømmen går fra spenningskilde og gjennom kullbørster som ligger på en kommutator på rotoren. Kommutatoren fungerer som en mekanisk vekselretter, som skal sørge for at det blir et vekslende magnetfelt i rotorviklingene. Kommutteringen snur strømrretningen i rotoren, dette skjer når kommutatoren roterer og børstene ligger over nye hovedpoler. For at det ikke skal oppstå gnistninger på kommutator ligger det vendepoler mellom hovedpolene. Rotorviklingene kan ses på som vekslende nord- og sydpoler. Polariteten til stator er fast. Stator kan være permanentmagnetisert, viklinger magnetisert av en ekstern spenningskilde tilkoblet motoren eller selvmagnetisert. Det finnes tre typer selvmagnetiserte motorer. Likt for disse, er at strømmen fra spenningskilden tilkoblet rotoren, også brukes til å magnetisere stator.

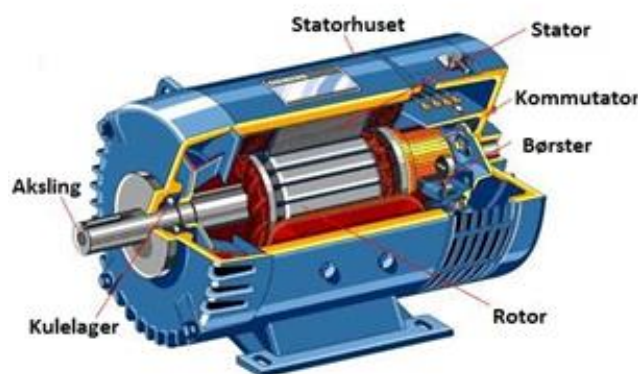
De tre selvmagnetiserte typene:

Shuntmotor - statorviklingen er koblet i parallell med rotorviklingen.

Seriemotor - statorviklingen er koblet i serie med rotorviklingen.

Compound - statorviklingen er koblet både i serie og parallell med rotorviklingen.

Nordpolen trekker til seg rotorens sydpol og frastøter seg rotorens nordpol. Sydpolen til stator vil tiltrekke seg rotorens nordpol og frastøte seg rotorens sydpol. Siden feltet i rotoren vil veksle, virker et moment på rotoren som får den til å rotere. I figur 10 vises en snittmodell av en DC-motor.



Figur 10 - Snittbilde av DC-motor<sup>27</sup>

### **Børsteløs DC-motor, BLDC**

I børsteløse motorer skjer kommuteringen ved hjelp av elektronikk. Rotor er en permanentmagnet, og stator består av elektromagneter. Her er det stator som kobles til spenningskilden. Transistorer i en styringskrets sørger for at det settes opp et «roterende» magnetfelt i stator som er tilkoblet en DC-kilde. Rotoren vil følge dette magnetfeltet og dermed rotere. I all hovedsak er prinsippet likt som for en AC-synkronmotor. Forskjellen er at AC-motoren tilkobles en trefase-kilde, som medfører at det ikke er behov for en styringskrets. Fordelen med en børsteløs motor er at det ikke eksisterer børster som slites, og dermed oppnår den høyere virkningsgrad. Ulempen er at denne ofte er dyrere enn en børstemotor.

## **Universalmotor**

Universalmotoren er har lik oppbygning som en seriekoblet DC-motor. Den kan tilkobles både vekselspanning og likespenning. Dette er mulig når det magnetiske feltet i polene skifter polaritet og det simultant vil endre polaritet i rotoren. Resultatet er at momentet vil variere med vekselspanningens sinuskurve. Selv om motorens moment pulserer vil den ha en rotasjonsretning. Denne pulseringen vil ha dobbelt så stor frekvens som den tilkoblede kilden. Uansett pulsering i moment vil motorkarakteristikken være lik som for en likestrømmotor.

### 3.3 Solkraft

Solen er forutsetningen for livet slik mennesket kjenner den på jorden. Med unntak av dyp geotermisk energi og tidevann, er solenergi drivkraften bak alle fornybare energikilder. Også de fossile energibærerne er lagret solenergi. Solenergi er en tilnærmet utømmelig energikilde. Utfordringen har vært å finne effektive måter for å utnytte solenergien på en god måte. I hovedsak kan energien fra solen utnyttes på to måter:

#### 1. Produksjon av elektrisk energi:

- Solceller
- Konsentrert solkraft (termiske solkraftverk)

#### 2. Produksjon av varme:

- Passiv solvarme
- Solfanger

I dette kapitlet er det valgt å skrive teoridel kun om solceller. Manøvermaskinen vil ha et lavt energibehov, og et termisk solkraftverk vil ikke være en relevant løsning i dette tilfellet. Varmeproduksjon er heller ikke relevant, da maskinen kun trenger elektrisk energi. Passiv solvarme, solfangere og konsentrert solkraft blir ikke utredet videre i denne oppgaven.

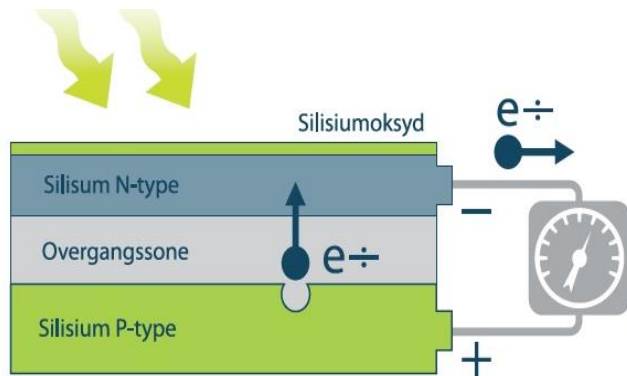
### 3.3.1 Energiproduksjon

Solceller konverterer energi fra solen til elektrisk energi ved hjelp av fotovoltaisk effekt.

Fotovoltaisk effekt er strømmen som kommer ut av et materiale som blir utsatt for lys.

Funksjonsmåten til en solcelle kan forstås ut fra figur 11.

Solceller produserer elektrisitet i form av likestrøm. Den elektriske energien kan brukes direkte, lagres i en egnet form for energilagring, eller vekselrettes og sendes ut på strømmettet.



Figur 11 - Prinsippkisse for solcelle<sup>30</sup>

Et solcellepanel eller solcellemodul er sammensatt av flere solceller, avhengig av ønsket effekt og spenningsnivå. For å få en praktisk nyttbar ytelse fra hver solcelle, er det vanlig å serie- eller parallellkoblede cellene slik at spenningen kan tilpasses et likestrømsanlegg på typisk 12 eller 24V.

En solcelle består av to lag halvledere som legges inntil hverandre. Ofte er dette silisium. Silisium er et halvledermetall, og har dårlig ledningsevne. Silisiumet blir derfor «dopet», ved å tilsette små mengder av andre materialer. I figur 11 vises fire forskjellige lag, og disse kan kalles plater. Den nest øverste platen (silisium N-type), dopes med fosfor og vil få et overskudd av elektroner. Under er overgangssonen, den skal hindre at det blir fri elektronflyt mellom den nest øverste og nederste platen. Den nederste platen (silisium P-type) dopes med bor og vil få et underskudd av elektroner. Når disse platene omslutter overgangssonen settes det opp et felt.

Når solcellen eksponeres for sollys vil energien i solstrålene frigjøre elektroner som blir drevet over til den øverste platen, gjennom overgangssonen. For å gjenopprette balansen, vil elektronene forsøke å komme seg tilbake til den nederste platen, men blir stoppet av overgangssonen. Elektronene flyter heller gjennom en ytre krets, som kan tilkobles en elektrisk last.

Lys og lysbølger inneholder energi bestemt av lysbølgelengden. Når denne energien overstiger båndgapet til materialet som blir belyst, vil den danne elektronhullpar i halvledermaterialet. Det som da oppstår kalles ladningsseparasjon og kommer av det elektriske feltet i overgangssonen når solcellen er i termisk likevekt. Det er selve kontaktpotensialet som skaper det elektriske feltet. Disse feltene er tilstede i overgangssonen allerede før solcellen utsettes for lys. Ladningsseparasjonen skiller de positive elektronhullene og de negative over overgangssonen. Solcellen kan derfor betraktes som en lysdiode, noe som medfører fotovoltaisk spenning mellom diodeterminalene.

Denne lysinduserte ladningsseparasjonen skaper en returstrøm gjennom solcellens overgangssone. Dette skjer i motsatt retning av normal diodestrømretning.

Ladningsseparasjon forårsaker fotovoltaisk spenning, som også er elektromotorisk spenning (EMS). Bivirkningen av denne spenningen er at solcellen har en tendens til å gi «forward bias» i overgangen. Ved høye nok effektnivåer vil denne «forward bias» føre til en strøm i lederretningen i dioden som subtraherer seg fra den strømmen som blir skapt av lyset.

Forholdet mellom strøm og spenning for en solcelle som mottar lys er:

$$I = I_L - I_0 \left( e^{\frac{qU}{mkT}} - 1 \right)$$

$I$  Strøm til lasten. [A]

$I_L$  Strøm fra solcellen [A]

$I_0$  Revers metningsstrøm [A]

$kT/q$  Termisk spenning  $\approx 0,026V$  ved  $20^\circ C$

$m$  Faktor definert av solcellekonstruksjon, 2

$e$  Eulers tall,  $e \approx 2,71828$

$U$  Spenning [V]

Omorganisering av strøm-spenning-ligningen gir tomgangsspenning<sup>28</sup>:

$$U_{oc} = m \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_L}{I_0} + 1\right)$$

$U_{oc}$	Tomgangsspenning [V]
$m$	Faktor definert av solcellekonstruksjon, 2
$kT/q$	Termisk spenning $\approx 0,026V$ ved $20^\circ C$
$I_L$	Strøm fra solcellen [A]
$I_0$	Revers metningsstrøm [A]

I motsetning til et batteri vil solcellen ved strømverdier i nærheten av  $I_L$  fungere mer likt en strømkilde kontra en spenningskilde. Den strømmen som trekkes er tilnærmet konstant over et stort intervall av belastningsspenningen, med ett elektron per konvertert foton.

Sannsynligheten for å få ett elektron fra lysstrømmen per innfallende foton avhenger ikke bare av solcellen i seg selv, men også av bølgelengden til lyset som belyser cellen. Dette omtales som kvanteeffektiviteten i solcellen.

### 3.3.2 Solcelletyper

De viktigste solcelleteknologiene er krystallinske solceller og tynnfilmteknologier. Forholdet mellom pris og virkningsgrad, samt bruksområde og tilgjengelig areal er gjerne avgjørende for valg av teknologiløsning. Et typisk panel med solceller av krystallinsk silisium består av 50-70 serie- og parallellkoblede celler, som er kapslet inn mellom et dekkglass og en bakplate. Panelet må beskytte solcellene mot vær og vind, og kvaliteten på innkapslingen er derfor svært viktig. I tillegg må panelet ha tilstrekkelig mekanisk stabilitet for å beskytte de skjøre solcellene mot håndtering og påkjenninger fra regn og hagl. Vanligvis er paneler i området 50–100  $W_p$  for tynnfilm og 50-300  $W_p$  for krystallinske solceller.<sup>30</sup>

Den største fordelene med tynnfilmteknologi i forhold til krystallinske silisiumceller er at det brukes mindre råvarer i produksjonen. En annen fordel er at det er teoretisk mulig å lage store



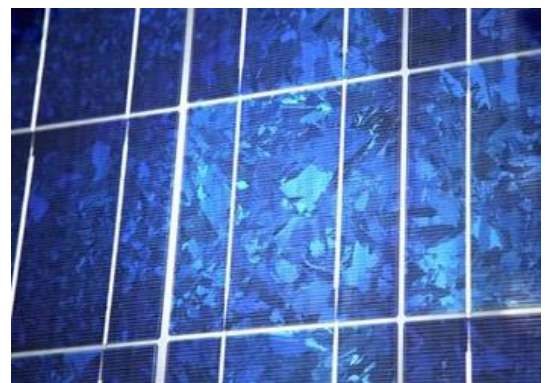
flater i en operasjon, noe som åpner for mer rasjonelle produksjonsprosesser. Videre kan flatene produseres slik at de kan bøyes, og for eksempel legges over bueformede tak. Selv om den oppgitte virkningsgraden er noe under virkningsgraden for krystallinske celler, behøver ikke årsproduksjonen av elektrisitet å være tilsvarende lav. Som nevnt ovenfor benytter bransjen maksimal elektrisitetsproduksjon under ideelle forhold som grunnlag for oppgitt virkningsgrad. Under mindre ideelle forhold, for eksempel ved diffus innstråling, kan tynnfilm-systemene i noen tilfeller produsere mer elektrisitet enn de krystallinske, som er mer avhengig av direkte innstråling.

Siden 2008 har prisen på krystallinske silisium-solcellemoduler produsert i Kina sunket med om lag 80 prosent.<sup>30</sup> Tynnfilmteknologiene har dermed i stor grad mistet sin viktigste åpenbare fordel i forhold til krystallinske solceller. Tynnfilmteknologienes fremtid vil kunne avhenge av mulighetene for å utnytte fleksibiliteten i form og størrelse, samt fordelene som ligger i at den gir mulighet for å produsere lettere solcelle-paneler enn det krystallinsk teknologi gjør.

### **Krystallinske solceller**

Monokrystallinske solceller er ofte svart eller grå i nyansen, og består av en ensartet overflate. Mono i denne forstanden vil si at strømmen går én vei gjennom solcellen. Solcellene er montert inn i et metallgitter og har et lag glass eller plastikk på over- og undersiden. Størrelsen på en solcellemodul avhenger av ønsket effekt. Solcellen kan bygges til ønskede mål, avhengig av plassering og omgivelser.<sup>29</sup> For å holde temperaturen i cellen nede, monteres det en hvit bakgrunn i gitternettet.

Produksjonsprosessen er krevende og det trengs mye energi til produksjon. Normalt er derfor både produksjonskostnader og markedsverdi for monokrystallinske solceller høy.<sup>30</sup>



Figur 12 - Multikrystallinske solcelleoverflate<sup>31</sup>

Multikrystallinske solceller består av flere krystallkorn og kan gjenkjennes av den blålige overflaten. Dette kommer av at krystallkornene er organisert i ulike retninger. Fremstillingen av multikrystallinske solceller er enklere enn for monokrystallinske solceller. Det kreves mindre energi, noe som fører til at de er billigere. Forskjellen ligger i virkningsgraden hos de forskjellige typene.<sup>31</sup>

### **Tynnfilmteknologi**

Prinsippet bak tynnfilmteknologi er å deponere tynne lag av solceller på et substrat, for så å bygge en modul ut fra dette. Tynnfilmsolceller benytter gjerne materialer med direkte båndgap som gjør det mulig å absorbere lyset i et meget tynt lag. De vanligste typene er CupperIndiumGalliumSelenid (CIGS), CadmiumTellurid (CdTe) og ulike silisium-varianter med amorft silisium.<sup>30</sup>



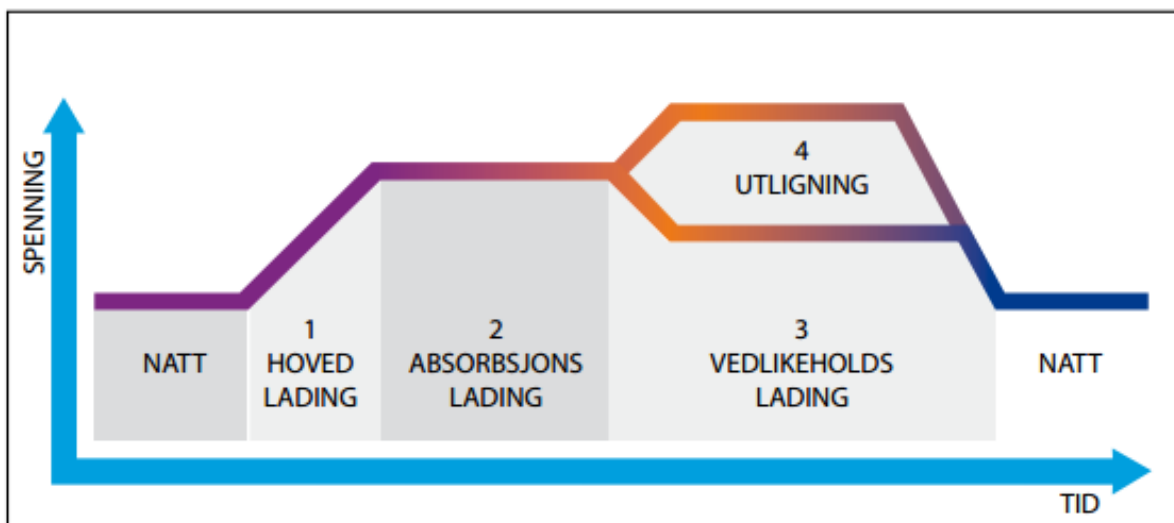
*Figur 13 - Tynnfilmteknologi<sup>32</sup>*

Formålet med tynnfilmsolcelle er å få solcellen så tynn som mulig. Tynnfilm kommer i mange fasonger og former. Dette gjør den egnet til blant annet bygningsintegrering. Det tar vare på det estetiske, og produserer energi samtidig. Tynnfilmteknologien lages på glass, stål eller i plast. Ved bruk av plast blir modulen bøyelig, som vist på figur 13.

Produksjonen av tynnfilmsolceller krever mindre råmaterialer enn mono- og multikrystallinske solceller. Dette medfører at tynnfilmen er lettere i vekt. Produktet kan leveres i en gjennomsiktig utførelse, eller ønsket farge. Andre fordeler som ofte nevnes i forbindelse med tynnfilmsolceller for bygningsintegreerte anlegg, er mer fleksibilitet med hensyn til geometrisk tilpasning til bygget, lettere konstruksjon, mindre følsomhet for partiell avskygning, bedre utnyttelse av diffus innstråling og lavere pris per areal. Ulempene for tynnfilmteknologien er knyttet til betydelig lavere virkningsgrad og usikkerhet knyttet til ytelsen over tid.<sup>33</sup>

### 3.3.3 DC-spenningsregulator i solcelleanlegg

En spenningsregulator skal holde spenningen i en elektrisk krets mest mulig konstant. Den genererer en fast utgangsspenning uavhengig av belastningsendringer eller andre faktorer som kan innvirke på systemspenningen. Solceller kan levere varierende spenning, og en spenningsregulator må kobles mellom solcellepanel og batteribank for å forsikre at batteriene lades ved riktig spenning. Regulatoren justeres seg etter batterispenningen. Når batteriet er ladet til ca. 70-80% kapasitet, startes en prosess som kalles absorpsjonslading. Da blir ladestrømmen begrenset og spenning holdt stabil over en tidsstyrt periode. Dette skjer til batteriet er 90-95% fulladet. Vedlikeholdslading er neste steg i ladeprosessen, hvor ladespenningen senkes litt for å ikke korte ned på batteriets levetid. Dette skjer til batteriet er fulladet. Dersom en belastning oppstår like etter batteriet har blitt fulladet, vil regulatoren øke strømmen, men fortsatt holde ladespenningen på vedlikeholds nivå.<sup>34</sup>



Figur 14 - Typisk laderegulering<sup>34</sup>

### 3.3.4 Virkningsgrad

Virkningsgrad er per definisjon forholdet mellom avgitt effekt ( $P_{ut}$ ) og tilført effekt ( $P_{inn}$ ). For solceller tilsvarer dette forholdet mellom solinnstråling og produsert strøm.

I produksjon av elektrisitet med bruk av solceller, skilles det mellom celle-, modul-, og systemvirkningsgrad.<sup>35</sup>

Den momentane virkningsgraden for et solcelleanlegg varierer gjennom dagen og over året, da den er avhengig av flere faktorer, som for eksempel mengde innstråling og overflatetemperatur. For en silisiumcelle synker virkningsgraden med økt overflatetemperatur. Dvs. at en solcellemodul som er blitt varmet opp hele dagen, har dårligere effektivitet enn i avkjølt tilstand.<sup>35</sup>

Når produsenter av solceller oppgir solcellenes virkningsgrad, og når solcellers virkningsgrader sammenlignes, menes den maksimale energimengden solcellene kan produsere under såkalte standard testforhold: solinnstråling settes til  $1000 \text{ W/m}^2$  og temperatur  $25^\circ\text{C}$ . De samme forutsetninger ligger til grunn når produsenter oppgir solcellens maksimale ytelse, betegnelsen som benyttes er Watt peak, ( $W_p$ ). Virkningsgraden blir noe lavere etter mange års drift, for en silisiumcelle må det regnes med at maksimum ytelse er redusert med 10% etter 25 år.<sup>35</sup>

Modulvirkningsgraden tar hensyn til tapene over den komplette modulflaten og er derfor alltid lavere enn virkningsgraden for selve solcellene. Dette skyldes blant annet at mellomrommet mellom solcellene ikke kan utnyttes.<sup>35</sup>

Systemvirkningsgraden er betegnelsen på hele systemet, inkludert nett-tilknytning. Overføringen av strøm til nettet og omvandlingen av solanleggets produserte likestrøm til vekselstrøm er forbundet med et visst tap. Når det skal beregnes energikostnad er det viktig å ha en formening om systemvirkningsgraden.<sup>35</sup>

For alle typer solceller er det svært utfordrende å skalere opp produksjonen til industrielle volumer og samtidig ivareta de høye virkningsgradene som er oppnådd i laboratoriet.<sup>35</sup>

Alle materialer har en fysisk grense for hvor mye av innstrålingen de kan omgjøre til elektrisitet, et såkalt teoretisk maksimum. For silisium er maksimal teoretisk virkningsgrad 28%. Dersom det er et system som kan utnytte alle bølgelengder sollyset består av, ligger den maksimale virkningsgraden rundt 85%. Innovative systemer har oppnådd over 40% ved laboratorieforsøk ved å kombinere ulike typer materialer.<sup>35</sup> Tabell 2 viser de forskjellige solcelletypene med virkningsgrad i prosent.

Tabell 2 - Virkningsgrad [%] for ulike solcelleteknologier<sup>33</sup>

<b>Materiale</b>	<b>solcelle (laboratorium)</b>	<b>solcelle (produksjon)</b>	<b>solcellepanel (serieproduksjon)</b>
<b>Monokrystallinske</b>	24,7	21,5	16,9
<b>Multikrystallinske</b>	20,3	16,5	14,2
<b>Silisiumceller (ribbon pulled)</b>	19,7	14,0	13,1
<b>Krystallinske (tynnfilm)</b>	19,2	9,5	7,9
<b>Amorfe</b>	13,0	10,5	7,5
<b>Mikromorfe</b>	12,0	10,7	9,1
<b>CIS</b>	19,5	14,0	11,0
<b>Kadmium tellurid</b>	16,5	10,0	9,0
<b>III-V halvleder</b>	39,0 *	27,4	27,0
<b>Organiske / Grätzel</b>	12,0	7,0	5,0 **
<b>Hybrid HIT solceller</b>	21,0	18,5	16,8

\* konsentrert solinnstråling

\*\* småskala produksjon

### 3.3.5 Miljø

Solceller har ingen negative miljøpåvirkninger som ferdig produkt, derimot er selve produksjonen av solcellene omstridt. For å produsere solcellepaneler må det først lages wafere. Solcellewafere må ha riktig struktur, og for å få det går de gjennom en serie med behandlinger i ulike kjemikaliebad. Mellom hver behandling må waferene skylles i vann slik at kjemikalierester ikke blir med til neste bad. Dette gjentas flere ganger og medfører svært høyt forbruk av vann. En middels stor solcellefabrikk (1,4GW kapasitet) som utfører denne prosessen vil forbruke 15 000 liter vann per minutt. I tillegg til det høye forbruket tilføres vannet gjennom prosessstegene toksiske forbindelser som det er nødvendig å fjerne ved behandling i egne renseanlegg.<sup>36</sup>

Det mest alvorlige ankepunktet ved solcelleproduksjonen, er utslipp av klimagasser. Det dreier seg blant annet om utslipp av gassene heksafluoroetan ( $C_2F_6$ ), nitrogentrifluorid ( $NF_3$ ), og svovelheksafluorid ( $SF_6$ ). Alle er kraftige klimagasser, med globalt oppvarmingspotensial (GWP) på henholdsvis 9200, 17200, og 39800.<sup>36</sup>

Opprinnelsen til den elektriske energien som tilføres fabrikker hvor det produseres solceller påvirker totalt  $CO_2$ -fotavtrykk. En solcelle som eksempelvis har hatt hele sin produksjon i Norge vil ha mindre totalt  $CO_2$ -fotavtrykk sammenlignet med en solcelle som blir produsert i land med utelukkende bruk av fossile kraftverk (Kull og gass). Det må uansett nevnes at det ikke kan garanteres med sikkerhet hvor elektrisiteten som forbrukes er produsert, da elektrisk kraft importeres eller eksporteres mellom land avhengig av kraftpris, produksjon og etterspørsel.

### 3.3.6 Eksisterende solcelleanlegg i Norge

Agder Energi sine kontorlokaler i Kristiansand er et av de norske prosjektene i EU sitt program «INTEND – Integrated Energy Design»



*Figur 15 - Agder Energi sitt solcelleanlegg på deres kontorbygg i Kristiansand <sup>37</sup>*

Det er installert 200 solcellemoduler som til sammen produserer 40 000kWh per år. Det er brukt 4 forskjellige typer paneler. Grunnen til dette er å finne ut hvilken type som passer best på Sørlandet.<sup>37</sup>

Fasaden mot syd på Den Norske Opera & Balletts hus i Bjørvika har et 300m<sup>2</sup> bygningsintegrert solcelleanlegg i en vertikal vegg. Den totalt installerte effekten er på 35kW<sub>p</sub> og produserer ca. 20 000kWh per år. Det er ved dette anlegget brukt en type høyeffektive monokrystallinske solceller med 16% virkningsgrad.<sup>38</sup>



*Figur 16 - Operabygget i Bjørvika. <sup>38</sup>*

### 3.4 Vindkraft

Vindenergi er en ressurs som mennesket har utnyttet i lang tid. Den har blitt brukt til å kverne korn og drive skip. Vindenergi har en fordel ved at den ikke er avhengig av elver eller brensel for å utføre energikrevende arbeid. I dag fokuseres det på at vindenergi kan produsere strøm med veldig lite CO<sub>2</sub>-fotavtrykk.

Vindmøller som brukes til å produsere elektrisk energi kalles vindturbiner. Vindturbiner bygges gjerne i utbredt skala i store parker langt fra folk, der energien må overføres i høyspentnettet. Solid infrastruktur må til for å drifte og montere vindturbinene som normalt er noen hundre meter høye. Vindkraftteknologien blir kategorisert som en moden teknologi og er dermed prisdyktig i mange land, særlig i land der utbyggingen blir subsidiert.<sup>39</sup>

Vindturbinene kan også bygges mindre og enkeltvis. Da kalles de småvindkraftverk og monteres der energien blir brukt. Ytelsen på disse er opptil 50kW. Slike turbiner kan utnytte allerede utbygd areal og unngå energitap som oppstår når energien må overføres på lange strekninger. Inntil nylig ble denne løsningen kun brukt «off-grid», uten tilkobling til sentralnettet på avsidesliggende steder. Markedet for nettilkoblet småvindkraft har økt betraktelig de seneste årene. Turbinutviklingen på disse har ikke kommet like langt som på de store vindturbinene.<sup>40</sup>

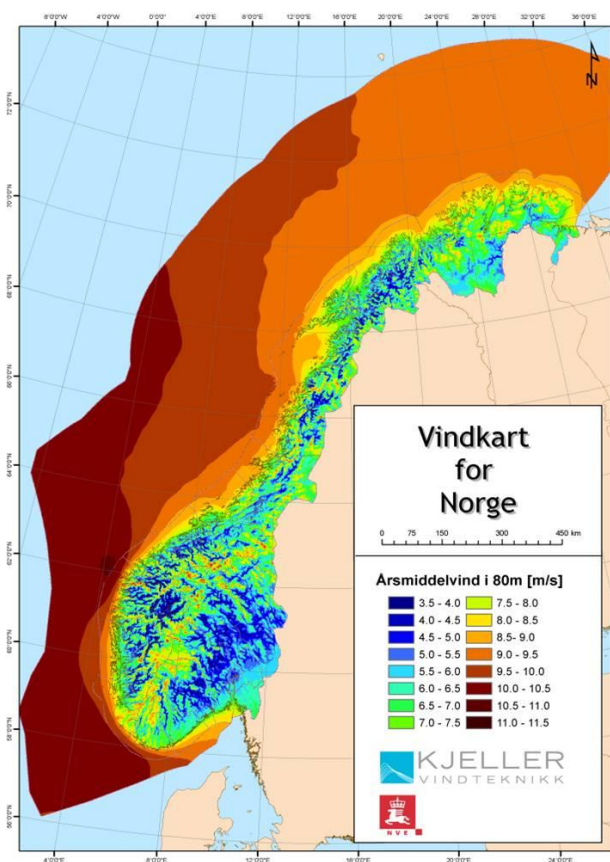
Prisen på en vindturbin er avhengig av effekt. Tommelfingerregelen er at jo større vindturbinen er, desto lavere kr/kW. Gjennom hele levetiden krever vindturbiner vedlikehold, og det kan også påløpe reparasjonsutgifter ved ødeleggelser på turbinen. Summen av kostnadene kan være relativt høye og må nøye vurderes. En vindturbin består av mange roterende og store maskindeler, og krever derfor mer vedlikehold enn for eksempel et solcelleanlegg. Utfordringene med små vindturbiner er å bygge de store nok for å få god effekt og at investeringen blir lønnsom. Kapittel 3.4 vil utdype vindens egenskaper ved effekt og produksjon, samt å kartlegge teknologi, prisnivå og potensial for å drifte laster uten nettilkobling.



### 3.4.1 Vind

Vinden stammer fra trykkforskjeller som oppstår når solen varmer opp luftmassene ulikt på kloden. Det resulterer i at det blir mye varmere rundt ekvator enn mot polene. Den varme luften ved ekvator stiger oppover og skaper et undertrykk som fylles av kjøligere vind fra nord eller sør. Luftstrømmene som da oppstår vil forsøke å utjevne trykkforskjellene i atmosfæren. Samtidig med dette roterer jordkloden slik at luftstrømmene svinger vestover mot ekvator.<sup>41</sup>

Det dannes vind på lokal skala pga. lokale temperaturforskjeller, for eksempel sjøbrisen. På dagen blåser det fra havet mot land fordi vannoverflaten er tregere å varme opp enn bakken. På natten blåser det mot havet fordi bakken kjøles hurtigere ned. Dette medfører at Norge har et av de beste forholdene for vindkraft langs kysten og de tilhørende fjellområdene. Likevel er det viktig å påpeke at vindforholdene varierer mye, slik at grundige vindmålinger må til for å vurdere et områdes potensial.<sup>42</sup>



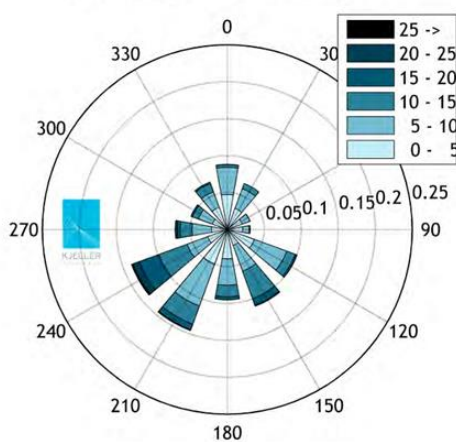
I 2009 utarbeidet NVE nasjonale vindkart som viser beregnet, gjennomsnittlig vindhastighet for hele landet i 50, 80 og 120 meters høyde. Vindkartene kan benyttes for å få en viss idé om vindkraftpotensialet på et konkret sted.

Figur 17 - Vindkart Norge<sup>43</sup>



Ved hjelp av et anemometer kan vinden måles. Et anemometer måler vindhastighet og vindretning. For å bestemme luftens massetetthet må også temperatur måles. Vindmåling må utføres over flere år for å få optimale data, da vind er en uforutsigbar ressurs som varierer mye år for år.<sup>44</sup>

Figur 18 - Anemometer<sup>45</sup>



Figur 19 - Vindrose<sup>47</sup>

For å grafisk fremstille vindretning og vindhastighet brukes det en vindrose. Vindrosen er delt inn i tolv sektorer som dekker 360° av horisonten. Hver sektor på 30° vil vise hvor sterk vinden er og hvor mye vinden blåser fra den bestemte retningen.<sup>46</sup> Dette kan utnyttes ved en plassering av turbin, da dominerende vindretning lett kan oppdages på stedet.

### Vindens energi

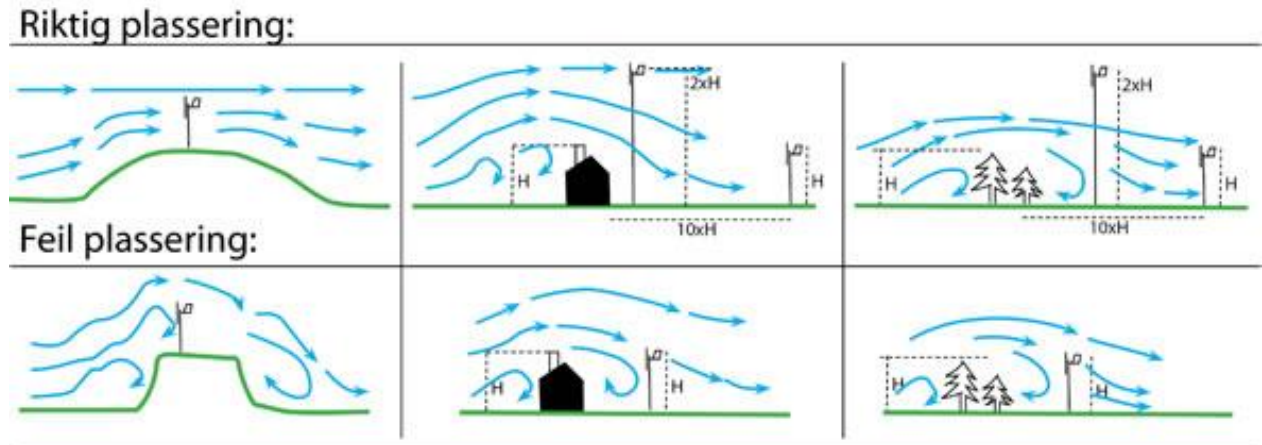
Energiinnholdet i vinden er avhengig av hastigheten og tyngden til vinden. Tyngden er igjen avhengig av temperatur, luftfuktighet og trykk. For eksempel vil en kombinasjon av høyt trykk og lav temperatur gi tyngre luft enn fuktig luft med høy temperatur og lavt trykk. Temperatur og trykk har liten effekt i forhold til vindhastigheten. Hastigheten på vinden påvirker effekten i tredje potens som betyr at en dobling av hastighet gir åtte ganger større effekt.<sup>48</sup>

$$P_a = 0,6 \times v^3$$

$P_a$  Effekt pr. kvadratmeter som vender mot vinden [W/m<sup>2</sup>]

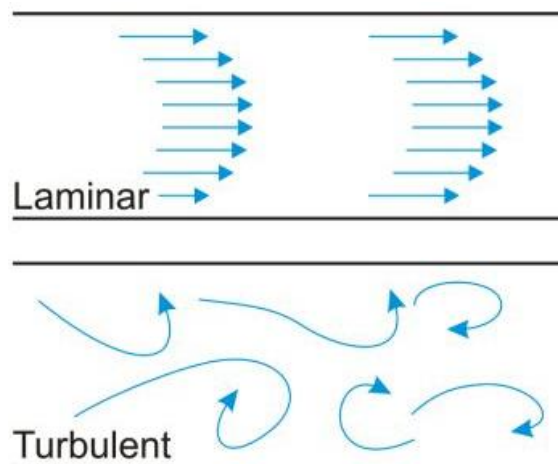
$v$  Vindhastighet [m/s]

### 3.4.2 Vindforhold og plassering av turbin



Figur 20 - Plassering av turbin<sup>49</sup>

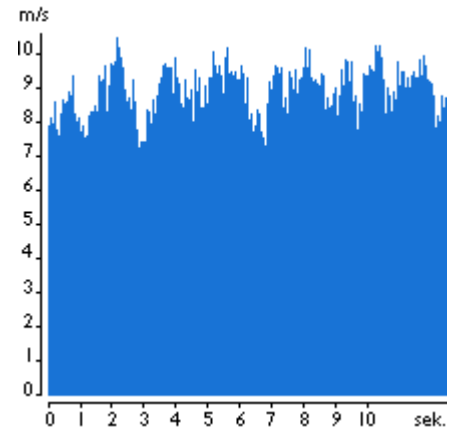
For å kunne plassere en vindturbin er det viktig å være klar over hvilke faktorer som er ødeleggende, og hva som gir gode driftsforhold for at vindturbinen skal fungere optimalt. Det er ønskelig med laminære vindstrømmer. Laminær bevegelse defineres som væsker eller gasser som følger parallelle linjer uten virvler. Problemet med turbulent vind er at virkningsgraden på turbin blir kraftig redusert. Turbulent vind gir også større slitasje på turbinen på grunn av kreftene som oppstår. Dette medfører økt sannsynlighet for turbinskader og stopp. Små vindturbiner er derfor utfordrende å plassere fordi de er montert lavere over bakken og blir dermed mer utsatt for forstyrrelser fra obstruksjoner enn de store vindturbinene.<sup>49</sup>



Figur 21 - Laminær og turbulent strømning<sup>50</sup>

## Variabel vindhastighet

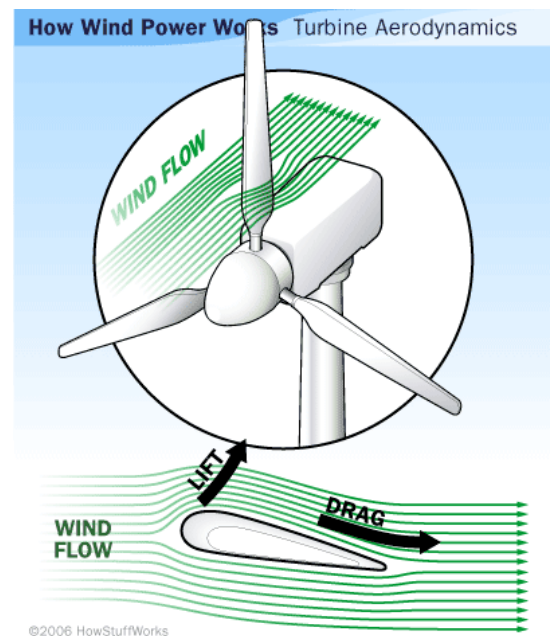
Som kjent varierer alltid vindhastigheten og dermed er energiinnholdet i vinden alltid skiftende. Særlig er kastevinder skadelig for små vindturbiner. For å forebygge dette kan det installeres brems på turbinen som gir økt tregghet i systemet. Resultatet av dette er at turbinens rotasjonshastighet blir jevnere og turbinen fungerer bedre.<sup>51</sup>



Figur 22 - Vindhastighet over 10 sek<sup>51</sup>

### 3.4.3 Energiproduksjon

Formålet med vindturbiner er å omforme den kinetiske energien i vinden til elektrisk energi. For å forklare hvordan dette skjer må luftstrømmen som treffer et turbinblad undersøkes. Bladprofilen er nøye konstruert for å få hastigheten over og under bladet forskjellig. Luftstrømmen over vingebladet har lengre vei å gå, og vil derfor ha høyere hastighet enn luftstrømmen under. Når dette skjer blir det dannet et løft fordi lufttrykket på oversiden er lavere enn på undersiden. Dette henger sammen med Bernoullis prinsipp om at strømming er inkompressibelt. Samme prinsipp finnes på flyvinger. Det er ikke slik at vinden dytter bladene rundt på en vindturbin. Drakraften oppstår på grunn av friksjon mellom bladoverflaten og luften.<sup>52</sup>

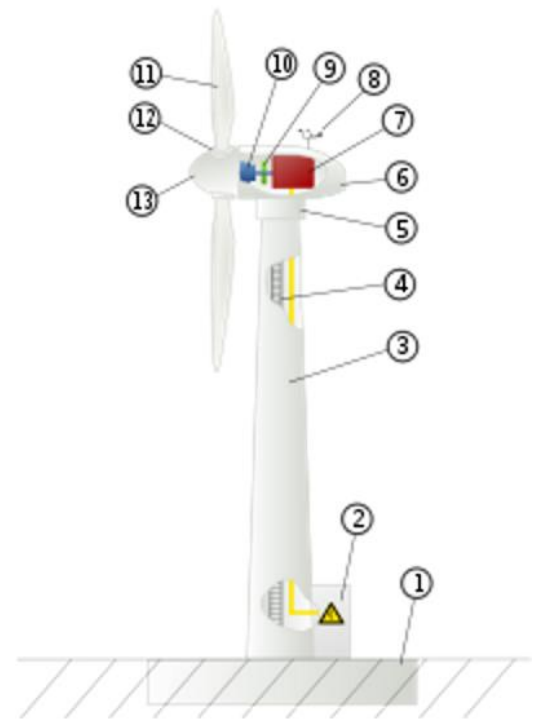


Figur 23 - Luftstrømmen over vingebladet.<sup>52</sup>

## Hovedkomponenter

I en vindturbin må følgende komponenter være på plass for å kunne levere elektrisk energi<sup>53</sup>:

- 1) Fundament → For å stå imot store krefter
- 2) Nettilknytning → En typisk norsk turbin leverer elektrisitet ved 690V. Ved turbinparker er det transformatorer som transformerer spenningen opp til eksempelvis 22kV, før det sendes ut på el.-nettet.
- 3) Tårnet → Vindhastigheten stiger med høyden over bakken
- 4) Stige eller heis → For ankomst til maskinhuset
- 5) Yaw-mekanisme → For å kunne rotere turbin etter retningen på vinden
- 6) Maskinhus (Nacelle) → Akslinger, gir, brems og generator.
- 7) Generator → Omdanner mekanisk energi fra rotor til elektrisk energi.
- 8) Meteorologiske sensorer → Måler vindens styrke og retning
- 9) Brems → Ekstra sikkerhetsforanstaltning i tilfelle de aerodynamiske bremsene ikke fungerer.
- 10) Girboks → Gir er nødvendig om turtallet til generator er betydelig høyere eller lavere enn turbinens turtall. Alternativt kan generatoren designes med tilstrekkelig mange poler for å oppnå 50Hz, slik at det er mulig å produsere selv ved lave turtall.
- 11) Rotorvinger → Overfører kraften fra vinden via drivaksling og girboks til generator.
- 12) Pitch → Vridning av blader. Optimal vinkel på bladene er ønsket frem til turbinens merkeeffekt. Ved enda høyere vindhastighet vil vridning av bladene gjøre slik at kun maksimal effekt på turbinen oppnås. Ved hastigheter over 25 m/s vil bladene vris slik at svært lite kraft blir fanget og turbinen stopper å produsere elektrisk energi.
- 13) Nav → Navet er nesen på rotoren som bladene er festet på



Figur 24 - Hovedkomponenter<sup>53</sup>

## Brukstid

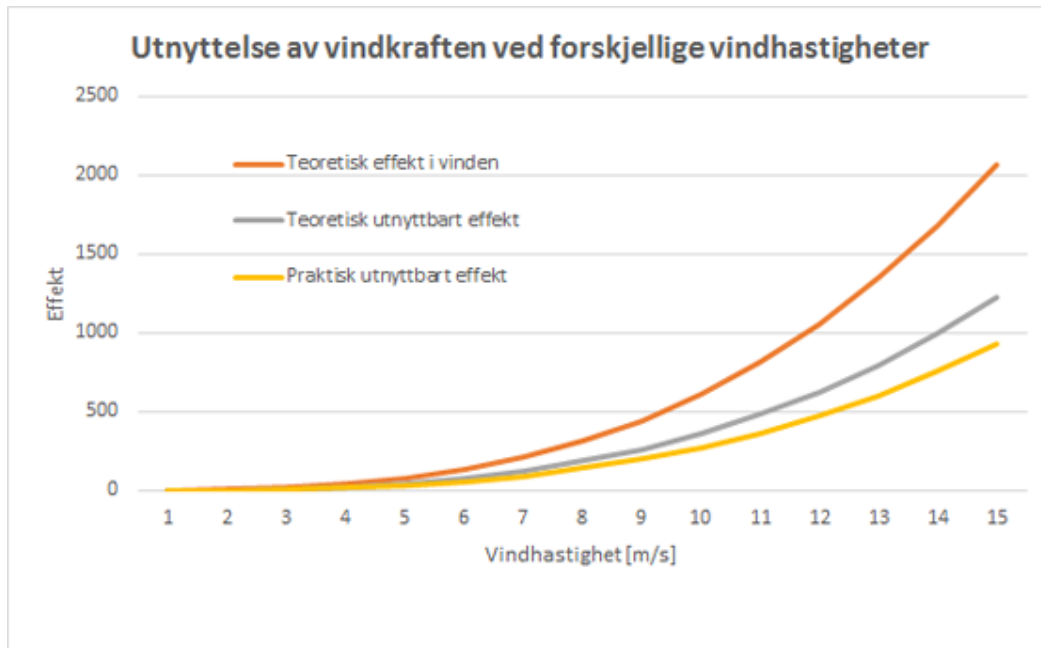
For å beregne vindkraftproduksjon er det vanlig å bruke brukstid. Brukstid forteller hvor mange timer turbinen må gå med full effekt for å produsere årets produksjon.

$$\text{Brukstid}(h) = \frac{\text{Produsert energi over et år}(MWh)}{\text{Installert turbineffekt}(MW)}$$

Gjennom et år leverer i snitt en turbin elektrisk energi i cirka 6000 av årets 8760 timer, men det betyr ikke at den går ved maks effekt i 6000 timer. Parker som er bygd i Norge de siste årene har hatt en brukstid på 2500-3000 timer. De resterende timene av året vil også brukes, for eksempel vil en turbin på halv effekt i 4000 timer i året få en brukstid på 2000 timer. Høy brukstid er i utgangspunktet positivt, men kan ikke alene brukes for å bestemme om turbinen yter optimalt. Dette bestemmes av rett installert effekt og bladlengde på turbinen. For eksempel vil en turbin med lav generatoreffekt og/eller stor rotordiameter gi høyere brukstid enn en turbin med større installert effekt. Dette resulterer i mindre levert energi. Eieren av turbinen vil ha som mål å ha lavest mulig kostnad på levert energi, men dette sier ikke brukstiden noe om. For å få til en optimal løsning på vindturbin må det utarbeides en nøye kartlegging av vindressurser, størrelse og kostnader på turbin, vedlikehold og drift.<sup>54</sup>

## Virkningsgrad

I 1919 publiserte Albert Betz en lov om hvor mye energi det er mulig å oppta fra energien uavhengig designen av vindturbinen. Umiddelbart tenker de aller fleste at det teoretisk må være mulig å utnytte all bevegelsesenergien fra vinden. Hvis det hadde vært mulig ville vindhastigheten bak rotor blitt lik null og luftmassene ville dermed ikke kunne bevege seg bort fra turbinen. Matematikeren Betz utledet en fysisk lov (Betz's lov) som sier at en maksimalt kan omdanne 16/27 (59,3%) av bevegelsesenergien i vinden til mekanisk energi ved å bruke en vindturbin. Figur 25 viser virkelig effekt i W/m<sup>2</sup> i vinden, hva som er teoretisk mulig å utnytte og hva turbinen i praksis utnytter.<sup>55</sup> Vindturbinen har også tap i form av elektrisk- og mekanisk energi som gir en praktisk utnyttelse av energiinnholdet i vinden på 40-45%.



Figur 25 - Utnyttelse av vindkraften ved forskjellig vindhastigheter<sup>55</sup>

### Effektkurver

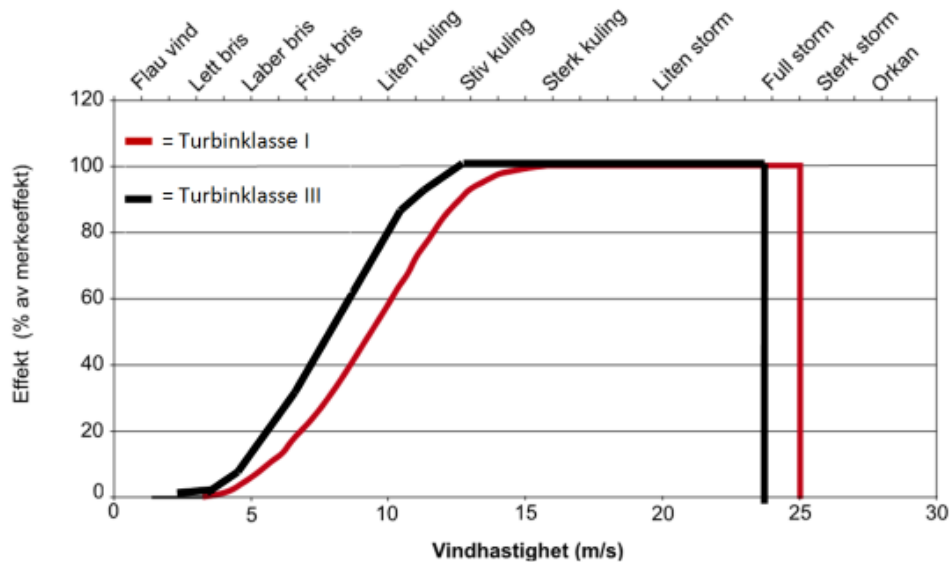
Vindturbiner deles inn i tre klasser som refererer til de vindhastighetene turbinen er designet for. Tabell 3 viser klasseinndelingen basert på ekstremvind og årsmiddelvind. Hensikten med forskjellige design og klasser er å få høy produksjon til lavest mulig pris. Klasse II turbiner har normalt lengre blader enn klasse I turbiner. Det gjør at de fanger mer vind og når maksimal effekt tidligere, men tåler mindre ekstremvind.

Tabell 3 - Klasseinndeling av turbin

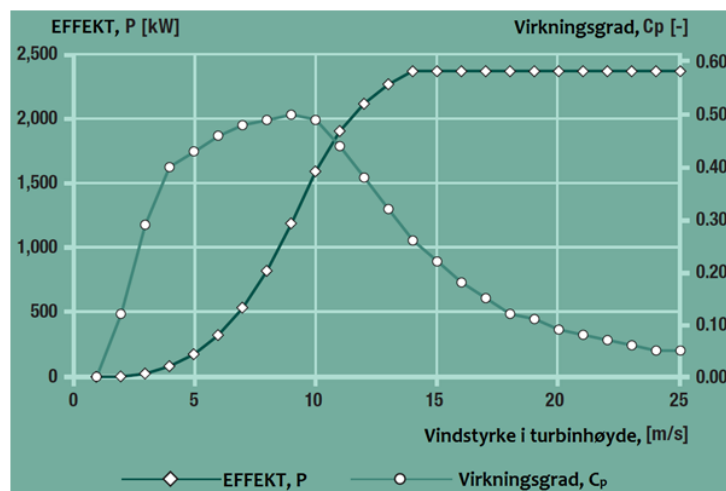
Vindturbinklasse	Klasse I Sterk vind	Klasse II Medium vind	Klasse III Lite vind
Årlig middelvind [m/s]	10	8,5	7,5
Ekstrem 50-års vind [m/s]	70	59,2	52,5

Figur 26 viser effektkurvene til vindturbinclassene i økende hastighet. En moderne vindturbin begynner å produsere elektrisitet ved ca. 3-4 m/s og går for full effekt ved 11-13 m/s. Fra 11-13 til 25 m/s er effekten konstant. Ved vind over sterk storm (>28 m/s) vil vindturbinene slås

av på grunn av at de ikke er dimensjonert til å tåle de sterke påkjenningene som følger. Det vil være lite lønnsomt å dimensjonere etter disse påkjenningene, da det kun er et fåtall ganger at vinden er så sterk.<sup>56</sup>



Figur 26 - Effektkurve for en vindturbin<sup>56</sup>



Figur 27 - Sammenheng virkningsgrad og effekt for 2,3MW turbin<sup>56</sup>

Når vindhastighetene er på rundt 13 m/s og oppover vil bladene vrir for å «fange» mindre og mindre av energien. Den synkende virkningsgraden gjør at effekten holdes konstant fra 11-13m/s til 25 m/s. Som vist i figur 27 blir bare en brøkdel av energien utnyttet ved høye vindhastigheter.

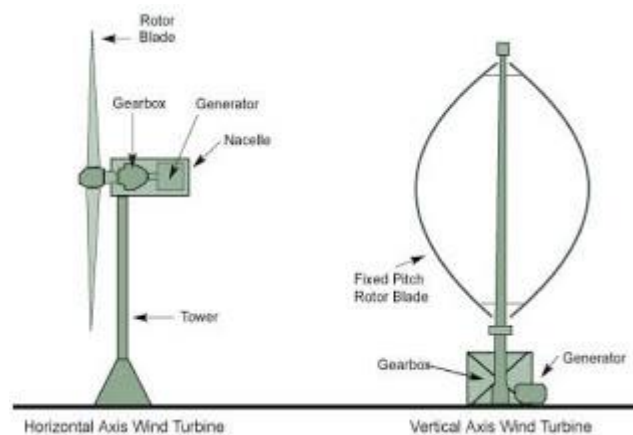


### 3.4.4 Turbintyper

Hovedsakelig er vindturbiner utformet på to forskjellige metoder: horisontal aksling (HAWT) og vertikal aksling (VAWT). Vindturbiner varierer i størrelse fra noen Watt til opp mot 10MW. Hovedforskjellen på turbintypene er at HAWT utnytter løftekraften på bladene mens VAWT utnytter drakraften som oppstår.

#### **HAWT, Horizontal Axis Wind Turbine**

Når folk flest tenker på vindkraft er det en HAWT-turbin de assosierer seg med. Den er konstruert slik at turbinen er plassert på toppen av en mast med akslingen rettet langsmed vindretningen. Det er også HAWT som oftest blir plassert i vindparker. Bladene vil alltid stå mot vinden da turbinen roterer med vindretningen. HAWT kjennetegnes som en moden og relativt rimelig teknologi. Virkningsgraden er også bedre på HAWT enn på VAWT. Stabil struktur på konstruksjon gjør at de kan skaleres opp til veldig store størrelser. Største ulempen med HAWT-vindturbiner er vanskelig service på grunn av at generatoren er plassert høyt over bakken. Samtidig er det mange bevegelige deler, da både nacellen og bladene må være vribare. Dette gjør at turbinen blir en komplisert maskin som krever nøyaktig utførelse for å fungere optimalt.



Figur 28 - HAWT og VAWT<sup>57</sup>

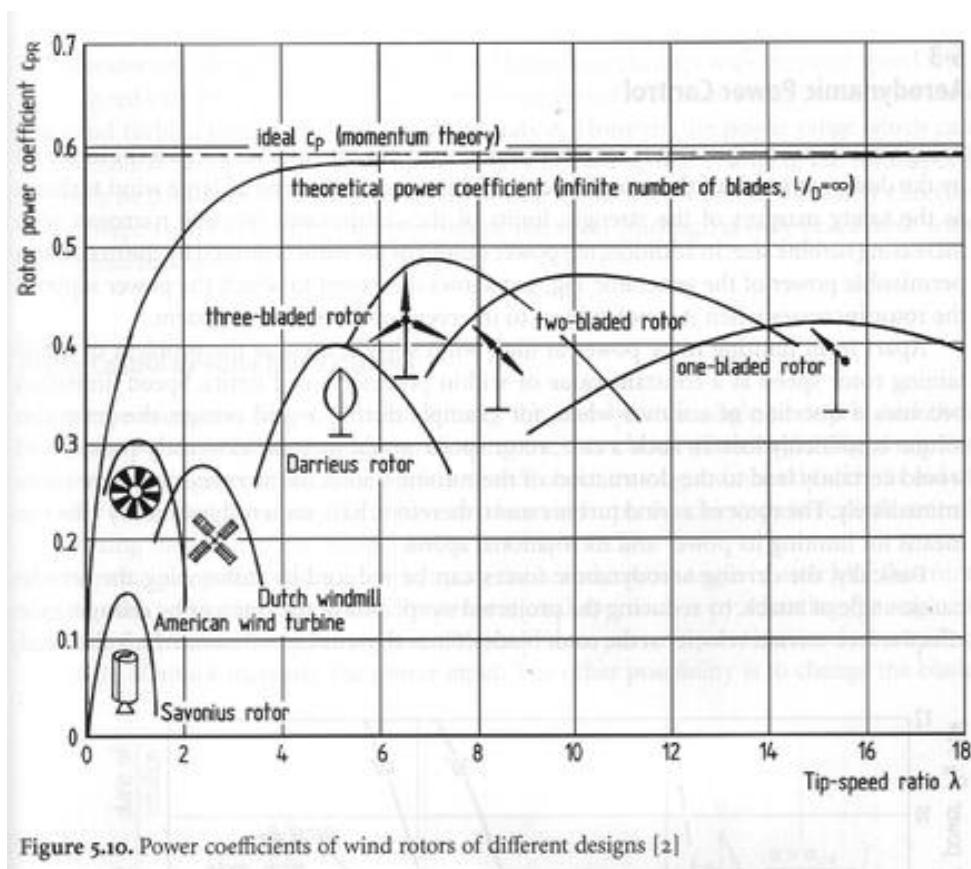
#### **VAWT, Vertical Axis Wind Turbine**

Vertikale vindturbiner har eksistert siden 1920-tallet, men er likevel en mindre utbredt teknologi. I denne teknologien er akslingen pekt oppover, på tvers av vinden, og generatoren er plassert på bakken. Det finnes flere varianter av VAWT. De mest utbredte er Savinoux-turbinen og Darrieus-turbinen. Savinoux-turbinen har en enkel struktur som består av

halvsirkler som utnytter luftmotstanden til å rotere akslingen. Darrieus-turbinen består av airfoil-vinger som er montert som en hjulvisp.

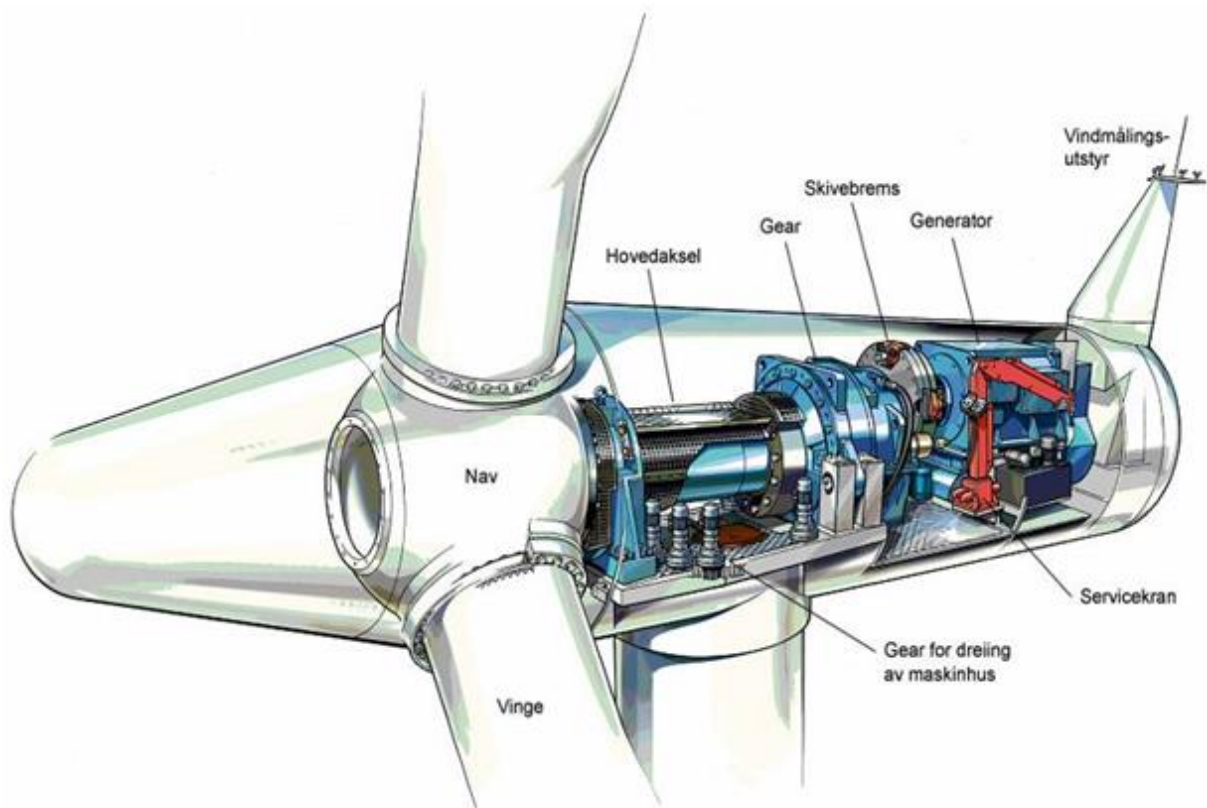
Felles for alle vertikale vindturbiner er at de har dårligere virkningsgrad enn horisontale. Fordelen med VAWT er at de fanger vind fra alle retningene og trenger derfor ingen mekanisme for å rotere etter vinden. Dette medfører at vertikale vindturbiner er enklere maskiner med færre deler. Samtidig er også vedlikeholdet enklere da generator er plassert på bakken.

En VAWT krever mye vedlikehold på grunn av at akslingen er festet i bunnen og går på tvers av vinden som gjør at det oppstår et dreiemoment. Dreiemomentet medfører slitasje og gjør det også vanskelig å skalere opp turbinen fordi dreiemomentet vil øke desto lengre akslingen er. Sammenlignet med HAWT har VAWT et høyere prisnivå.



Figur 29 - Virkningsgrad på forskjellige typer vindturbiner<sup>58</sup>

### 3.4.5 Generatortyper



Figur 30 - Nacelle og komponenter<sup>59</sup>

For å få elektrisitet fra vind finnes fem generatortyper som har sine fordeler og ulemper:

Tabell 4 - Oversikt over generatortyper i vindturbiner<sup>60</sup>

Generatorsystem	Fordeler	Ulemper
DC-generator	<p>+ Høy hastighet (pga. gir) på generator medfører «liten» maskin. (Høy fart gir bedre kW/kg)</p> <p>+ Variabel fart ok, da den mater et batteri</p>	<p>- Små, noen hundre Watt. (For hytter o.l.)</p> <p>- Gir</p>

<b>Generatorsystem</b>	<b>Fordeler</b>	<b>Ulemper</b>
Asynkrongenerator (Konstant fart)	+ Enkel og billig konstruksjon (ingen frekvensomformer)  + Kan være Dalanderkoblet (2 ulike poltall) for å gå med to ulike hastigheter. (Høyeste poltall ved vind m/lav styrke) (Synkroniseringsturtall lavere)	- Gir  - Trenger fasekompensering for magnetisering av rotor (Kondensator)
Asynkrongenerator (Variabel fart)	+ Utnytter vinden bedre (variabel fart)  + Trenger ikke kondensator for å levere reaktiv effekt	- Gir  - Behov for frekvensomformer
Dobbeltmatet induksjonsmotor	+ Kun 1/3 av effekten går i frekvensomformer (mye billigere)  + Kan kjøre optimal hastighet i forhold til vind	- Gir  - Dyrere generator (rotor har sleperinger)  - Dyrere styrings- eller kontrollanlegg
Permanentmagnet synkrongenerator	+ Stort hastighetsområde  + Kan kjøre optimal hastighet i forhold til vind  + Enkel generator og styring  + Har ikke gir	- Må ha 100% effekt i frekvensomformer(dyrt)

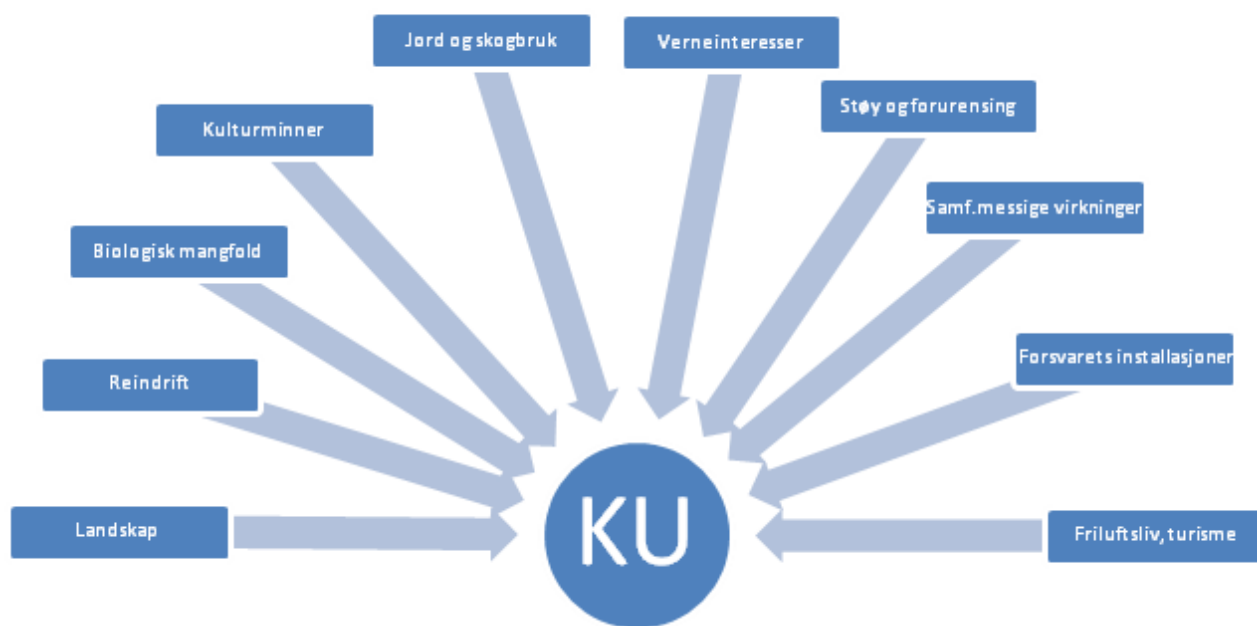
### 3.4.6 Miljø

Som alle utnyttelser av energikilder påvirker vindkraft også miljøet. Først og fremst er det knyttet utfordringer til beslagleggelse av areal, støy, visuell sjenanse og naturmangfold.<sup>61</sup> Vindkraft blir ofte bygd i ytre strøk av Norge der det er mest vind. Lokaliseringen blir sett på som et kulturlandskap for de nærmeste. På grunn av vindturbinens dimensjoner vil opplevelsen av landskapet endres, noe som har medført til motstand og diskusjoner. Norges innbyggere vil ha fornybar energi, men ikke i sitt nærområde. Opplevelsen av vindkraftverket vil være avhengig av landskapet. Da er det særlig svære vindturbiner som stikker seg ut i landskapet som blir sett negativt på.<sup>61</sup>

Mange har opplevelser knyttet til naturområder som blir påvirket av en utbyggelse. Ved etablering av en vindpark kreves det infrastruktur som veier og kraftledninger. Bivirkningene av dette kan være at opplevelsene og minnene fra området kan redusere opplevelsverdien ved vindparkutbygging. Særlig opplevelsen knyttet til friluftsliv vil være negativ, da mange søker til disse områdene når de ønsker naturopplevelser.<sup>61</sup>

De største motstanderne for vindkraftutbygging er ofte interesseorganisasjoner for dyrevelferd. Erfaringer viser at vindturbinene påvirker vegetasjon og naturmangfold, men eksperter er uenig i hvor stor grad. Særlig er det virkningen på fuglelivet det forskes på. Erfaringene fra forskningen på Smøla vindpark viser at vindkraft påvirker havørnen, men i mye mindre grad enn fryktet. Vindparken reduserer overlevelsen blant de voksne havørnene, men det skjer først og fremst innenfor en radius av fem kilometer fra turbinene. Utenfor fem kilometer har graden av dødelighet og forstyrrelser på havørnen vært minimal.<sup>62</sup>

Norge har forpliktet seg til å beskytte vernede områder. Mange av disse områdene har et stort potensial for vindenergi, men blir utelukket med hensyn til bevaring av området. Det er flere årsaker til dette, blant annet hensynet til truede arter, inngrepsfrie naturområder (INON) og viktige natur- og kulturlandskap. Det må også tas hensyn til militære anlegg og kommunikasjonsanlegg, da vindturbinene påvirker signaler.<sup>61</sup>

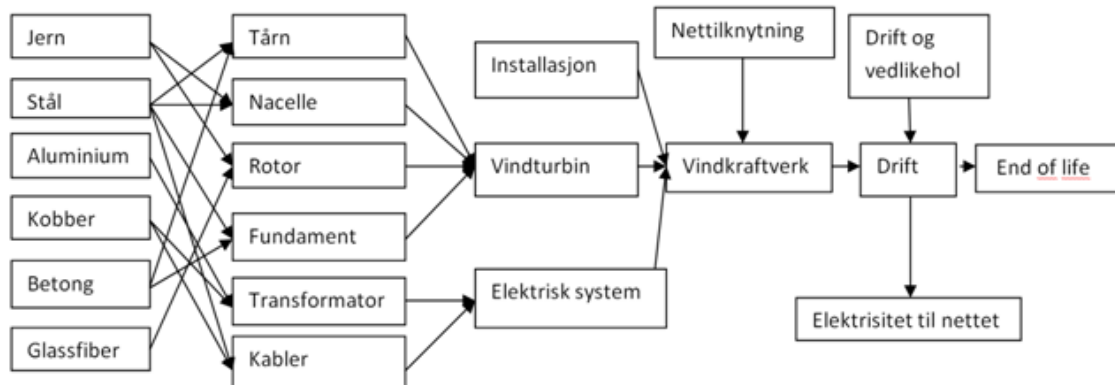


Figur 31 - Konsekvensutredning<sup>64</sup>

Vindkraftverk har i drift ikke noe forurensende utslipp normalt, men det kan være uheldige utslipp ved drift og vedlikehold (havari, oljeskift, transport o.l.) I et miljøregnskap må det også sees på energiforbruk og utslipp til produksjon, installering og demontering etter livssyklusen av vindturbinene. For å gjøre disse betraktningene brukes det en livsløpsanalyse, Life Cycle Analysis (LCA). I en LCA ses det på hele verdikjeden og livsløpet til et produkt eller en tjeneste.<sup>61</sup>

En litteraturstudie utført ved NTNU (Arvesen) har gått gjennom flere livsløpsvurderinger av vindkraft. I denne studien kom det frem at det var generelt god forståelse av fossil energibruk og tilhørende forurensing i livsløpsanalysene. Hovedtyngden av utslippene kommer av fremstilling av ulike komponenter som brukes i en vindturbin. De sterke positive effektene er størst ved de minste turbinene, mens det ikke er funnet klare bevis for slike effekter ved vindturbiner i MW-størrelse. Studien viser at det er mangelfull forskning på LCA på store vindturbiner. Resultatene angir også gjennomsnittlig energi-tilbakebetalingstid for et

vindkraftverk til å være 3,2 måneder. Det betyr at etter drøye 3 måneder har vindkraftverket levert samme mengde energi til nettet som det går til å produsere vindkraftverket.<sup>63</sup>



Figur 32 - Typisk livsløp for en vindturbin.<sup>64</sup>

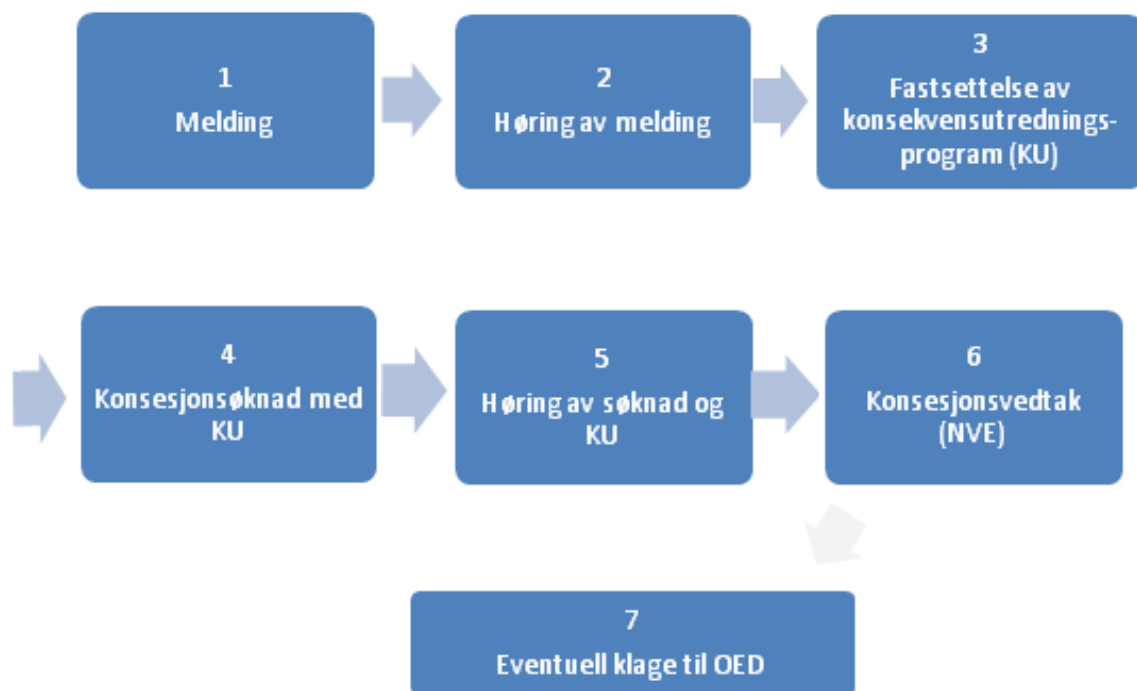
### 3.4.7 Småvindkraft i Norge

Vindressursene i Norge er kategorisert som noen av de beste i Europa.<sup>65</sup> Det som gir svært gode vindforhold er åpne landskap langs kysten og på fjellviddene. Dette gjør Norge godt egnet for storskala vindkraftverk. Små vindturbiner er hovedsakelig bygd til de som ønsker å produsere strøm til eget forbruk i nærheten av egen bebyggelse. Samtidig blir små vindturbiner brukt til å produsere elektrisitet på steder uten nettilknytning, for å drive små effektbrukere, som for eksempel telekom-stasjoner.

Norge har per i dag lav strømpris som gjør at det er vanskelig for småvindkraft å være lønnsomt. Dette i kombinasjon med relativ dyr teknologi på vindturbiner gjør at det må være svært gode vindforhold for å vurdere utbygging. For at det skal være økonomisk lønnsomt å bygge en småvindturbin bør gjennomsnittlig vindhastighet være minst 5 m/s.<sup>40</sup>

Konsesjonen for småvindkraft ble endret i 2013. For turbiner under 500kW kan det søkes byggetillatelse hos kommunen i stedet for å søke konsesjon hos NVE. Bakgrunnen for dette var å forenkle og forkorte søknadsprosessen. Konsesjonssøknader til NVE tar gjerne flere år, mens kommunen kan behandle søknadene etter plan- og bygningsloven.

Om det er ønskelig å kople vindturbinen til strømmettet må det være en tillatelse fra lokal netteier. Dette kan føre til en byråkratisk vanskelig og krevende prosess fordi småvindkraft plasseres i samme kø som alle andre kraftprodusenter.



Figur 33 - Milepæler i konesjonssaksgangen<sup>66</sup>



### 3.5 Vannkraft

Per i dag er over 95% av Norges elektrisitetsproduksjon fra vannkraft.<sup>67</sup> Det å utnytte vann til å få gjort et arbeid er ingen ny teknologi. De første var grekerne for 2000 år siden som brukte møller i vann til å male korn. Produksjon av elektrisitet fra vann kom først under den industrielle revolusjonen i ca. 1870. Elektrisk energi har etter dette blitt svært viktig i industrien.

Vannkraft er en energiform som kommer indirekte av solenergi. Vann i væskeform fordamper når solen varmer det opp. Denne varme vanddampen forflytter seg oppover i høyere luftlag. Når vanddampen blir avkjølt vil den bli omdannet til flytende form igjen og falle ned på jorden som regn, sludd, snø eller hagl. Noe av dette vil falle ned på et høyere punkt enn havoverflaten. Vann som faller ned og som renner til elver, bekker og vann ved høyere høyde, vil få potensiell energi.

Et vannkraftverk utnytter den potensielle energien i vannet fra et magasin plassert høyere enn kraftverket. Vannet blir ført i rør med en viss fallhøyde. Vannet føres så gjennom en turbin som driver en generator, denne omdanner den kinetiske rotasjonsenergien til elektrisk energi. I elvekraftverk utnyttes den kinetiske energien kontinuerlig og kan ikke lagres til senere bruk. Det er det samme prinsippet for vannkraftverket med magasin, bortsett fra at turbinen er utformet annerledes. Vannkraftverk kan deles inn i grupper etter ulike typer:

#### **Høytrykkskraftverk**

Dette er anlegg som utnytter stor fallhøyde og kan dermed bruke mindre vann enn for eksempel i elvekraftverk. Denne typen kraftverk lagrer ofte vann i magasiner og blir derfor kalt magasinkraftverk. Slike kraftverk fører vannet i lange rør-strekker, og de ligger ofte inne i fjell.<sup>68</sup>

### **Lavtrykkskraftverk**

Her benyttes det langt større vannmengder, men fallhøyden er mye lavere enn ved høytrykkskraftverk. Et lavtrykkskraftverk er typisk elvekraft. Vannet her er ikke regulert og det er ofte en utfordring å finne en god turbin som passer den varierende vannføringen.

Variasjonene kommer fra nedbør og snøsmelting på våren og sommeren.<sup>68</sup>

### **Pumpekraftverk**

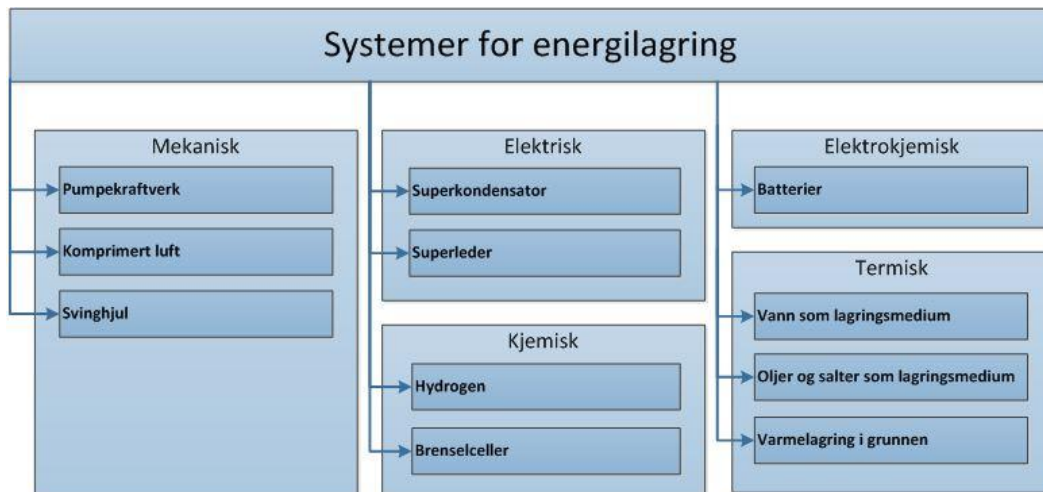
Et pumpekraftverk settes ofte mellom to vannmagasiner. Tanken bak dette er at det skal produseres kraft når det er behov. Er det overskuddsenergi eller billig strøm på markedet kjøres kraftverket som en pumpe, og pumper vannet opp igjen. Denne formen for regulering i pumpekraftverk er gunstig til å ta av topplast.<sup>68</sup>

### **Mikrokraftverk**

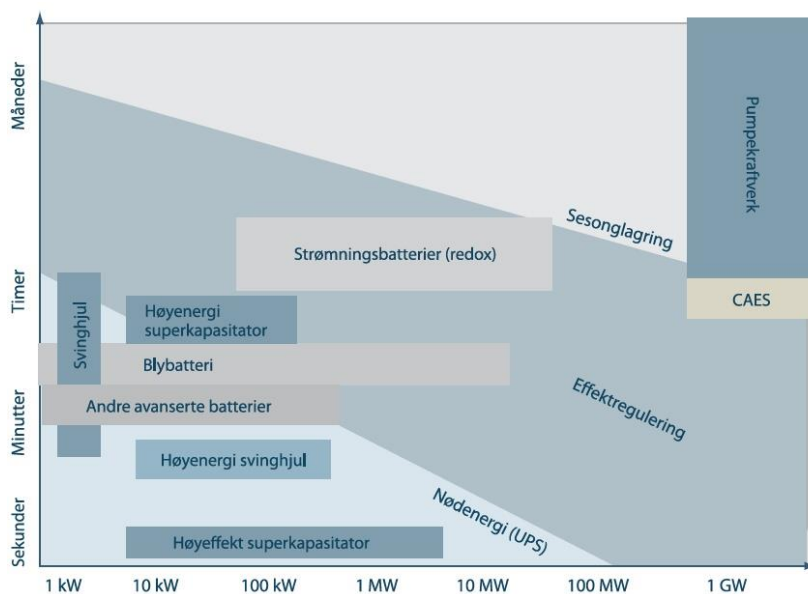
Dette regnes som kraftverk som har installert effekt opp til 0,1MW.<sup>69</sup> Det er mye å ta hensyn til når det skal settes opp et mikrovannkraftverk. Det må søkes konsesjon til myndighetene om å få bygge ut. Det er for slike kraftverk gjort enklere og søke konsesjon sammenlignet med store kraftverk.<sup>68</sup>

### 3.6 Energilagring

Fornybare energikilder, for eksempel vind- og solenergi kalles intermittente energikilder. Det vil si at tilgangen på energi i stor grad styres av ukontrollerbare fenomener som nedbør, vindhastighet og mengde sollys. Energiforsyningen kan derfor ikke tilpasses etter behov, og det vil være nødvendig å mellomlagre produsert energi.<sup>70</sup> Energilagringssystemer i et strømnnett kan også være med å redusere belastningen i nettet ved å tilføre effekt ved topplastbehov.<sup>71</sup> Det finnes flere ulike systemer for å lagre energi. Hvilket alternativ som er mest egnet i hvert tilfelle er avhengig av hvor stor mengde energi som ønskes lagret, tidsperiode, tap, kostnader og driftssikkerhet.



Figur 34 - Teknologier for energilagring<sup>71</sup>

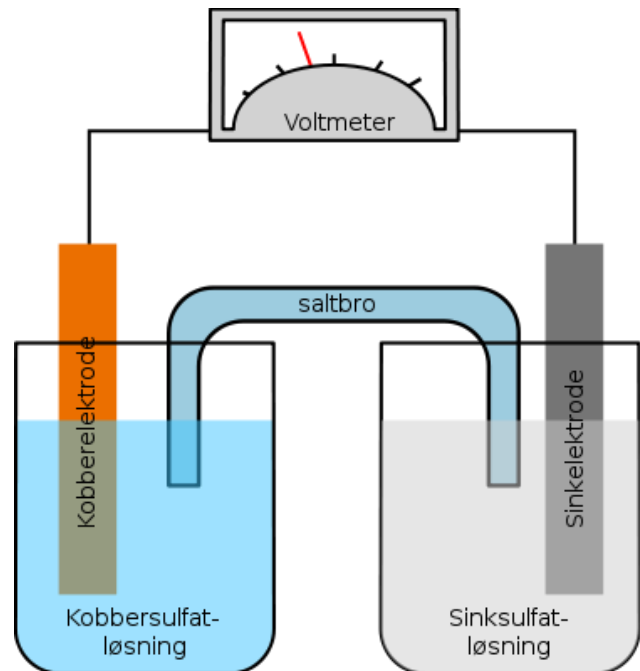


Figur 35 - Bruksområder for forskjellige typer energilagring<sup>71</sup>

### 3.6.1 Elektrokjemisk energilagring

Elektrokjemisk energilagring er synonymt med det som folk flest kjenner som «batteri». Et batteri omformer kjemisk energi direkte til elektrisk energi. Batterier er oppbygd av én eller flere celler, med en bestemt cellespenning.<sup>72</sup>

Hver celle består av en positiv elektrode, en negativ elektrode, en elektrolytisk løsning og elektrodeseparatoren plassert i et hensiktsmessig kar.<sup>72</sup> En elektrolytisk løsning som løses i vann blir elektrisk ledende ved påvirkning av et elektrisk felt.<sup>73</sup> Elektrodeseparatorens oppgave er å fungere som et sperresjikt i batteriet. Denne leder ioner, men forhindrer direkte kontakt mellom elektrolyttene. Et ion er et atom som har opptatt eller avgitt ett eller flere elektroner.<sup>74</sup>

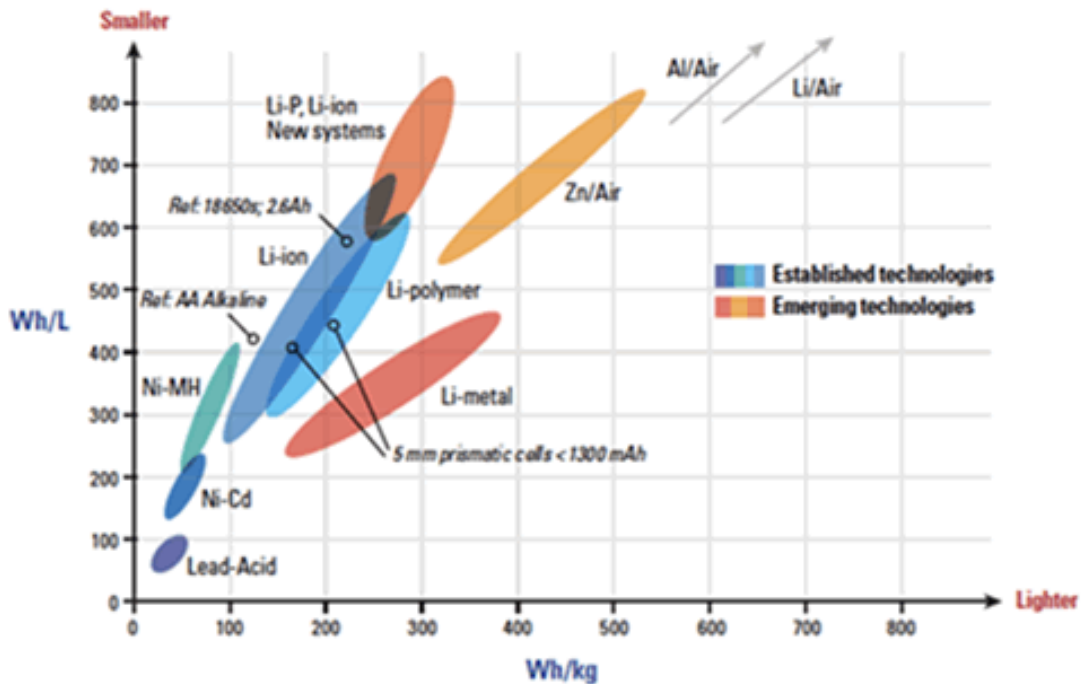


Figur 36 - Galvanisk celle<sup>75</sup>

Når cellen avgir elektrisk strøm, oksideres den negative elektroden og en tilsvarende reduksjon skjer ved den positive elektroden. Dette kalles en redoksreaksjon. Det frigis elektroner ved anoden (i dette eksempelet: Sinksulfat), og disse flyter i en ytre krets via lasten (voltmeter) og til katoden (i dette eksempelet: kobbersulfat). Elektronene tas opp i katoden. Videre strømtransport gjennom batteriet er transport av ioner via elektrodeseparatoren (saltbro), se figur 36<sup>75</sup>. De kjemiske reaksjonene skaper polaritet mellom elektrodene og omgivelsene, dette medfører at anoden blir positivt ladet og katoden blir negativt ladet. Dette skaper en strøm av negative ioner fra katoden til anoden, samt positive ioner den andre veien, slik at kretsen blir sluttet.

### 3.6.2 Sekundærbatteri

Sekundærbatterier, også kjent som akkumulatører, er batterier hvor energiomformingen er reversibel. Sekundærbatterier kan lades opp gjentatte ganger etter utladning. Det finnes mange ulike sekundærbatterier, og de mest aktuelle er presentert i dette delkapittelet.



Figur 37 - Sammenligning sekundærbatteri<sup>76</sup>

Hvor mye energi et sekundærbatteri er i stand til å lagre, avgjøres av hvor mye elektrodemateriale det har. Produktet av utladestrøm og antall timer denne strømmen kan leveres, angir batteriets kapasitet. Kapasiteten måles i Amperetimer (Ah). Et ideelt batteri med merket kapasitet 1Ah er i teorien i stand til å levere 1 Ampere kontinuerlig i 1 time. Den elektriske energien som er lagret i et batteri angis i Wattimer (Wh). Ohms lov sier at produktet av spenning og strøm er lik effekt. Produktet av effekt og tid er energi. Et 2Ah batteri med batterispenning på 12V har lagringskapasitet på 24Wh. Angitt kapasitet er oppgitt for optimale forhold, og kan reduseres ved overbelastning, lav eller høy temperatur, eller mekaniske belastninger.<sup>72</sup>

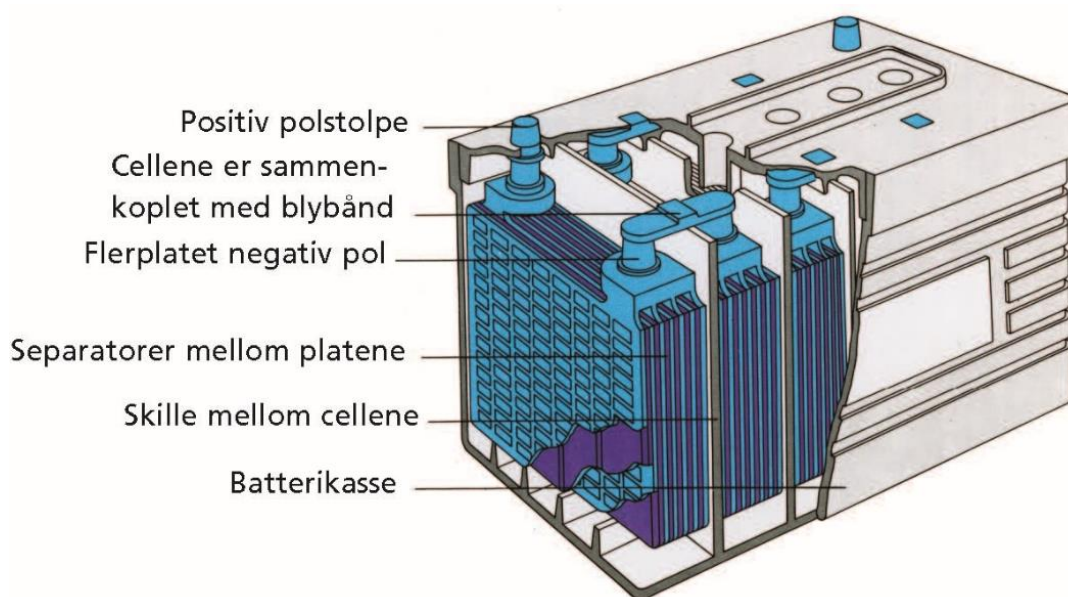
## Blyakkumulatoren

Blyakkumulatoren er det eldste og mest brukte sekundærbatteriet. I ladet tilstand består den negative elektroden av porøst bly (blysvamp) og den positive av blydioksid ( $\text{PbO}_2$ ).

Elektrolytten er svovelsyre.<sup>72</sup>

Ved utlading reduseres blyoksid på positiv pol ved at oksygenioner går ut i elektrolytten og forbinder seg med hydrogenioner til vann. Sulfationer i svovelsyren går til begge elektroder og danner blyulfat. I prosessen deltar elektrolytten som dannes til vann ved utlading. Den store fordelen med blyakkumulatoren er at syreinnholdet og dermed elektrolyttens densitet viser ladetilstanden. Dette muliggjør at batteriet er enkelt å lade opp, samt at ladetilstanden blir enkel å kartlegge. Forklaringen er når densiteten går fra  $1,30 \text{ g/cm}^3$  til  $1,15 \text{ g/cm}^3$  fra fulladet til utladet batteri, går samtidig cellespenningen fra  $2,12\text{V}$  per celle til under  $2\text{V}$ .<sup>72</sup>

Blyakkumulatoren har en energitetthet på  $60\text{-}90\text{Wh/liter}$  ( $25\text{-}45\text{Wh/kg}$ ). Levetiden varierer med ulik drift og avtar sterkt med stigende temperatur. Når batteriet er brukt som reservestrømkilde med regelmessig vedlikeholdslading regnes levetiden til  $10\text{-}15$  år ved romtemperatur. I syklusdrift vil blyakkumulatoren normalt klare mellom  $500\text{-}1500$  opp- og utladninger.<sup>72</sup>



Figur 38 - Blyakkumulatoren<sup>77</sup>

Tabell 5 - Fordeler og ulemper med blyakkumulator

<b>Fordeler:</b>	<b>Ulemper:</b>
Billig	Kort levetid
Lett tilgjengelig	Eksplisjonsfare (avgir knallgass)
Stort utvalg	Må vedlikeholdes
	Sårbare for vibrasjoner
	Må plasseres vannrett

### **AGM-batteri**

I et AGM-batteri (Absorbed glass material) er elektrolytten bundet i glassfibermateriale som ligger rundt blyplatene, i motsetning til ordinære blyakkumulatorer hvor løsningen er flytende. Dette medfører en robust og tett konstruksjon uten fare for at batterisyre lekker ut. Batteriet er godt egnet til bruk i kalde omgivelser, da det er begrensede mengder væske som kan fryse. Siden AGM-batterier har lav indre resistans, blir tilført lade strøm tatt opp og lagret på en effektiv måte. Når batteriet avgir strøm, gjelder samme prinsipp. Dette medfører lav varmeutvikling når batteriet lades eller tappes. Disse batteriene har lave gassutslipp under opplading. AGM-batterier har lav selvutladning, rundt 1-3% pr. måned.<sup>78</sup> Et 500Ah batteri med selvutladning på 2%, vil «lekke» 10Ah per måned. Denne faktoren er viktig på vinterstider, da energiforsyninger som f.eks. solcellepanel har lavere ladeeffekt sammenlignet med sommermånedene. AGM-batterier er den typen blybatteri som oftest blir brukt i solcelleanlegg.<sup>78</sup> Kan monteres både vertikalt og horisontalt.

### **Gel-batteri**

I et gel-batteri er elektrolytten bundet i en geléform. Dette er som AGM en tett konstruksjon, med null risiko for syrelekkasje. Gel-batterier er vedlikeholdsfrie, og trenger ikke kontroll av væsknivå eller etterfylling av destillert vann. Gel-batterier tåler gjentatte utladninger, og har som AGM-batteriet lave gassutslipp. Kan monteres både vertikalt og horisontalt.

## **AGM/gel hybrid**

En kombinasjon av gel- og AGM-batteri. AGM/gel-batteriene er ventilregulerte blybatterier med en unik kombinasjon av AGM/gel-teknologi.

## **Litium-Ion-Batteri**

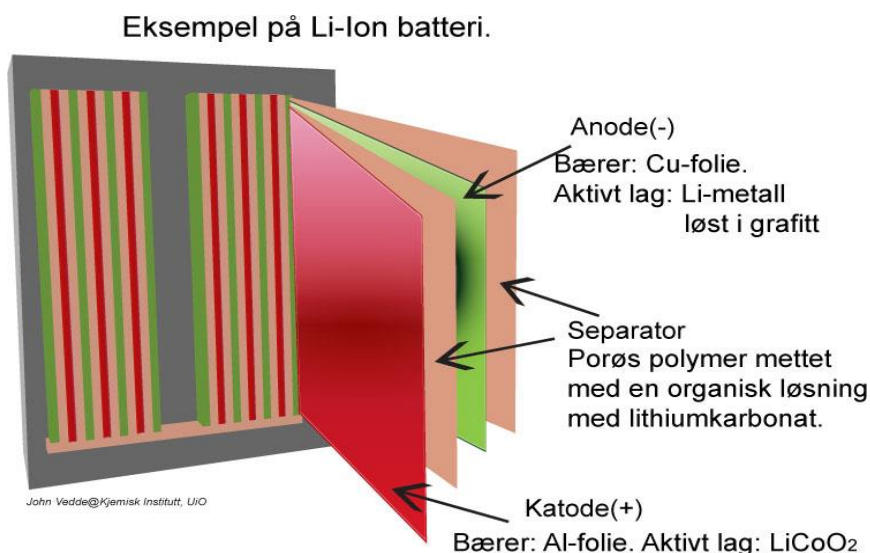
I dagens moderne elektronikk er Litium-ion-batterier utbredt i stor grad. For eksempel: bærbare PC-er, mobiltelefoner, kamera, og elektriske håndholdte verktøy. Li-ion har i mer eller mindre grad erstattet nikkelbaserte batterier helt på grunn av større kapasitet og lavere vekt. En litium-ion-celle består av en katode av litiumkoboltoksid, en separator og en anode av karbon. Som ion-transportør brukes det en organisk elektrolytt.<sup>72</sup>

Kjennetegn<sup>72</sup>:

- Høy nominell cellespenning: 3,6-3,7V
- Lades med konstant spenning på 4,1V – 4,2V per celle.
- Tåler godt klattvis ladning: Ideelt bruksmønster er å bruke batteriet til 40% av kapasiteten, for å så lade opp til 80% av full kapasitet
- Mister med tiden noe av spenningen på grunn av viss selvutlading (gjelder de fleste batterityper)

Litium-ion-batterier brukes i stor grad som batteri i elbiler. Da kobles flere hundre enkeltceller sammen i serie til ett enkelt batteri med spenning på f.eks. 400 V. Eksempelvis har batteriet i en elbil av typen Tesla Model S P90D en oppgitt lagringskapasitet på 90kWh. Batteripakken består av over 7100 celler. Batteripakken i en Nissan Leaf har til sammenligning 30kWh og 192 celler.<sup>79</sup>





Figur 39 - Eksempel på Li-ion batteri<sup>80</sup>

### LiFePO<sub>4</sub>, Litium-jern-fosfat

En variant av Litium-Ion, der LiFePO<sub>4</sub> brukes som katodemateriale.<sup>81</sup> Disse cellene kan levere og motta høye strømmer, har høy energitetthet og er svært sikre i forhold til eksplosjonsfare. Energitettheten for et LiFePO<sub>4</sub>-batteri er lavere enn for normale Li-ion batterier i startfasen, men etter ett års bruk er energitettheten lik. Etter over ett års bruk er energitettheten større. Dette kommer av at LiFePO<sub>4</sub>-celler taper kapasitet langsommere. Typisk levetid er 1500-2000 sykluser ved 80% effektuttak.<sup>82</sup>

### Li-Ion-Fosfat celler

En ny variant av Litium-Ion er celler som har fosfat istedenfor et oksid som katodemateriale. Dette skal øke sikkerheten betraktelig ved at katoden ikke utvikler fritt oksygen ved oppvarming.<sup>72</sup>

Kjennetegn:

- Cellen kan fullades med så lave spenninger som 3,6 V.
- Tåler flere sykluser enn tradisjonelle Li-ion batterier
- Svært gode belastnings- og syklingsegenskaper (gir rask ladning, ladetider ned mot 15 min. er realistisk)

- Er i bruk i profesjonelt elektroverktøy som har vært avhengig av nettilkobling tidligere.
- Enkeltceller selges normalt ikke til forbrukere (bare som en del av batteripakker)

### Natrium-Svovelbatteriet, NaS

Batteriet brukes nå i en del elektriske biler. For en typisk elbil med et 250 NaS-batteri kan det kjøres ca. 15 mil før det må lades på nytt.<sup>72</sup>

Kjennetegn:

- Utladningsprosessen krever høy driftstemperatur (over 285° C)
- Krever god isolasjon
- God energitetthet (100Wh/liter) og mye energi per vektenhet (100-120 Wh/kg).
- Forventet levetid er 2000-3000 opp- og utladninger.
- Kostbart

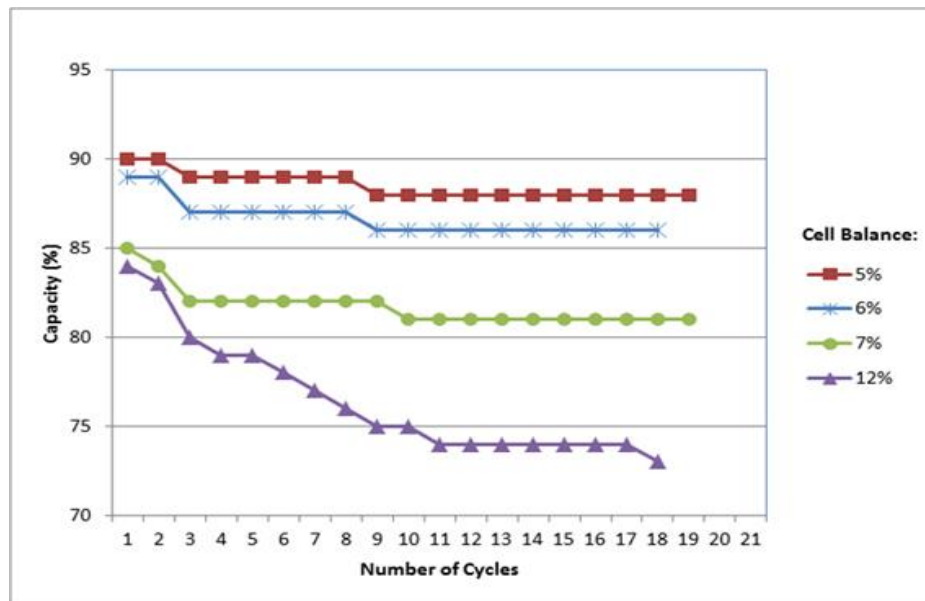
#### 3.6.3 Koblinger av galvanisk element

Det finnes to metoder for å koble sammen batterier: Serie og parallell. Ved å koble sammen flere batterier økes total kapasitet. Det er veldig viktig å bruke samme batteritype med lik spenning og kapasitet (Ah) og aldri blande forskjellige fabrikantene. En svakere celle vil gi ubalanse. Dette er spesielt kritisk ved seriekobling da batteripakken begrenses av det svakeste leddet i kjeden. En analogi er et kjede hvor lenkene representerer cellene i et batteri som er koblet i serie i figur 40<sup>83</sup>.



*Figur 40 - Sammenligning kjede med batteri<sup>83</sup>*

En svak celle vil ikke svikte med det samme, men vil bli utladet raskere enn de sterke ved en belastning. Ved lading fylles den svakeste cellen først fordi det er mindre å fylle. Dette medfører at cellen blir overlagret lengre enn de andre. Ved utlading vil den svakeste cellen tømmes først og få tung påkjenning av sterkere cellebrødre. Cellene i flerpakninger må samsvare spesielt under store laster.<sup>84</sup>

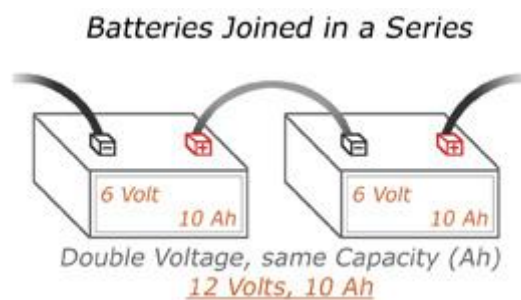


Figur 41 - Syklusytelse som en funksjon av cellematch<sup>84</sup>

## Seriekobling

Ved seriekobling adderes spenning av to batterier, men total kapasitet vil fortsatt være den samme som kapasiteten for ett batteri. I figur 42, vil 6V-batteriene koplet i serie gi en spenning på 12V, men fremdeles bare total kapasitet på 10Ah. For å kople batterier i serie: en lask brukes til å kople negativ terminal på det første batteriet til positiv terminal på det andre batteriet. Belastningen tilkobles på den åpne positive og negative terminalen på batteripakken.<sup>85</sup>

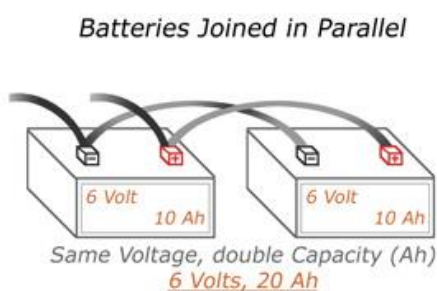
De gjenværende åpne positive og åpne negative terminalene med hverandre må aldri kobles sammen. Dette medfører kortslutning i batteriene og kan medføre skade på utstyr eller personell. Det er best å være sikker på at batteriene som kobles sammen har samme spenning og kapasitet. Ellers kan dette medføre ladeproblemer og kortere batterilevetid.<sup>85</sup>



Figur 42 - Seriekobling av to batterier<sup>85</sup>

### Parallellkobling

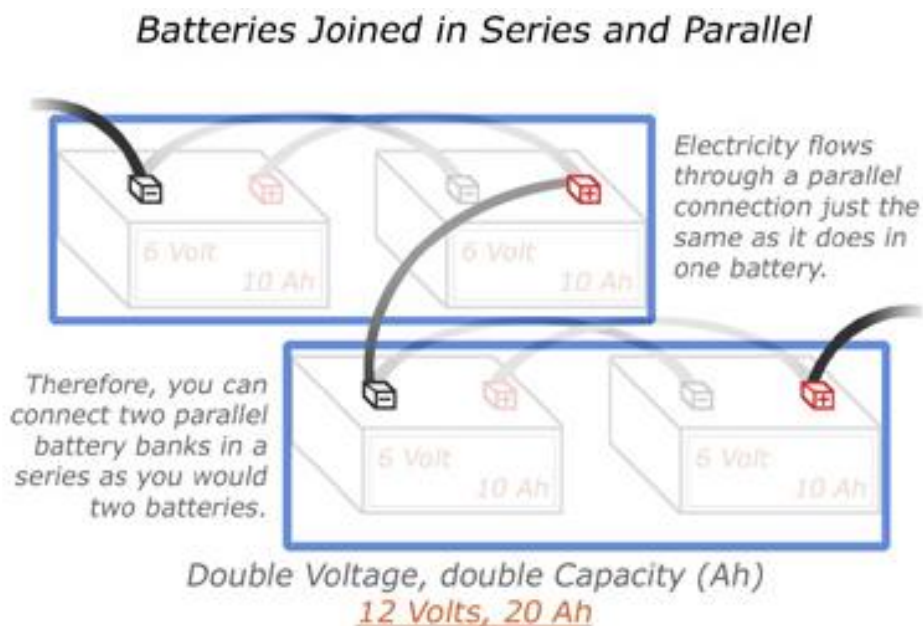
Parallellkobling vil øke strømmen i systemet, men spenningen forblir den samme. Figur 43 viser at spenningen blir 6V men kapasiteten på batteribanken øker til 20Ah. Strømstyrken øker, og større kabelverrsnitt må vurderes for å unngå overbelastning. For å kople batterier i parallell, må det brukes et sett av kabler for å kople både positive terminaler og et annet sett med kabler til de negative terminalene. Negativ til negativ og positiv til positiv. Belastningen tilkobles ett av batteriene, men begge vil trekkes likt. <sup>85</sup>



Figur 43 - Parallellkobling av to batterier<sup>85</sup>

## Serie-parallell kobling

Det er også mulig å kople batteriene i det som kalles en serie-parallell-konfigurasjon. Med denne konfigurasjonen økes både spenningen og strømmen. For å lykkes med dette trengs det minst fire batterier. Ved å kople to sett med batterier som allerede er kople i parallell sammen i serie vil batteribanken i dette tilfellet produsere 12V og 20Ah, se figur 44. Da flyter strømmen gjennom en parallellkobling akkurat som i ett enkelt batteri. Derfor kan det koples to parallele forbindelser i serie. Bare én kabel er nødvendig, en bro mellom en positiv terminal på den ene parallellbanken til en negativ terminal på den andre parallellbanken. I teorien er det ingen begrensning for hvor mange batterier som kan kobles sammen. Ved større konstruksjoner er det svært viktig å være nøyaktig, siden en enkel feil kan føre til stor skade. Også her må det brukes batterier med like egenskaper.<sup>85</sup>



Figur 44 - Fire batterier koblet i serie og parallell<sup>85</sup>

### 3.6.4 Batteriformler

14 Elektrokjemi		
<b>Elektrolyse</b>		
	<p><math>m</math> utskilt stoffmasse</p> <p><math>c</math> elektrokjemisk ekvivalent*</p> <p><math>I</math> nyttestrøm</p> <p><math>t</math> tid, varighet</p> <p><math>\eta_i</math> strømutflytte</p> <p><math>I_B</math> total strøm</p>	<p><math>[c] = \frac{\text{kg}}{\text{As}}</math></p> <p><math>[c] = \frac{\text{g}}{\text{Ah}}</math></p> <p><math>1 \frac{\text{kg}}{\text{As}} = 3,6 \cdot 10^4 \frac{\text{g}}{\text{Ah}}</math></p> <p>* Elektrokjemisk ekvivalent <math>c</math>: se side 49</p>
		<p><math>m = c \cdot I \cdot t</math></p> <p><math>I = \eta_i \cdot I_B</math></p>
<b>Galvanisk element</b>		
	<p><math>U</math> klemmespenning, arbeidsspenning</p> <p><math>U_0</math> tomgangsspenning</p> <p><math>I</math> laststrøm</p> <p><math>R_i</math> indre resistans</p> <p><math>R_L</math> belastningsresistans</p> <p><math>I_k</math> kortslutningsstrøm</p>	<p>Belastning: <math>R_L &gt; 0</math></p> <p><math>U = U_0 - I \cdot R_i</math></p> <p><math>I = \frac{U_0}{R_L + R_i}</math></p> <p>Tomgang: <math>I \approx 0</math>    Kortslutning: <math>R_L \approx 0</math></p> <p><math>U = U_0</math>                      <math>I_k \approx \frac{U_0}{R_i}</math></p>
<b>Koblinger av like galvaniske elementer</b>		
<b>Seriekobling</b>		
	<p><math>U_{\text{tot}}</math> total klemmespenning</p> <p><math>U</math> klemmespenning på ett element</p> <p><math>n</math> antall elementer</p> <p><math>R_{i,\text{tot}}</math> total indre resistans</p> <p><math>R_i</math> indre resistans i ett element</p> <p><math>Q_{\text{tot}}</math> total kapasitet</p> <p><math>Q</math> kapasitet til ett element</p>	<p><math>U_{\text{tot}} = n \cdot U</math></p> <p><math>R_{i,\text{tot}} = n \cdot R_i</math></p> <p><math>Q_{\text{tot}} = Q</math></p>
<b>Parallellkobling</b>		
	<p><math>I_{\text{tot}}</math> total laststrøm</p> <p><math>I</math> strøm i ett element</p> <p><math>n</math> antall elementer</p> <p><math>R_{i,\text{tot}}</math> total indre resistans</p> <p><math>R_i</math> indre resistans i ett element</p> <p><math>Q_{\text{tot}}</math> total kapasitet</p> <p><math>Q</math> kapasitet til ett element</p>	<p><math>I_{\text{tot}} = n \cdot I</math></p> <p><math>R_{i,\text{tot}} = \frac{R_i}{n}</math></p> <p><math>Q_{\text{tot}} = n \cdot Q</math></p>
<b>Akkumulatører</b>		
	<p><math>Q_E</math> utladekapasitans</p> <p><math>I_E</math> gjennomsnittlig utladestrøm</p> <p><math>t_E</math> utladetid</p> <p><math>U_E</math> gjennomsnittlig utladespenning</p> <p><math>\zeta_{\text{Ah}}</math> nyttefaktor for ladning (Ah-virkningsgrad)</p> <p><math>\zeta_{\text{Wh}}</math> nyttefaktor for energi (Wh-virkningsgrad)</p> <p><math>Q_L</math> ladekapasitans</p> <p><math>I_L</math> gjennomsnittlig ladestrøm</p> <p><math>t_L</math> ladetid</p> <p><math>U_L</math> gjennomsnittlig ladespenning</p> <p><math>a</math> ladefaktor</p>	<p><math>[Q] = [I] \cdot [t]</math></p> <p><math>[Q] = \text{As}</math></p> <p><math>[Q] = \text{Ah}</math></p> <p><math>1 \text{ Ah} = 3600 \text{ As}</math></p> <p><math>Q_E = I_E \cdot t_E</math></p> <p><math>Q_L = I_L \cdot t_L</math></p> <p><math>\zeta_{\text{Ah}} = \frac{Q_E}{Q_L}</math></p> <p><math>a = \frac{Q_L}{Q_E}</math></p> <p><math>\zeta_{\text{Wh}} = \frac{U_E \cdot I_E \cdot t_E}{U_L \cdot I_L \cdot t_L}</math></p> <p><math>Q_{10} = Q_E</math> når <math>t_E = 10 \text{ h}</math></p> <p><math>Q_{20} = Q_E</math> når <math>t_E = 20 \text{ h}</math></p>

Figur 45 - Formelliste batteri<sup>86</sup>

### 3.6.5 Valg av batterier

Batterier blir produsert i ulik kvalitet og har forskjellige egenskaper i forhold til bruk og formål. For å unngå mange økonomiske utlegg på grunn av batteriet, er det viktig å velge en batteritype av høy kvalitet. Batteriene i et solcelleanlegg er ofte årsaken til at det oppstår problemer. Om det ikke er batteriene som er årsaken for problemet, er det likevel batteriene det går ut over og som må skiftes. Batterier som må skiftes ut på grunn av sulfatering eller forfrysning er kostbart i lengden.<sup>87</sup>

For merking av batterier finnes det tre standarder som er internasjonalt anerkjent, C 10, C 20 og C 100. Standarden batteriet er testet etter forteller kjøperen hva batteriet kan yte og hva slags bruksområde batteriet har. Standardene forteller hvor lang tid batteriet er testutladet over, dette gir amperetimetallet til batteriet.<sup>87</sup>

Tabell 6 - Batteristandarder

<b>Standard:</b>	<b>Forsøkt utladet med bestemt strøm i:</b>	<b>Bruksområde:</b>
C 10	10 timer	Gir svært høy strømmer over kort tid
C 20	20 timer	Gir svært høy strøm i kort tid (f.eks. til startmotoren som igjen starter bilmotoren).  Skal også gi lavere strøm over tid til lys etc. i biler. Oftest brukt i biler, båter og kjøretøyer.
C 100	100 timer	Oftest brukt til fritidsbatterier, som batteribank i solcelleanlegg og forbruksbatterier i båter.  Typisk benyttes det lite strøm, men over lengre tid.

### 3.6.6 Miljøfotavtrykk ved batteriproduksjon

Dagens batteriproduksjon fører til en merkbar miljøbelastning. Det vises av livssyklusen til et batteri at klimafotavtrykket i stor grad er avhengig av produksjonsprosessen.<sup>88</sup> I Rapporten *Life Cycle Assessment of a Lithium-Ion Battery Vehicle Pack*<sup>89</sup>, kommer det frem at produksjonen av en 26,6kWh Li-ion batteripakke gir en samlet miljøbelastning på 4,6 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. Denne batteripakken er i «Nissan Leaf-størrelse», og total miljøbelastning fra batteriproduksjonen vil være jevnstor med produksjonen av selve bilen.<sup>88</sup>

Det er ifølge rapporten komponenter som celler, elektrodemateriale og strømvaktakere som utgjør størsteparten av belastningen. Hovedproblemet er opphavet til den elektriske energien som brukes i produksjonen. Dersom battericellene ble produsert med ren fornybar energi (vind, vann, sol) kontra en strømmiks, ville utslippet blitt redusert fra 4,6 til under 2 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter.<sup>89</sup>

Hva som skjer med utrangerte batterier er også en utfordring med tanke på totalt miljøfotavtrykk. Når batteriene i vår nåværende elbilpark skal pensjoneres, må strategier for resirkulering av batteriene være på plass.



## 3.7 Elektriske høyspenningsbrytere

Brytere i elektriske anlegg er komponenter som er nødvendige for seksjonering og utkobling av anleggsdeler og overføringslinjer. Det skilles mellom skillebrytere, lastskillebrytere og effektbrytere. I kapittel 3.7.1 er det forklart generelt om brytere, og i 3.7.2 er det forklart om bryternes funksjon i jernbaneanlegget.

### 3.7.1 Brytertyper

#### **Skillebryter**

Skillebrytere brukes i elektriske anlegg for å seksjonere anleggsdeler fra hverandre. Om det skal utføres arbeid på en bestemt anleggsdel, er skillebrytere en effektiv måte å gi et visuelt skille. Skillebrytere kan kun åpnes eller lukkes ved null strømgjennomgang, og det vil gjøre stor skade på bryteren om den blir forsøkt åpnet når det går strøm gjennom den. Det vil oppstå en lysbue, og medfølgende overslag som kan deformere bryteren og gjøre skade på annet materiell i nærheten.

En skillebryter må ha en elektrisk forrigling for å kunne åpnes eller lukkes under normale laststrømmer. En effektbryter må koble ut linjen der skillebryteren er tilkoblet. Ved utkoblet effektbryter kan skillebryteren legges ut. Skillebryteren er da forriglet vha. effektbryteren. Skillebrytere kan manøvreres manuelt eller automatisk. Manuelt ved at personell åpner eller lukker bryteren på stedet via et håndtak. Automatiserte skillebrytere åpnes eller lukkes av en påmontert elektrisk motor som er styrt eksternt fra et sentralbord.

#### **Lastskillebryter**

Lastskillebrytere har lik oppbygging som skillebryteren, men disse er dimensjonert for å kunne bryte dimensjonerte laststrømmer som går i et anlegg. Typisk bryteevne for slike er 10-50 MVA<sup>90</sup>. De kan ikke bryte kortslutningsstrømmer, og må kobles med f.eks. høyeffekt smeltesikringer som kobler ut ved eventuelle kortslutninger eller feil på anlegget. Til høyre i figur 46 vises det at en åpen lastskillebryter gir et tydelig skille på ledere.



Figur 46 - Lastskillebryter i mast<sup>91</sup>

### Effektbryter

Effektbrytere er dimensjonert for å bryte, føre og slutte alle mulige spesifiserte strømmer som kan oppstå i et elektrisk høyspenningsanlegg. Lysbuen som oppstår ved åpning av en effektbryter må slukkes raskt og effektivt for å unngå skade på komponenten. Det skilles mellom forskjellige metoder for å slukke lysbuen<sup>92</sup>:

- **Oljefattige brytere:** Hver pol danner en separat enhet, mens bruddstedet ligger i olje som slukker lysbuen ved forskjellige former for slukkekamre.
- **Ekspansjonsbrytere:** Slukkemidlet er destillert vann, som er tilsatt frostvæske (glykol) for å hindre frysning om vinteren. Slukkingen skjer ved at vandampen som dannes av lysbuen, ekspanderer gjennom åpninger som dannes i et elastisk slukkekommer.
- **Trykkluftbrytere:** Trykkluft benyttes som slukkemiddel. Lysbuen avkjøles og slukkes av en kraftig luftstrøm som blåses på under hele kortslutningsforløpet.
- **SF<sub>6</sub>-brytere:** Svovelheksafluorid (SF<sub>6</sub>) benyttes som slukkemiddel. Denne gassen har gode dielektriske og lysbueslukkende egenskaper. SF<sub>6</sub>-brytere er utviklet for alle spenningsnivåer, men brukes mest ved de høyeste spenningene.
- **Vakuumbryter:** Strømbryttet foregår i vakuum, dvs. at det ikke finnes ioner i miljøet inne i bryteren til å opprettholde lysbuen som oppstår under en kortslutning. Disse benyttes for spenninger opptil ca. 36 kV.

### 3.7.2 Brytere i jernbanen

Brytere benyttes ved alle tilkoblinger til kontaktledning. Dette for å seksjonere eller koble ut deler av anlegget. Hensikten med seksjonering er at togfremføringen skal bli minst mulig hindret ved arbeid på eller nær KL-anlegget. Alle brytere som inngår i KL-anlegget må tilfredsstillende krav som er gitt av Jernbaneverkets tekniske regelverk.<sup>93</sup>

Brytere som benyttes kalles KL-brytere. Som for elektriske forsyningsanlegg generelt, skilles det her mellom skillebryter og lastskillebryter. Teknisk regelverk sier at brytere som benyttes til seksjonering av KL-anlegget skal være lastskillebrytere. Dette forenkler utkobling av anleggsdeler. Effektbryter trenger ikke å kobles ut for å seksjonere ut anleggsdeler. Lastskillebrytere benyttes i hovedsak i koblingshus eller omformerstasjoner, men også der forbigangs-, forsterknings- og mateledninger kobles til kontaktledninger.<sup>93</sup>

Disse bryterne er enten håndbetjente eller fjernstyrte. Det er et krav fra Teknisk Regelverk at brytere som benyttes for seksjonering i hovedspor og på større stasjonsområder skal være fjernstyrte. Håndbetjente brytere benyttes kun<sup>93</sup>:

- På sidespor hvor KL-anlegget normalt er utkoblet
- På laste- og lossespør
- På spor hvor rullende materiell hensettes
- Ved togvarmeanlegg

Bryterne må alltid monteres på det høyeste punktet av masten slik at lysbuen kan utvikles fritt. For fjernstyrte brytere monteres manøvermaskinen på samme side av masten som bryteren. Både manøvermaskinen for fjernstyrte brytere og betjeningsanordningen for håndbetjente brytere monteres slik at betjening kan skje i normal oppreist stilling og uten at ryggen vender mot skinnegangen. Der det er hensiktsmessig, kan brytere plasseres i egen kiosk på bakken.<sup>93</sup>

Ved seksjonsfelt kobles bryterne til kontaktledningen ved å føre ledningen fra bryteren ut langs utliggeren, eller ved at bryterledningene går direkte i luft fra bryter til tilkoblingspunkt på bærelinen. Ved bruk av sistnevnte metode må bryterne plasseres i den åpne enden av seksjonsfeltet, dvs. ikke i den enden hvor KL-partene krysser hverandre. Dette krever at lengden på masten øker med ca. 1 meter. Bryterledningen er normalt 2x70mm<sup>2</sup> uisolert Cu-line.<sup>93</sup>

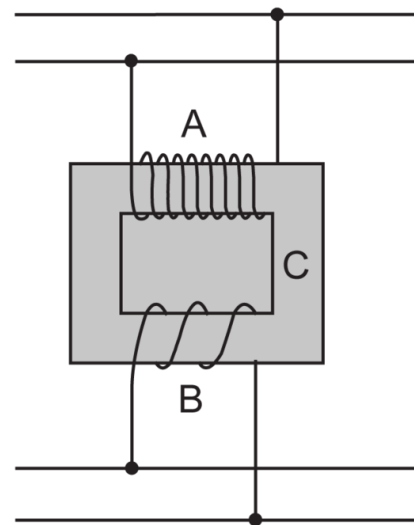
Med tanke på sikkerheten til personer og utstyr, er det viktig at alle KL-brytere er merket med et unikt ID-nummer. Bryterstillingen skal være merket slik at det enkelt kan sees om en bryter er inne eller ute. Fjernstyrte KL-brytere skal derfor ha innebygd stillingsindikator. Manøvermaskiner skal kunne låses i tre stillinger: fjernstyring, håndbetjening inne og håndbetjening ute.<sup>93</sup>

### 3.8 Transformator

En transformator er en elektrisk maskin som er designet for å omsette vekselstrøm med en viss spenning til vekselstrøm med en annen spenning. Transformatoren er en viktig del i strømmnettene som finnes i verden, da overføringslinjer med høy spenning har lave effekttap.

En enkel enfase-transformator består av to viklinger rundt en kjerne, som oftest laget av jernblikk.

Høyspentsiden har flere viklinger enn lavspentsiden, og ledertverrsnittet på høyspentsiden er også mye mindre enn på lavspentsiden. Elektriske ledere viklet rundt et metall kalles spoler. I praksis er høyspentsiden kjent som primærvikling, og lavspentsiden som sekundærvikling. På figur 47 vises en skjematisk fremstilling av en enfase-trafo. Her er C kjernen, A høyspentspolen, og B lavspentspolen.<sup>94</sup>



Figur 47 - Prinsippskisse enfase-trafo<sup>94</sup>

En transformators virkemåte baserer seg på elektromagnetisk induksjon, og Faradays lov sier<sup>95</sup>:

1. Hvis fluksen i en viklet leder varierer som en funksjon av tid (AC-spenning), vil en spenning induseres mellom viklingens terminaler.
2. Verdien av den induserte spenningen er proporsjonal med hvor fort fluksen varierer (frekvensavhengig).

Når det påføres en vekselspenning i vikling A, vil det settes opp et varierende magnetfelt fordelt rundt viklingen og i jernkjernen. Når vikling B er plassert som i figur 47, vil det da induseres en spenning på lavspentsiden. Antallet viklinger i spolene bestemmer omsetningsforholdet.

Følgende formel forklarer omsetningsforholdet i en transformator:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = n_u$$

$U_1$     *Primærspenning* [V]

$U_2$     *Sekundærspenning* [V]

$N_1$     *Antall viklinger i primærspole*

$N_2$     *Antall viklinger i sekundærspole*

$n_u$     *Omsetningsforhold for spenningstrafo*

I en ideell transformator (effekttap er neglisjert) er overført effekt alltid lik på primær- og sekundærside. Om spenningen senkes fra primærside til sekundærside, vil strømmen i sekundærviklingen øke i forhold til strømmen i primærviklingen, og vis-a-vis.

En annen fordel med transformatorer er at det er et galvanisk skille mellom primær- og sekundærside. Spenning eksisterer kun mellom terminaltilkoblingene på primær- og sekundærside, henholdsvis. Om det blir forsøkt å måle spenning mellom én terminalkobling på primærside og én terminalkobling på sekundærside, vil voltmeteret måle 0 volt. Sekundærsiden er elektrisk isolert fra primærsiden. Dette er en nyttig funksjon som f.eks. forhindrer at feilstrømmer fra et skadet nett forplanter seg videre i et friskt nett.

### **Fysisk størrelse avhengig av frekvens**

Størrelsen på kjernen i en trafo er avhengig av driftsfrekvensen. Størrelsen på kjernen har deretter innvirkning på radiusen til viklingene, hvor mye kobber som må brukes i produksjonen, og hvor mye olje som behøves for kjøling. Kobbermengden er direkte koblet opp mot effekttap. Frekvensen sier noe om hvor hyppig varmeutvikling i kjernen skjer, og hvor fort kjernen går i «metning». Med dette menes det kraftelektronikk-omformere som opererer i kHz-stadiet, tillater en drastisk reduksjon av fysisk størrelse. Disse omformerne

trenger mindre kobber, mindre jern samt mindre eller ingen olje. Som et resultat av dette, oppnås større effekttetthet (VA/kg) og effektivitet.<sup>97</sup>

Tabell 7 - Frekvensens innvirkning på trafospesifikasjoner<sup>97</sup>

	<b>Konvensjonell «lav» - frekvens transformator</b>		<b>Nyere «medium» - frekvens transformator</b>	
Effektområde: 750-2200 kVA	15kV 16 2/3 Hz	25 kV 50 Hz	- 5 kHz	- 10 kHz
Effekttetthet [VA/kg]	220-350	450-530	2600	3500
Effektivitet ved full last og maks. temperatur	92%	95%	99,3%	99,3%
Oljemasse [gram/kVA]	500-600	250-550	90	70
Kobbermasse [gram/kVA]	450-550	250-550	60	40

I tabell 7 kommer det frem at driftsfrekvensen på en transformator bestemmer størrelse og effektivitet. En transformator som driftes på 16 2/3 Hz vil være større, tyngre, dyrere å produsere, samt ha lavere effektivitet enn en transformator med 50 Hz driftsfrekvens og tilsvarende merkeeffekt.

### 3.8.1 Spenningstransformator

En spenningstransformator er en måletransformator brukt til å måle spenninger i høyspenningsnett. Dette er en høypresisjonstrafo hvor forholdet mellom primær- og sekundærspenning er en kjent konstant, som forandres svært lite ved varierende last. Sekundærspenningen er nærmest i eksakt fase med primærspenningen. Som oftest er nominell sekundærspenning 115 V, uavhengig av hva primærspenningen er.<sup>98</sup> Dette fører til at ordinære måleapparater kan kobles til sekundærsiden, og spenning på primærside kan

beregnes fra et gitt forholdstall. Konstruksjonen for en spenningstrafo er lik som for ordinære trafoer, bortsett fra at isolasjonen mellom spolene er overdimensjonert for å unngå overslag. Det oppstår en kapasitans mellom primær og sekundærside, som kan føre til veldig høyt spenningspotensiale mellom sekundærviklingen og jord. Som en følge av dette, er alltid den ene terminalen på sekundærsiden koblet til jord. Nominell effekt overskrider sjelden 500VA for spenningstrafoer.<sup>98</sup> Som et resultat av lav effektoverføring, er ofte volumet av isolasjonen større enn volumet av metaller i kjernekonstruksjonen.



### 3.9 IP-klassifisering

IP-klassifisering (Ingress Proteccion) sier noe om hvor mye en komponent tåler av vann, støv og/eller andre fremmedlegemer.<sup>99</sup> Sertifiseringsgraden har et bestemt format: IPXX, der XX erstattes med sifre. Det første sifferet betegner motstandsdyktigheten for faste fremmedlegemer, mens det andre sifferet betegner motstandsdyktighet mot vann/væsker.

Tabell 8 - IP-grader<sup>100</sup>

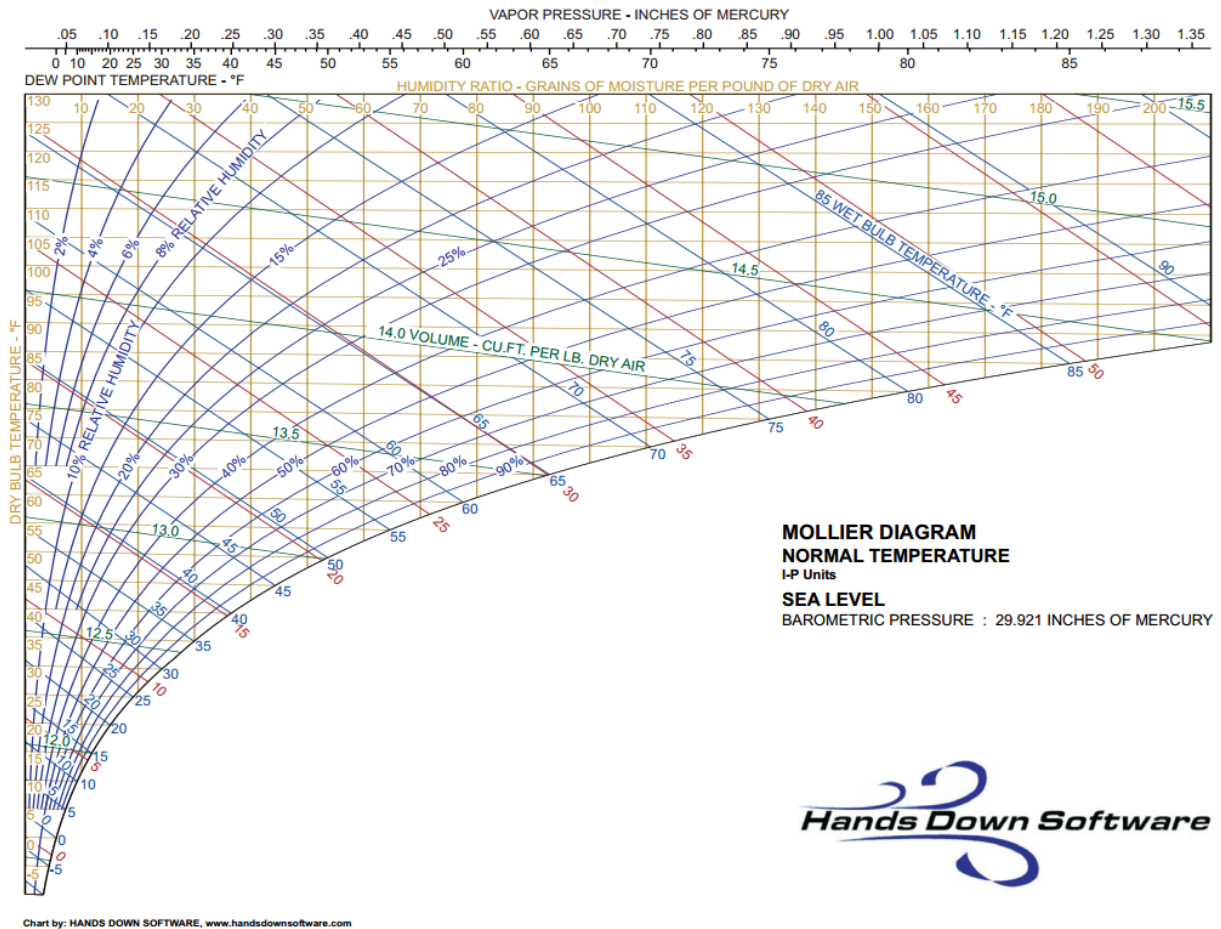
<b>Første siffer</b>	<b>Beskyttelse mot inntrengning av faste partikler</b>	<b>Andre siffer</b>	<b>Beskyttelse mot vann/væsker</b>
0	Ubeskyttet	0	Ubeskyttet
1	Diameter $\geq$ 50 mm	1	Loddrette drypp
2	Diameter $\geq$ 12,5 mm	2	Loddrette drypp, utstyr med en helning på 15°
3	Diameter $\geq$ 2,5 mm	3	Regn eller drypp som faller med en vinkel på opptil 60°
4	Diameter $\geq$ 1 mm	4	Sprut fra alle kanter
5	Støvbeskyttet	5	Spyling med vannslange fra alle retninger
6	Støvtett	6	Kraftig spyling fra alle retninger
		7	Kortvarig neddykking i vann
		8	Varig neddykking i vann
		9k	For utstyr som tåler ekstremt høyt trykk, høye temperaturer og sterk vannstrøm

### 3.10 Kondensering

Kondensering er en prosess hvor vanndamp blir flytende. Det motsatte er fordampning, hvor flytende vann blir til damp. Kondensering skjer på to måter: Enten er luften blitt avkjølt til punktet hvor dugg oppstår, eller at luften er så mettet med vanndamp at den ikke klarer å holde på noe mer vann.<sup>101</sup>

Duggpunktet er den temperaturen når kondensasjonen skjer. (Dugg er bare kondensert vann i atmosfæren). Lufttemperaturen kan nå, eller falle under duggpunktet naturlig, som det ofte gjør om natten. Derfor er plener, biler og hus ofte belagt med vanndråper om morgenen. Kondensasjon kan også produsere vanndråper på utsiden av brusbokser eller glass med kaldt vann. Når varm luft treffer en kald overflate når den sitt duggpunkt og kondenserer. Dette etterlater små dråper av vann på glasset eller boksen.<sup>101</sup>

Kald luft holder mindre på vanndamp enn varmluft. Dette er grunnen til at varmere klima ofte er mer fuktig enn kalde. Vanndampen holder seg i luften i stedet for kondensere til regn. Kaldt klima har derfor høyere sannsynlighet for å ha regnvær fordi vanndampen kondenserer lettere.<sup>101</sup> Dette er illustrert i et mollier-diagram.



Figur 48 - Mollier-diagram: Sammenheng mellom lufttemperatur, entalpi og fuktig luft<sup>102</sup>

For å hindre kondensering i koblingsskap finnes det ulike metoder:

- Varmer
- Ventilering
- Isolering
- Kjemisk løsning

De ulike metodene gir i ulik grad kontroll av fuktighet i skapet. Skap som er tett forseglet, og skap som tillater hurtig luftutskifting reduserer risikoen for kondens. I hovedsak kan kondens forhindres ved å holde relativ luftfuktighet under 60% og kontrollere hurtige temperaturvariasjoner.<sup>103</sup>

### 3.10.1 Varme

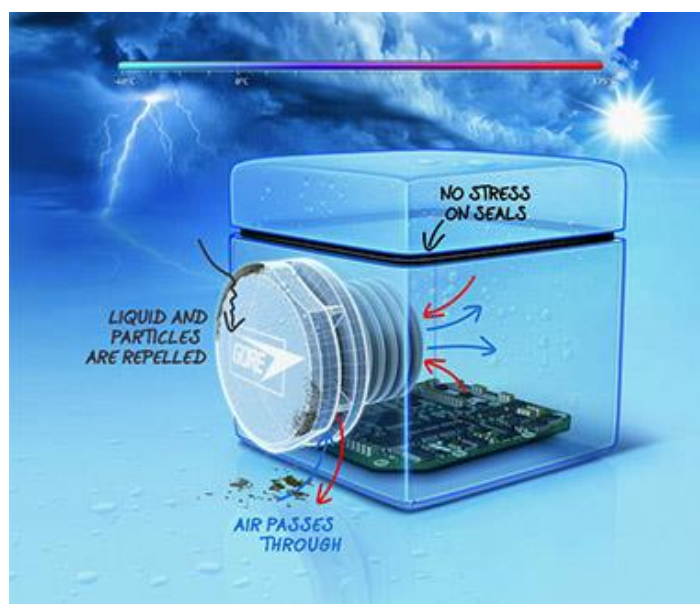
Den mest effektive løsningen til å takle kondens er å kombinere et varmeelement med kontrollenheter som hygrostater eller termostater. Termostaten gjør at varmeelementet slår seg på når temperaturen faller under en bestemt grad. Hygrostater vil imidlertid skru på varmeelementet når fuktigheten stiger over et visst nivå. Bruk av hygrostater for å kontrollere varmeelementet er ansett som en mer energieffektiv metode. Samtidig er hygrostater dyrere i innkjøp enn termostater.<sup>103</sup>



Figur 49 - Eksempel på et lite varmeelement<sup>104</sup>

### 3.10.2 Ventilering

Det finnes flere metoder for å få til ventilasjon. En metode er å lage rette eller kurvede hull, men dette gjør at fremmedlegemer som støv, vann og insekter kan komme gjennom ventilasjonen. En annen metode er å bruke ventiler med innebygd membran som hindrer fremmedlegemer å trenge inn.<sup>105</sup>



Figur 50 - Illustrasjon av ventilering<sup>106</sup>

Ved å bruke ventiler eller filtre er formålet å få luftutskiftingen til å skje så raskt at det ikke oppstår kondens. Hurtig luftutskifting sørger for lik temperatur på luften på innsiden og utsiden. Komponentene vil alltid ha en noenlunde lik temperatur som luften, og det vil ikke bli kondens og fukt på kalde flater. Det finnes flere typer ventiler og filtre på markedet, og noen kommer med garantier for IP-grad helt opp til IP69k<sup>107</sup>

Gore leverer ventiler av ekspandert polytetrafluoretylen (ePTFE) som sikrer mot trykkutjevning og gir beskyttelse mot miljøet utenfor. Membranen består av ekspandert polytetrafluoretylen som er naturlig vanntett. Den unike mikrostrukturen av noder og fibriller er åpen nok til å slippe gjennom gassmolekyler og damp, samtidig som åpningene er så små at væske og andre fremmedlegemer holdes ute. Ved å bruke en slik teknologi setter det krav til at komponenter kan fungere i kalde omgivelser.<sup>105</sup>

Det er nå i senere tid innen subsea-teknologi tenkt litt annerledes angående kapsling og tetthetsgrad. Hvorfor motvirke kreftene fra omgivelsene, når det heller kan lønne seg å spille på lag med dem. Det er den samme tankemåten for denne løsningen. Da er det spesielt tenkt på trykkforskjeller som kan oppstå i et skap. Årsaken til lekkasjer er at gass trekker seg sammen og utvider seg. Når temperaturen på innsiden og utsiden skifter, vil luften på innsiden utvide eller trekke seg sammen, og det oppstår trykkforskjeller. Kapslingen prøver å utjevne trykket på innsiden ved å føre luft ut eller inn – en prosess som gjerne omtales som pusting. I omgivelsestilstander uttrykker tilstandsligningen for idealgass forholdet mellom temperatur, trykk og volum.<sup>105</sup>

$$PV = nRT$$

*P* Trykk [Pa]

*V* Volum [m<sup>3</sup>]

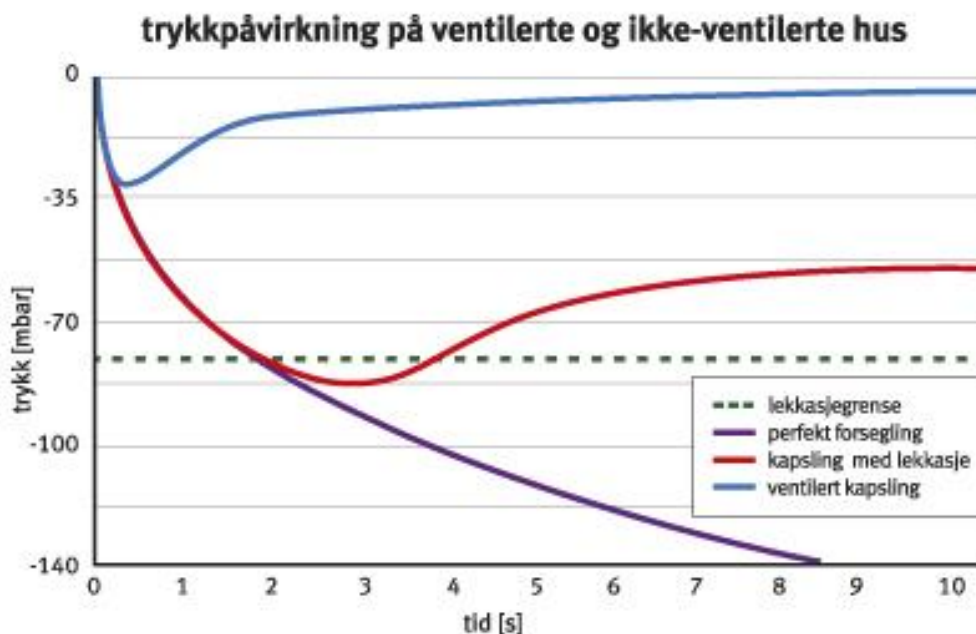
*n* Stoffmengde [mol]

*R* Idealgasskonstant [8,31 [(J/mol\*K)]

*T* Temperatur [K]

Hvis kapslingen er helt lufttett, dannes det et overtrykk eller undertrykk på innsiden. Overtrykk får huset til å utvide seg, mens undertrykk skaper et vakuum. Begge deler medfører en belastning på forsegling, ledd og pakninger, som blir mindre effektive. Fuktighet og fremmedlegemer begynner å trenge forbi forseglingen når det er vakuum på innsiden, noe som kan føre til korrosjon og elektronisk svikt.<sup>105</sup>

Figur 51 sammenligner ulike husløsninger ved vakuum. Den stiplede grønne linjen på -75 mbar er punktet der vakuemet anses som stort nok til å gi lekkasje i et forseglet hus. Den lilla linjen representerer et hermetisk forseglet metallhus, som tåler trykkforskjellene. Den røde linjen representerer et vanlig metall- eller plasthus med pakninger i klasse IP67. Dette huset tåler vakuumtrykk på om lag -70 mbar, men medfører fare for lekkasje når denne grensen nås. Den permanente sammentrykningen vil også øke etter hvert som pakningene eldes, slik at pakningene svekkes ved mindre trykkforskjell. Den blå linjen representerer et ventilert kapsling, hvor trykkforskjell utjevnes raskt, slik at trykket i kapslingen ikke overstiger -35 mbar og forseglingen utsettes for minst mulig belastning.<sup>105</sup>



Figur 51 - Trykk kan skade hus uten ventilering<sup>105</sup>

På grunn av at ventiler er rimelig å produsere kan det benyttes færre bolter og stilles mindre krav til kapslinger og pakninger. Forseglingen utsettes ikke for kontinuerlig belastning, og gir derfor mindre kostnader til vedlikehold og lengre levetid.<sup>105</sup>

### 3.10.3 Isolering

Hensikten ved å bruke isolering er å unngå problemet med kondensering, ved å benytte et egnet materiale som skal gi en barriere mellom kald og varm luft. Materialet kan f.eks. være polyester. I praksis utformes skap med doble vegger, der det legges isolasjon mellom veggene. Disse isolerte skapene er også helt lufttette, og har relativt høy IP-grad. Dette medfører også økte kostnader og gjør konstruksjonen tyngre.

For å beskytte elektronikk, må kapslingen i skapet tettes med slitesterke pakninger og bolter. Kapslingen blir luft- og vanntett, noe som er viktig ved IP-klassifisering. Allikevel kan det være vann og partikler som er igjen i kapslingen.

Ved å bruke isolering tas det ikke hensyn til trykkforskjeller. Trykkforskjeller sliter på forseglingen og vil senke levetiden på isoleringsevnen. Ved innføringskanaler til ledninger vil det være en form for gummi som sikrer at skapet er tett. Gummien vil etterhvert forringes som følge av miljøfaktorer, trykkforskjeller og aldring. Dette gjør at fuktighet og fremmedlegemer kan trenge forbi gummien.

### 3.10.4 Kjemiske løsninger

Kjemiske løsninger til fuktighetsproblemet baseres enten på å absorbere til seg fuktighet eller å isolere komponentene fra fuktighet. Det finnes mange ulike varianter innen kjemiske løsninger, men i denne rapporten blir det presentert bruk av silica gel (absorpsjon), konformt belegg (isolasjon) og epoksy (isolasjon).

## Silica gel



Figur 52 - Silica gel<sup>108</sup>

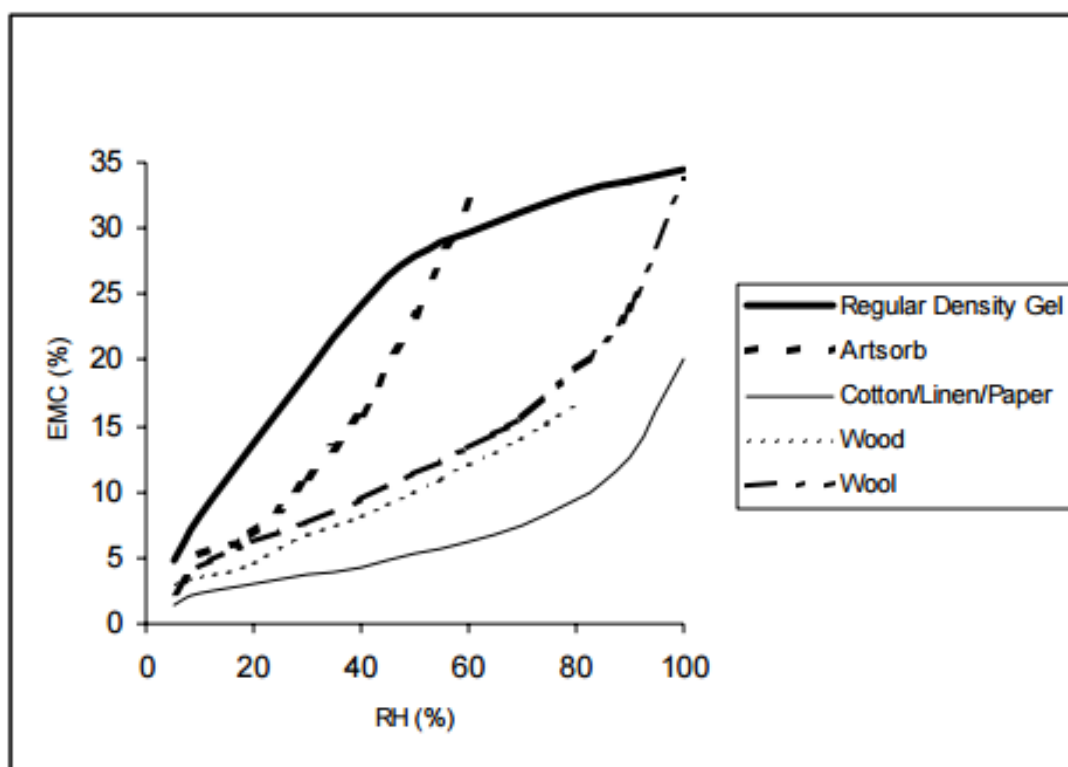
Silica gel ble først anbefalt i 1959 til bruk i applikasjoner innen museum for å kontrollere relativ fuktighet i lukkede skap. Siden den gang har silica gel blitt brukt over hele verden i alle mulige områder. Silica gel er en kjemisk inert, et ikke-giftig materiale bestående av amorft silisiumdioksid. Det består av et internt nettverk av sammenhengende mikroskopiske porer, som gir et overflateareal på 700-800 m<sup>2</sup> per gram. Eksempelvis er det indre overflatearealet av en teskje full av silica gel tilsvarende arealet av en fotballbane. Vannmolekyler absorberes av mikrokapilærer inntil det er oppnådd likevekt i fuktighet med nærliggende luft. Silica gel ble patentert i 1919 for anvendelse ved adsorpsjon av vann og gasser i gassmaskebeholdere under første verdenskrig. Under andre verdenskrig ble det ofte brukt som en dehydrerende middel for å beskytte militære og farmasøytiske forsyninger.<sup>109</sup>

For å forstå funksjonene til silica gel, er det kritisk å vite konseptet om likevektsfuktighet (Equilibrium Moisture Content (EMC)). Mange materialer inneholder fuktighet. Verdien av fuktighet i hygroskopiske materialer er avhengig av temperaturen og den relative fuktigheten til omkringliggende luft. Om temperaturen eller den relative fuktigheten endres, vil fuktighetsinnholdet i objektet endre seg slik at det vil komme i likevekt med den nye tilstanden til den omkringliggende luften. Fuktighetsinnholdet er vekten av vann i et objekt, uttrykt som en prosentandel av sin tørrvekt. Likevektsfuktighet er fuktighetsinnholdet i et objekt i likevekt med en spesifisert fuktighet. Hvis et stykke papir veier 100 gram ved 0% fuktighet, og ved 50% fuktighet veier 105 gram, har det nå 5 gram fuktighet i forhold til sin tørre vekt. Dette resulterer i 5% likevektsfuktighet ved 50% fuktighet.<sup>109</sup>



$$\frac{105 \text{ g} (50\% \text{ fuktighet}) - 100 \text{ g} (0\% \text{ fuktighet})}{100 \text{ g} (\text{tørrvekt})} = 0.05 = 5\% (\text{likevektsfuktighet})$$

For å forstå fuktopptak-karakteristikkene av hygroskopiske materialer, er en serie av EMC verdier for hele spektret av fuktighetsforholdene på en fast temperatur plottet i figur 53.



Figur 53 - EMC isotermer<sup>109</sup>

Interiøret i et relativt lufttett skap vil gi en viss grad av beskyttelse mot fluktuerende fuktighetsforhold utenfor. Gjennom gradvis luftlekkasje vil fuktigheten inne i skapet øke eller minke sakte avhengig av tilstanden utenfor. Frekvensen av innvendig endring av fuktighet er avhengig av mengden luftlekkasje. Om frekvensen av luftlekkasje er én luftutveksling per dag, vil fuktighet inne i skapet være lik fuktigheten utenfor i løpet av en dag.<sup>109</sup>

Alle silica geleer har uendelig levetid når det gjelder evne til absorbere og adsorbere fuktighet. Ved bruk av varme (bør ikke være over 120°C) kan silica gel rehabiliteres og gjenbrukes på ubestemt tid. Anbefalt mengde av silica gel varierer fra 20 kg/m<sup>3</sup> av RD Silica gel (Thomson 1977) til 0,5 kg/m<sup>3</sup> av Art-Sorb (Art-Sorb 2003). Avviket er ikke basert på sammenligning av bufferkapasitet, men heller på formler som kan brukes for å bestemme mengden.<sup>109</sup>

Thomson har fastslått at 20 kg/m<sup>3</sup> av vanlig tett silica gel er nødvendig for å sikre at fuktighet ikke oppstår i et skap. Utskiftingen av silica gel-poser er da dimensjonert til å aldri byttes på et år. Hans mål var å skape et selvkorrigerende og vedlikeholdsfritt skap som klarte å beskytte mot den lave vinterfuktigheten og høye sommerfuktigheten. Art-Sorbs anbefaling om 0,5-1,0 kg/m<sup>3</sup> er basert på kortvarige temperatureffekter, og er ikke egnet som et grunnlag for hvor mye silica gel som trengs i et langsiktig perspektiv. I et langsiktig perspektiv vil det kreves mere silica gel. For å estimere mengden av silica gel som trengs for å ha kontroll på fuktigheten i et skap, må det tas hensyn til flere faktorer som miljø og kapasiteten på materialet. Dette kan bli regnet ut som følgende:<sup>109</sup>

1. Fastslå den totale mengden fukt som et lukket skap har fått eller avgitt over en spesifisert tidsperiode.
2. Fastslå mengden av vann som kan bli adsorbent eller absorbert av ett kg. silica gel innenfor det akseptable verdiområdet i skapet.

$$Q = \frac{C_{eg} \times D \times V \times N \times t}{M_H \times F}$$

*Q* Mengde silica gel nødvendig [kg]

*C<sub>eg</sub>* Konsentrasjon av vann ved metning

*D* Forskjellen mellom ekstern og intern fuktighet [gjennomsnitt]

*V* Volum av skapet [m<sup>3</sup>]

*N* Antall luftskifter på dag

*t* Maksimal antall dager skapet skal holde en akseptabel område av fuktighet

*M<sub>H</sub>* Fuktighetskapasitet av silica gel innen et spesifisert område av fuktighet

*F* Største akseptable variasjonene av fuktighet i skapet

### **Konformt belegg**

Et konformt belegg er et beskyttende kjemisk belegg eller en polymerfilm med 25-75µm. tykkelse. Formålet er å beskytte elektroniske kretser mot tøffe miljøer som kan inneholde fuktighet eller kjemiske forurensninger. Typiske bruksområder er bil og fly som krever høy pålitelighet. Belegget brukes for å beskytte mot ulike kombinasjoner av fuktighet, kjemikalier, damp, salt, temperaturvariasjoner, vibrasjoner og organisk angrep (f.eks. sopp).<sup>110</sup>


Belegget bør dekke hele komponenten for å gi god beskyttelse. Belegget kan hovedsakelig bestå av enten akryl, silikon eller polyuretan. De forskjellige stoffene har ulike egenskaper og må vurderes opp mot hverandre i hvert enkelt tilfelle.<sup>110</sup>



Figur 54 - Spraying av akryl-belegg<sup>111</sup>

## Epoksy

Epoksy er en blanding av to ulike forbindelser som blir helt på kretskortet. Når blandingen stivner er blandingen veldig hard og langvarig. Epoksy er mest effektiv når det dekker minst ¼ tomme i tykkelse av komponenten. Epoksy gir beskyttelse mot slag, støt, ledningsevne, fuktighet, misbruk og kjemikalier. Epoksy er utmerket for eksplosjonssikre komponenter, og er svært vanskelig å fjerne.<sup>112</sup>

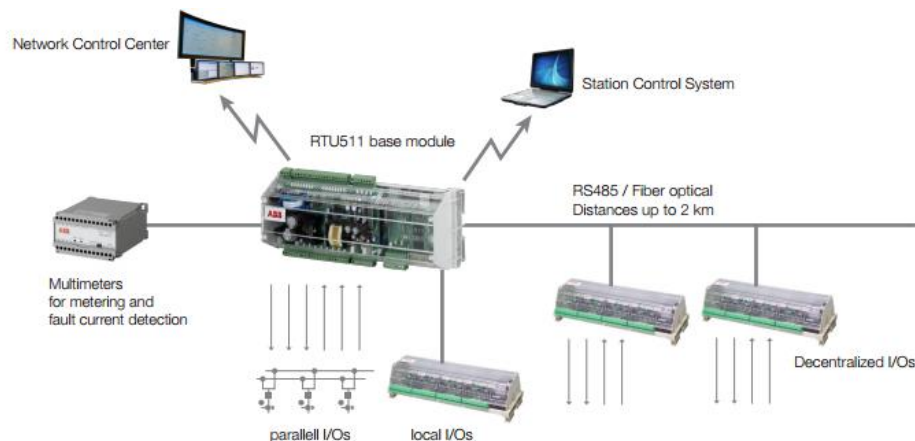
<b>Potting and encapsulating with Epoxies and RTV Silicones</b>		<b>Application Instructions</b> Mix parts 1 and 2 of the RTV Silicone or epoxy in a separate container according to the product's mix ratio. Pour the mixed 2-part encapsulant into the enclosure, fully covering your circuitboard. Cure time will vary from product to product, please see product pages on website for details.
---	--	---

Figur 55 - Epoksy<sup>112</sup>

### 3.11 RTU

RTU står for «Remote Terminal Unit». ABB er produsenten av RTU-enheten som brukes i Jernbaneverkets anlegg. Den er styringsenheten i systemet, samtidig som den kommuniserer over nettverk. Kommandoer sendes fra operasjonssentral og videre til RTU-modul. RTU utfører deretter handling. Dette kan f.eks. være manøvrering av en bryter.

RTU består av flere kretskort koblet sammen. Hovedkortet til RTU består av en mikrokontroller, kommunikasjonsporter og utvidelsesporter for andre kretskort. RTU har mange kompliserte funksjoner, bl.a. en som ligner på en Programbar Logisk Styring (PLS). Utvidelseskortene til RTU er I/O-kort, fibermodul eller andre kretser til måling og signalgivning.



Figur 56 - RTU 511<sup>113</sup>

RTU kan bygges etter krav til systemets funksjonalitet, og er veldig fleksibelt. RTU kan sammenlignes med en systemdedikert datamaskin. I/O-kortene har inn og utganger som kobles til pådragsorganer og sensorer. Den opererer med digitale og analoge verdier. Programmeringsspråket som brukes i RTU heter LAF («Local Automation Functions»). RTU har egen modul for kommunikasjon. Kommunikasjonsmodulene som kan velges til RTU er fiber, GSM-R eller ethernet.

## 4 Vurderinger

For å fremstille vurderingene og valgene i oppgaven er det satt av et eget kapittel for dette. I bachelorperioden må det fortløpende tas vurderinger for å sikre fremgang, og det er viktig å ikke gape over for mye. Videre i kapitlet er det forklart hvilke vurderinger som er tatt i oppgaven med hensyn til energiforsyning, energilagring og skapproblematikk. Vurderinger i dette kapitlet er gjort innad i gruppen.

### 4.1 Vurdering av energiforsyning

Det finnes ulike egenskaper og utfordringer knyttet til hver enkelt energiforsyning. I dette delkapitlet blir det tydeliggjort hvilken energiforsyning som passer best for å løse problemstillingen. Vurderingsfaktorene er satt i samarbeid med Jernbaneverket og danner premisser for videre løsning av oppgaven.

For å få en rettferdig sammenligning av de ulike energikildene sol, vind og vann har det blitt utarbeidet en tabell med utvalgte punkter som er avgjørende for vurderingen. Tabellene i etterfølgende delkapitler er definert slik at 1 = dårligst og 5 = best.

#### 4.1.1 Sol

##### Kostnad

- Generelt er NOK/W<sub>p</sub> større for solcellepanel med lav effekt. Det vil derfor være mer lønnsomt å kjøpe f.eks. et 140W-panel kontra et 80W-panel.
- Priseksempel:  
SOLARTEK PVP14012, 140W solcellepanel 4 406,- NOK inkl. mva. per stk.<sup>114</sup>  
SOLARTEK PVP8012, 80W solcellepanel 3 614,- NOK inkl. mva. per stk.

##### Driftssikkerhet

Tabell 9 - Driftssikkerhet solcelle

Positivt	Negativt
<ul style="list-style-type: none"><li>- Værbestandig</li><li>- Lite feil</li><li>- Ingen bevegelige deler</li><li>- Lang levetid</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Væravhengig</li><li>- Is- og snølast</li><li>- Renhold</li><li>- Potensielt utsatt for tyveri og hærverk</li></ul>

##### Vedlikehold

- Har ingen bevegelige deler, derfor minimalt med vedlikehold. Trenger enkelt renhold en gang i blant etter behov, da støv og partikler fra forbipasserende tog vil redusere virkningsgrad.

## Miljø

- Et solcellepanel har omtrent 6 tilbakebetalinger i form av netto energigevinst i løpet av sin levetid på 25 år.<sup>116</sup>
- Gir ikke store visuelle eller fysiske inngrep i naturen
- Det er forbundet noe CO<sub>2</sub>- utslipp ved produksjon av solceller. Det er vanskelig å avgjøre hvor mye, da opprinnelsen til den elektriske energien som brukes under produksjon ikke er kjent.

## Installasjon

- Enkel installasjon
- Kan plasseres i mast
- Krever liten plass
- Lav vekt
- Personsikkert med tanke på berøringsfare
- Må monteres mot sør, kan medføre problematikk

## Energiproduksjon

- Typisk virkningsgrad: ~13-16%<sup>33</sup>
- Lav produksjon i vintermånedene

Tabell 10 - Vurdering av solcellepanel

Solcelle:	1	2	3	4	5
Kostnad					X
Driftssikkerhet				X	
Vedlikehold					X
Miljø					X
Installasjon				X	
Produksjon		X			



## 4.1.2 Vind

### Kostnad

- Prisen er mye høyere per/kWh produsert elektrisitet i småskala kontra de virkelig store vindturbinene
- Priseksempel: vindgenerator Ampair Pacific 100W m/regulator koster 21.450,- NOK<sup>115</sup>

### Driftssikkerhet

Tabell 11 - Driftssikkerhet vindturbin

Positivt	Negativt
<ul style="list-style-type: none"><li>- Forventet levetid 25 år</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Turbulent vind minker levetiden</li><li>- Roterende deler får oftere feil enn statiske deler</li><li>- Ising kan gjøre at vindturbinen ikke fungerer</li><li>- Potensielt utsatt for tyveri og hærverk</li><li>- Blader kan skades av flygende objekter</li></ul>

### Vedlikehold

- Roterende deler krever vedlikehold
- Mye ettersyn av lager, gir og blader.

### Miljø

- En vindturbin har omtrent 27 tilbakebetalinger i form av netto energigevinst i løpet av sin levetid på 25 år<sup>116</sup>
- Kan påvirke dyreliv
- Ingen utslipp av klimagasser
- Produksjon av vindturbiner er forbundet med lite negativ miljøpåvirkning

### Installasjon:

- Sterkt avhengig av plassering
- Roterende deler nært teknisk installasjon blir sett negativt på
- Utfordrende å plassere oppe i KL-mast
- Krever avstand til omgivelser for at bladene skal rotere

### Energiproduksjon:

- Teoretisk kan det maksimalt utnyttes 59,3% av kinetiske energien i vinden  
Virkningsgraden blir mye lavere, da det er tap i overføringer, gir, generator, lager o.l.
- Kreves vindmålinger over lengre tid på et bestemt sted for å få gode data
- Kreves en middelvind over året på minimum 5 m/s
- Vindressursene er mer stabile gjennom året enn vannressursene som er avhengig av å lagre energien i dammer, men vinden varierer mye i styrke gjennom dagen

Tabell 12 - Vurdering av vindkraft

Vindkraft:	1	2	3	4	5
Kostnad		X			
Driftssikkerhet		X			
Vedlikehold		X			
Miljø					X
Installasjon			X		
Produksjon			X		

### 4.1.3 Vann

#### **Kostnad**

- Store engangskostnader knyttet til oppretting av vannkraft
- Delene og teknologien i seg selv er ikke dyr, men utbyggingskostnadene derimot er langt dyrere, grunnet høye entreprenørpriser

#### **Driftssikkerhet**

Tabell 13 - Driftssikkerhet vannkraftverk

<b>Positivt</b>	<b>Negativt</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Lang levetid, opptil 60 år</li><li>- Solid konstruksjon</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Gjenfrysningsfare om vinteren</li><li>- Tørrlagt vannvei om sommeren</li><li>- Vannforhold varierer mye gjennom året</li></ul>

#### **Vedlikehold**

- Avhengig om vannkraftanlegget er bygd kostbart. Ved kostbare anlegg er det svært lite vedlikehold
- Krever regelmessig tilsyn

#### **Miljø**

- Vannkraft har omtrent 243 tilbakebetalinger i form av netto energigevinst i løpet av sin levetid på 60 år<sup>116</sup>
- Har innvirkning på organismer som lever i vannveien
- Avtrykk i naturen
- Slipper ikke ut klimagasser

## Installasjon

- Lokasjonsavhengig: avhengig av rennende vann i nærheten
- Krever stort anleggsområde: grave føringsveier for vannet
- Komplisert
- Kan være nødvendig å grave strømvei fra generator til manøvermaskin

## Energiproduksjon

- Varierer mye med årstidene. Veldig mye vann om våren da vinterens snø smelter
- Krever gode måledata over lengre tid
- God virkningsgrad

Tabell 14 - Vurdering av vannkraft

Vannkraft:	1	2	3	4	5
Kostnad	X				
Driftssikkerhet	X				
Vedlikehold			X		
Miljø				X	
Installasjon	X				
Produksjon				X	

## 4.2 Vurdering av energilagring

Batterier er ingen ny teknologi, men det forskes mye på hvordan sammensetningen av elektrokjemi kan forbedres. I denne oppgaven er det avgjørende at batteriene er så driftssikre som mulig. Dette fører til at det ikke bør brukes batterier med den nyeste teknologien. Dette kan ofte medføre barnesykdommer som reduserer driftssikkerheten.

Ved valg av batterier må det tas hensyn til følgende<sup>87</sup>:

- Forbruksbatteri må ha høy kapasitet i amperetimer. Som tommelfingerregel bør det dimensjoneres med minst to ganger behovet for å sikre lang levetid, ekstra reserve og eventuelt økt framtidig forbruk
- Overdimensjonering medfører høyere komfort og lengre levetid på batteriene
- Utladningstiden påvirker hvor mye strøm som er tilgjengelig. Utladningstiden og kapasiteten til batteriet må vurderes nøye. Lengre utladningstid gir mer strøm
- Ta hensyn til at strømbehovet kan være annerledes i fremtiden og at det ikke uten videre koples til flere batterier etter det har gått en bestemt tid
- Unngå dyputladninger. Levetiden avhenger av hvordan batteriene lades, hvor ofte og hvor dypt de lades ut
- Høy lademottakelighet og lav selvutlading er å foretrekke. Forskjellen på best og dårlig kan være opptil 15%. Ved å bare bytte batteri kan det oppnås 15% bedre virkningsgrad fra den energien en solcelle gir

Innen få år kan det være andre typer batterier som er bedre egnet i denne sammenhengen. Batterier som har høyere energitetthet og lengre levetid. Det som er viktig da, er å velge en batteritype som det er høstet erfaringer med.

### 4.3 Vurdering av skap

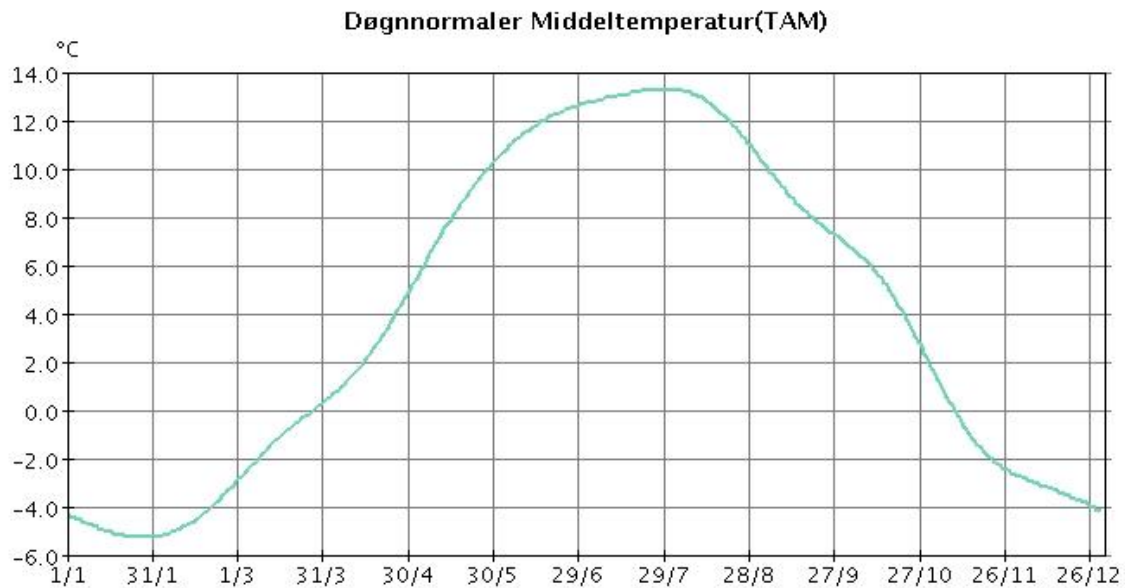
Utformingen av skapet kan løses på flere ulike måter for å sikre høy IP-grad. I denne prosessen er det mange faktorer som må tas hensyn til, og det er ikke lett å velge en løsning som oppfyller alle krav. Kondensering kan ha stor innvirkning på komponenter i skapet. Rust, korrosjon, kortslutning, komponenthavari og forkorting av levetid er mulige konsekvenser. Forutsetninger må tas slik at dette unngås.<sup>117</sup>

Temperaturforandringene mellom innsiden og utsiden av et skap kan være store. Overgangen fra kald til varm temperatur får luften i skapet til å utvide seg, og forseglingen utsettes for belastning. En følge av dette vil være ising på utsiden av skap. Gjennom en lang vinter og ved lite bruk av manøvermaskinen kan bevegelige deler fryse fast og ødelegges ved eventuell manøvrering. Særlig utsatt for dette problemet er staget som går fra skap og opp til bryter via mast. Motorakslingen er koblet til staget via drev og tannstang. Staget som manøvrerer bryteren flyttes i vertikal retning, og ising må derfor unngås. Der mekaniske deler berører hverandre trengs smøring. Smørefett og olje har en tendens til å bli tykflytende og seigt ved lave temperaturer, noe som medfører økt motstand i utvekslingen og problemer ved manøvrering av bryter.

Det nåværende skapet har et varmeelement for å forhindre problemstillinger som nevnt over. Varmeelement er på maks 60W, og aktivt ved temperaturer under 5°C. Om dette elementet eksempelvis har en effekt på 50W kan det medføre problemer for en solcelleforsyning. Ladeeffekt synker betraktelig i vintermånedene, og det er i vintermånedene varmeelementet brukes hyppigst.

Det er hentet måledata for årlig middeltemperatur i en periode på 29 år ved en værstasjon plassert i Meråker. Dette for å gi et bilde på hvilke temperaturer som er forventet gjennom et år. Figur 57 viser at middeltemperaturen er under 5°C fra midten av oktober til slutten av april. Forsyning og batteribank må dimensjoneres for 4-5 måneders kontinuerlig drift av elementet. Tatt i betraktning at måledata er innhentet i perioden 1961-1990, kan det medregnes en viss økning i middeltemperatur per dags dato. Dette er uansett en vanskelig

faktor å forutsi i nordisk klima, og det må derfor sørges for stabil energiforsyning gjennom hele vinteren om det skal være installert et varmeelement i skapet.



*Figur 57 - Middeltemperatur i Meråker (1961-1990)<sup>118</sup>*

Forventet energibehov for et 50W varmeelement med drift i 5 måneder:

$$Energibehov_{drift} = P \times t = 50W \times 5 \text{ mnd} \times 30 \frac{\text{dag}}{\text{mnd}} \times 24 \frac{\text{timer}}{\text{dag}} = 180 \frac{\text{kWh}}{\text{år}}$$

Med tanke på at dette systemet skal være selvforsynt, og har begrenset med energilagring vil det bli utfordrende å forsyne dette over en lengre periode med lite ladning. Det vil mest sannsynlig ikke være hensiktsmessig å bruke varmeelement. Problemet med kondensering og fukt bør løses på alternative måter. Den ene muligheten som er aktuell, er et skap med doble vegger og isolering mellom veggene. Den andre muligheten er ventilert skap. Dette for å unngå scenarioet der varm og fuktig luft treffer kalde overflater og kondenserer.

Tabell 15 - Vurdering for ventilert skap

<b>Ventilert skap</b>	
<b>Fordeler:</b>	<b>Ulemper:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Slipper problem med kondens</li> <li>- Får utjevning av trykkforskjeller</li> <li>- Spiller på lag med omgivelsene</li> <li>- Får naturlig sirkulering av luft</li> <li>- Mindre slitasje på pakninger</li> <li>- Utjevner temperaturforskjeller</li> <li>- Ingen støpemasse (gjør at det enkelt kan utføres service og reparasjon)</li> <li>- Trenger ikke å gå på bekostning av IP-grad</li> <li>- Rimelig (fordi det stilles mindre krav til bolter, pakninger og kapslinger)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Avhengig av at membranteknologi fungerer for å sikre IP-grad og forhindre kondensering</li> </ul>

Tabell 16 - Vurdering for isolert skap

<b>Isolert tett skap</b>	
<b>Fordeler:</b>	<b>Ulemper:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Slipper problem med kondens</li> <li>- Oppnår høy IP-grad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dyrere enn et standard skap med ventileringsnipler</li> <li>- Får ikke trykkutjevning</li> <li>- Større belastning på pakninger</li> </ul>



#### 4.4 Kommentar

I denne sammenhengen vil det ikke være forsvarlig å gå for en vannkraftløsning. Det er lavt energibehov, og et mikrovannkraftverk vil kreve relativt store og dyre inngrep.

Gjenfrysningsfare om vinteren og tørke om sommeren er også en risiko, siden det ikke er gjort målinger på aktuelle vassdrag. Ikke minst er denne løsningen veldig stedsavhengig i forhold til de andre energikildene.

Vindkraft var lenge et alternativ som virket interessant, men etter en gjennomgående vurdering anses solcellepanel som den beste energiforsyningen. Markedet for småvindkraft er ikke utbredt i Norge, og det er få leverandører. Solcellepaneler er enklere å montere, mer driftssikre og har mindre slitedeler. Solcelleanlegg plassert i master langs jernbanen vil heller ikke ha naturinngrep som virker sjenerende for forbipasserende turgåere. Innkjøpspris og driftskostnader er rimeligere enn for vindturbiner med lik effekt.

Det har vært diskusjoner om hvorvidt et solcelleanlegg er effektivt i Norge. Ut i fra dette, vurderes det som nødvendig å utføre simuleringer. Reelle resultater vil få et avvik fra disse simuleringene, men de vil gi et godt bilde på hvilket potensiale det ideelt sett finnes i dagens solcellepaneler. Sollyset er kun tilgjengelig et begrenset antall timer per døgn. Det må medregnes dårlig produksjon om vinteren grunnet snø, mørketider og andre lignende faktorer.

Som skrevet i kapittel 3.2.2 har nåværende løsning et stag fra skap og opp til bryter. Staget har en vandring på 120mm, som medfører bevegelige deler inn og ut av skapet. Bevegelige deler fører til slitasjeproblematikk, i tillegg til at drev og tannstang trenger smøring.

Pakningen rundt innføringen av staget til skapet vil slites og utsettes for påkjenninger. Det er vurdert å se på alternative løsninger for å manøvrere bryteren. Det er ikke hensiktsmessig å velge en isolert og tett skapløsning når det er bevegelige deler inn og ut av skapet. Løsningen med ventilert skap vurderes som en bedre løsning da det håndterer fukt, temperatur og trykkforskjeller på en vesentlig bedre måte. Et ventilert skap vil også bli billigere enn et isolert og tett skap. En ventilert løsning er derimot avhengig av at det ikke trenger inn vann eller andre partikler. Teknologiene innen ventilerer er forskjellige, og sett opp mot hverandre vurderes en løsning med membran som den sterkeste.

## 5 Løsninger fra Jernbaneloverket

I etterfølgende delkapitler blir det presentert og forklart to forskjellige metoder for energiforsyning av brytere og signaler. Jernbaneloverket har følgende løsninger:

- Nåværende løsning med kabel fra lokalt nett
- Spenningstransformator koblet på PL og skinne

### 5.1 Nåværende løsning med kabel fra lokalt nett

Elektrisk energi hentes fra lokale el-nett i områder der dette er tilgjengelig. Elektrifiseringen av jernbanen har til dags dato gått gjennom forholdsvis urbane områder, men fra nå av skal den også elektrifiseres i mer avsidesliggende områder. Dette kan medføre at tilkobling til lokale el-nett kan bli en dårligere løsning, grunnet lange avstander eller vanskelig framkommelighet. Kabellegging til aktuelle steder må tilfredsstillere krav i FEL og FEF. Videre blir det fortalt om de viktigste kravene i forbindelse med opprettelse av nettilknytning.

#### 5.1.1 Nettilknytning

En forutsetning for et effektivt kraftmarked er at alle får tilgang til kraftmarkedet til ikke-diskriminerende og objektive vilkår og tariffier. Etter gjeldende regelverk har nettselskapene en plikt å tilby alle som ønsker det, tilgang til nettet. For ordinære forbrukskunder gjelder leveringsplikten, mens for kraftprodusenter og større uttakskunder gjelder tilknytningsplikten. Om kunden er villig til å betale de nødvendige tariffiene har nettselskapet plikt til å sørge for nettilgang. I denne sammenhengen inkluderer tariffier alle priser og andre økonomiske godtgjørelser for tilknytning og bruk av nettanlegg.<sup>119</sup>

## **Anleggsbidrag**

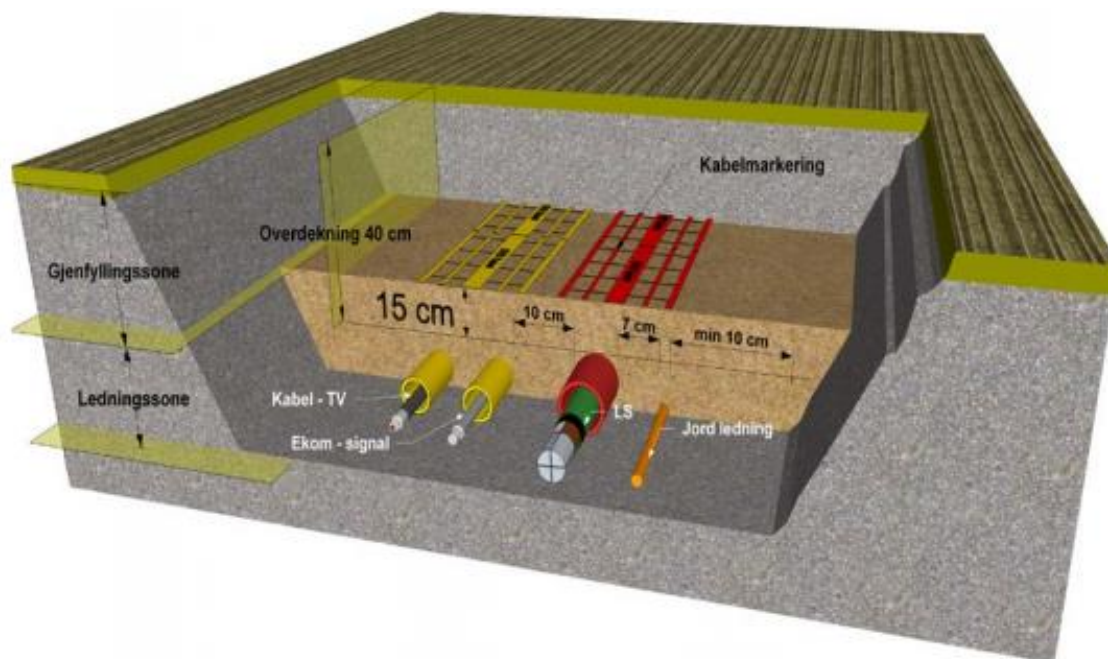
Nettselskapene kan etter §17-5 i forskrift av 11. mars 1999 nr. 302 fastsette anleggsbidrag for å dekke anleggskostnader ved forsterkning av nettet til eksisterende kunder eller nye nettilknytninger. Det er ikke pålagt å kreve inn anleggsbidrag, men nettselskapene må ha en praksis som ikke virker diskriminerende og som er objektiv. Ved å kreve inn anleggsbidrag må nettselskapet gjøre dette ved alle nye nettilknytninger og ved alle kundeutløste nettforsterkninger. Et av formålene med anleggsbidraget er å synliggjøre kostnader nettselskapet har ved forsterkning eller tilknytning av nettet. § 17-5 gir nettselskapet rett til å kreve inntil 100% av de nødvendige anleggskostnadene som kunden(e) utløser ved nye nettilknytninger eller forsterkninger i eksisterende nett.<sup>120</sup>

## **Betaling for endring av nettanlegg**

Nettselskapet kan ta seg betalt for merkostnadene forbundet med endring av nettanlegg av den som ber om endringer i nettet. Endringer kan for eksempel være å flytte en nettstasjon eller ønske om å legge luftledning i bakken. Nettselskapet har i utgangspunktet en rett til å la nettet stå slik det står, så lenge det holdes i forskriftsmessig stand. Dersom endringer medfører at eldre komponenter skiftes ut i nettanlegget med nye blir dette sett som reinvesteringer i nettanlegget. Reinvesteringer skal ikke belastes enkeltkunder, men dekkes gjennom nettleien nettselskapet fakturerer alle kundene. Derimot kan nettselskapet belaste kunden om oppgraderingene blir gjort tidligere enn nødvendig. Dette kalles fremskyvningskostnader.<sup>121</sup>

### **5.1.2 Kabelgrøft**

Jernbaneverket har egne krav i forhold til utførelse av kabel i grøft, men viser også til FEF(høyspenningskabler) og NEK EN 50174-3(telekabler). I forbindelse med kabelgrøft skal kabler legges i minimum 0,5 meter dybde. Unntaksvis kan kabler legges i en dybde på 0,3 meter, men da kreves det beskyttelse med plastrør, plastplater eller tilsvarende. I tillegg vises det til REN-blad 9000 for grøftedimensjoner, skille mellom kabler, krav til fyllingsmasse m.m.<sup>124</sup>



Figur 58 - Krav til kabelgrøft over 0,4m<sup>122</sup>

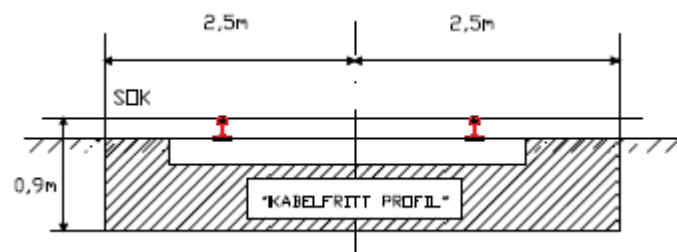
Figur 58 viser krav til ledningsforlegning i grøft frem til tilknytningsskap med overdekning på minimum 0,4 meter. For spesielle tilfeller kan kabler bli lagt på fjell og lignende og ha mindre avstand enn 0,4 meter. Da skal kabler beskyttes med sterke halvør eller tilsvarende. Kabler kan også legges i kabelkanal med lokk og lignende uten jordoverdekning. Felles for alle forlegninger i kabelgrøft er at det må være avtalt og godkjent med netteier.<sup>122</sup>

Det finnes flere metoder for kabelforlegging i grunne grøfter. Ren-bladet 9008 beskriver følgende metoder:

Krav til overdekning	LS kabel	HS kabel
Sterke plastrør	0 m	Ikke akseptert
Sterke stålrør. Hel eller halvør.	0 m	0 m
Betongkanal med lokk	0 m	0 m
Plasstøpt betongkanal.	0 m	0 m

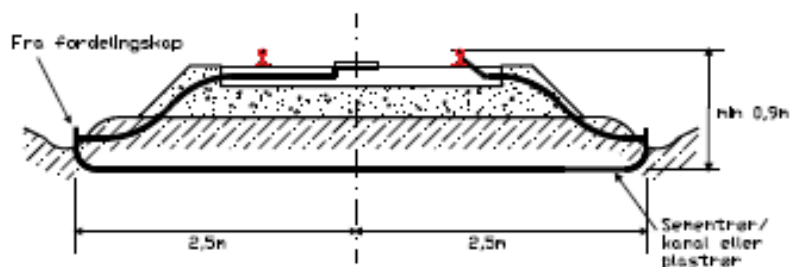
Figur 59 - Krav til overdekning LS og HS kabler<sup>123</sup>

All kabelkryssing av spor skal skje utenfor kabelfritt profil. Kabelfritt profil omfatter kabler og alle former for kabelbeskyttelse. Dette er fastsatt til 2,5 m ut til hver side for spormidt og ned til en dybde av 0,9 m under skinneoverkant (SOK), se figur 60.

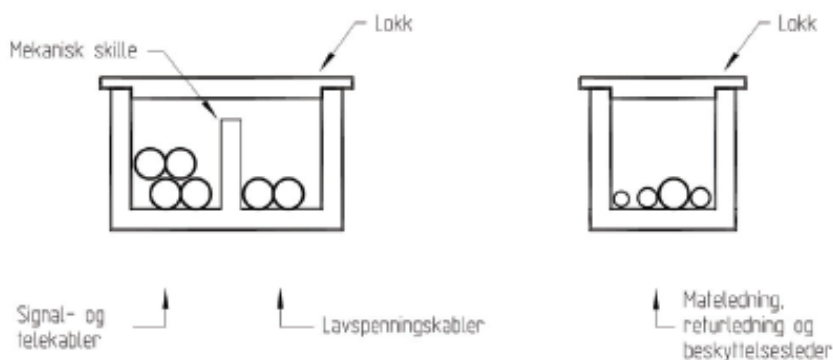


Figur 60 - Kabelfritt profil<sup>124</sup>

Unntak finnes for utstyr som må tilkoples i eller tett ved sporet. Da er det et alternativ å legge slike kabler med ekstra beskyttelse og lignende som i figur 61. For ballastfrie spor er bestemmelsene for kabelfritt profil ikke relevante.



Figur 61 - Kabelforlegging inn mot spor<sup>124</sup>



Figur 62 - Eksempel på tillatt konfigurasjon for kabelkanal<sup>124</sup>

### 5.1.3 Dokumentasjon

Om det skal legges kabel må det utarbeides følgende dokumentasjon i Jernbaneverket for å få planene godkjent: <sup>124</sup>

Det skal bli utarbeidet en felles kabelplan og føringsveier i en felles tegning som da skal inneholde alle de elektrotekniske områdene. Omfanget av dokumentasjon skal minimum inneholde kabelplassering, type føringsvei, kabeltrase og kabeltype. Dokumentasjonen på kabeltype skal også inneholde merking av kabler, kabelidentitet og kabelskjøter.

Det skal også utarbeides en geografisk dokumentasjon som angir kabeltraseen med avstand til sporet og andre fastmerker (bygninger, fundamenter etc.) i kart. Høyspenningskabler i nærheten av trasen skal være dokumentert i snitt-tegningene. Ved kryssing av spor skal det tegnes inn og angis med kilometeravstand. Føringsveien skal angi dimensjoner og antall på grøfter, kanaler og rørgater. Ved en avgreining eller stor endring av traséretning skal det lages snitt-tegninger. Traseer skal også stedfestes med GPS-koordinater før overdekking.

### 5.1.4 Pris

Ifølge Bente Langeland Roheim, prosjektleder ved Jernbaneverket i Trondheim (personlig epost 30.03.2016) varierer prisene for legging av kabel mellom ca. 150 kr/m og opp mot 300-350kr/m. Prisvariasjonen er avhengig av jordsmonn, terrenget, forlegningsmetode og det lokale el-nettet.

Tabell 17 - Priseksempler på kabellegging

Lokasjon	Installasjon	Kostnad (NOK)
Trettnes bp.	700 meter ny EX 50 i terrenget. Kabel fra stolpe til inntak	200 000,-
Røkland st.	Ny inntakskabel fra trafokiosk ca. 100 m TFXP150	32 000,-
Rognan st.	Må legges ny kabel fra trafo, ca. 270 m totalt TFXP 150	45 000,-
Setså bp.	Ny inntakskabel fra Luftlinje. Ca. 70 m.	10 000,-

### 5.1.5 Vurdering av løsning

Kabeltilknytning er den beste løsningen for brytere der det finnes lokale strømnnett i nærheten. Tabell 17 viser priser på legging av kabel over utvalgte avstander. 100 meter TFXP150 lagt ved Røklund stasjon fra trafokiosk ga en kostnad på ca. 32 000NOK. Et annet tema er strømregning. I manøvermaskiner forsynt fra 50Hz-nett finnes det flere komponenter som drives kontinuerlig. Varmeelementet skrus på ved temperaturer under 5°C, og RTU og styringssystem har kontinuerlig trekk gjennom hele året. Dette gir et statistisk energiforbruk på rundt 200kWh/år, og en medfølgende forbrukskostnad på rundt 200 NOK pr. manøvermaskin (1kr/kWh).

## 5.2 Spenningstransformator koblet på KL-anlegg

Under seminar 12.02.16 i regi av Jernbaneverket, ble det presentert en alternativ løsning for forsyning av brytere. Dette er et pilotprosjekt hvor en spenningstransformator henter effekt fra KL-anlegget.

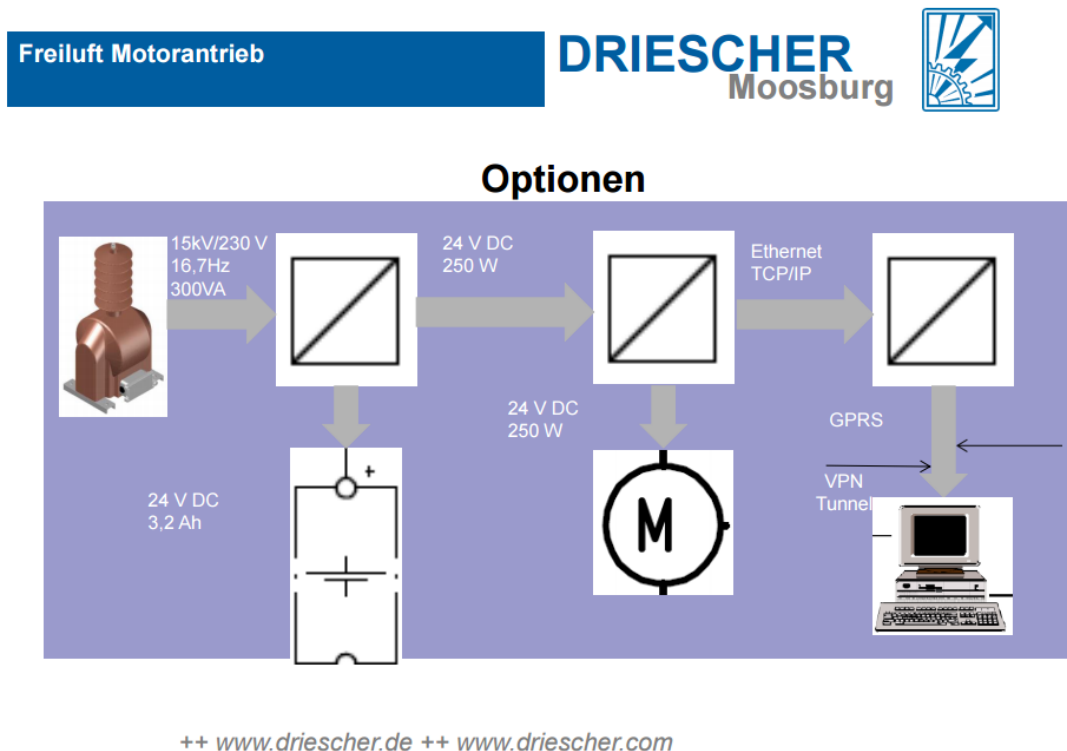
Trafoen skal transformere ned spenningen fra 15kV til 110V. Deretter likerettes spenningen, da motoren i manøvermaskinen skal driftes ved 24V DC. Skapet inneholder også et bufferbatteri. Kapasiteten til dette er lavt, men skal ved bortfall av strøm i KL-anlegget fungere som en nød-forsyning. Det er et signalsystem som skal vise stillingen til bryteren ved behov. Tilkoblingen av slike transformatorer betegnes som hjelpestrømforsyning i teknisk regelverk.

Det som er spesielt i denne situasjonen er at spenningstransformatoren benyttes til å forsyne en liten last. Bruksmetoden er for første gang aktuell for Jernbaneverket, men internettider viser at bruk av spenningstransformatorer til levering av hjelpestrøm er vanlig, forutsett at lasten er liten.

Videre er det med tillatelse gjengitt epostsamtaler som Frank Martinsen har hatt med leverandører. Det er plukket ut relevante opplysninger som belyser problemstillingen.



Konseptløsning fra Driescher Moosburg for å løse energiforsyning til brytere:



Figur 63 - Konseptløsning ved bruk av trafo på KL-anlegg

Ønskede spesifikasjoner:

- Omsetningsforhold: 15000/110V
- Frekvens: 16 2/3 Hz
- Ytelse: 200 - 500 VA
- Miljø: Utendørs
- Last: Likeretter
- Måleklasse og nøyaktighet: Av underordnet betydning
- Vekt og fysisk dimensjonering: Spenningstransformatoren er tenkt plassert oppe i en kontaktledningsmast, og må derfor ikke være så tung at masta ikke kan bære den. Ønskelig at spenningstransformatoren kan monteres ved hjelp av håndmakt.

### 5.2.1 Pris og spesifikasjoner

Frank Martinsen har kontaktet flere leverandører av spenningstransformator. Pris er oppgitt per stk. ved bestilling av 200stk:

#### **TWB AG Transformatoren + Wandlerbau**

Tabell 18 - Transformatorspesifikasjoner, TWB AG

Type	Outdoor medium voltage Voltage transformers Type VFE Single-pole
Frekvens	16 2/3 Hz
Ytelse	300 VA
Ratio	15000/110
Vekt	55 kg
Garanti	24 måneder
Pris	720,00 euro + Transportutgifter + mva.

#### **Arteche (energia)**

Tabell 19 - Transformatorspesifikasjoner, Energia

Type	VRS-36 17,5 kV spenningstransformator Cast resin for outdoor service 2 poles
Frekvens	16 2/3 Hz
Ytelse	500 VA
Spenningsfaktor	1,5*Un – 8 timer
Ratio	15000/110
Vekt	90 kg
Garanti	24 måneder fra idriftsettelse, maksimum 30 måneder etter levering fra fabrikk
Pris	15.600 NOK, levering Oslo inkl. miljøgebyr men ekskludert mva.

## Ritz international

Tabell 20 - Transformatorspesifikasjoner, Ritz International

Type:	Outdoor Voltage Transformer Cast Resin insulated Single- Pole/Single-phase Type GSEF 30
Frekvens	16 2/3 Hz
Ytelse	300 VA
Spenningsfaktor	1,5*Un (30 sekunder)
Ratio	15000/110
Vekt	80 kg
Garanti	36 måneder
Pris	2.492,- Euro + frakt fra Østerrike ca. 488,- Euro

### 5.2.2 Vurdering av løsning

Jernbanekompetanse sier dette om trafo på KL: «Reservestrømstransformatoren må være spesielt godkjent for tilkobling til 16 2/3 Hz og må tåle den relativt store spenningsvariasjonen i kontaktledningsnettet. Reservestrøms-transformatoren skal være permanent tilkoblet kontaktledningsanlegget. Kontaktledningsanlegget er en ustabil strømforsyning, uten varsel om utkobling.»<sup>125</sup>

Ut fra dette er trafo tilkoblet KL-anlegg et fullverdig alternativ, men tolkes som om det bør unngås om mulig. Systemet utrustes med et 24V bufferbatteri på 3,2Ah (76,8Wh), i tilfelle strømbrudd på kontaktledning. Ved strømbrudd i KL-anlegg vil varmeelementet i tenkt skap også koble ut. Styrestrømskjema viser at elementet er koblet direkte på trafo, og ikke via bufferbatteri. En eventuell utkobling i vintermånedene kan medføre kondensering i skap og irring på tilkoblinger og kontakter. Pakninger kan fryse og bli ødelagt eller svekket. Smøringen til drev og tannstang vil bli seig og kan gjøre det vanskelig å manøvrere bryteren.

En transformator montert i mast vil medføre større installasjonskostnader enn montering av solcellepanel i mast. Transformatorvekt vil i dette tilfellet variere fra 55kg-90kg, som vil medføre mer omfattende montering. Kostprisen per transformator strekker seg fra ca. 10 000 NOK til ca. 29 000 NOK eks. mva. per transformator ved bestilling av 200 stk. Det må også bestilles likeretter og bufferbatteri i tillegg til de ordinære komponentene som uansett er nødvendig. Som nevnt over av Jernbanekompetanse er det store spenningsvariasjoner på KL-ledningen, og dette vil forplante seg på sekundærsiden av trafoen. Dette medfører at det blir stilt krav til regulatoren som skal forsyne systemet.

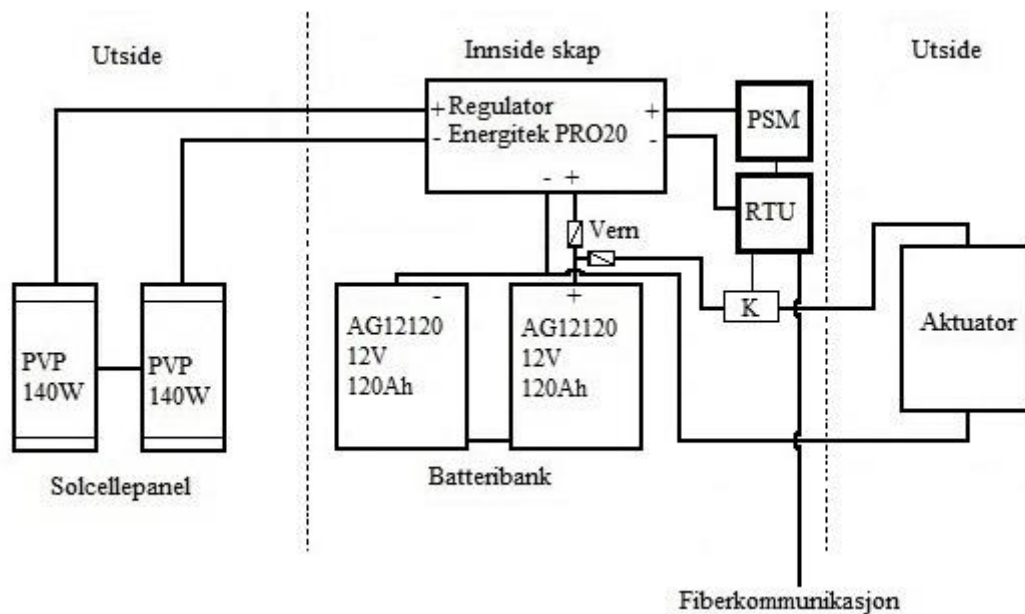
## 6 Desentralisert strømforsyning

Det er kommet frem til en løsning basert på vurderinger i kapittel 4. Den beste løsningen i dette tilfellet, vil være å forsyne manøvermaskinen med solenergi. Solceller har en begrensning i form av hvor mye effekt de leverer. Det er derfor viktig å effektivisere alle komponentene som skal forsynes. Særlig er det et problem med at dagens skap er utstyrt med et varmeelement som er forbundet med kontinuerlig energiforbruk gjennom vinterhalvåret. Det er derfor sett på en løsning som gjør at varmeelementet kan fjernes. For å sikre stabil tilførsel gjennom hele året er det viktig å dimensjonere batteribanken riktig. Det er vintermånedene som er mest kritisk da det er lav eller ingen produksjon. Det er også sett på bruk av programmering av komponentene for å få forbruket redusert.

Strømforsyning med solcellepaneler skal utformes etter NEK 400:2014. NEK 400-7-712 © NEK:2014 omhandler solcelleanlegg.

### 6.1 Solcellepanel og batteribank

Solcellepanel, batteribank og styringssystem kobles direkte på spenningsregulator, se koblingsbilde i figur 64. Det er valgt å bruke en aktuator som erstatter det ordinære systemet. Aktuatorens plasseres på toppen av skapet, direkte koblet til staget som manøvrerer bryteren. Ut fra vurderinger ses dette på som en nødvendig omlegging om det ikke skal benyttes varmeelement. For manuell manøvrering av bryteren, kan staget frakobles. Dette løses ved å bruke en låsebolt med nøkkel. Aktuatorens skjermes av metallgods på sidene og delvis på toppen for å gjøre den utilgjengelig for uvedkomne.



Figur 64 - Oversiktsskjema system<sup>126</sup>

Som leverandør av solcelle, batteribank og regulator benyttes det lokale firmaet Getek. Videre i delkapitlet vil det bli redegjort hvilke valg som har blitt tatt i forhold til konfigurasjon av solcelleanlegget.

### 6.1.1 Komponenter

#### Solceller

To stk. seriekoblede Solartek PVP140. Maks total ladeeffekt: 280W. Det er valgt å gå for to stk. av denne typen for å sørge for nok ladeeffekt gjennom vintermånedene. Solcellene monteres med 72° tilt. For utfyllende informasjon henvises det til vedlegg nr. 6.

Tabell 21 - Solartek PVP140 spesifikasjoner

Effekt per panel	140W <sub>p</sub>
Dimensjoner. LxBxH [mm]	1480x680x42
Vekt	11 kg
Solceller pr. modul	36
Type celler	Multikrystallinsk
Virkningsgrad	13%

## Regulator

Valgt regulator er Energitek PRO20. Dette er en kompakt regulator for både solcellepanel og forbruk. Automatisk lastkontroll, som kobler ut forbruk før batteri blir utladet. Forbruket kobles automatisk inn igjen når batteriet nærmer seg fulladet. Elektronisk sikret mot overbelastning og feilkobling. Regulatoren overvåker systemet slik at korrekt ladespenning blir tilført batteriet. For utfyllende informasjon henvises det til vedlegg nr. 5.

Tabell 22 - Energitek PRO20 spesifikasjoner

Maks. ladestrøm	20A
Nominell spenning	24V
Spenning vedlikeholdslading	28,8V
Egenforbruk	8-10mA
Dimensjoner. LxBxH [mm]	152x55x34
Vekt	230 gram

## Batteribank

Det skal installeres to stk. seriekoblede Suntek AG12120. Total kapasitet på batteribank: 120Ah/2,88kWh ved 24V. For utfyllende informasjon henvises det til vedlegg nr. 7.

Tabell 23 - Suntek AG12120 spesifikasjoner

Kapasitet	120Ah
Dimensjoner. LxBxH [mm]	406x174x208/236
Vekt	36 kg
Spenning	12V

### Kjennetegn på Suntek-batterier:

- Spesielt gode egenskaper til stasjonær og syklisk drift
- Batterikassen er produsert i halogenfri plast som utvikler vanndamp ved oppvarming eller brann. Dette gir høy varmetoleranse og brannhemmende effekt
- Vedlikeholdsfritt, etterfylling av væske ikke nødvendig
- Ingen syre, knallgass eller eksplosjonsfare
- Lav selvutladning
- Konstruert for å tåle kortslutningsstrømmer på hele 15-25 x batteriets kapasitet uten å ta skade
- Tåler mange opp- og utladninger
- Tåler å fryse
- Lang levetid. 10 års garanti og 15 år gjennomsnittlig levetid
- Kan monteres horisontalt eller vertikalt
- Klassifisert som ufarlig gods ved transport med bil, tog og fly

### **Aktuator**

Det er ut fra vurderinger valgt å erstatte motor og utveksling i ordinært skap med en lineær aktuator som plasseres på utsiden av skapet. Denne har lik oppbygning som aktuatoren i manøvermaskinen, bortsett fra at motor, utveksling og stag er plassert i én og samme innkapsling. Aktuatoren er designet for bruk utendørs i nordisk klima, og innkapslingen tilfredsstillende kravene for IP68. For utfyllende informasjon henvises det til vedlegg nr. 9.

Aktuatoren må tilfredsstillende følgende krav i *Teknisk spesifisering for manøvermaskin*<sup>1</sup>:

- Maks. manøvreringstid mellom endeposisjoner: 2 sekund
- Nominell vertikal kraft: 3300N. Maksimal vertikal kraft: 4100N
- Vertikal slaglengde: 120mm



Aktuatoren leveres av Betamo i Norge. Betamo har i samarbeid med MecVel sendt over spesifikasjoner og pris på en aktuator som tilfredsstiller kravene. Betamo tilbyr en spesialdesignet versjon av MecVels Ali4-aktuator.

Tabell 24 - Merkeverdier for MecVel Ali4

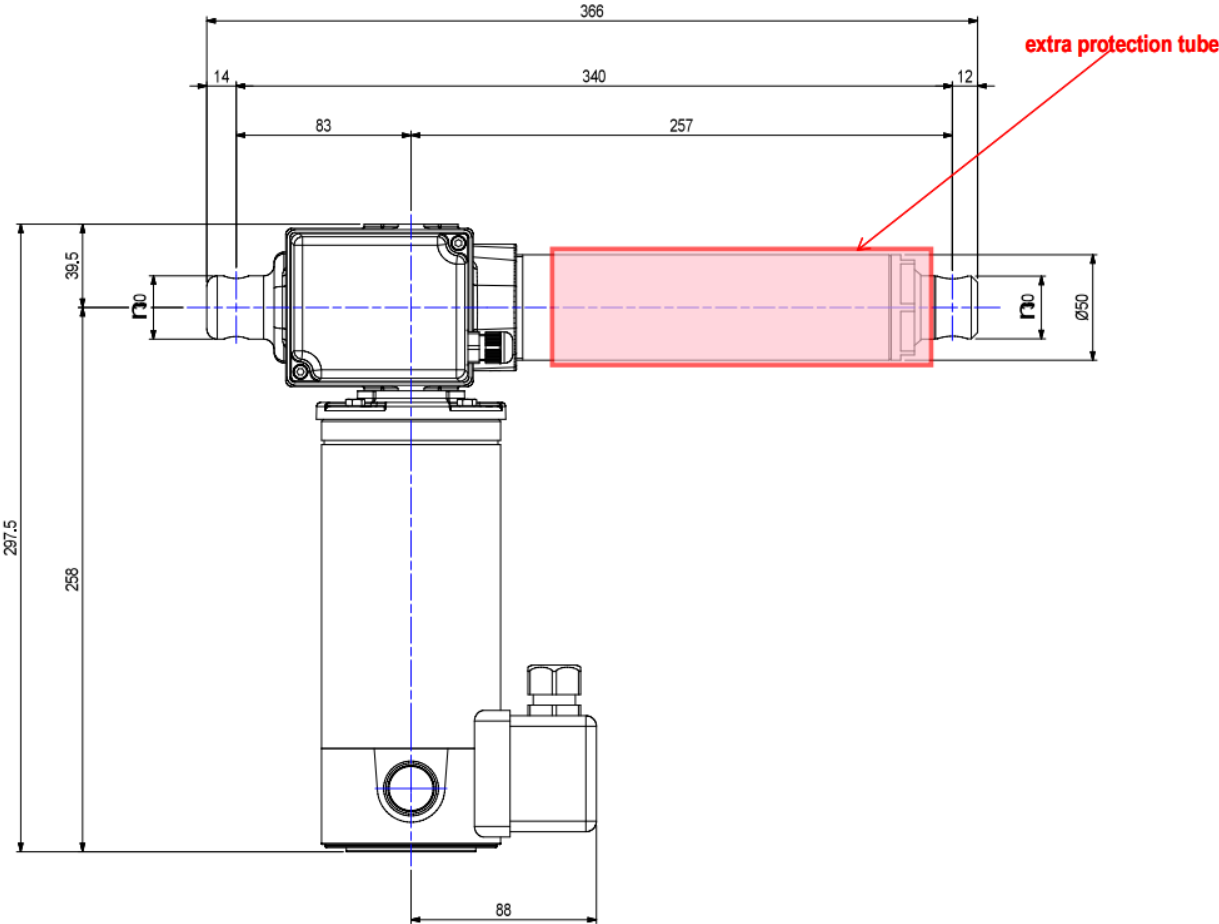
Modell	ALI4-VRS-F/0150/M00/1:4-20x5/CC-24-MPT-3000/M0/2FC2/FC1/PI/A1/DRG
Merkespenning ( $U_N$ )	24V DC
Temperaturområde	[-40°C, +50°C]
IP-grad	IP68

I figur 65 vises dimensjoner for aktuatoren. Dette er en vedlikeholdsfri komponent, hvor smøring og justering etter produksjon ikke er nødvendig. Aktuatoren består av en DC-motor i kombinasjon med et høyeffektivt drivverk. Dette omdanner elektrisk energi til lineær mekanisk energi. Komponenten er helt selvstendig og krever minimalt med monteringsarbeid. Aktuatoren leveres med følgende utstyr for å takle temperatur- og omgivelseskravene:

- Kuleskrue, grunnet krav til høy hastighet ved stor last
- Spesialsmøremidler i drivverk
- C3-lager
- Specialbrytere
- Specialtetninger
- Beskyttelsestube i aluminium for beskyttelse mot snø og is
- Motor som er spesialdesignet for å ivareta kraftbehov ved lave temperaturer
- Utvendig overflatebehandling basert på utendørs montering med forholdsvis ekstreme omgivelser

Betamo har referanser fra tidligere prosjekter i Norge med lignende krav og spesifikasjoner. Aktuatoren vil være i stand til å utføre oppgaven den er ment å gjøre under selv de mest ekstreme forhold som kan oppleves i Norge. Aktuatoren er utstyrt med endebrytere som signaliserer om bryteren er koblet inn eller ut. Dreieretningen til motoren bestemmes av

polariteten på tilført spenning. To kontaktorer kobles slik at de driver motoren i hver sin retning. Disse er plassert inne i skapet.



Figur 65 - Dimensjoner MecVel Ali4<sup>127</sup>

## Prisanslag

Prisanslaget er hentet etter personlige epostvekslinger med Getek og Betamo Norge.

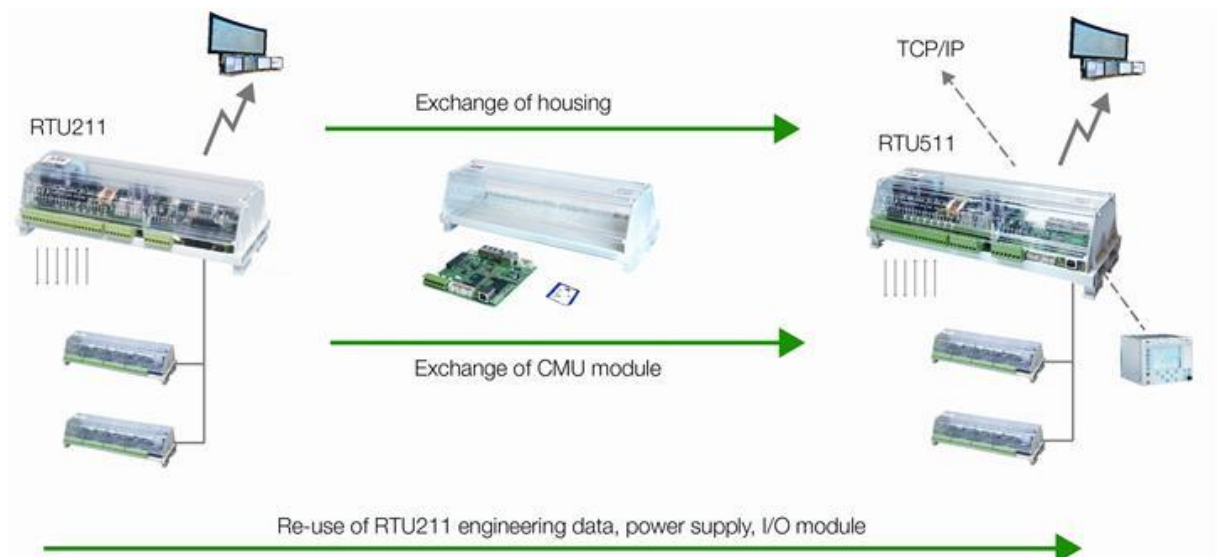
Tabell 25 - Prisforslag

Prisanslag (eks. mva. og frakt)			
Komponent	Type	Stk.	Pris pr anlegg. (NOK)
Batteri	Suntek AG 12120, (120Ah)	2	3 500,-
Solcelle	Solartek PVP 140 Watt solcellemoduler	2	3 525,-
Regulator	Energitek PRO 20, 24VDC	1	1 339,-
Aktuator	MecVel Ali4	1	12 270,-
Totalt			27 659,-

Ved bestilling av 200 stk. kan prisen reduseres med cirka 30-35%. Dette er grunnkomponentener som trengs. Fester og montering er ikke tatt høyde for. Det mest praktiske og rimeligste er at Jernbaneverket selv sørger for passende montasje med tanke på hvor utstyret skal stå.

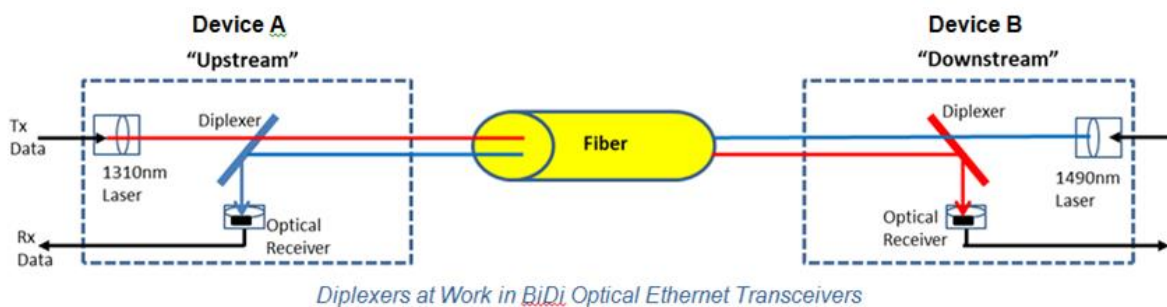
### 6.1.2 Styring og kommunikasjon

RTU 211 er per dags dato det systemet som brukes. Det er kommet en etterkommer til dette systemet som heter RTU 511. Dette systemet erstatter det gamle, uten store endringer eller utskiftninger. Det er kompatibelt med eksisterende kretskort som er levert til RTU 211. Denne skal brukes til styring av manøvermaskinen.



Figur 66 - RTU 211 til RTU 511<sup>128</sup>

## Kommunikasjon

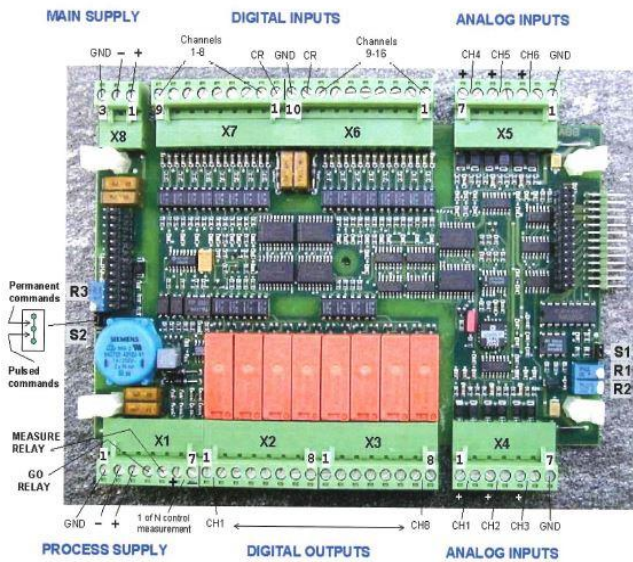


Figur 67 - Optisk transceiver<sup>129</sup>

Kommunikasjonen skal gå gjennom fibernettet. Dette ble nevnt som et av funksjonsønskene til JBV i møte 04.04.16. I figur 67 er det beskrevet hvordan fibermodulen kommuniserer via foto-detektorer. Dette er en transceivermodul, som sender og mottar signaler i form av «lyspakker». Kommunikasjonsmodulen i RTU 511 fungerer på samme måte.

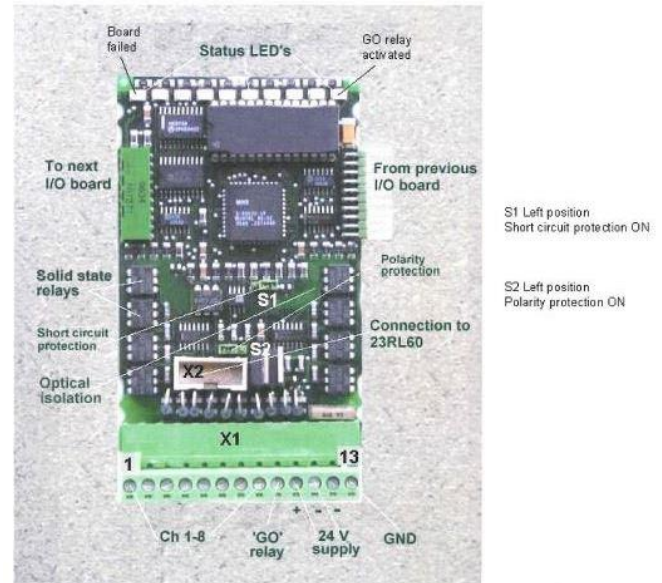
## Programmering og PSM

Powersave-mode er på norsk effektsparingsmodus. Det har som oppgave å forhindre unødige effekttrekk. Forslaget til løsning på dette er illustrert på tegningene under. Det skal realiseres med å bruke releene på kretskortet 23BO61 som bryter strømmen til kretskort 23IO96.<sup>130</sup>

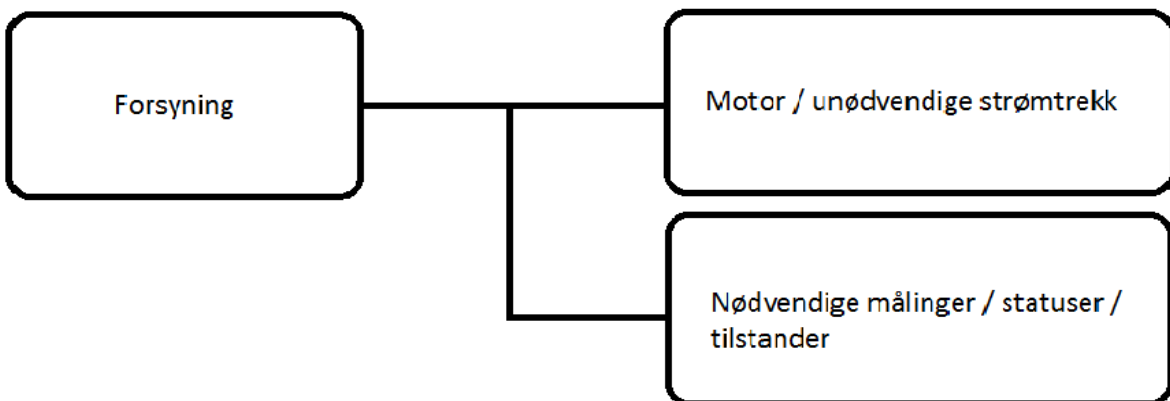


Figur 68 - Kretskort 23IO96<sup>130</sup>

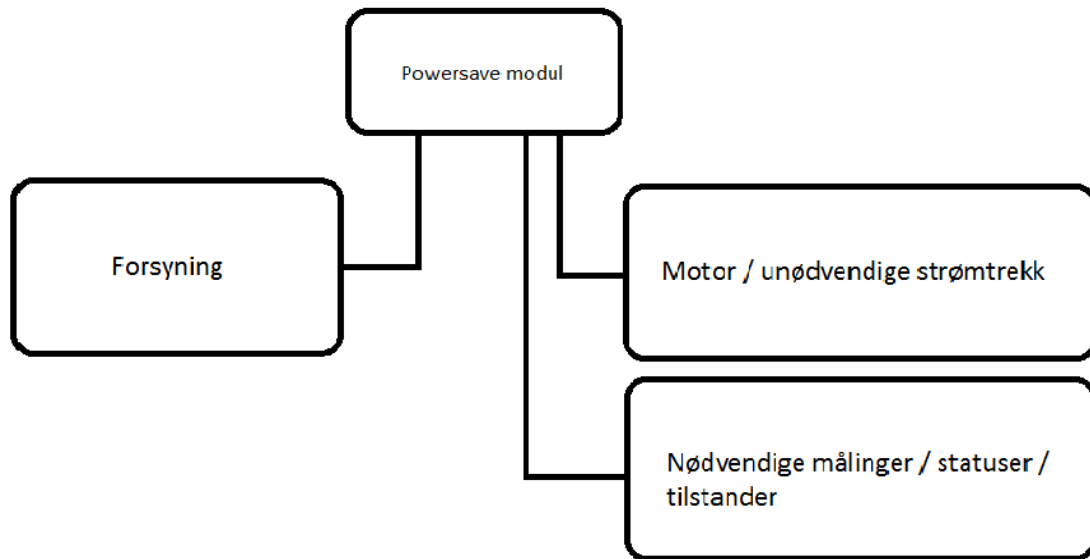
### 2.2.9 23BO61, Digital output board with solid state relays



Figur 69 - Kretskort 23BO61<sup>130</sup>

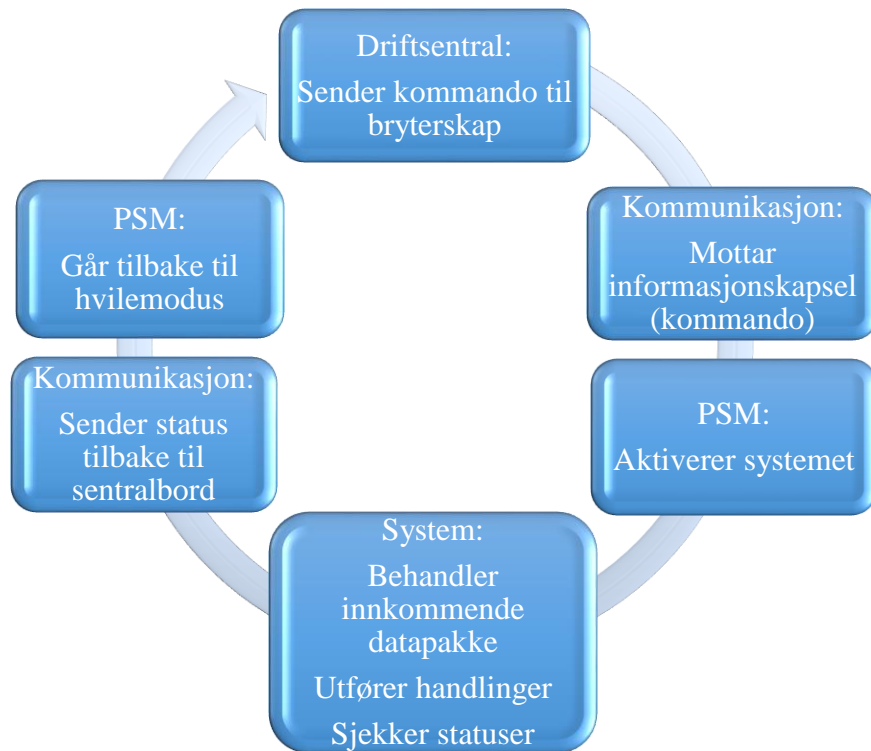


Figur 70 - System uten PSM



*Figur 71 - System med PSM*

Mange av funksjonene som systemet er avhengig av må programmeres. Programmeringen må inneholde visse komponenter for at dette skal være driftssikkert og opprettholde lang levetid. Det er illustrert en tenkt manøvrering av bryteren fra overvåkningsentralen i figur 72.



Figur 72 - Tenkt systemfunksjonalitet ved manøvrering

Det kan utføres flere målinger når systemet er aktivt. Poenget er at disse utføres kun når systemet er aktivert av PSM-modulen. Det er også tenkt at det skal være en strøm- og spenningsmåler på batteriet med i systemet. Denne knyttes opp mot RTU så operasjonssentralen får varsling om batteritilstanden ved kritiske verdier.

Status som blir sendt tilbake til operasjonssentralen inneholder:

- Bryterstatus
- Batteritilstand
- Lokal overstyring
- Temperatur
- Vern-tilstander

### 6.1.3 Skapløsning

I følge NEK 400-522.31 settes det krav til at valgt og montert utstyr ikke skal ta skade av kondensering og inntrengning av vann. Det ferdige monterte ledningssystemet skal tilfredsstillere kravene til beskyttelsesgrad (IP-grad) på det aktuelle stedet. NEK 400-522.32 sier at der samling av vann og innvendig kondens kan opptre i et ledningssystem, skal det iverksettes tiltak for at dette kan ledes vekk.

Som vist i utregningen i kapittel 4.4 vil et varmeelement kreve rundt 180kWh/år, noe som vil resultere i at batteribanken hadde blitt alt for stor. I praksis ville da batteribanken blitt dimensjonert etter varmeelementet og ikke selve systemet. På bakgrunn av en totalvurdering med kostnad, størrelse og generelt omfang av systemet, forkastes varmeelementet. Som nevnt over i kap.6.1 skal aktuatoren flyttes ut av skapet, og det vil lengre ikke gå bevegelige deler inn og ut av skapet. Dette var en viktig beslutning, da pakningen rundt staget var en svakhet som førte til fukt og videre kondens. Ut ifra krav fra NEK 400 og vurderinger gjort i kap.4.4 og over er det valgt å gå for et ordinært skap med ventilasjon, som har IP-grad 65. Styrings- og kommunikasjonsenhet, i tillegg til brytere, kontaktorer og annen elektronikk skal tåle temperaturer som strekker seg fra -40°C til +50°C.

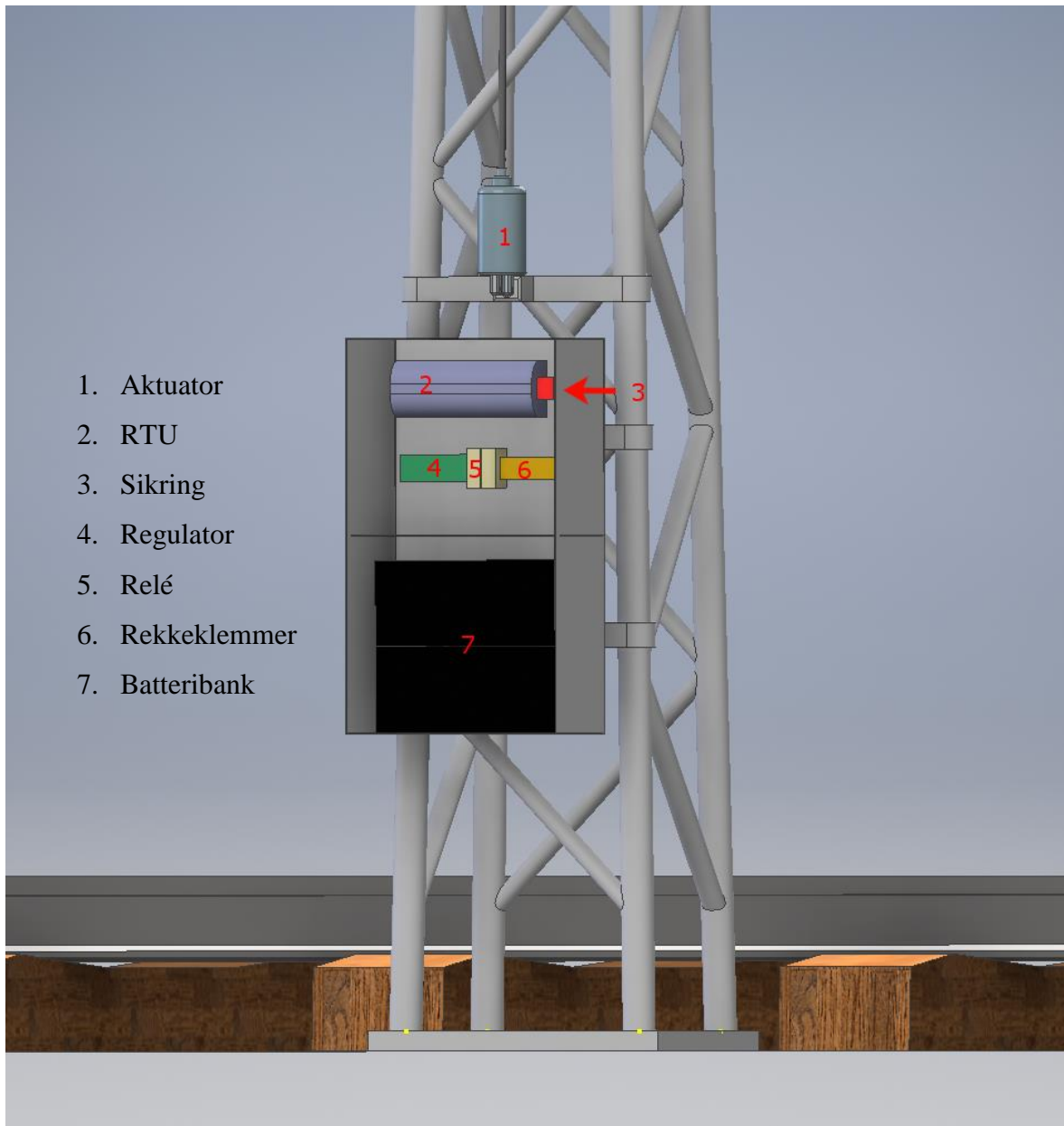


Figur 73 - PolyVent High Airflow<sup>131</sup>

#### **Ventiler**

2 stk. PolyVent, type PMF100585 ventiler er montert for å hindre kondens i skapet. Pris per stk. 75,50,- NOK. For utfyllende informasjon henvises det til vedlegg nr. 10.





*Figur 74 - Illustrasjon av skapløsning*

Figur 74 viser en illustrasjon på hvordan skapet skal se ut. For konkrete dimensjoner på henvises det til vedlegg nr. 8.

#### 6.1.4 Plasseringsforhold

Forsyningsaktuelle bryterne skal plasseres ved ca. hver 5. km. togstrekning, etter togstasjoner. Dette gjør at plasseringen bestemmes av hvor strekningen går og ikke av den elektriske forsyningen. Særlig er solceller avhengig av lokasjon og eksterne forhold for å kunne levere elektrisitet.

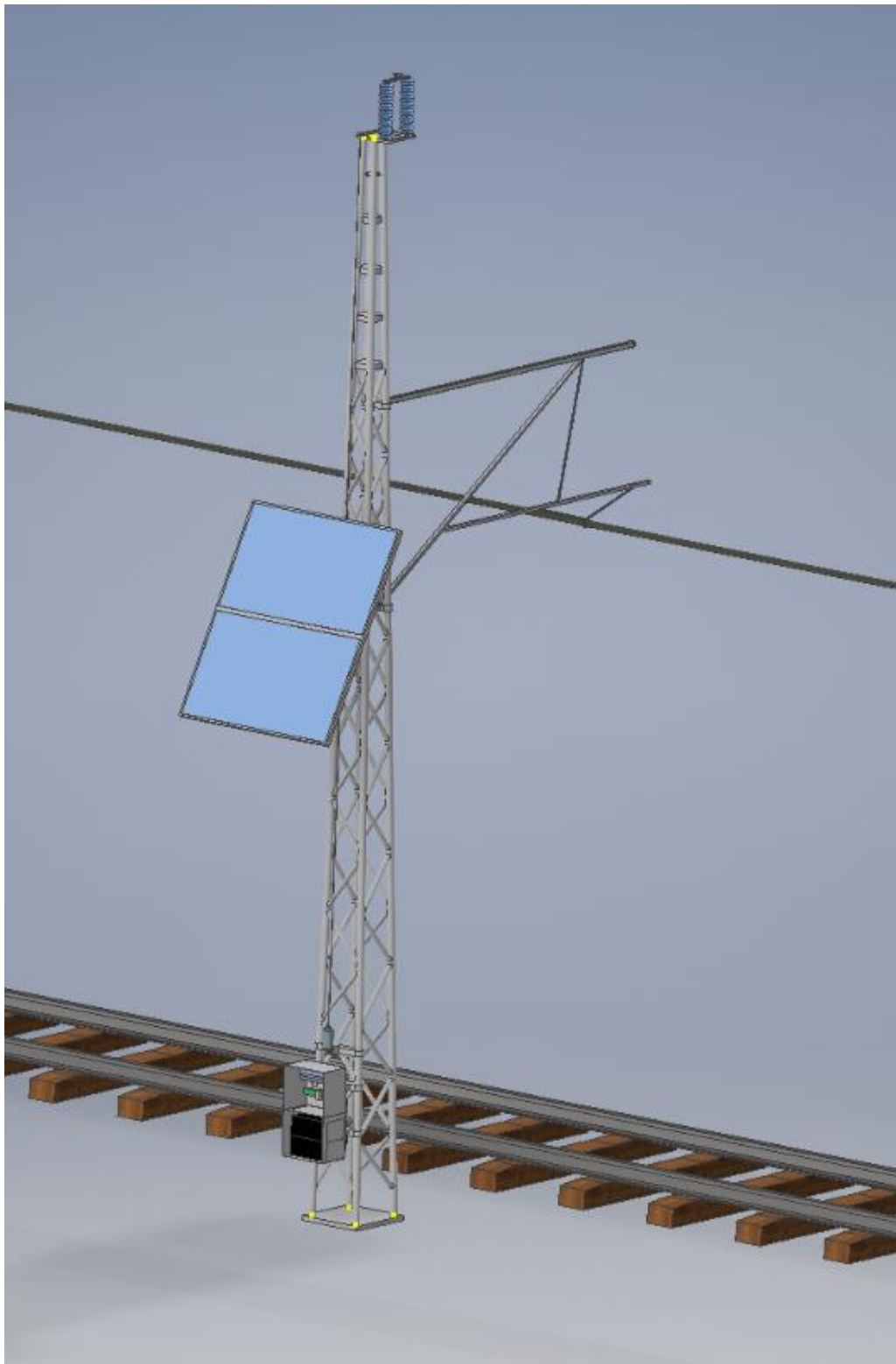
Solcellepanelet plasseres i KL-mast. Retning og helning er avhengig av geografisk lokasjon. Iht. FEF06 er følgende sikkerhetsavstander gjeldende for plassering av spenningsledende deler i nærheten av KL:

Avstand fra høyspenningsdeler i kontaktledningsanlegget til spesielle jernbanetekniske konstruksjoner:

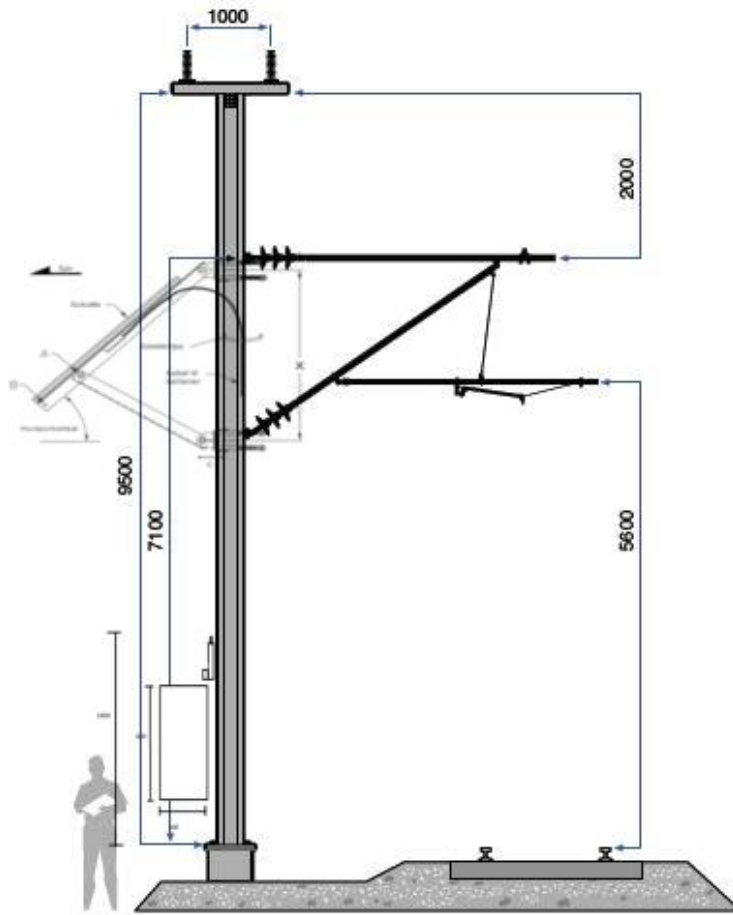
*Bygningskonstruksjoner som plattformtak o.l. eller små byggverk/kiosker eller skap der mennesker normalt ikke kan oppholde seg og som er en naturlig del ved jernbanedrift, tillates bygd nærmere enn 5,0 m fra spenningsatte høyspenningsdeler. Slike konstruksjoner skal utformes slik at tilgang ved klatring eller lign-ende vanskeligjøres og skal utrustes med advarselskilt.<sup>132</sup>*

I henhold til forskriftene kan solcellen(e) plasseres i toppen av mast, i motsatt ende av utligger og KL, se figur 75. Dette sørger for optimal soleksponering, samt at solcellepanelene blir gjort utilgjengelig for uvedkomne. Solcellepanelene festes slik at de er mest mulig motstandsdyktig for vind og turbulens fra forbipasserende tog. Det er hensiktsmessig å ha spiss vinkel på helningen, slik at snø enkelt kan renne av. Kabler føres ned fra solcellen og inn til skap via mast. Aktuator plasseres utenfor skap nederst ved mastfundament. Dette sørger for enkel tilgang ved vedlikeholdsarbeid og eventuelle feil som kan oppstå.

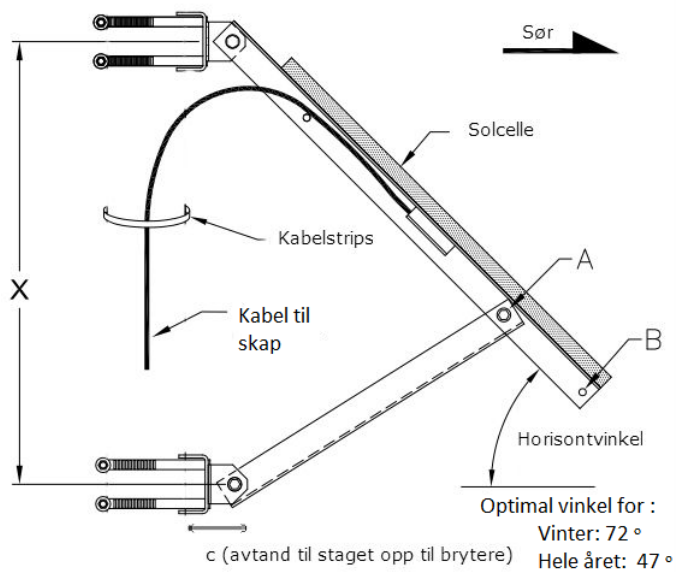
### 6.1.5 Skisse av anlegg



*Figur 75 - AutoCAD-skisse av anlegg*



Figur 76 - Skisse over avstander



*X* Avstand mellom fester på mast.

*C* Avstand slik at staget kan opereres til brytere

*A* og *B* Monteringsfester for å oppnå ønsket vinkel på solcelle

Optimal vinkel for :  
Vinter: 72°  
Hele året: 47°

Figur 77 - Skisse av montering av solcelle

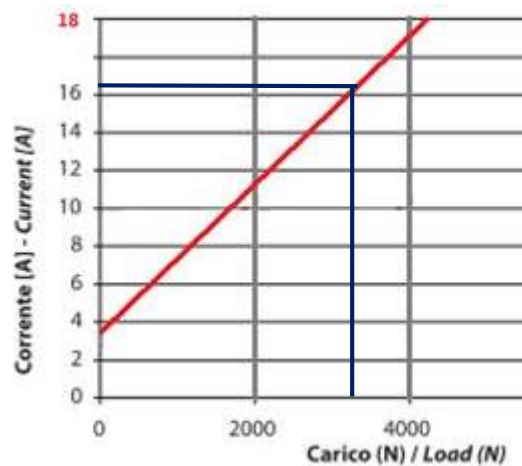
## 6.2 Kartlegging av energibehov

Energi behovet til komponenter i systemet kartlegges i dette delkapittelet.

### 6.2.1 Aktuator

Tabell 26 - Merkeverdier for MecVel Ali4

Merkespenning ( $U_N$ )	24V DC
Driftstid ved innkobling	2 s
Driftsstrøm ved 3300N belastning	16,2 A



Figur 78 - Newton/ampere-kurve for MecVel Ali4

I *Teknisk spesifikasjon for manøvermaskin* er det gitt at manøvermaskinen skal ha en nominell koblingskraft på 3300N vertikalt (inn og ut).<sup>1</sup> Ut fra kurven i figur 78 vil dette tilsvare i overkant av 16,2A driftsstrøm. Ved ekstremt lave temperaturer vil virkningsgrad for motor synke, og smøreolje vil endre viskositet. Dette vil øke strømforbruket med rundt 3-5% ifølge Betamo. Det dimensjoneres derfor etter 17A driftsstrøm (5% økning).

Energibehov:

$$P_{drift} = 24V \times 17A = 408W$$

$$Energibehov_{drift} = 408W * 2s = 816Ws$$

$816Ws \approx 0,23Wh$ , per manøvrering.

For én syklus (inn- samt utkobling) kreves  $0,23Wh \times 2 = 0,46Wh$

Dette gir et statistisk gjennomsnittlig årlig energiforbruk på aktuatoren pr. bryter (9 betjeninger pr. dag):

$$3285 \frac{\text{betjeninger}}{\text{år}} \times 0,46Wh = 1511,1Wh \approx 1,52 \frac{\text{kWh}}{\text{år}} \frac{\text{år}}{\text{bryter}}$$

## 6.2.2 Kommunikasjon- og styringsenhet

### RTU

Tabell 27 - Effektbehov RTU - komponenter

Komponent	Effektbehov [W]
23CP61: Main CPU board	0,8
23IO96: Combined I/O board	5
23FI60: Fibre optical adapter	0,1 (standby) / 0,5 (drift)
23BO61: Digital output board with solid state relays	0,2
23PU62: Power supply unit	0,76
Standby-modus totalt $23CP61 + 23FI60 + 23BO61 + 23PU62$	1,86
Under manøvrering totalt	7,26

Energibehov:

Standby-modus:

$$1,86W \times 8756,35 \frac{\text{driftstimer}}{\text{år}} = 16,29 \frac{\text{kWh}}{\text{år}}$$

Driftsmodus:

$$7,26W \times 3,65 \frac{\text{driftstimer}}{\text{år}} = 27 \frac{\text{Wh}}{\text{år}}$$

### **Spenningsregulator**

Energitek PRO20

Regulatoren vil være aktiv hele tiden. Det dimensjoneres etter maks tap i regulatoren kontinuerlig gjennom hele året. Dette medfører et årlig energibehov på:

$$24V \times 0,01A \times 24 \frac{\text{timer}}{\text{dag}} \times 365 \frac{\text{dager}}{\text{år}} = 2,1 \frac{\text{kWh}}{\text{år}}$$

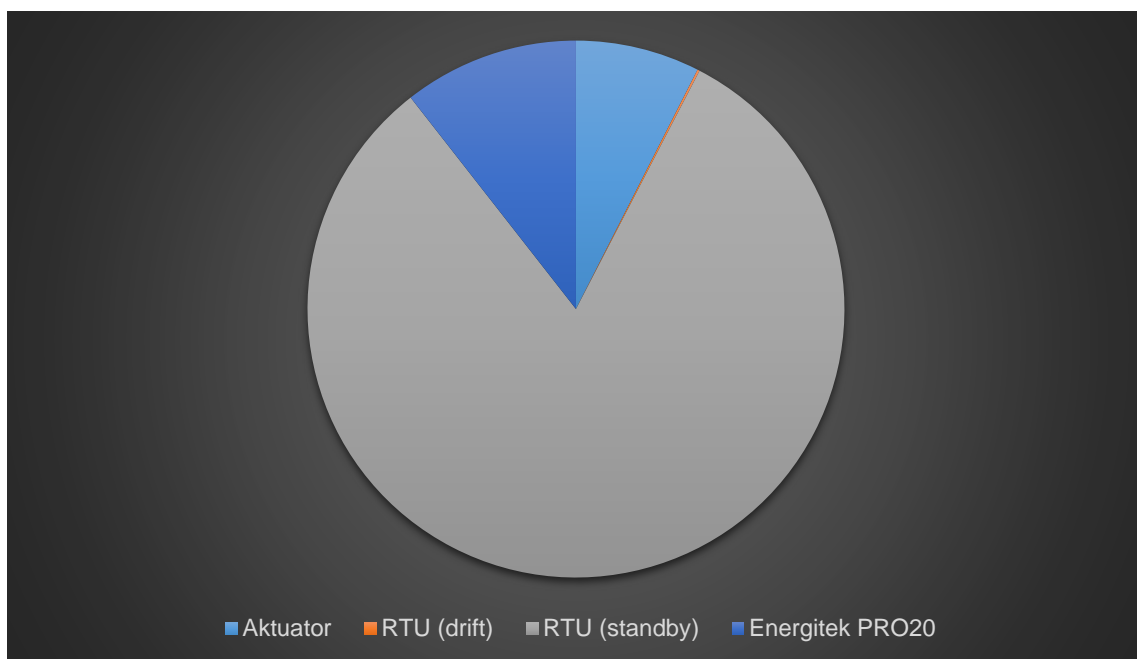
### 6.2.3 Total

Totalt estimert energibehov for komponenter i system pr. år:

Tabell 28 - Totalt energibehov

Komponent	Energibehov/år [kWh]
Aktuator	1,52
RTU (drift og standby)	16,31
Spenningsregulator	2,1
Totalt	19,9

Dette medfører et gjennomsnittlig månedsforbruk på ca. 1,66kWh. For komplette tabeller som viser balanse mellom produksjon og forbruk henvises det til vedlegg nr. 12.



Figur 79 - Grafisk fremstilling av energibehov pr. år



### 6.3 Elektrisitetsproduksjon fra solcelleanlegg

Som besluttet i kap.4.4 er det nødvendig å gjøre simuleringer. For å få en god indikasjon og analyse av det tenkte anlegget er programvaren PVsyst 6.4.2 blitt benyttet. PVsyst er et ledende verktøy innen simulering av solcelleanlegg og resultatene kan evalueres opp mot forskjellige påvirkninger. På grunn av begrensede midler er det kun brukt en prøveversjon av programmet, og av den grunn brukt værdata fra Bodø. Selv om værdataene ikke blir helt korrekte i forhold til Midt-Norge, vil det være en ekstra forsikring siden solforholdene oftest vil være bedre i Midt-Norge enn i Bodø. Alle simuleringer som blir utført er basert på gjennomsnitts- og middelveidier av værdata.

Både orientering og vinkel påvirker produksjonen fra et solcelleanlegg. Det er naturligvis best å orientere anlegget mot sør. Vinkelen avhenger av hvor langt nord solcellen er plassert. Gjennomsnittet av optimal årlig modulvinkel for årsproduksjon er ca. 40° i Norge (38° i Kristiansand, 47° i Tromsø), men ettersom produksjonen er relativt lav på vinteren kan det generelt benyttes en mindre vinkel uten nevneverdige produksjonstap.<sup>133</sup>

Viktige tapsfaktorer som er med i beregningene er snø og temperatur. Det er et neglisjerbart tap i spenningsregulatoren når det ses i sammenheng med snø- og temperaturtap. Det er lite forskning med data for hvor mye tap det blir av snø. Ved Glava Energy Center i Sverige har de opparbeidet erfaringer som tilsier at snø vil smelte og gli av ved 0°C. Tapet er satt til 9,8% i løpet av året. Det er de typiske vintermånedene desember, januar, februar og mars som blir påvirket. Det er gjennomført 4 simuleringer. Forskjellen mellom simuleringene er effekten og vinkling på solcellepanelene. Dette for å synliggjøre hvilken differanse som oppnås med tanke på elektrisitetsproduksjon. Det er valgt å gjøre simuleringer med 2 stk. PVP1250 (50W) og 2 stk. PVP12140 (140W). Etterfølgende tabeller inneholder kun informasjon om produsert elektrisk energi, for komplett simuleringsdokument henvises det til vedlegg nr. 1-4.

Tabell 29 - Produksjon fra 2x50W solcellerack v/47° tilt

<b>Cellemodul: 2 x PVP1250 (50W) 47° tilt</b>	<b>Horisontal global innstråling [kWh/m<sup>2</sup>]</b>	<b>Effektiv innstråling v/47° tilt [kWh/m<sup>2</sup>]</b>	<b>Energi levert til system [kWh]</b>
Januar	1.7	9.7	<b>0.74</b>
Februar	15.2	47.6	<b>3.67</b>
Mars	57.7	116.9	<b>9.82</b>
April	110.2	149.8	<b>12.7</b>
Mai	147.2	152	<b>12.72</b>
Juni	149.3	136.2	<b>11.31</b>
Juli	140.1	131.4	<b>10.81</b>
August	102.9	117.6	<b>9.74</b>
September	55.6	83.6	<b>7.02</b>
Oktober	21.7	50.2	<b>4.3</b>
November	3.9	12.8	<b>1.05</b>
Desember	0	0	<b>0</b>
Årlig	805.4	1007.1	<b>83.89</b>

Tabell 30 - Produksjon fra 2x140W solcellerack v/47° tilt

<b>Cellemodul: 2 x PVP12140 (140W) 47° tilt</b>	<b>Horisontal global innstråling [kWh/m<sup>2</sup>]</b>	<b>Effektiv innstråling v/47° tilt [kWh/m<sup>2</sup>]</b>	<b>Energi levert til system [kWh]</b>
Januar	1.7	9.7	<b>1.91</b>
Februar	15.2	47.6	<b>9.91</b>
Mars	57.7	116.9	<b>24.45</b>
April	110.2	149.8	<b>31.13</b>
Mai	147.2	152	<b>31.77</b>
Juni	149.3	136.2	<b>28.61</b>
Juli	140.1	131.4	<b>27.6</b>
August	102.9	117.6	<b>24.72</b>
September	55.6	83.6	<b>17.61</b>
Oktober	21.7	50.2	<b>10.56</b>
November	3.9	12.8	<b>2.73</b>
Desember	0	0	<b>0</b>
Årlig	805.4	1007.1	<b>211.01</b>

Tabell 31 - Produksjon fra 2x50W solcellerack v/72° tilt

<b>Cellemodul: 2 x PVP1250 (50W) 72° tilt</b>	<b>Horisontal global innstråling [kWh/m<sup>2</sup>]</b>	<b>Effektiv innstråling v/72° tilt [kWh/m<sup>2</sup>]</b>	<b>Energi levert til system [kWh]</b>
Januar	1.7	12	<b>0.92</b>
Februar	15.2	55	<b>4.32</b>
Mars	57.7	123.7	<b>10.49</b>
April	110.2	141.1	<b>11.95</b>
Mai	147.2	130.5	<b>10.96</b>
Juni	149.3	112.6	<b>9.33</b>
Juli	140.1	110.1	<b>9.04</b>
August	102.9	105.2	<b>8.71</b>
September	55.6	83	<b>6.91</b>
Oktober	21.7	55.6	<b>4.69</b>
November	3.9	15.1	<b>1.26</b>
Desember	0	0	<b>0</b>
Årlig	805.4	943.8	<b>78.58</b>

Tabell 32 - Produksjon fra 2x1400W solcellerack v/72° tilt

<b>Cellemodul: 2 x PVP12140 (140W) 72° tilt</b>	<b>Horisontal global innstråling [kWh/m<sup>2</sup>]</b>	<b>Effektiv innstråling v/72° tilt [kWh/m<sup>2</sup>]</b>	<b>Energi levert til system [kWh]</b>
Januar	1.7	12	<b>2.39</b>
Februar	15.2	55	<b>11.52</b>
Mars	57.7	123.7	<b>25.85</b>
April	110.2	141.1	<b>29.39</b>
Mai	147.2	130.5	<b>27.28</b>
Juni	149.3	112.6	<b>23.62</b>
Juli	140.1	110.1	<b>23.16</b>
August	102.9	105.2	<b>22.14</b>
September	55.6	83	<b>17.36</b>
Oktober	21.7	55.6	<b>11.69</b>
November	3.9	15.1	<b>3.23</b>
Desember	0	0	<b>0</b>
Årlig	805.4	943.8	<b>197.63</b>

## 6.4 Kortslutningsberegninger, kabeldimensjonering og vern

I anlegget skal det være to vern. Et kombinert kortslutnings- og overbelastningsvern som skal være mellom batteribanken og aktuatoren. Det rene kortslutningsvernet skal være mellom batteribanken og spenningsregulatoren. Kortslutningsvernene skal verne om kablene, mens overbelastningsvernet skal verne om motoren. Overbelastningsvernet er også kjent som motorvern. Det skal sørge for å legge ut kursen før rotorviklingene brenner av ved for høy strøm.

For at anlegget skal være utført etter forskriften, må kabler og vern dimensjoneres riktig. Utløserkarakteristikken for vernet må tilfredsstille to krav. I følge NEK 400-4-433 er dette kravene:

$$1. \quad I_B \leq I_n \leq I_Z$$

$$2. \quad I_2 \leq 1,45 I_Z$$

$I_B$      *Dimensjonerende belastningsstrøm*

$I_n$      *Vernets nominelle strøm*

$I_Z$      *Kabelens strømføringssevne ved normal drift*

$I_2$      *Minste strøm som garanterer utkobling i løpet av en gitt tid (vanligvis 1 time)*

NEK 712.434 omhandler kortslutningsstrømmer i solcelleanlegg. For å overføre lik effekt i et 24V-anlegg kontra et 230V-anlegg, kreves høyere strømmer i overføringene. Hvis overføringskabler er underdimensjonert, vil mye av energien gå til spille i form av varmetap i kablen. Det kan føre til at isolasjon svekkes som igjen kan medføre kortslutning. I verste fall kan varmgang i kablen føre til brann.

## Kabel fra solcelle til skap

I denne kabelen vil det ikke være behov for kortslutningsvern. Det er ingen lagret energi i solcellen, og det kan ikke bli stort høyere strøm i kabelen enn maksimal ladestrøm. Det vil derfor kun bli beregnet spenningsfall i denne kabelen. Maks spenningsfall i dette systemet bør ikke overskride 5%<sup>134</sup>. Det å investere i en litt større kabel enn nødvendig, vil lønne seg for solcelleinstallasjoner.

Oppgitt maksimal ladestrøm fra solcellepanel er 8,14A. Avstand fra solcellepanel og ned til skap settes til ~7m.

Ut ifra figur 80 er det valgt å bruke 2,5mm<sup>2</sup> kobberkabel. Spenningsfall på kabelen er gitt fra følgende formel:

$$\Delta U = \frac{2 \times l \times I \times \rho}{A}$$

2 Faktor for avstand begge veier

l Avstand fra solcelle til skap [m]

I Dimensjonerende strøm [A]

$\rho$  Resistivitet kobber (0,0178 [ $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ])

$$\Delta U = \frac{2 \times 7\text{m} \times 8,14\text{A} \times 0,0178 \frac{\Omega \times \text{mm}^2}{\text{m}}}{2,5\text{mm}^2} = 0,80\text{V}$$

Spennning fra solcellepanel er ved maksimal effekt rundt 34V. Dette medfører et spenningsfall på 2,3%.

## 24 Volt

Amps	acceptable cable size (mm <sup>2</sup> )							
	Cable Length (metres)							
	1	2	5	10	15	20	25	30
1	0.4	0.4	0.4	1.84	1.84	1.84	1.84	1.84
2	1.84	1.84	1.84	1.84	1.84	1.84	1.84	1.84
3	1.84	1.84	1.84	1.84	1.84	1.84	2.9	2.9
4	1.84	1.84	1.84	1.84	1.84	2.9	4.6	4.6
5	1.84	1.84	1.84	1.84	2.9	4.6	4.6	4.6
7.5	1.84	1.84	1.84	2.9	4.6	4.6	7.9	7.9
10	1.84	1.84	1.84	4.6	4.6	7.9	7.9	13.6
15	1.84	1.84	2.9	4.6	7.9	13.6	13.6	25.7
20	2.9	2.9	4.6	7.9	13.6	13.6	25.7	25.7
25	4.6	4.6	4.6	7.9	13.6	25.7	25.7	25.7
30	4.6	4.6	4.6	13.6	25.7	25.7	25.7	32.2
40	7.9	7.9	7.9	13.6	25.7	25.7	32.3	49.2
60	13.6	13.6	13.6	25.7	32.2	49.2	49.2	
80	25.7	25.7	25.7	25.7	49.2	49.2		
100	32.2	32.2	32.2	32.2	49.2			
125	49.2	49.2	49.2	49.2				

Figur 80 - Kabeldimensjon<sup>134</sup>

### Kabel fra batteribank til motor

Fra kapittel 6.2.1 er dimensjonerende belastningsstrøm  $I_B = 17A$ . Dette medfører at et egnet vern  $I_n = 20A$ .  $I_n$  vil være avgjørende for dimensjoneringen av kabeltversnittet.

Strømføringsevnen  $I_Z$  må være større enn  $I_n$  ifølge NEK 400:2014.

Det er valgt å bruke PVC-isolert  $4\text{mm}^2$  kobberkabel, så det må undersøkes om det er tilstrekkelig ledeevne. Strømføringsevnen må være større enn  $20A$  etter valgt forlegningsmåte og eventuelle reduksjonsfaktorer. I og med at dette anlegget ikke er bundet mot en spesifikk plass er det umulig å gi korrekte temperatur- og gruppereduksjonsfaktorer. Slike faktorer må tas hensyn til av de som skal plassere anlegget og utføre det.

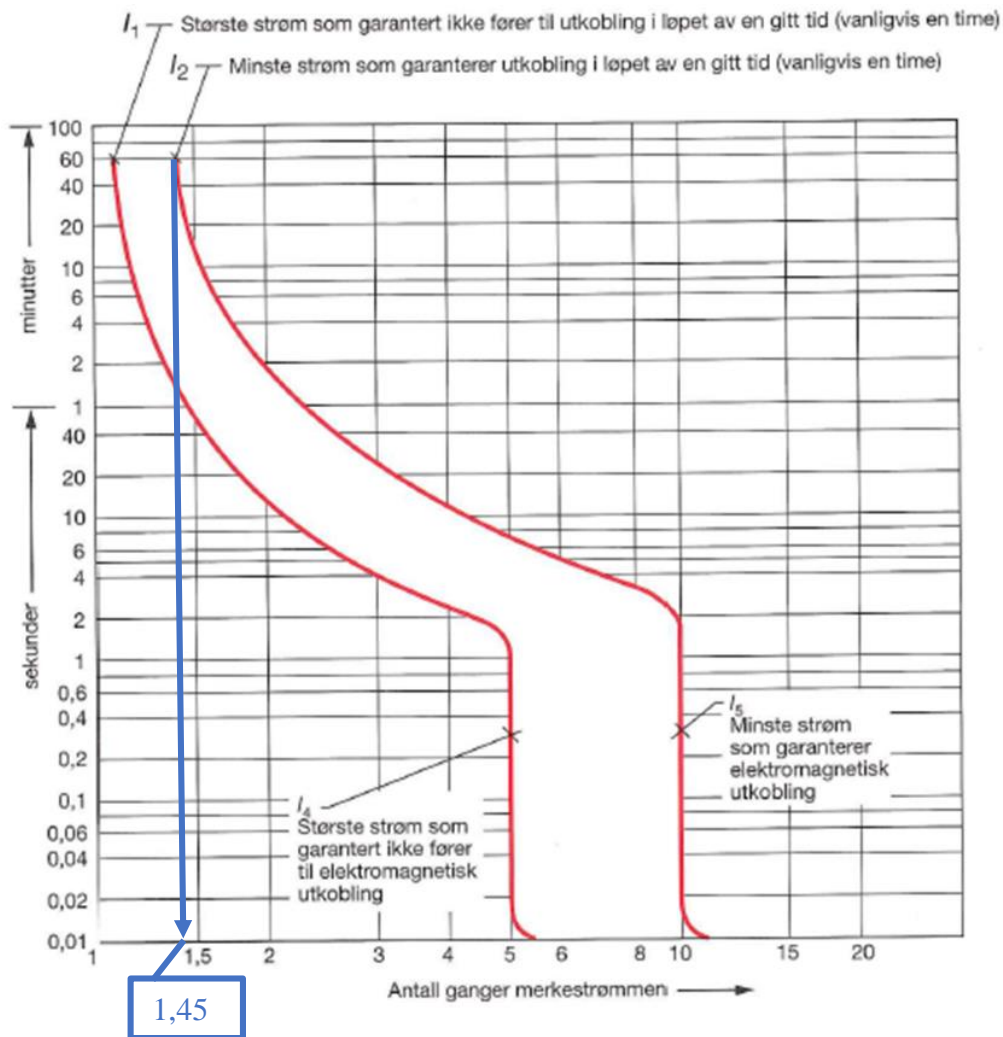
Foreslått forlegningsmåte er B2, den er valgt fra tabell 52B-1, og den betyr flerlederkabel i rør på vegg. Ut fra at det i dette tilfellet er en 2-lederkabel, blir det vist videre til tabell 52B-2 kol 5. I tabell 52B-2 kol 5 er strømføringsevnen for  $4\text{mm}^2$  kobber angitt til  $30A$ .

$$I_Z = 30A$$

$$17A \leq 20A \leq 30A$$

Krav én fra NEK 400:2014 er oppfylt. Krav to ifølge NEK:2014 er at:

$$I_2 \leq 1,45 \times I_Z$$



Figur 81 - Utløserkarakteristikk for automatsikring<sup>135</sup>

Det skal brukes automatsikring, og derfor vises det til figur 81. Den er hentet fra normguiden.<sup>135</sup> Som det kommer frem av grafen er  $I_2 = 1,45 \times I_n$

Dette medfører at kravet til NEK 400:2014 blir som følger:

$$1,45 \times I_n \leq 1,45 \times I_Z$$

$$I_n \leq I_Z$$

$$20A \leq 30A$$

Det er også et tredje tilleggskrav fra NEK 533.2.1. Kravet sier at hvis det er brukt en annen referanseinstallasjonsmetode enn A1 og A2, med kabeltversnitt  $4\text{mm}^2$  kobber skal:

$$I_n \leq 25A$$

Alle de tre kravene fra NEK 400:2014 er oppfylt, og det er da valgt en kabel som er godkjent i henhold til FEL.

Største kortslutningsstrøm vil være kortslutning rett over batteripolene. Da ses det bort fra motstanden i ytre krets, og det vil være åpen klemmespenning på batteriet og indre resistans i batteriet som avgjør strømmen. Formelen blir derfor slik:

$$I_{k \text{ maks}} \approx \frac{U_0}{R_i}$$

$I_{k \text{ maks}}$  Største kortslutningsstrøm [A]

$U_0$  Tomgangsspenning [V]

$R_i$  Indre resistans på et batteri [ $\Omega$ ]

$$I_{k \text{ maks}} \approx \frac{24V}{2 \times 4m\Omega} \approx 3000A$$

Minste kortslutningsstrøm vil forkomme ved kortslutning nær motorklemmene.

Motorklemmene er lengst unna batteriene siden motoren står over skapet. Ledningslengden til motorklemmene er  $\sim 2\text{m}$ . Når det nå skal regnes kortslutningsstrøm må det tas hensyn til resistansen i hele kortslutningskretsen. Det vil si indre resistans i batteriene og resistansen i kablen til og fra kortslutningsstedet. Formelen for minste kortslutningsstrøm blir som følgende:



$$I_{k \min} = \frac{U_0}{R_i + R_L}$$

$I_{k \min}$  Minste kortslutningsstrøm [A]

$U_0$  Tomgangspenning [V]

$R_i$  Batteriets indre resistans [ $\Omega$ ]

$R_L$  Kabelresistans [ $\Omega$ ]

Før minste kortslutningsstrøm kan beregnes må resistansen i kabelen beregnes. Resistansen beregnes ut etter følgende formel:

$$R_L = \frac{\rho \times l}{A}$$

$R_L$  Kabelens resistans [ $\Omega$ ]

$\rho$  Resistivitet kobber (0,0178 [ $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ])

$l$  Lengde av kabel [m]

$A$  Tverrsnitt av kabel [ $\text{mm}^2$ ]

$$R_L = \frac{0,0178 \frac{\Omega \times \text{mm}^2}{\text{m}} \times 2\text{m}}{4\text{mm}^2} = 0,0089\Omega \approx 8,9\text{m}\Omega$$

Dette medfører at minste kortslutningsstrøm blir:

$$I_{k \min} = \frac{24\text{V}}{2 \times 4\text{m}\Omega + 2 \times 8,9\text{m}\Omega} \approx 930\text{A}$$

Kabelresistansen er multiplisert med to fordi at kortslutningskretsen blir to ganger kabellengden. Strømmen må ut til kortslutningsstedet og tilbake igjen. Den indre resistansen må også legges sammen, siden det er to seriekoblede batterier. Det vil ikke være nødvendig å beregne spenningsfall på denne kabelen, da den kun strekker seg 2 m.

NEK 434.5.2 sier at for enhver strøm forårsaket av en kortslutning et eller annet sted i kursen, brytes før tillatt grensetemperatur for isolasjon for vedkommende leder nås. For utløsetider for vern på  $< 0,1$  s, og for strømbegrensende vern, skal kabelens  $k^2S^2$ -verdi være større enn verdien av den gjennomslupne energi ( $i^2t$ -verdi). Dette er spesifisert av fabrikanten av vernet, som medfører:

$$I^2 \times t \leq k^2 \times S^2$$

$$I^2 \times t \leq 115^2 \times 4^2 \rightarrow I^2 \times t \leq 211600$$

*I* Effektivverdien av kortslutningsstrømmen [A]

*t* Varigheten av kortslutningen [s]

*k* Faktor som tar hensyn til spesifikk motstand, temperaturkoeffisient og varmekapasitet for ledermaterialet og de aktuelle start- og sluttemperaturene. Verdien for *k* finnes i NEK, tabell 43-A

*S* Ledertversnitt [ $\text{mm}^2$ ]

Det skal i dette tilfellet brukes en 1-polt automatsikring for DC, med nominell strøm på 20A. Vernet må tåle å løse ut  $I_{k \text{ maks}}$  som er 3000A, men må også løse ut på  $I_{k \text{ min}}$  som er 930A. Det er viktig at automatsikringen løser ut på både maksimal og minimal kortslutningsstrøm. Hvis automatsikringen ikke tåler maksimal kortslutningsstrøm så kan den smelte og i verste fall ikke løse ut. Dersom automatsikringen ikke løser ut hurtig nok ved minimal kortslutningsstrøm vil det gå alt for høye strømmer i kabelen og det vil påføres store skader på komponenter og ledningsnett. Vernets  $i^2t$ -verdi må være mindre eller lik 211600 som er kabelens  $k^2S^2$ -verdi. For å verne om motoren skal denne automatsikringen ha en C-

karakteristikk. En typisk C-karakteristikk automatsikring vil sikre at motoren får trekke den startstrømmen den trenger, uten at sikringen kobler ut kursen. Denne typen vil tillate en startstrøm på mellom 5 ganger  $I_n$ , og 10 ganger  $I_n$ . Det er også mange automatsikringer som kommer med tilleggsfunksjon som viser stillingen til sikringen. Den skal benyttes for å gi tilbakemelding om vernet har løst ut.

### Kabel fra batteri til regulator

For å dimensjonere denne kabelen og tilhørende vern må det først beregnes maksimal ladestrøm til batteriet. Dette fordi denne strømmen vil være større enn strømmen som potensielt vil gå motsatt vei, opp til regulator og videre til RTU. Maksimal ladestrøm beregnes etter at det er kalkulert maksimal ladeeffekt. Tap i kabel og spenningsregulator må undersøkes. Maksimal effekt inn på spenningsregulator fra solcellen beregnes først:

$$P_{maks} = (U_{maks\ solcelle} - \Delta U) \times I_{maks\ solcelle}$$

$P_{maks}$             *Maksimaleffekt inn på regulator [W]*

$U_{maks\ solcelle}$     *Maksimal ladespenning [V]*

$\Delta U$             *Spenningsfall på kabel [V]*

$I_{maks\ solcelle}$     *Maksimal ladestrøm [A]*

$$P_{maks} = (17,2 \times 2V - 0,70V) \times 8,14A \approx 274,318W$$

Dette stemmer bra i og med at teoretisk maksimal effekt er 280W. Verdiene i beregningene er funnet fra produktblad i vedlegg nr. 5 og 6. For å finne maksimal ladestrøm til batteriet må det tas hensyn til egenforbruket til spenningsregulatoren. Fra kapittel 6.2.2 er egentrekket til regulatoren på 10mA. Dette medfører følgende effekttrekk:

$$P_{regulator} = U_{regulator} \times I_{regulator}$$

$P_{regulator}$       *Effektbehov til regulator [W]*

$U_{regulator}$       *Spenningen i regulatoren [V]*

$I_{regulator}$       *Strømtrekket til regulatoren [A]*

$$P_{regulator} = 24V \times 10mA = 240mW = 0,24W$$

Det viser seg av utregningen at effektbehovet til spenningsregulatoren er neglisjerbart. Det er så lite at maks ladeeffekt er 274W. Maks ladespenning finnes fra vedlegg nr. 5, den er på 28,8V. Ohms lov gir maks ladespenning:

$$I_{maks} = \frac{P_{maks}}{U_{l\ maks}}$$

$I_{maks}$       *Maksimal ladestrøm [A]*

$P_{maks}$       *Maksimal effekt [W]*

$U_{l\ maks}$       *Maksimal ladespenning [V]*

$$I_{maks} = \frac{274W}{28,8V} = 9,5138A \approx 10A$$

Dette vil si at  $I_b$  i dette tilfelle vil være 10 A, det medfører at egnet vern  $I_n = 13A$ . Som nevnt tidligere i dette kapittelet vil det være de samme kravene fra NEK 400:2014.

Strømføringsvevnen skal være større enn 13A. Det er i dette tilfellet valgt å bruke en PVC-isolert 1,5mm<sup>2</sup> kobberkabel. Som nevnt tidligere i dette kapittelet må de som skal realisere anlegget ta hensyn til eventuelle reduksjonsfaktorer.

Kabelen skal gå i luft og det er foreslått forlegningsmåte E. Valget er fra tabell 52B-1, og det blir der henvist til tabell 52B-10 kol 2 for å finne strømføringsevnen i 2-lederkabel.

Strømføringsevnen er 22A.

$$I_Z = 22A$$

$$10A \leq 13A \leq 22A$$

Ifølge NEK 400:2014 er krav én godkjent.

Krav to fra NEK 400:2014 var at  $I_2 = 1,45 \times I_n$  Som det kom fra tidligere i dette kapittelet, ble kravet ved bruk av automatsikring slik:

$$1,45 \times I_n \leq 1,45 \times I_Z$$

$$I_n \leq I_Z$$

$$13A \leq 22A$$

Krav to fra NEK 400:2014 er godkjent.

Fra tidligere beregning er det kommet fram til at maksimal kortslutningsstrøm  $I_{maks} = 3000A$ . Nå må minste kortslutningsstrøm for denne kabelen kalkuleres, slik at vernet vil løse ut elektromagnetisk. Minste kortslutning vil skje ved regulator-klemmene. Kabelen dit er ~0,5m. Det medfører at total lederlengde blir ~1 meter i og med at det brukes en 2-lederkabel. Først må resistansen i kabelen beregnes:

$$R_L = \frac{0,0178 \frac{\Omega \times mm^2}{m} \times 1m}{1,5mm^2} = 0,011867\Omega \approx 11,9m\Omega$$

Dette medfører at minste kortslutningsstrøm blir:

$$I_{k \min} = \frac{24V}{2 \times 4m\Omega + 11,9m\Omega} \approx 1206A$$

Kravet til dette vernet blir

$$I^2 \times t \leq k^2 \times S^2$$

$$I^2 \times t \leq 115^2 \times 1,5^2 \rightarrow I^2 \times t \leq 29756,25$$

*I* Effektivverdien av kortslutningsstrømmen [A]

*t* Varigheten av kortslutningen [s]

*k* Faktor som tar hensyn til spesifikk motstand, temperaturkoeffisient og varmekapasitet for ledermaterialet og de aktuelle start- og sluttemperaturene. Verdien for *k* finnes i NEK, tabell 43-A

*S* Ledertversnitt [mm<sup>2</sup>]

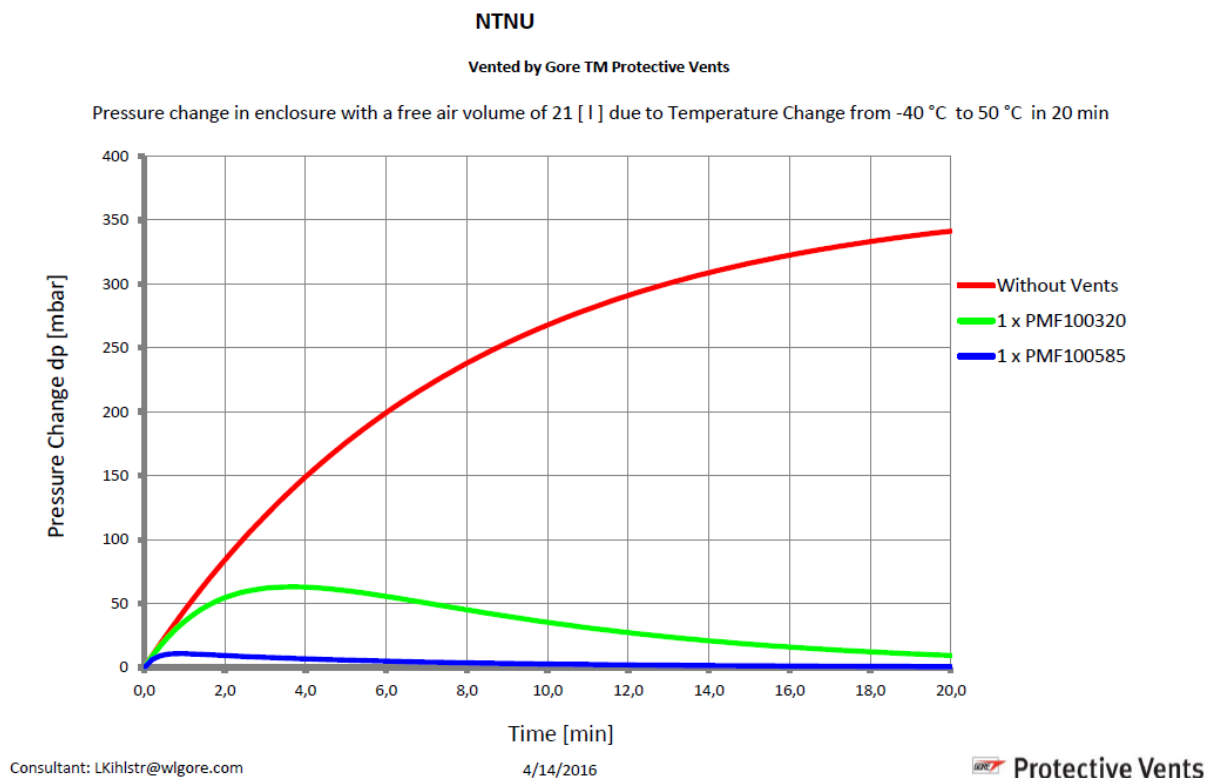
Det skal i dette tilfellet brukes en 1-polt automatsikring for DC, med nominell strøm på 13A.

Vernet må tåle å løse ut  $I_{k \max}$  som er 3000A, men må også løse ut på  $I_{k \min}$  som er 1206A.

Vernets  $i^2t$ -verdi må være mindre eller lik 29756,25 som er kabelens  $k^2S^2$ -verdi.

## 6.5 Ventilering

For å finne riktig størrelse på ventilene må det dimensjoneres etter fritt volum i skapet. Dette tilsvarer totalt volum minus volum av komponenter. Totalt volum av skapet er 108 l. Volumet av komponentene er 67 l. Dette medfører at dimensjonerende volum blir 41 l. Det har vært vurdert flere forskjellige produsenter av ventiler, men det er her gått for en løsning fra GORE. Det er kommet fram til egnet ventil PMF100585.<sup>107</sup>



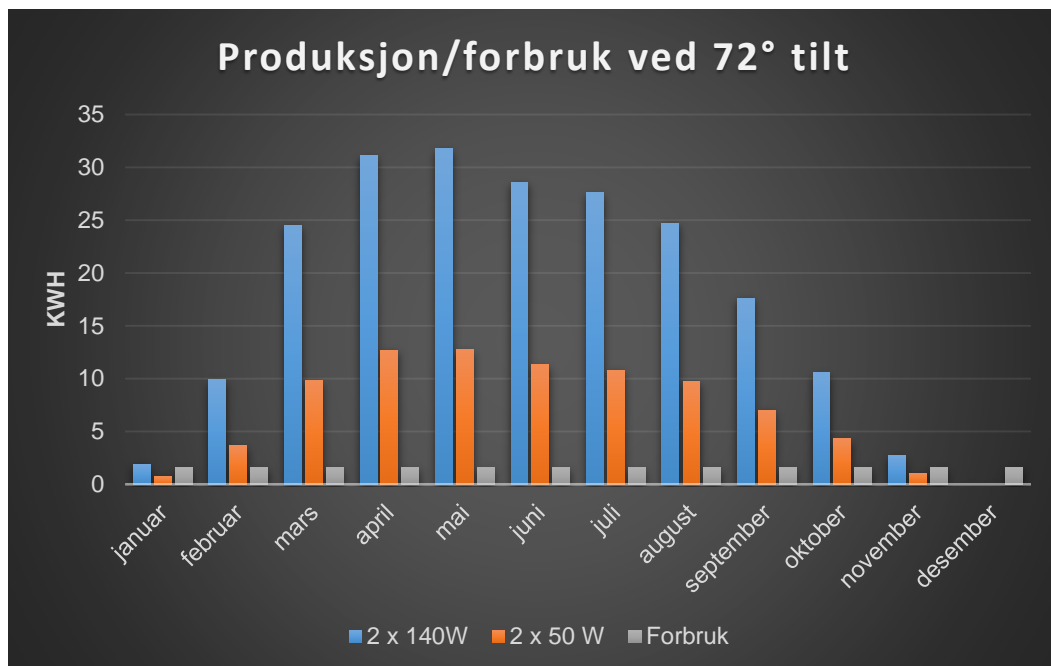
Figur 82 - Simulering av trykk i skap ved temperaturendring

Som det kommer frem av grafen over, er det simulert en temperaturendring på  $\Delta 90^{\circ}\text{C}$ . Denne simuleringen er gjort av GORE den 14.04.2016 etter gitte spesifikasjoner. I simuleringen er det oppgitt at dimensjonerende luftrom er på 21 l. Etter dette er det gjort endringer, og skapet er nå større. Skapets dimensjonerende luftrom er nå 41 l. Dette tatt i betraktning vil det ikke ha store innvirkninger da skapet ikke kommer til å utsettes for så store temperaturendringer i virkeligheten. Denne typen ventil vil sørge for god nok luftutskifting og vil sikre at kondensering ikke oppstår. Ventilen inneholder en membran som hindrer at vann trenger inn,

samtidig som luft kan flyte fritt igjennom. PMF100585 sikrer også at slitasje på pakninger og forseglinger holder seg til et minimum.

## 6.6 Batteribank

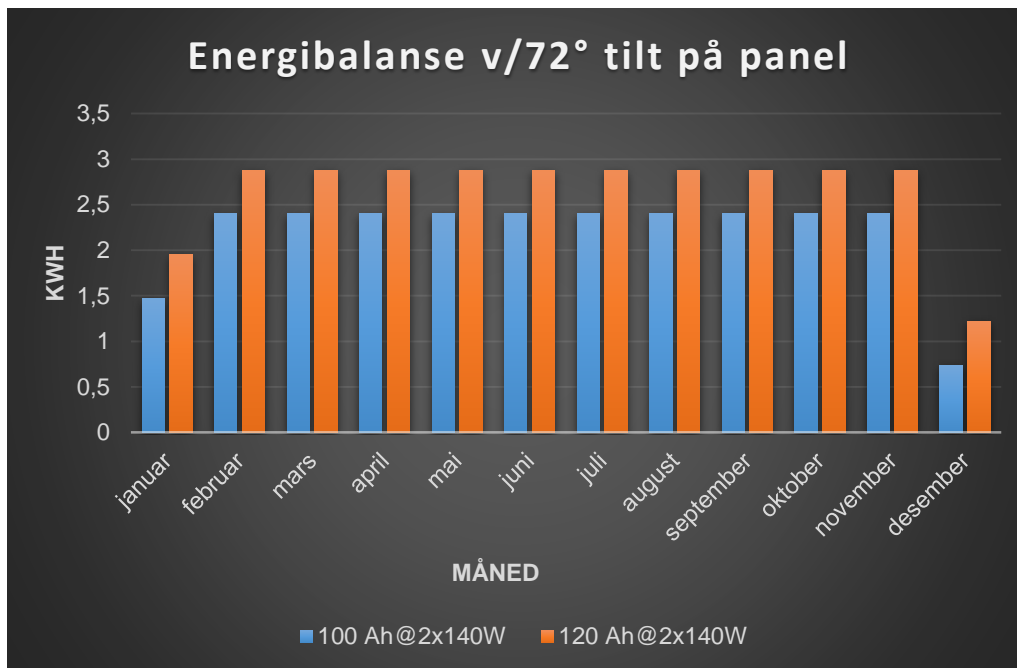
Simuleringsresultater viser at det kan forventes minimal produksjon i månedene desember og januar. Batteribanken er derfor dimensjonert stor nok til å dekke energiforbruket i disse månedene. Energiforbruket for systemet er som nevnt i delkapittel 6.2.3 ca. 1,66kWh per måned. Batteribanken vil følge de krav NEK 400-8-806 har til prosjektering av batteri i installasjoner. Eksempelvis har batteribanken som er valgt ingen gassutslipp som sikrer personsikkerheten ved vedlikehold.



Figur 83 - Produksjon/forbruk

Det er utarbeidet et diagram som viser balansen mellom produksjon og forbruk. Det kommer frem at det er et relativt høyt energioverskudd om sommeren, og i desember er det underskudd av produksjon i forhold til behov. For å stå best mulig stilt mot de krevende vintermånedene er det ønskelig å ha fulladet batteribank i november måned. Dette oppnås med kombinasjonen 2 x 140W solcellepanel og 72° tilt og 120Ah-batteribank.





Figur 84 - Energistatus ved ulike kombinasjoner av batteri og solceller

For at batteribanken skal ha lengst mulig levetid må det ses på hvor dypt utladet batteriene blir. Getek anbefaler at batterier helst ikke dyp-utlades mer enn 50%. En fulladet 100Ah-bank kan lagre 2,4kWh, og en fulladet 120Ah-bank kan lagre 2,88kWh. Figur 84 viser at hverken en 100Ah- (0,74kWh) eller 120Ah-bank (1,22kWh) holder seg innenfor anbefalingene i desember måned, men at bankene stort sett vil være fulladet resten av året. Da unngås de uregelmessige syklusene av opp- og utladninger. Rent teoretisk vil 120Ah-banken bli mer enn 50% utladet kun i desember ved bruk av 2x140W panel. Den oransje søylen i desember måned viser at balansen i 120Ah-banken er ca. 1,22kWh hvis forbruk, produksjon og lagret energi medregnes. En 120Ah batteribank vil maksimalt bli 57,6% utladet:

$$\frac{2,88 - 1,22 \text{ [kWh]}}{2,88 \text{ [kWh]}} \times 100\% = 57,6\%$$

Til sammenligning vil en 100Ah batteribank maksimalt bli 69% utladet:

$$\frac{2,4 - 0,74 [kWh]}{2,4 [kWh]} \times 100\% = 69\%$$

### **Batterireserve**

For å oppnå høyest mulig driftssikkerhet er det tenkt å ha et nødsystem for batteriene. Jernbaneverket ønsker høyest mulig oppetid på jernbanestrekningene, og det er derfor foreslått rutiner og instruksjoner som skal sikre dette. For løsningen i denne oppgaven foreslås det å ha en batteribank tilgjengelig på driftsbasene, ved behov. Batteribanken står på vedlikeholdslading frem til den eventuelt må benyttes. Et system for enkel utskiftning av batteribanken medfører høy driftssikkerhet. Med batteriovervåking gir dette en tilnærmet driftsgaranti på 100%.

## 7 Diskusjon

En av de største utfordringene ved bruk av desentralisert strømforsyning er laster som trekker effekt kontinuerlig. Disse kan medføre at desentralisert strømforsyning blir en uaktuell løsning. For å oppnå et driftssikkert system må de faste effekttrekkene minimaliseres og det må bli kartlagt et gjennomsnittlig energibehov gjennom hele året. I dette kapitlet vil det bli drøftet ut fra teoretisk bakgrunn som kobles opp mot resultater og simulering for solcelleanlegget. Alle delkapitler i kapittel 7 inneholder subjektive meninger og drøftinger fra medlemmene i gruppa.

### 7.1 Energi- og effektbehov for brytere og signaler

Dimensjoneringen av anlegget er gjort med hensyn til funksjonskravet på ni manøvreringer pr. døgn. Gjennom logisk tenkning er det kommet frem til at det mest sannsynlig ikke vil være hyppigere bruk av bryteren enn dette, dog heller mindre. Det vil være utfordrende å drifte systemet om vinteren ifølge utførte beregninger, men det er også viktig å ta i betraktning at systemet er dimensjonert for ni manøvreringer av bryteren, hver dag gjennom et helt år. Når en bryter åpnes, skal det gjerne utføres arbeid og vedlikehold på stedet, og det vil ta tid før bryteren legges inn igjen. Sett ut i fra dette, vil det nok ikke skje at en bryter driftes så hyppig som kravet tilsier i løpet av ett år.

Energibehovet for komponenter i skapet er utregnet med hensyn til maks oppgitt effekttap. For RTU er det høyst sannsynlig at det reelle forbruket ikke vil nærme seg estimert forbruk. Dette fordi estimert forbruk er basert på at alle inn- og utganger av RTU belastes maksimalt. Det vil aldri være maksimal belastning av RTU i dette tilfellet, og forbruket kan derfor forventes å være lavere i realiteten. Det samme gjelder for spenningsregulatoren, denne vil ha maksimalt tap kun når det er maksimal ladeeffekt fra solcellepanelet.

### 7.2 Beregningsmetoder

Getek dimensjonerer sine solcelleanlegg med null produksjon i fire vintermånedene. Det har blitt diskutert mye om hvorvidt dette beregningskravet skal benyttes i denne oppgaven. I simuleringresultater kommer det frem at det er null produksjon kun i desember. Det er enighet om at det alltid vil være en viss produksjon om vinteren, tross nordisk klima. Derfor

er det valgt å ta utgangspunkt i resultater fra PVsyst, og at et reelt svar på problemet kun kan oppnås ved å teste det i virkeligheten. En avgjørende faktor for om det skal dimensjoneres med null produksjon i fire vintermånedene er hvor kritisk det er med bortfall av strøm. Det er ønskelig med så høy driftssikkerhet som mulig, men samtidig er det også ønskelig unngå å overdimensjonere anlegget.

For nøyaktige beregninger kreves det logging av observasjonsdata over lengre tid. På grunn av kort tidsramme har det ikke blitt prioritert å sette av tid til å ta lokale målinger. Målinger over lengre tid er likevel ansett som mest optimalt, med tanke på middelverdier av temperatur, solinnstråling, snølast og lignende. I et fremtidig pilotprosjekt kan det høstes erfaringer og observasjoner som kan medføre endringer i prosjektert løsning.

### 7.3 Solceller

I simuleringsdelen ble det utført fire simuleringer med to forskjellige panel, og to forskjellige vinklinger. Dette for å synliggjøre hvilken forskjell de forskjellige resultatene gir. Midtveis i diskusjonsfasen kom det frem at to 50W paneler burde være tilstrekkelig. Dette etter å ha redusert forbruket til et minimum. I følge simuleringsresultater vil ikke to panel med 50W effekt være tilstrekkelig til å drive systemet året rundt. Om sommeren er det overskudd av energi, mens om vinteren er det akkurat for lite i forhold til dimensjoneringskravene. Det vil derfor ikke være aktuelt å benytte seg av 50W paneler.

Ved to 140W-paneler vil vinklingen til solcellen ha størst innvirkning. Det ses av simuleringsresultatene at  $72^\circ$  kontra  $47^\circ$  vil gi større produksjon i vintermånedene, og samtidig lavere produksjon om sommeren. Da det likevel er relativt stort overskudd om sommeren, er det viktig at panelene vinkles med  $72^\circ$  for å oppnå tilstrekkelig produksjon hele året. En annen gunstig effekt ved å ha  $72^\circ$  på solcellene er at snøen glir lettere av enn ved  $47^\circ$ .

Plassering av solcellene er viktig for å utnytte solenergien. Her må det i hvert enkelt tilfelle ses på hvor bryteren skal plasseres. Selv om solcellene vil stå i en høyde på ca. 6 meter, kan objekter i nærheten eller terrenget selv skygge for solinnstrålingen. Om det er trær som

skygger for kan det være en løsning å hogge ned disse. Når det gjelder utfordrende terreng kan det være hensiktsmessig å se på en alternativ plassering av solcellen slik at mest mulig sollys treffer solcellen direkte. Solcellene må nødvendigvis ikke plasseres i jernbanemast, men kan også plasseres i egen mast der dette vil være mer hensiktsmessig.

## 7.4 Energilagring

Hvis 140W-panelene vinkles med 47°, vil en 100Ah-batteribank utlades mer enn det som er anbefalt i månedene desember og januar ifølge simuleringer. Produksjon og lagret energi i batteri er for lav kontra gjennomsnittlig forbruk. Det må ved 47° vinkling benyttes 120Ah-batteribank for å kompensere for lav produksjon om vinteren. Monteres panelene med 72°, vil det være akkurat tilstrekkelig med 100Ah-batteribank. En annen viktig faktor som forsvaret valget av 120Ah-batteribank er at det oppnås færre dyputladninger enn ved en 100Ah-batteribank. En følge av færre dyputladninger er lengre levetid på batteriene, altså flere sykluser. Selv om 120Ah-batteribank vil være dyrere i innkjøp, vil det lønne seg over tid å investere i denne.

I diskusjoner med intern veileder ble det foreslått å ha et bærbart dieseldrevet strømaggregat på hver stasjon som reserve hvis noe skulle skje. Dette blir en sikker løsning, men blir litt tungvint. Ved å bruke et håndholdt aggregat medfører det at en person må fysisk stå ved anlegget og vente. Jernbaneverket ønsker også å fremstille seg med grønn teknologi, og det blir derfor uhensiktsmessig å bruke fossile energikilder til et nødsystem.

## 7.5 Energiforbruk i dvalemodus

Løsningen med solceller forutsetter at det er mulig å benytte seg av en powersave-modus på signalsystemet. Det har vært kontakt med ABB som leverer kommunikasjons- og styringssystemet for rådgøring om dette er en mulig funksjon. ABB har ikke vært kjent med problemstillingen selv, da energiforbruk ikke er en vesentlig faktor i deres bestillinger. Derimot er ABB positiv til at denne funksjonen kan muliggjøres med de komponentene som det er valgt i oppgaven. Ved denne typen sparing i dvalemodus reduseres forbruket med 74%.

## 7.6 Kondensering

Bruk av ventiler fra Gore har vist seg i teorien tilstrekkelig til å hindre kondensering i skapet. Dette må testes ut før det kan garanteres 100% mot kondensering i norsk klima. I praksis kan det legges noen silica gel-posere igjen i skapet og måle fuktigheten i dem etter ett år. Da kan det med sikkerhet konkluderes om ventiler er et godt nok tiltak mot kondensering. Om fuktighetsinnholdet viser seg å være betydelig, kan det være en fin rutine å ha et intervall med utbytting av silica gel-posere hvert år. Det skal uansett være tilsyn med skapet årlig. Ved å benytte seg av silica gel-posere oppnås det større sikkerhetsbarrierer mot kondensering.

Det å legge et konformt belegg på de elektriske kretskortene har også blitt sett som en mulighet. I teorien virker dette som en godt tiltak for å hindre ødeleggelser på grunn av kondensering og kjemiske forurensinger. Grunnet lite erfaringer med å legge et kjemisk belegg i gruppa, har det blitt valgt andre metoder for å hindre kondensering. Derimot hadde dette vært et spennende tema å utforske videre, fordi det gir beskyttelse mot flere faktorer enn bare kondensering.

## 8 Konklusjon

For å kunne forsyne avsidesliggende brytere med energi fra solceller, måtte det gjøres omfattende endringer på nåværende system. Det måtte kartlegges nøyaktig forbruk, og det ble fort klart at en del modifiseringer ble nødvendig om systemet skulle driftes uavhengig. Med dagens system ville det ikke ha blitt en forsvarlig løsning. Solcellene og tilhørende batteribank hadde blitt unormalt stor for en så enkel oppgave som å styre og manøvrere lastskillebryteren.

Det ble besluttet å fjerne varmeelementet i skapet som er aktivt når temperaturen faller under 5°C. Ved å fjerne dette, kom problemet med fukt og kondensering og det måtte finnes løsninger for å motvirke dette. Opprinnelig gikk det et stag ut gjennom toppen av skapet, som skulle operere bryteren. Dette viste seg å være en faktor til fukt og kondens i skapet. Løsningen på problemet ble å sette en aktuator på utsiden for å slippe bevegelige deler inn og ut av skapet. Kondensasjon kan også oppstå innvendig i skapet på grunn av hurtige temperaturvariasjoner. Dette ble løst ved å benytte ventiler med membranteknologi som ikke går på bekostning av IP-grad.

Det er erfart gjennom oppgaven at hver watt spart, har stor innvirkning på dimensjonen av anlegget. Ved å bruke kommunikasjonsenheter på en smartere måte, kan det spares mye energi. Dette er muliggjort ved å legge deler av systemet «dødt», og vekke det opp når handlinger skal utføres. Slik styring av kommunikasjon kan enkelt implementeres i nåværende systemer som har kontinuerlig kontroll av statuser.

Løsningen med solceller og batteribank har gjennom simuleringer og beregninger tilfredsstillt Jernbaneverkets sine krav. Utformingen av oppgaven har vært teoretisk som har gjort at løsningen ikke er testet i praksis. Utrekninger er gjort under ideelle forhold, og det kan derfor ikke garanteres at løsningen er 100% driftssikker. Systemet bør derfor testes over en vinter, for å se om batteribanken har tilstrekkelig kapasitet.

## 9 Forslag til videre arbeid

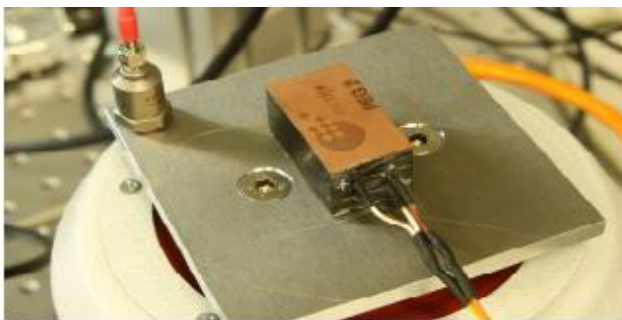
Innlevering av bacheloroppgaven kommer fortære enn ventet, og ulike løsninger på problemområder må dessverre tas ved en senere anledning. Samtidig har det dukket opp interessante emner og vinklinger av oppgaven som kunne gitt en mer fullstendig løsning på problemstillingen. For å kunne bygge videre på oppgaven er det satt opp noen punkter som kan utforskes mer ved en senere anledning.

### Energikilder

I nåværende løsning er solceller valgt som energiforsyning. Solceller har hatt en stor utvikling med hensyn til pris og virkningsgrad. Mest sannsynlig vil det komme nye solceller på markedet i nærmeste fremtid som er enda billigere og med bedre virkningsgrad. Samtidig er det stor diskusjon om hvor miljøvennlig solceller er. Dette varierer stort i forhold til produksjonsprosessen og hvor «grønn» energien som er brukt for produsere solcellene.



Figur 85 - Akselerasjonsensor plassert på skinne<sup>136</sup>



Figur 86 - Test rig av piezoelektrisk innhenting av energi<sup>136</sup>

Det er også dukket opp andre energikilder enn de som er presentert i teoridelen.

Piezoelektristet er et naturfenomen der elektriske ladninger blir produsert i krystaller som blir påført press.

Piezoelektriske omformere har minimalt med bevegelige deler og kan gjøres veldig effektive (opptil 90% konvertert energi).

Det finnes fagartikler som har undersøkt muligheten med å utnytte dette på jernbane. Da vil det være togpasseringer som produserer energi gjennom vibrasjoner i skinnene.



## **Energilagring**

På grunn av krav til sikker drift av bryterne er det i denne oppgaven sett på energilagring som oppfyller kravene i dag. I dag er batteriteknologi med AGM og Gel sett som det beste alternativet, men det drives voldsom forskning på batteriteknologi. Innen få år så kan det være annen type batteriteknologier og andre former for energilagring som blir ansett som det beste alternativet.

Innen batteriteknologi er det særlig LiFePo<sub>4</sub>-batteri som kunne blitt brukt i oppgaveløsningen. I ulike butikker blir LiFePo<sub>4</sub>-batteri reklamert med at de veier mye mindre enn AGM- og GEL-batterier, ladere raskere og har lengre levetid. Det er i denne rapporten ikke funnet erfaringer ved bruk av LiFePo<sub>4</sub>-batterier i stand-alone anlegg i norsk klima. For å bli eksperter på batteriteknologi er det erfart at det må skrives en hel oppgave om temaet.

Forskere ved det amerikanske universitetet Massachusetts Institute of Technology har utviklet et nytt materiale som kan absorbere varme fra solen og oppbevare den i kjemisk form så den kan frigjøres etter behov. Materialet består av fotoceller, som lagrer energien fra solen. Når molekylet eksponeres for sollys absorberer det energien og går inn i en energilagretilstand. Energien kan lagres i lengre perioder, og frigjøres ved å stimulere molekylet med en liten mengde, varme, lys eller elektrisitet. Dette er noe som i fremtiden kan bli brukt for varme i skap og hus.<sup>137</sup>

## **Hydrogen**

I forprosjektet ble det satt av tid til å se på hydrogen som medium for energilagring.

Innhenting av informasjon fra internett og deltakelse på «hydrogendag» i regi av Sintef, har ført til følgende konklusjoner:

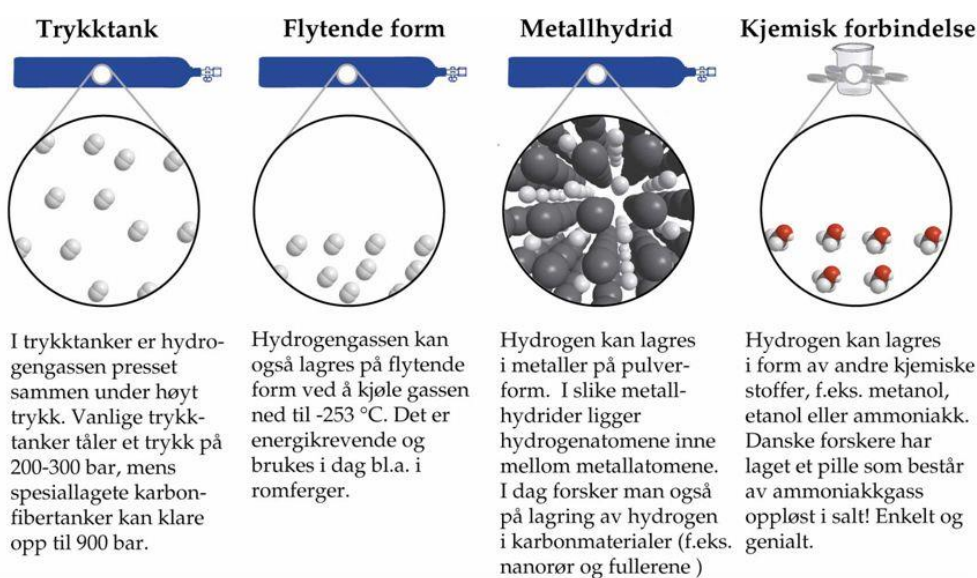
- Dyrt: Tidlig i utviklingsfasen.
- Energikrevende å utvinne hydrogen fra f.eks. solenergi. Dette vil føre til lav total virkningsgrad.
- Vanskelig å lagre: gass-lagring ved 600-800 bar, fast stoff: innblanding av aluminium og magnesium gjør det tungt
- Må etterfylles om det ikke er lokal produksjon.

- Tanker: Må produseres av spesialmaterialer, som ofte er dyrt

Å utvinne hydrogen er en veldig energikrevende prosess, og det er derfor ikke aktuelt i denne sammenhengen foreløpig. Hydrogen som lagringsmedium for energi kan i fremtiden bli mer og mer vanlig. F.eks. når utvinningsprosessen har blitt mer effektiv enn den er i dag, kan det bli mulig å utnytte energien fra solcellepanelet til å utvinne hydrogen fra vann via elektrolyse. Da spaltes vannmolekyler og hydrogengass kan lagres. Hydrogengassen kan så brukes til å produsere strøm via en brenselcelle ved behov. I dag er ikke infrastrukturen god nok for utbredt bruk av hydrogen for befolkningen. Det trengs store investeringer og insentiver for å få til et hydrogensamfunn som fullstendig kan erstatte fossile brennstoff.

Det er også en mulighet å se for seg at tanker fylles opp med hydrogen, for å få en dieselaggregat-erstatte. Hydrogen har ca. 3 ganger høyere energitetthet enn f.eks. bensin per kg. og blir derfor sett på som den nye energibæreren i fremtiden. Det er derimot utfordringer i det å skape og lagre hydrogen på en mest gunstig økonomisk metode. Ved å få til en god lagring av hydrogen blir også hydrogen mer tilgjengelig til folk flest. Det mest konkrete eksemplet på at hydrogen er i anmarsj er Toyota sin nye bil Mirai. Bilen slipper kun ut vanddamp etter at hydrogenet har drevet en elektrisk motor via en brenselcelle.

## Hydrogenlagring



Figur 87 - Metoder for lagring av hydrogen<sup>138</sup>

## **Programmering**

I oppgaven har det ikke blitt satt av tid til programmering for å få til et ferdig anlegg. Energieffektivisering gjennom nøye og tung koding har et stort potensial for å redusere energiforbruket. Ved å benytte en komponent til å ligge å føle på signaler, kan resten av systemet ligge i «dvale». Med å redusere energimengden til å holde systemet operativt oppnås det store besparelser i energibehov.

## **Forslag til nye oppgaver**

- Fremtidens energilagring
- Pilotprosjekt for uttesting av tenkt løsning i 2 år
- Energieffektivisering gjennom programmering
- Hydrogen som energibærer

## 10 Tabelliste

Tabell 1 - Definisjoner og forklaringer .....	3
Tabell 2 - Virkningsgrad [%] for ulike solcelleteknologier .....	31
Tabell 3 - Klasseinndeling av turbin .....	41
Tabell 4 - Oversikt over generatortyper i vindturbiner .....	45
Tabell 5 - Fordeler og ulemper med blyakkumulator .....	57
Tabell 6 - Batteristandarder .....	65
Tabell 7 - Frekvensens innvirkning på trafospesifikasjoner .....	73
Tabell 8 - IP-grader .....	75
Tabell 9 - Driftssikkerhet solcelle .....	89
Tabell 10 - Vurdering av solcellepanel .....	90
Tabell 11 - Driftssikkerhet vindturbin.....	91
Tabell 12 - Vurdering av vindkraft .....	92
Tabell 13 - Driftssikkerhet vannkraftverk .....	93
Tabell 14 - Vurdering av vannkraft.....	94
Tabell 15 - Vurdering for ventilert skap.....	98
Tabell 16 - Vurdering for isolert skap .....	98
Tabell 17 - Priseksempler på kabellegging .....	104
Tabell 18 - Transformatorspesifikasjoner, TWB AG.....	108
Tabell 19 - Transformatorspesifikasjoner, Energia.....	108
Tabell 20 - Transformatorspesifikasjoner, Ritz International .....	109
Tabell 21 - Solartek PVP140 spesifikasjoner.....	112
Tabell 22 - Energitek PRO20 spesifikasjoner .....	113
Tabell 23 - Suntek AG12120 spesifikasjoner .....	113
Tabell 24 - Merkeverdier for MecVel Ali4.....	115
Tabell 25 - Prisforslag .....	117
Tabell 26 - Merkeverdier for MecVel Ali4.....	127
Tabell 27 - Effektbehov RTU - komponenter .....	128
Tabell 28 - Totalt energibehov .....	130
Tabell 29 - Produksjon fra 2x50W solcellerack v/47° tilt.....	132
Tabell 30 - Produksjon fra 2x140W solcellerack v/47° tilt.....	132
Tabell 31 - Produksjon fra 2x50W solcellerack v/72° tilt.....	133
Tabell 32 - Produksjon fra 2x1400W solcellerack v/72° tilt.....	133

## 11 Figurliste

Figur 1 - Hovedelementer i jernbanen.....	10
Figur 2 - Strømmens vei fra kraftverk til tog .....	11
Figur 3 - Trefasesystem.....	12
Figur 4 - Poloppsett i stator .....	13
Figur 5 - Mellomleddsomformer.....	16
Figur 6 - Spenningsforløp i mellomkrets .....	17
Figur 7 - Prinsippskisse av frem og returleder av KL-anlegg .....	19
Figur 8 - AT-system .....	19
Figur 9 - Prinsippskisse lastskillebryter og aktuator .....	20
Figur 10 - Snittbilde av DC-motor .....	21
Figur 11 - Prinsippskisse for solcelle .....	24
Figur 12 - Multikrystallinske solcelleoverflate .....	27
Figur 13 - Tynnfilmteknologi.....	28
Figur 14 - Typisk laderegulering.....	29
Figur 15 - Agder Energi sitt solcelleanlegg på deres kontorbygg i Kristiansand .....	33
Figur 16 - Operabygget i Bjørvika. ....	33
Figur 17 - Vindkart Norge.....	35
Figur 18 - Anemometer .....	36
Figur 19 - Vindrose .....	36
Figur 20 - Plassering av turbin .....	37
Figur 21 - Laminær og turbulent strømning.....	37
Figur 22 - Vindhastighet over 10 sek .....	38
Figur 23 - Luftstrømmen over vingebladet. ....	38
Figur 24 - Hovedkomponenter .....	39
Figur 25 - Utnyttelse av vindkraften ved forskjellig vindhastigheter .....	41
Figur 26 - Effektkurve for en vindturbin.....	42
Figur 27 - Sammenheng virkningsgrad og effekt for 2,3MW turbin .....	42
Figur 28 - HAWT og VAWT.....	43
Figur 29 - Virkningsgrad på forskjellige typer vindturbiner.....	44
Figur 30 - Nacelle og komponenter.....	45
Figur 31 - Konsekvensutredning .....	48
Figur 32 - Typisk livsløp for en vindturbin.....	49

Figur 33 - Milepæler i konsesjonssaksgangen .....	50
Figur 34 - Teknologier for energilagring .....	53
Figur 35 - Bruksområder for forskjellige typer energilagring.....	53
Figur 36 - Galvanisk celle .....	54
Figur 37 - Sammenligning sekundærbatteri .....	55
Figur 38 - Blyakkumulatoren .....	56
Figur 39 - Eksempel på Li-ion batteri .....	59
Figur 40 - Sammenligning kjede med batteri.....	60
Figur 41 - Syklusytelse som en funksjon av cellematch .....	61
Figur 42 - Seriekobling av to batterier .....	62
Figur 43 - Parallellkobling av to batterier .....	62
Figur 44 - Fire batterier koblet i serie og parallell .....	63
Figur 45 - Formelliste batteri .....	64
Figur 46 - Lastskillebryter i mast .....	68
Figur 47 - Prinsippskisse enfase-trafo .....	71
Figur 48 - Mollier-diagram: Sammenheng mellom lufttemperatur, entalpi og fuktig luft .....	77
Figur 49 - Eksempel på et lite varmeelement.....	78
Figur 50 - Illustrasjon av ventilering.....	78
Figur 51 - Trykk kan skade hus uten ventilering .....	80
Figur 52 - Silica gel.....	82
Figur 53 - EMC isothermen .....	83
Figur 54 - Spraying av akryl-belegg .....	86
Figur 55 - Epoksy.....	86
Figur 56 - RTU 511 .....	87
Figur 57 - Middeltemperatur i Meråker (1961-1990) .....	97
Figur 58 - Krav til kabelgrøft over 0,4m.....	102
Figur 59 - Krav til overdekning LS og HS kabler.....	102
Figur 60 - Kabelfritt profil .....	103
Figur 61 - Kabelforlegging inn mot spor .....	103
Figur 62 - Eksempel på tillatt konfigurasjon for kabelkanal.....	103
Figur 63 - Konseptløsning ved bruk av trafo på KL-anlegg .....	107
Figur 64 - Oversiktsskjema system .....	112
Figur 65 - Dimensjoner MecVel Ali4 .....	116
Figur 66 - RTU 211 til RTU 511.....	118

Figur 67 - Optisk transceiver.....	118
Figur 68 - Kretskort 23IO96.....	119
Figur 69 - Kretskort 23BO61 .....	119
Figur 70 - System uten PSM .....	119
Figur 71 - System med PSM .....	120
Figur 72 - Tenkt systemfunksjonalitet ved manøvrering .....	121
Figur 73 - PolyVent High Airflow .....	122
Figur 74 - Illustrasjon av skapløsning .....	123
Figur 75 - AutoCAD-skisse av anlegg .....	125
Figur 76 - Skisse over avstander .....	126
Figur 77 - Skisse av montering av solcelle .....	126
Figur 78 - Newton/ampere-kurve for MecVel Ali4 .....	127
Figur 79 - Grafisk fremstilling av energibehov pr. år .....	130
Figur 80 - Kabeldimensjon.....	135
Figur 81 - Utløserkarakteristikk for automatsikring .....	137
Figur 82 - Simulering av trykk i skap ved temperaturendring .....	145
Figur 83 - Produksjon/ forbruk.....	146
Figur 84 - Energistatus ved ulike kombinasjoner av batteri og solceller .....	147
Figur 85 - Akselerasjonsensor plassert på skinne .....	154
Figur 86 - Test rig av piezoelektrisk innhenting av energi .....	154
Figur 87 - Metoder for lagring av hydrogen .....	156

## 12 Kilder og referanser

- 
- <sup>1</sup> Tore N. Sørensen og Ali Reza Sadeghi, *Teknisk Spesifikasjon for Manøvermaskin for 230V AC*, 2006, Dok.nr.: EK.800009-000, [https://trv.jbv.no/t/images/b/b2/EK.800009-000\\_004\\_001.pdf](https://trv.jbv.no/t/images/b/b2/EK.800009-000_004_001.pdf) Avsnitt 4.2.4. 15.02.16
- <sup>2</sup> Regelhjelp, *Forskrifter for elektriske anlegg*, <http://www.regelhjelp.no/Etatenes-sider/Direktoratet-for-samfunnssikkerhet-og-beredskap-DSB-Emner/El-sikkerhet/Elektriske-anlegg/> 02.03.16
- <sup>3</sup> Lovdata, *FEL §1 Formål*, 2005, <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/1998-11-06-1060> 02.03.16
- <sup>4</sup> Lovdata, *FEL § 2 Virkeområde*, 2005 <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/1998-11-06-1060> 02.03.16
- <sup>5</sup> Norsk elektroteknisk komite, *NEK400:14*, 2014, [http://www.nek400.no/NEK400.aspx#NEK400\\_2014](http://www.nek400.no/NEK400.aspx#NEK400_2014) 02.03.16
- <sup>6</sup> DSB, *FEF06*, 2005 <http://www.dsb.no/no/Rettskilder/Regelverk/Oppslagsverket/3898/3899/5519/5520/> 11.03.16
- <sup>7</sup> Lovdata, *FEF §1-1 Formål*, 2005 <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2005-12-20-1626> 02.03.16
- <sup>8</sup> Lovdata, *FEF §1-2 Virkeområde*, 2005 <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2005-12-20-1626> 02.03.16
- <sup>9</sup> Rasjonell elektrisk nettvirksomhet, *FEF06*, del 5, kap. 8, 2015.
- <sup>10</sup> Jernbaneverket, *Slik fungerer jernbanen*, 1999 <http://docplayer.no/206537-Slik-fungerer-jernbanen.html> 18.05.16
- <sup>11</sup> Jernbanekompetanse, *Generell beskrivelse av banestrømforsyning*, 2.1 Elektrifisering [http://jernbanekompetanse.no/wiki/Generell\\_beskrivelse\\_av\\_banestr%C3%B8mforsyning#Roterende\\_omformer\\_stasjoner](http://jernbanekompetanse.no/wiki/Generell_beskrivelse_av_banestr%C3%B8mforsyning#Roterende_omformer_stasjoner) 09.03.16
- <sup>12</sup> Jernbaneverket, *Slik fungerer jernbanen*, 2012, [http://www.jernbaneverket.no/contentassets/55a947e1337748beaee3839e8f34f806/slikfungererjernbanen\\_2012\\_web\\_oppsl.pdf](http://www.jernbaneverket.no/contentassets/55a947e1337748beaee3839e8f34f806/slikfungererjernbanen_2012_web_oppsl.pdf) 09.03.16
- <sup>13</sup> SiriusA, *3-fas-spänningar*, <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/0c/3-fas-sp%C3%A4nningar.svg> 22.05.16
- <sup>14</sup> Peter Bastian, Hans Rinn, Günther Springer, Klaus Tkotz og Ulrich Winter, *Elektroteknisk formelsamling*, 2014, ISBN: 978-82-7345-411-9. s. 19. s. 28. 18.03.16
- <sup>15</sup> BSC (Bearing & power transmission solutions, *Motor speed*, <http://training.bsc.com.au/Training/A9000/A9051/A9051-8.jpg> 18.05.16
- <sup>16</sup> Jernbanekompetanse, *Generell beskrivelse av banestrømforsyning*, 3.2 roterende omformer, [http://jernbanekompetanse.no/wiki/Generell\\_beskrivelse\\_av\\_banestr%C3%B8mforsyning#Roterende\\_omformer\\_stasjoner](http://jernbanekompetanse.no/wiki/Generell_beskrivelse_av_banestr%C3%B8mforsyning#Roterende_omformer_stasjoner) 24.02.16
- <sup>17</sup> Jernbanekompetanse, *Generell beskrivelse av banestrømforsyning*, 3.4 Statisk omformer, [http://jernbanekompetanse.no/wiki/Generell\\_beskrivelse\\_av\\_banestr%C3%B8mforsyning#Roterende\\_omformer\\_stasjoner](http://jernbanekompetanse.no/wiki/Generell_beskrivelse_av_banestr%C3%B8mforsyning#Roterende_omformer_stasjoner) 10.03.16
- <sup>18</sup> Jernbanekompetanse, *mellomleddsomformer*, <http://jernbanekompetanse.no/w/images/7/75/OmformerMellomledd.png> 10.03.16



- 
- <sup>19</sup> Powerguru, *Bridge rectifiers*, <http://www.powerguru.org/wordpress/wp-content/uploads/2012/09/bridge-rectifiers.jpg> 15.05.16
- <sup>20</sup> Elektrofag, *frekvensomformereren*, <http://w3.elektrofag.info/elektroteknikk/frekvensomformereren> 25.02.16
- <sup>21</sup> Teknisk regelverk, *BT-system*, <https://trv.jbv.no/wiki/Definisjon:BT-system> 14.05.16
- <sup>22</sup> Jernbaneverket, *Ny teknologi på jernbanen Jærbanen*, <http://www.jernbaneverket.no/Prosjekter/prosjekter/Vedlikeholdsprosjekter/Reportasjer-fra-tiltak-i-2014/Ny-teknologi-pa-Jarbanen/> 14.05.16
- <sup>23</sup> Teknisk regelverk, *AT-system med seksjonert kontaktledning*, [https://trv.jbv.no/wiki/Kontaktledning/Prosjektering/Autotransformatorsystem\\_med\\_seksjonert\\_kontaktledning#Seksjonering\\_av\\_AT-ledere](https://trv.jbv.no/wiki/Kontaktledning/Prosjektering/Autotransformatorsystem_med_seksjonert_kontaktledning#Seksjonering_av_AT-ledere) 18.05.16
- <sup>24</sup> Jernbanekompetanse, *Elektrisk systembeskrivelse av kontaktledningsanlegg, 2015* [http://jernbanekompetanse.no/wiki/Elektrisk\\_systembeskrivelse\\_av\\_kontaktledningsanlegg](http://jernbanekompetanse.no/wiki/Elektrisk_systembeskrivelse_av_kontaktledningsanlegg) 10.03.16
- <sup>25</sup> Jernbaneverket, *Autotransformatorsystem med seksjonert kontaktledning*, 2016, [https://trv.jbv.no/wiki/Kontaktledning/Prosjektering/Autotransformatorsystem\\_med\\_seksjonert\\_kontaktledning](https://trv.jbv.no/wiki/Kontaktledning/Prosjektering/Autotransformatorsystem_med_seksjonert_kontaktledning) 15.05.16
- <sup>26</sup> Driescher, *Outdoor actuators type UM*, [www.driescher.de/download?f=0.198](http://www.driescher.de/download?f=0.198) 18.05.16
- <sup>27</sup> *Classification of Electric Motors*, <http://www.electrical-knowhow.com/2012/05/classification-of-electric-motors.html>, 02.03.16
- <sup>28</sup> Robert B. Northrop (2005). «§6.3.2 Photovoltaic Cells». *Introduction to Instrumentation and Measurements*. CRC Press. s. 176. ISBN 0-8493-7898-2.
- <sup>29</sup> Solcelleguiden, *solcelletyper*, 2015, [http://solcelleguiden.dk/solceller\\_typer.asp](http://solcelleguiden.dk/solceller_typer.asp) 15.03.16
- <sup>30</sup> Fornybar, *Solenergi: teknologi*, <http://www.fornybar.no/solenergi/teknologi#sol2.1> 15.03.16
- <sup>31</sup> Sepeeg, *Info og vejledning*, <http://sepeeg.dk/sol/info-vejledning/> 15.03.16
- <sup>32</sup> Top DIY solar panels, *3rd generation of solar panels thin film*, <http://topdiysolarpanels.com/3rd-generation-of-solar-panels-thin-film/> 27.04.16
- <sup>33</sup> Mulighetsstudie Solenergi i Norge, SINTEF og KanEnergi, <http://www.solenergi.no/wp-content/uploads/2010/01/Enova-mulighetsstudie-2011.pdf> 25.03.16
- <sup>34</sup> Getek AS, *Regulatorer*, [http://getek.no/brosjyrer/regulator\\_2011.pdf](http://getek.no/brosjyrer/regulator_2011.pdf) 05.04.16
- <sup>35</sup> Fornybar, *Solenergi*, <http://www.fornybar.no/solenergi/teknologi#sol2.1> 25.04.16
- <sup>36</sup> Otto Andersen, *Solceller kan bli den nye miljøtrusselen*, 2013 <http://forskning.no/meninger/kronikk/2013/10/solceller-kan-bli-den-nye-miljotrusselen> 19.04.16
- <sup>37</sup> Kilder Agder Energi. Kilde NRK; Foto Kai Stokkeland
- <sup>38</sup> Multiconsult, *Solstrøm i Norge*, 2012, [http://www.enova.no/upload\\_images/558DF5FE0C544A9FBE48C6B930A56956.pdf](http://www.enova.no/upload_images/558DF5FE0C544A9FBE48C6B930A56956.pdf) 25.02.16
- <sup>39</sup> Fornybar, *Vindkraftteknologi*, <http://www.fornybar.no/vindkraft/teknologi> 05.04.16
- <sup>40</sup> Jannicke Nilsen, *Småskala vindkraft, 2014* <http://www.tu.no/artikler/markedet-for-smaskala-vindkraft-har-pa-ingen-mate-tatt-av/225019> 23.02.16
- <sup>41</sup> Petter Danevig og Knut Erik Harstveit, *Vind*, 2015, <https://snl.no/vind> 24.02.16
- <sup>42</sup> NVE, *konsesjon vindkraft*, 2016 <https://www.nve.no/energiforsyning-og-konsesjon/vindkraft/> 25.02.16
- <sup>43</sup> Fornybar, *Ressursgrunnlag*, <http://www.fornybar.no/vindkraft/ressursgrunnlag> 01.03.16

- 
- <sup>44</sup> Vindmølleindustrien, *Måling af vindhastighed: Anemometre*, 2013  
[http://www.motiva.fi/myllarin\\_tuulivoima/windpower%20web/da/tour/wres/wndspeed.htm](http://www.motiva.fi/myllarin_tuulivoima/windpower%20web/da/tour/wres/wndspeed.htm) 29.04.16
- <sup>45</sup> David Darling, *anemometer*, [http://www.daviddarling.info/encyclopedia/A/AE\\_anemometer.html](http://www.daviddarling.info/encyclopedia/A/AE_anemometer.html) 01.03.16
- <sup>46</sup> Vindmølleindustrien, *Vindrosen*, 2003,  
[http://www.motiva.fi/myllarin\\_tuulivoima/windpower%20web/da/tour/wres/rose.htm](http://www.motiva.fi/myllarin_tuulivoima/windpower%20web/da/tour/wres/rose.htm) 28.02.16
- <sup>47</sup> Vindportalen, *Karakterisering av vind*, <http://www.vindportalen.no/hva-er-vind/karakterisering-av-vind.aspx>  
28.02.16
- <sup>48</sup> Theodore Wildi, *Electrical Machines, Drives and Power systems, 6th Edition*. ISBN:978-93-325-1853-7.  
Essex: Pearson Education Limited, s.701, 20.02.16
- <sup>49</sup> Getek AS, *Vindgenerator laveffekt*, [http://www.getek.no/vindgenerator\\_getek.html](http://www.getek.no/vindgenerator_getek.html) 22.02.16
- <sup>50</sup> Chemistry glossary, *Laminar flow*, 2015  
<http://www.glossary.periodni.com/dictionary.php?en=difuzijska+struja> 29.04.16
- <sup>51</sup> Vindmølleindustrien, *Vekslede vindhastigheter*, 2003,  
[http://www.motiva.fi/myllarin\\_tuulivoima/windpower%20web/da/tour/wres/variab.htm](http://www.motiva.fi/myllarin_tuulivoima/windpower%20web/da/tour/wres/variab.htm) 23.02.16
- <sup>52</sup> Vindportalen, *bladeffekt*, 2014, <http://www.vindportalen.no/teori/bladeffekt.aspx> 22.02.16
- <sup>53</sup> Vindportalen, *Teknologi*, 2014, <http://www.vindportalen.no/teknologi.aspx> 26.02.16
- <sup>54</sup> Vindportalen, *Brukstid og kapasitetsfaktor*, 2014, <http://www.vindportalen.no/teori/brukstid-og-kapasitetsfaktor.aspx> 22.02.16
- <sup>55</sup> Vindportalen, *virkningsgrad*, 2015, <http://www.vindportalen.no/teori/virkningsgrad.aspx> 22.02.16
- <sup>56</sup> Vindportalen, *effektkurver*, 2014, <http://www.vindportalen.no/teori/effektkurver.aspx> 21.02.16
- <sup>57</sup> AllAboutLearning, *HAWT/VAWT*, [http://www.allaboutlearning.co/stackpole-ftp/REWP/hawt\\_vs\\_vawt.pdf](http://www.allaboutlearning.co/stackpole-ftp/REWP/hawt_vs_vawt.pdf)  
01.03.16
- <sup>58</sup> Energypedia, *Wind turbine technology*, 2014 [https://energypedia.info/wiki/Wind\\_Turbine\\_Technology](https://energypedia.info/wiki/Wind_Turbine_Technology)  
29.02.16
- <sup>59</sup> Vindportalen, *Teknologi – Generator*, 2014, <http://www.vindportalen.no/teknologi/generator.aspx> 26.02.16
- <sup>60</sup> Pål Glimen, *Elektriske forsyningsanlegg – TELE3005 15H ØVING kapittel 24 – Løsningsforslag*, 26.02.16
- <sup>61</sup> Fornybar, *Miljøkonsekvenser*, <http://www.fornybar.no/vindkraft/miljokonsekvenser> 26.02.16
- <sup>62</sup> Jannicke Nilsen, *Smøla Vindpark*, 2014 <http://www.tu.no/artikler/vindparken-ble-kalt-en-miljoskandale-for-havorna-na-vokser-bestanden/231701> 26.02.15
- <sup>63</sup> Anders Arvesen, *Understanding the environmental implications of energy transitions, A case study for wind power*, 2013  
[http://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/235015/606916\\_FULLTEXT02.pdf?sequence=3&isAllowed=y](http://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/235015/606916_FULLTEXT02.pdf?sequence=3&isAllowed=y) 29.02.16
- <sup>64</sup> Vindportalen, *Tilbakebetaling av energi av en vindturbin*, 2014  
<http://www.vindportalen.no/vindkraftverk/netto-co2-og-energigevinst.aspx> 26.02.16
- <sup>65</sup> NVE, *Vindkraft*, 2016, <https://www.nve.no/energiforsyning-og-konsesjon/vindkraft/> 14.04.16
- <sup>66</sup> Vindportalen, *Konsesjonsprosessen*, 2014 <http://www.vindportalen.no/vindkraft-i-norge/konsesjonsprosessen.aspx> 26.02.16
- <sup>67</sup> Fornybar.no, *Vannkraft*, <http://www.fornybar.no/vannkraft/ressursgrunnlag> 09.03.16
- <sup>68</sup> Fornybar.no, *Vannkraft*, [http://www.fornybar.no/vannkraft/teknologi#store\\_vannkraftverk](http://www.fornybar.no/vannkraft/teknologi#store_vannkraftverk) 09.03.16
- <sup>69</sup> Fornybar.no, *Vannkraft*, <http://www.fornybar.no/vannkraft/teknologi> 09.03.16

- 
- <sup>70</sup> Knut A Rosvold og Knut Hofstad, *Energilagring*, 2013 <https://snl.no/energilagring> 29.02.16
- <sup>71</sup> Fornybar.no, *Energilagring*, <http://www.fornybar.no/overforing-og-lagring-av-energi/lagring-av-energi/teknologier-for-lagring-av-energi> 29.02.16
- <sup>72</sup> Ivar Gunvaldsen og Knut A Rosvold, *Batteri*, 2015 <https://snl.no/batteri> 02.03.16
- <sup>73</sup> Per Andersen og Helmer Fjellvåg, *Elektrolytt*, 2009, <https://snl.no/elektrolytter> 02.03.16
- <sup>74</sup> Bjørn Pedersen, *Ion*, 2010 <https://snl.no/ioner> 02.03.16
- <sup>75</sup> Wikipedia, *Galvanisk element*, 2015, [https://no.wikipedia.org/wiki/Galvanisk\\_element](https://no.wikipedia.org/wiki/Galvanisk_element) 02.03.16
- <sup>76</sup> Silatronix, *Rechargeable Li-ion Batteries*, <http://silatronix.com/applications/rechargeable-li-ion-batteries/> 05.03.16
- <sup>77</sup> Nils H Fløttre, *Blyakkumulatoren*, <http://ndla.no/nb/node/16739> 04.03.16
- <sup>78</sup> Sparelys.no, *Beregning av lading fra et solcellepanel*, [http://www.sparelys.no/index.php?option=com\\_content&id=19&Itemid=37#agm](http://www.sparelys.no/index.php?option=com_content&id=19&Itemid=37#agm) 08.03.16
- <sup>79</sup> Marius Valle, *Elbilbatteri*, 2015, <http://www.tu.no/artikler/slik-far-du-batteriet-i-elbilen-til-a-vare/196965> 08.03.16
- <sup>80</sup> UiO, *Li-ion for fremtiden*, 2011 <http://www.mn.uio.no/kjemi/forskning/tema/batterier/artikler/li-ion-for-framtiden.html> 04.03.16
- <sup>81</sup> Wikipedia, *Lithium-jern-fosfat-akkumulator*, 2016, <https://da.wikipedia.org/wiki/Lithium-jern-fosfat-akkumulator> 16.03.16
- <sup>82</sup> MaksPower, *LiFePo<sub>4</sub>*, 2015, [http://www.makspower.no/images/Last\\_Ned\\_filer/MakspowerLiFePO4\\_Lithium\\_Iron\\_Phosphate\\_Batteries\\_1\\_m\\_b.PDF](http://www.makspower.no/images/Last_Ned_filer/MakspowerLiFePO4_Lithium_Iron_Phosphate_Batteries_1_m_b.PDF) 16.03.16
- <sup>83</sup> Battery University, *Series and Parallel Battery Configurations*, 2016 [http://batteryuniversity.com/learn/article/serial\\_and\\_parallel\\_battery\\_configurations](http://batteryuniversity.com/learn/article/serial_and_parallel_battery_configurations) 16.03.16
- <sup>84</sup> Battery University, *Cell Matching and Balancing*, 2016 [http://batteryuniversity.com/learn/article/bu\\_803a\\_cell\\_mismatch\\_balancing](http://batteryuniversity.com/learn/article/bu_803a_cell_mismatch_balancing) 16.03.16
- <sup>85</sup> Batterystuff, *Battery Bank Tutorial - Series and Parallel*, 2016 <https://www.batterystuff.com/kb/articles/battery-articles/battery-bank-tutorial.html> 19.03.16
- <sup>86</sup> Peter Bastian, Hans Rinn, Günther Springer, Klaus Tkotz og Ulrich Winter, *Elektroteknisk formelsamling*, 2014, ISBN: 978-82-7345-411-9. s. 36. 18.03.16
- <sup>87</sup> Sunwind, *Valg av batterier*, <http://www.sunwind.no/en/Catalog/files/page/29.swf> 08.03.16
- <sup>88</sup> Per Erlien Dalløkken, *Utslippene halveres med norske elbilbatterier*, 2013 <http://www.tu.no/artikler/utslippene-halveres-med-norske-elbilbatterier/233658> 08.03.16
- <sup>89</sup> Linda Ager-Wick Ellingsen, Guillaume Majeau-Bettez, Bhawna Singh, Akhilesh kumar Srivastava, Lars Ole Valøen, Anders Hammer. *Life Cycle Assessment of a Lithium-Ion Battery Vehicle Pack*, <http://bilavgifter.org/files/2015/02/Hammer-jiec12072-ea.pdf> 15.03.16
- <sup>90</sup> Store norske leksikon (2005 - 2007), *lastskillebryter*, 2009 <https://snl.no/lastskillebryter> 29.02.16
- <sup>91</sup> EB-elektro, *Skillebryter MB 88 Rail 11 kV – 36 kV 400A – 1250 A*, <http://www.eb-elektro.no/no/segmenter/jernbane/brytere-og-motorstyringer> 02.03.16
- <sup>92</sup> Kjell Saugstad, *effektbryter*, 2009 <https://snl.no/effektbryter> 29.02.16

- 
- <sup>93</sup> Jernbanekompetanse, *Avsnitt 1.3 Brytere*, 2015, [http://jernbanekompetanse.no/wiki/Elektrisk\\_systembeskrivelse\\_av\\_kontaktledningsanlegg#Jording\\_av\\_langsg\\_C3.A5ende\\_ledende\\_konstruksjoner](http://jernbanekompetanse.no/wiki/Elektrisk_systembeskrivelse_av_kontaktledningsanlegg#Jording_av_langsg_C3.A5ende_ledende_konstruksjoner) 05.04.16
- <sup>94</sup> Kjell Saugstad, *transformator*, 2016, <https://snl.no/transformator> 13.03.16
- <sup>95</sup> Theodore Wildi, *Electrical Machines, Drives and Power systems, 6th Edition*. ISBN: 978-93-325-1853-7. Essex: Pearson Education Limited, 2.20 - Faraday's law of electromagnetic induction.
- <sup>96</sup> Peter Bastian, Hans Rinn, Günther Springer, Klaus Tkotz og Ulrich Winter. *Elektroteknisk formelsamling*. ISBN: 978-82-7345-411-9. s. 32
- <sup>97</sup> Toufann Chaudhuri and Christian Vetterl, *Shrinking the core*, [https://library.e.abb.com/public/aa540228f875a641c1257ab8003ae5e7/37-40%20sr108\\_72dpi.pdf](https://library.e.abb.com/public/aa540228f875a641c1257ab8003ae5e7/37-40%20sr108_72dpi.pdf) 14.03.16
- <sup>98</sup> Theodore Wildi, *Electrical Machines, Drives and Power systems, 6th Edition*. ISBN:978-93-325-1853-7. Essex: Pearson Education Limited, 11.4 – Voltage transformers.
- <sup>99</sup> Belysning1, *Forklaring på IP-grader*, <http://belysning1.no/pages/ip-grader> 30.03.16
- <sup>100</sup> Ola Furuhaug, 10: *Krav til beskyttelse, elektriske lavspenningar*, 2015. 06.04.16
- <sup>101</sup> National Geographic, condensation, 2011, <http://education.nationalgeographic.org/encyclopedia/condensation/> 30.03.2016
- <sup>102</sup> Wikipedia, *Enthalpy–entropy chart*, 2015 [https://en.wikipedia.org/wiki/Enthalpy%E2%80%93entropy\\_chart](https://en.wikipedia.org/wiki/Enthalpy%E2%80%93entropy_chart) 03.04.16
- <sup>103</sup> Abderrahmane Agnaou, *Electrical enclosures: Warm and dry keeps condensation away*, 2013 <http://blog.schneider-electric.com/power-management-metering-monitoring-power-quality/2013/10/29/electrical-enclosures-warm-dry-keeps-condensation-away/> 05.04.16
- <sup>104</sup> Schneider Electric, *Ultratynn heater 50W 240V*, <http://ecatalogue.schneider-electric.no/ProductSheet.aspx?productId=4035260&groupId=30887&navid=25488&navoption=6#> 05.04.2016
- <sup>105</sup> Gary Chan, *Mer pålitelig sensor med ventil*, 2016, <http://elektronikknett.no/Artikkelarkiv/2016/Februar/Mer-paalitelig-sensor-med-ventil> 06.04.16
- <sup>106</sup> Gore, *Protective Vents*, [http://www.gore.com/en\\_xx/products/venting/index.html](http://www.gore.com/en_xx/products/venting/index.html) 06.04.16
- <sup>107</sup> GORE, *Protective vents screw-in series*, 2015, [http://www.gore.com/MungoBlobs/119/37/PTV\\_Screw-In\\_Data-Sheet\\_US\\_e.pdf](http://www.gore.com/MungoBlobs/119/37/PTV_Screw-In_Data-Sheet_US_e.pdf) 06.04.16
- <sup>108</sup> Healthy food style, *After Reading THIS You'll Never Throw Away These Silica Gel Bags Again... (#5 Is My Favorite)*, 2016, <http://www.healthyfoodstyle.com/after-reading-this-youll-never-throw-away-these-silica-gel-bags-again5-is-my-favorite/> 04.04.16
- <sup>109</sup> Steven Weintraub, *Demystifying silica gel*, Object Specialty Group Postprints (vol. 9), 2002. Washington, D.C.: American Institute for Conservation. 2002, <http://www.apsnyc.com/uploads/Demystifying%20Silica%20Gel.pdf> 01.04.2016
- <sup>110</sup> Humiseal, *What is conformal coating?*, <http://www.humiseal.com/conformal-coating/> 05.04.16
- <sup>111</sup> Intertronics, *Fast Drying Acrylic Conformal Coating* <http://www.intertronics.co.uk/products/tec2108conformalcoating.htm> 05.04.16
- <sup>112</sup> MG Chemicals AppGuide, *Protecting your circuitboard from moisture and humidity*, <http://www.mgchemicals.com/downloads/appguide/appguide0405.pdf> 05.04.16

- ABB, RTU 511. [https://library.e.abb.com/public/9c30bb8aced8b4f3c1257b21004ca476/RTU511-product-line\\_print\\_EN.pdf](https://library.e.abb.com/public/9c30bb8aced8b4f3c1257b21004ca476/RTU511-product-line_print_EN.pdf) 13.05.16
- <sup>114</sup> GETEK-nettbutikk, *SOLARTEK PVP14012, 140W solcellepanel proff 17V MC4 sort* <http://getek.mamutweb.com/Shop/Product/SOLARTEK-PVP14012-140W-solcellepanel-proff-17V-MC4-sort/122140> 21.03.16
- <sup>115</sup> Hytte og liv-senteret, *Vindgenerator Ampair Pacific m/regulator* <http://www.hyttelivsenteret.no/products/vindgenerator-ampair-pacific-mregulator> 21.03.16
- <sup>116</sup> Kari Jystad, *Tilbakebetalingstid ved ulike energikilder*, 2015, <http://ungenergi.no/tilbakebetalingstid-ved-ulike-energikilder/> 21.03.16
- <sup>117</sup> Jeson Pitt, *Condensation Inside Electrical Enclosures and How it Can be Prevented*, 2015 <http://www.electronicprotectionmagazine.com/main/articles/condensation-inside-electrical-enclosures-and-how-it-can-be-prevented/> 04.04.2016
- <sup>118</sup> Meteorologisk institutt, *Middeltemperatur Meråker*, [www.eklima.no](http://www.eklima.no) 15.03.16
- <sup>119</sup> NVE, *Nettilknytning*, 2015 <https://www.nve.no/elmarkedstilsynet-marked-og-monopol/nettjenester/nettilknytning/> 14.03.16
- <sup>120</sup> NVE, *Anleggsbidrag*, 2015 <https://www.nve.no/elmarkedstilsynet-marked-og-monopol/nettjenester/nettilknytning/anleggsbidrag/> 14.03.16
- <sup>121</sup> NVE, *Betaling for endring av nettanlegg*, 2015 <https://www.nve.no/elmarkedstilsynet-marked-og-monopol/nettjenester/nettilknytning/betaling-for-endring-av-nettanlegg/> 14.03.16
- <sup>122</sup> RENblad 4100 Versjon: 2.2, *Lavspenningsnett - Kundetilknypning - Boliginstallasjon - Utførelse* Avsnitt 8, 02/2016 <https://www.ren.no/doc/api/rest/download/renblad/4100> 12.03.16
- <sup>123</sup> RENblad 9008 Versjon: 1.3-PUBLISERT, *Kabel 0,23kv-24kv- Grunn kabelgrøft*, Avsnitt 3, 01/2015 <https://www.ren.no/doc/api/rest/download/renblad/9008> 12.03.16
- <sup>124</sup> Jernbanekompetanse, *Felles elektro/Prosjektering og bygging/Kabellegging og kabelkanaler*, 2016, [https://trv.jbv.no/wiki/Felles\\_elektro/Prosjektering\\_og\\_bygging/Kabellegging\\_og\\_kabelkanaler](https://trv.jbv.no/wiki/Felles_elektro/Prosjektering_og_bygging/Kabellegging_og_kabelkanaler) 30.03.2016
- <sup>125</sup> Jernbanekompetanse, *Strømforsyning av lavspenningsnett*, [http://jernbanekompetanse.no/wiki/Str%C3%B8mforsyning\\_av\\_lavspenningsnett#Reservestr.C3.B8mstransformat\\_2816\\_2.2F3\\_Hz.29](http://jernbanekompetanse.no/wiki/Str%C3%B8mforsyning_av_lavspenningsnett#Reservestr.C3.B8mstransformat_2816_2.2F3_Hz.29) 29.4.16
- <sup>126</sup> PVsyst, *Typical layout of a stand-alone system*, Modifisert versjon av PVsyst-skjema som er tilpasset løsningen. 16.05.16
- <sup>127</sup> Betamo/Mecvel, utklipp fra vedlegg 9, Ali4 aktuator
- <sup>128</sup> ABB, *Migration from RTU211 to RTU511*, <http://www.abb.com/product/ap/db0003db004281/cfb417b2fc3d530ac1257b830029fd55.aspx> 13.05.16
- <sup>129</sup> Fluxlight, *Understanding BI-directional optical transceiver technology: BIDI transceivers*, <https://blog.fluxlight.com/2015/05/21/understanding-bi-directional-optical-transceiver-technology-bidi-transceivers/> 06.05.16
- <sup>130</sup> Jernbaneskolen, Dokumentasjon for RTU211 For styring av KL brytere levert av ABB i Region Nord, V.01.2013. ABB Automation. Norsk Jernbaneskole
- <sup>131</sup> Gore, *New Gore polyvent high airflow*, [http://www.gore.com/en\\_gb/news/new-gore-polyvent-high-airflow.html](http://www.gore.com/en_gb/news/new-gore-polyvent-high-airflow.html) 21.04.16

- 
- <sup>132</sup> REN, *FEF06 med REN-kommentarer*, §8-4 Avstander, hinder ved kryssinger og nærføringer til KL-anlegget. 2015. 05.04.16
- <sup>133</sup> Multiconsult, *Kostnadsstudie, Solkraft I Norge*, 2013, [http://www.enova.no/upload\\_images/9BCEF1E3526D469F9F21AD1600F594D2.pdf](http://www.enova.no/upload_images/9BCEF1E3526D469F9F21AD1600F594D2.pdf) 06.04.16
- <sup>134</sup> Rainbow Power Company, *Wire chart*, [http://www.rpc.com.au/pdf/Wire\\_Chart.pdf](http://www.rpc.com.au/pdf/Wire_Chart.pdf) 20.04.16
- <sup>135</sup> Just Erik Ormbostad, *Normguiden: NEK 400:2014*, 2015, Elforlaget.
- <sup>136</sup> M. Wischke, G. Biancuzzi, G. Fehrenbach, Y. Abbas, P. Woias , *Vibration harvesting in railway tunnels*, 2011 [http://cap.ee.ic.ac.uk/~pdm97/powermems/2010/oral-pdfs/123\\_Wischke\\_103.pdf](http://cap.ee.ic.ac.uk/~pdm97/powermems/2010/oral-pdfs/123_Wischke_103.pdf), 12.04.2016
- <sup>137</sup> Mari Gisvold Garathun, *Nytt materiale kan lagre solvarme til senere bruk*, 2014, <http://www.tu.no/artikler/nytt-materiale-kan-lagre-solvarme-til-senere-bruk/231330> 14.04.16
- <sup>138</sup> Lisa Bakke, *10 Mobile energikilder*, 2014 [http://images.slideplayer.no/7/1901575/slides/slide\\_25.jpg](http://images.slideplayer.no/7/1901575/slides/slide_25.jpg) 01.03.16.

**VEDLEGG 1**  
**PVsyst - 2x50W/47° tilt**  
**Antall: 2 sider**

# VEDLEGG 1

## Stand Alone System: Simulation parameters

**Project :** Lastskillebryter

<b>Geographical Site</b>	<b>Bodo</b>	Country	<b>Norway</b>
<b>Situation</b>	Latitude	Longitude	14.4°E
Time defined as	Legal Time	Time zone	UT+1
	Albedo	Altitude	19 m
<b>Meteo data:</b>	<b>Bodo</b>	MeteoNorm 7.1 station - Synthetic	

**Simulation variant :** BODO2x50W

Simulation date 15/04/16 12h39

### Simulation parameters

<b>Collector Plane Orientation</b>	Tilt	47°	Azimuth	0°
<b>Models used</b>	Transposition	Hay	Diffuse	Perez, Meteonorm

### PV Array Characteristics

<b>PV module</b>	Si-poly	Model	<b>PVP5012</b>	
<small>Custom parameters definition</small>		Manufacturer	SolarTek	
Number of PV modules		In series	2 modules	In parallel
Total number of PV modules		Nb. modules	2	Unit Nom. Power
Array global power		Nominal (STC)	<b>100 Wp</b>	At operating cond.
Array operating characteristics (50°C)		U mpp	34 V	I mpp
Total area		Module area	<b>3.3 m<sup>2</sup></b>	Cell area
				1 strings
				50 Wp
				106 Wp (16°C)
				3.1 A
				2.9 m <sup>2</sup>

### PV Array loss factors

Thermal Loss factor	Uc (const)	20.0 W/m <sup>2</sup> K	Uv (wind)	0.0 W/m <sup>2</sup> K / m/s
Wiring Ohmic Loss	Global array res.	157 mOhm	Loss Fraction	1.5 % at STC
Serie Diode Loss	Voltage Drop	0.7 V	Loss Fraction	2.1 % at STC
Module Quality Loss			Loss Fraction	-1.3 %
Module Mismatch Losses			Loss Fraction	2.5 % (fixed voltage)
Incidence effect, ASHRAE parametrization	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	bo Param.	0.05

### System Parameter

System type **Stand Alone System**

<b>Battery</b>	Model	<b>AG12100</b>	
	Manufacturer	SunTek	
Battery Pack Characteristics	Voltage	24 V	Nominal Capacity
	Nb. of units	2 in series	100 Ah
	Temperature	Fixed (20°C)	

### Controller

	Model	EnergiTek PRO20	
	Manufacturer	ENERGITEK	
	Technology	Series transistor	Temp coeff.
			-10.0 mV/°C/elem.

Battery management control	Treshold commands as	Battery voltage	
	Charging	29.3/25.1 V	Corresp. SOC
	Discharging	20.4/24.4 V	Corresp. SOC
			0.96/0.75
			0.00/0.45

**User's needs :** Daily household consumers average Constant over the year  
0.1 kWh/Day



# VEDLEGG 1

## Stand Alone System: Main results

**Project :** Lastskillebryter

**Simulation variant :** BODO2x50W

Main system parameters	System type	Stand alone	
PV Field Orientation	tilt	47°	azimuth 0°
PV modules	Model	PVP5012	Pnom 50 Wp
PV Array	Nb. of modules	2	Pnom total <b>100 Wp</b>
Battery	Model	AG12100	Technology sealed, Gel
battery Pack	Nb. of units	2	Voltage / Capacity <b>24 V / 100 Ah</b>
User's needs	Daily household consumers	Constant over the year	global 27.0 kWh/year

Main simulation results			
System Production	<b>Available Energy</b>	<b>83.89 kWh/year</b>	Specific prod. 839 kWh/kWp/year
	Used Energy	27.01 kWh/year	Excess (unused) 32.57 kWh/year
	Performance Ratio PR	26.0 %	Solar Fraction SF 100.0 %
Loss of Load	Time Fraction	0.0 %	Missing Energy 0.00 kWh/year

### BODO2x50W Balances and main results

	GlobHor kWh/m <sup>2</sup>	GlobEff kWh/m <sup>2</sup>	E Avail kWh	EUnused kWh	E Miss kWh	E User kWh	E Load kWh	SolFrac
January	1.7	9.7	0.74	0.000	0.000	2.294	2.294	1.000
February	15.2	47.6	3.67	0.000	0.000	2.072	2.072	1.000
March	57.7	116.9	9.82	4.066	0.000	2.294	2.294	1.000
April	110.2	149.8	12.70	6.357	0.000	2.220	2.220	1.000
May	147.1	152.0	12.72	6.397	0.000	2.294	2.294	1.000
June	149.3	136.2	11.31	4.846	0.000	2.220	2.220	1.000
July	140.1	131.4	10.81	4.387	0.000	2.294	2.294	1.000
August	102.9	117.6	9.74	3.662	0.000	2.294	2.294	1.000
September	55.6	83.6	7.02	2.480	0.000	2.220	2.220	1.000
October	21.7	50.2	4.30	0.379	0.000	2.294	2.294	1.000
November	3.9	12.8	1.05	0.000	0.000	2.220	2.220	1.000
December	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	2.294	2.294	1.000
Year	805.4	1007.7	83.89	32.573	0.000	27.010	27.010	1.000

Legends:	GlobHor	Horizontal global irradiation	E Miss	Missing energy
	GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	E User	Energy supplied to the user
	E Avail	Available Solar Energy	E Load	Energy need of the user (Load)
	EUnused	Unused energy (full battery) loss	SolFrac	Solar fraction (EUsed / ELoad)

## **VEDLEGG 2**

**PVsyst - 2x50W/72° tilt**

**Antall: 2 sider**

# VEDLEGG 2

PVSYST V6.43		20/04/16	Page 1/4
<b>Stand Alone System: Simulation parameters</b>			
<b>Project :</b>	<b>Lastskillebryter</b>		
<b>Geographical Site</b>	<b>Bodo</b>	<b>Country</b>	<b>Norway</b>
<b>Situation</b>	Latitude 67.3°N	Longitude	14.4°E
Time defined as	Legal Time Time zone UT+1	Altitude	19 m
<b>Meteo data:</b>	<b>Bodo</b>	MeteoNorm 7.1 station - Synthetic	
<b>Simulation variant :</b>	<b>BODO2x50W</b>		
	Simulation date	20/04/16 09h11	
<b>Simulation parameters</b>			
<b>Collector Plane Orientation</b>	Tilt 72°	Azimuth	0°
<b>Models used</b>	Transposition Hay	Diffuse	Perez, Meteonorm
<b>PV Array Characteristics</b>			
<b>PV module</b>	Si-poly	Model	<b>PVP5012</b>
Custom parameters definition	Manufacturer	SolarTek	
Number of PV modules	In series	In parallel	1 strings
Total number of PV modules	Nb. modules	Unit Nom. Power	50 Wp
Array global power	Nominal (STC)	At operating cond.	106 Wp (16°C)
Array operating characteristics (50°C)	U mpp	I mpp	3.1 A
Total area	Module area	Cell area	2.9 m <sup>2</sup>
<b>PV Array loss factors</b>			
Thermal Loss factor	Uc (const)	20.0 W/m <sup>2</sup> K	Uv (wind) 0.0 W/m <sup>2</sup> K / m/s
Wiring Ohmic Loss	Global array res.	157 mOhm	Loss Fraction 1.5 % at STC
Serie Diode Loss	Voltage Drop	0.7 V	Loss Fraction 2.1 % at STC
Module Quality Loss			Loss Fraction -1.3 %
Module Mismatch Losses			Loss Fraction 2.5 % (fixed voltage)
Incidence effect, ASHRAE parametrization	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	bo Param. 0.05
<b>System Parameter</b>	System type	<b>Stand Alone System</b>	
<b>Battery</b>	Model	<b>AG12100</b>	
Battery Pack Characteristics	Manufacturer	SunTek	
	Voltage	Nominal Capacity	100 Ah
	Nb. of units	2 in series	
	Temperature	Fixed (20°C)	
<b>Controller</b>	Model	EnergiTek PRO20	
	Manufacturer	ENERGITEK	
	Technology	Series transistor	Temp coeff. -10.0 mV/°C/elem.
Battery management control	Treshold commands as	Battery voltage	
	Charging	29.3/25.1 V	Corresp. SOC 0.96/0.75
	Discharging	20.4/24.4 V	Corresp. SOC 0.00/0.45
<b>User's needs :</b>	Daily household consumers average	Constant over the year 0.1 kWh/Day	

# VEDLEGG 2

## Stand Alone System: Main results

**Project :** Lastskillebryter

**Simulation variant :** BODO2x50W

Main system parameters	System type	Stand alone	
PV Field Orientation	tilt	72°	azimuth 0°
PV modules	Model	PVP5012	Pnom 50 Wp
PV Array	Nb. of modules	2	Pnom total <b>100 Wp</b>
Battery	Model	AG12100	Technology sealed, Gel
battery Pack	Nb. of units	2	Voltage / Capacity <b>24 V / 100 Ah</b>
User's needs	Daily household consumers	Constant over the year	global 27.0 kWh/year

Main simulation results			
System Production	<b>Available Energy</b>	<b>78.58 kWh/year</b>	Specific prod. 786 kWh/kWp/year
	Used Energy	27.01 kWh/year	Excess (unused) 30.10 kWh/year
	Performance Ratio PR	27.7 %	Solar Fraction SF 100.0 %
Loss of Load	Time Fraction	0.0 %	Missing Energy 0.00 kWh/year

### BODO2x50W Balances and main results

	GlobHor kWh/m <sup>2</sup>	GlobEff kWh/m <sup>2</sup>	E Avail kWh	EUnused kWh	E Miss kWh	E User kWh	E Load kWh	SolFrac
January	1.7	12.0	0.92	0.000	0.000	2.294	2.294	1.000
February	15.2	55.0	4.32	0.000	0.000	2.072	2.072	1.000
March	57.7	123.7	10.49	5.187	0.000	2.294	2.294	1.000
April	110.2	141.1	11.95	6.015	0.000	2.220	2.220	1.000
May	147.1	130.5	10.96	4.575	0.000	2.294	2.294	1.000
June	149.3	112.6	9.33	3.557	0.000	2.220	2.220	1.000
July	140.1	110.1	9.04	3.296	0.000	2.294	2.294	1.000
August	102.9	105.2	8.71	2.893	0.000	2.294	2.294	1.000
September	55.6	83.0	6.91	3.118	0.000	2.220	2.220	1.000
October	21.7	55.6	4.69	1.461	0.000	2.294	2.294	1.000
November	3.9	15.1	1.26	0.000	0.000	2.220	2.220	1.000
December	0.0	0.0	0.00	0.000	0.000	2.294	2.294	1.000
Year	805.4	943.8	78.58	30.101	0.000	27.010	27.010	1.000

Legends:	GlobHor	Horizontal global irradiation	E Miss	Missing energy
	GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	E User	Energy supplied to the user
	E Avail	Available Solar Energy	E Load	Energy need of the user (Load)
	EUnused	Unused energy (full battery) loss	SolFrac	Solar fraction (EUsed / ELoad)

## **VEDLEGG 3**

**PVsyst - 2x140W/47° tilt**

**Antall: 2 sider**

# VEDLEGG 3

PVSYST V6.43		15/04/16	Page 1/4
<b>Stand Alone System: Simulation parameters</b>			
<b>Project :</b>	<b>Lastskillebryter</b>		
<b>Geographical Site</b>	<b>Bodo</b>	<b>Country</b>	<b>Norway</b>
<b>Situation</b>	Latitude 67.3°N	Longitude	14.4°E
Time defined as	Legal Time Time zone UT+1	Altitude	19 m
<b>Meteo data:</b>	<b>Bodo</b>	MeteoNorm 7.1 station - Synthetic	
<b>Simulation variant :</b>	<b>BODO2x140W</b>		
	Simulation date	15/04/16 12h17	
<b>Simulation parameters</b>			
<b>Collector Plane Orientation</b>	Tilt 47°	Azimuth	0°
<b>Models used</b>	Transposition Hay	Diffuse	Perez, Meteonorm
<b>PV Array Characteristics</b>			
<b>PV module</b>	Si-poly	Model	<b>PVP14012</b>
Custom parameters definition	Manufacturer	SolarTek	
Number of PV modules	In series	In parallel	1 strings
Total number of PV modules	Nb. modules	Unit Nom. Power	140 Wp
Array global power	Nominal (STC)	At operating cond.	291 Wp (16°C)
Array operating characteristics (50°C)	U mpp	I mpp	8.2 A
Total area	Module area	<b>1.7 m<sup>2</sup></b>	
<b>PV Array loss factors</b>			
Thermal Loss factor	Uc (const)	20.0 W/m <sup>2</sup> K	Uv (wind) 0.0 W/m <sup>2</sup> K / m/s
Wiring Ohmic Loss	Global array res.	62 mOhm	Loss Fraction 1.5 % at STC
Serie Diode Loss	Voltage Drop	0.7 V	Loss Fraction 2.1 % at STC
Module Quality Loss			Loss Fraction 1.5 %
Module Mismatch Losses			Loss Fraction 2.5 % (fixed voltage)
Incidence effect, ASHRAE parametrization	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	bo Param. 0.05
<b>System Parameter</b>	System type	<b>Stand Alone System</b>	
<b>Battery</b>	Model	<b>AG12100</b>	
Battery Pack Characteristics	Manufacturer	SunTek	
	Voltage	Nominal Capacity	100 Ah
	Nb. of units	2 in series	
	Temperature	Fixed (20°C)	
<b>Controller</b>	Model	EnergiTek PRO20	
	Manufacturer	ENERGITEK	
	Technology	Series transistor	Temp coeff. -10.0 mV/°C/elem.
Battery management control	Treshold commands as	Battery voltage	
	Charging	29.3/25.1 V	Corresp. SOC 0.94/0.75
	Discharging	20.4/24.4 V	Corresp. SOC 0.00/0.45
<b>User's needs :</b>	Daily household consumers average	Constant over the year 0.1 kWh/Day	

# VEDLEGG 3

## Stand Alone System: Main results

**Project :** Lastskillebryter

**Simulation variant :** BODO2x140W

Main system parameters		System type	Stand alone	
PV Field Orientation		tilt	47°	azimuth 0°
PV modules		Model	PVP14012	Pnom 140 Wp
PV Array		Nb. of modules	2	Pnom total <b>280 Wp</b>
Battery		Model	AG12100	Technology sealed, Gel
battery Pack		Nb. of units	2	Voltage / Capacity <b>24 V / 100 Ah</b>
User's needs	Daily household consumers	Constant over the year	global	27.0 kWh/year

### Main simulation results

System Production	<b>Available Energy</b>	<b>211.0 kWh/year</b>	Specific prod.	754 kWh/kWp/year
	Used Energy	27.0 kWh/year	Excess (unused)	168.9 kWh/year
	Performance Ratio PR	9.3 %	Solar Fraction SF	100.0 %
Loss of Load	Time Fraction	0.0 %	Missing Energy	0.0 kWh/year

### BODO2x140W Balances and main results

	GlobHor kWh/m <sup>2</sup>	GlobEff kWh/m <sup>2</sup>	E Avail kWh	EUnused kWh	E Miss kWh	E User kWh	E Load kWh	SolFrac
January	1.7	9.7	1.91	0.00	0.000	2.294	2.294	1.000
February	15.2	47.6	9.91	5.90	0.000	2.072	2.072	1.000
March	57.7	116.9	24.45	21.05	0.000	2.294	2.294	1.000
April	110.2	149.8	31.13	28.41	0.000	2.220	2.220	1.000
May	147.1	152.0	31.77	27.22	0.000	2.294	2.294	1.000
June	149.3	136.2	28.61	22.74	0.000	2.220	2.220	1.000
July	140.1	131.4	27.60	21.63	0.000	2.294	2.294	1.000
August	102.9	117.6	24.72	19.78	0.000	2.294	2.294	1.000
September	55.6	83.6	17.61	13.34	0.000	2.220	2.220	1.000
October	21.7	50.2	10.56	7.76	0.000	2.294	2.294	1.000
November	3.9	12.8	2.73	1.07	0.000	2.220	2.220	1.000
December	0.0	0.0	0.00	0.00	0.000	2.294	2.294	1.000
Year	805.4	1007.7	211.01	168.92	0.000	27.010	27.010	1.000

Legends:	GlobHor	Horizontal global irradiation	E Miss	Missing energy
	GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	E User	Energy supplied to the user
	E Avail	Available Solar Energy	E Load	Energy need of the user (Load)
	EUnused	Unused energy (full battery) loss	SolFrac	Solar fraction (EUsed / ELoad)

## **VEDLEGG 4**

**PVsyst - 2x140W/72° tilt**

**Antall: 2 sider**



# VEDLEGG 4

## Stand Alone System: Simulation parameters

**Project :** Lastskillebryter

<b>Geographical Site</b>	<b>Bodo</b>	Country	<b>Norway</b>	
<b>Situation</b>	Latitude	67.3°N	Longitude	14.4°E
Time defined as	Legal Time	Time zone UT+1	Altitude	19 m
	Albedo	0.20		
<b>Meteo data:</b>	<b>Bodo</b>	MeteoNorm 7.1 station - Synthetic		

**Simulation variant :** BODO2x140W

Simulation date 20/04/16 08h47

### Simulation parameters

<b>Collector Plane Orientation</b>	Tilt	72°	Azimuth	0°
<b>Models used</b>	Transposition	Hay	Diffuse	Perez, Meteonorm

### PV Array Characteristics

<b>PV module</b>	Si-poly	Model	<b>PVP14012</b>		
<small>Custom parameters definition</small>		Manufacturer	SolarTek		
Number of PV modules		In series	2 modules	In parallel	1 strings
Total number of PV modules		Nb. modules	2	Unit Nom. Power	140 Wp
Array global power		Nominal (STC)	<b>280 Wp</b>	At operating cond.	291 Wp (16°C)
Array operating characteristics (50°C)		U mpp	35 V	I mpp	8.2 A
Total area		Module area	<b>1.7 m<sup>2</sup></b>		

### PV Array loss factors

Thermal Loss factor	Uc (const)	20.0 W/m <sup>2</sup> K	Uv (wind)	0.0 W/m <sup>2</sup> K / m/s
Wiring Ohmic Loss	Global array res.	62 mOhm	Loss Fraction	1.5 % at STC
Serie Diode Loss	Voltage Drop	0.7 V	Loss Fraction	2.1 % at STC
Module Quality Loss			Loss Fraction	1.5 %
Module Mismatch Losses			Loss Fraction	2.5 % (fixed voltage)
Incidence effect, ASHRAE parametrization	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	bo Param.	0.05

### System Parameter

System type **Stand Alone System**

<b>Battery</b>	Model	<b>AG12100</b>		
	Manufacturer	SunTek		
Battery Pack Characteristics	Voltage	24 V	Nominal Capacity	100 Ah
	Nb. of units	2 in series		
	Temperature	Fixed (20°C)		

### Controller

	Model	EnergiTek PRO20		
	Manufacturer	ENERGITEK		
	Technology	Series transistor	Temp coeff.	-10.0 mV/°C/elem.

Battery management control	Treshold commands as	Battery voltage		
	Charging	29.3/25.1 V	Corresp. SOC	0.94/0.75
	Discharging	20.4/24.4 V	Corresp. SOC	0.00/0.45

**User's needs :** Daily household consumers average Constant over the year  
0.1 kWh/Day

# VEDLEGG 4

## Stand Alone System: Main results

**Project :** Lastskillebryter

**Simulation variant :** BODO2x140W

Main system parameters	System type	Stand alone	
PV Field Orientation	tilt	72°	azimuth 0°
PV modules	Model	PVP14012	Pnom 140 Wp
PV Array	Nb. of modules	2	Pnom total <b>280 Wp</b>
Battery	Model	AG12100	Technology sealed, Gel
battery Pack	Nb. of units	2	Voltage / Capacity <b>24 V / 100 Ah</b>
User's needs	Daily household consumers	Constant over the year	global 27.0 kWh/year

Main simulation results			
System Production	<b>Available Energy</b>	<b>197.6 kWh/year</b>	Specific prod. 706 kWh/kWp/year
	Used Energy	27.0 kWh/year	Excess (unused) 156.7 kWh/year
	Performance Ratio PR	9.9 %	Solar Fraction SF 100.0 %
Loss of Load	Time Fraction	0.0 %	Missing Energy 0.0 kWh/year

### BODO2x140W Balances and main results

	GlobHor kWh/m <sup>2</sup>	GlobEff kWh/m <sup>2</sup>	E Avail kWh	EUnused kWh	E Miss kWh	E User kWh	E Load kWh	SolFrac
January	1.7	12.0	2.39	0.00	0.000	2.294	2.294	1.000
February	15.2	55.0	11.52	7.95	0.000	2.072	2.072	1.000
March	57.7	123.7	25.85	22.48	0.000	2.294	2.294	1.000
April	110.2	141.1	29.39	26.36	0.000	2.220	2.220	1.000
May	147.1	130.5	27.28	22.89	0.000	2.294	2.294	1.000
June	149.3	112.6	23.62	18.33	0.000	2.220	2.220	1.000
July	140.1	110.1	23.16	17.26	0.000	2.294	2.294	1.000
August	102.9	105.2	22.14	17.27	0.000	2.294	2.294	1.000
September	55.6	83.0	17.36	13.90	0.000	2.220	2.220	1.000
October	21.7	55.6	11.69	8.81	0.000	2.294	2.294	1.000
November	3.9	15.1	3.23	1.46	0.000	2.220	2.220	1.000
December	0.0	0.0	0.00	0.00	0.000	2.294	2.294	1.000
Year	805.4	943.8	197.63	156.70	0.000	27.010	27.010	1.000

Legends:	GlobHor	Horizontal global irradiation	E Miss	Missing energy
	GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	E User	Energy supplied to the user
	E Avail	Available Solar Energy	E Load	Energy need of the user (Load)
	EUnused	Unused energy (full battery) loss	SolFrac	Solar fraction (EUsed / ELoad)

## **VEDLEGG 5**

**Tekniske spesifikasjoner sp.regulator**

**Antall: 1 side**

## VEDLEGG 5

Model	TC12	PRO4	PRO10/20	PRO15/30	PRO45	PRO45MPPT	PRO60MPPT	OPTIMIZER	
Type:	solcelle og lastkontroll	solcelle-regulator	solcelle og lastkontroll	solcelle og lastkontroll		sol, vind og last	sol, vind og last	sol, vind og last	
Max kont: strøm, lading / forbruk	12A	4,0A	10/20A	15/30A	45A	45A	60A	15A	
Nom. spenning	12VDC	12VDC	12/24VDC	12/24/48VDC	12/24/48VDC	12/24/36/48VDC	12/24/36/48VDC	12/24VDC	
Ladespenning (Bulk)	13-17V, justerbar	14,1V	14,1V/14,4V 28,2V/28,8V	14V/14,4V 28,0V/28,8V 56,0V/57,6V	Justerbar	Justerbar	Justerbar	Fra 14,0 til 14,4V Fra 28,0 til 28,8 (dip-switch)	
Vedlikeholdslading	12,5-14,5V, justerbar	14,1V	14,1/28,2V 14,4/28,8V	13,7/27V 4/5,4,8V		Forhåndsinnstilt i forhold til valgt ladespenning			
Cellautjevning (EO)	man./auto*	nei	nei		Automatisk cellautjevning kan velges om ønskelig				
Batteritype	bly /syre AGM / GEL, Nicad	bly /syre AGM	bly /syre AGM / GEL	bly /syre AGM / GEL	bly /syre AGM / GEL, Nicad	bly /syre AGM / GEL, Nicad	bly /syre AGM / GEL, Nicad	bly /syre AGM / GEL, Nicad	
Tempkomp.	BTS - ekstrapstyr	ja	ja	ja	ja	ja	ja	-30/-60mV/°C	
Lastkontroll / batterivakt	10,5-12,5V justerbar	nei	11,5V / 23,0V fast	11,4 / 22,8 / 45,6V fast	Justerbar **	Nei	Nei	11,0/11,5V	
Gjenninnkobling batterivakt:	12,5-14,0 man./auto	nei	11,5V/23,0V fast	11,4/22,8/45,6V fast	Justerbar***	Nei	Nei	12,1/12,6V	
Eggetforbruk max spenningsfall	3-7mA 0,3V	<6mA	<8-10mA	<22/25/28mA	<20mA	<2,7Watt	<2,7Watt	35mA	
Instrumentering	Lysdiode***	-	Lysdiode	Lysdiode / meter	Lysdiode	Lysdiode/ meter/logg	Lysdiode/ meter/logg	Lysdioder	
Digitalt A / V meter	nei	nei	nei	A / V/meter	OPT-avansert meter A / V, Ah-teller	Eksternt digitalt meter er opsjon			
Måll i mm (HXBXD)	160x110x35	64x54x38	152x55x34	153x105x55	260x127x71	291x130x142	291x130x142	169x64x73	
Vekt	0,6	0,1	0,23	0,34	4,2	4,2	4,2	0,6	
Sertifisering / godkjenning	89/336/EEC 73/23/EEC EN 50081-1(92) EN 50082-1(92) EN 60335-1 EN 60335-2-29	EN 55022 EN 61000-4-2 EN 61000-4-3 EN 61000-4-4 EN 61000-4-5 EN 61000-4-6	EN 55022 EN 61000-4-2 EN 61000-4-3 EN 61000-4-4 EN 61000-4-5 EN 61000-4-6	EN 55022 EN 61000-4-2 EN 61000-4-3 IEC 801-4 CISPR 22	IEC 801-2 IEC 801-3 IEC 801-4 CISPR 22	CE komp. UL 1741 cUL CSA22.2 107.1-95 NEC standard CTIK standard	CE komp. UL 1741 cUL CSA-C22.2 107.1-95 FCC K1.B del 15, komp. NEC standard RoHS standard	CE komp. UL 1741 cUL CSA-C22.2 107.1-95 FCC K1.B del 15, komp. NEC standard RoHS standard	CE komp. RoHS standard ISO 9001

\* øker ladespenning 1,0V\*12V/2,0V automatisk hver 30. dag

\*\* kan brukes som batterivakt, men ikke dersom den er konfigurert som solcelleregulator

\*\*\* forandrer farge og takt

## **VEDLEGG 6**

**Tekniske spesifikasjoner solcellepanel**

**Antall: 2 sider**

## VEDLEGG 6

SOLARTEK solcellemoduler kombinerer robust design med høy ytelse. Modulene er enkle å installere. SOLARTEK moduler leveres med følgende garantier: 2 års garanti mot material- og produksjonsfeil. 25 års effektgaranti for 80% av oppgitt effekt.

SOLARTEK PVP2512 og 5012 leveres IKKE med hurtigkobling slik de øvrige modulene gjør. Plassering av koblingsboks i forhold til monteringshull avviker på SOLARTEK PVP5012 i forhold til de øvrige modulene, se skisse på side 4.

*Alle data er oppgitt med forbehold om trykkfeil og endringer fra produsent*

### Data:

Data fra standard test forhold (1000W/m<sup>2</sup>, AM 1,5, celle temp. 25° C). Effekttoleranse: -0+5%

Modell:	PVP2512	PVP5012	PVP7412	PVP14012	PVP18024	PVP23530	PVP26030
Maks effekt (W)	25	50	74	140	180	235	260
Spenning ved maks effekt (V)	16,8	16,8	16,8	17,2	35,9	30	30,7
Ubelastet spenning (V)	21	21	21	21	43,5	36,5	38
Strøm ved maks effekt (A)	1,52	3,0	4,40	8,14	5,02	7,84	8,49
Kortslutningsstrøm (A)	1,75	3,45	5,25	8,80	5,55	8,7	9,04

Dimensjoner og vekt (se s.4 for illustrasjon)							
L x B x H (mm)	475 x 535 x 42	680 x 535 x 42	1115 x 508 x 42	1480 x 680 x 42	1480 x 990 x 42	1655 x 990 x 42	1655x990 x42
Vekt (kg)	4,1	5,2	6,0	11	16,3	27,5	27,5
Monteringshull (Y) -mm	332	330	610	888	969	969	969
Monteringshull (X) - mm	500	500	468	643	953	953	953

Andre data							
Solceller pr modul	36	36	36	36	72	60	60
Type celler	Multikrystallinsk						
Frontpanel	Herdet solmodul glass 3,2 mm				Herdet solmodulglass 4 mm		
Baksidepanel	Folie						
Rammematerial	Eloksert aluminium (sort)						
Modul virkningsgrad (%)	9,8	13,7	11,5	13	14,35	14,35	15,87

Temperaturkoeffisient							
Effekt (% / K)	Pmax -0,43						
Ubelastet spenning (% / K)	Voc -0,33						
Kortslutningsstrøm (% / K)	Isc +0,05						

### Sertifikater:

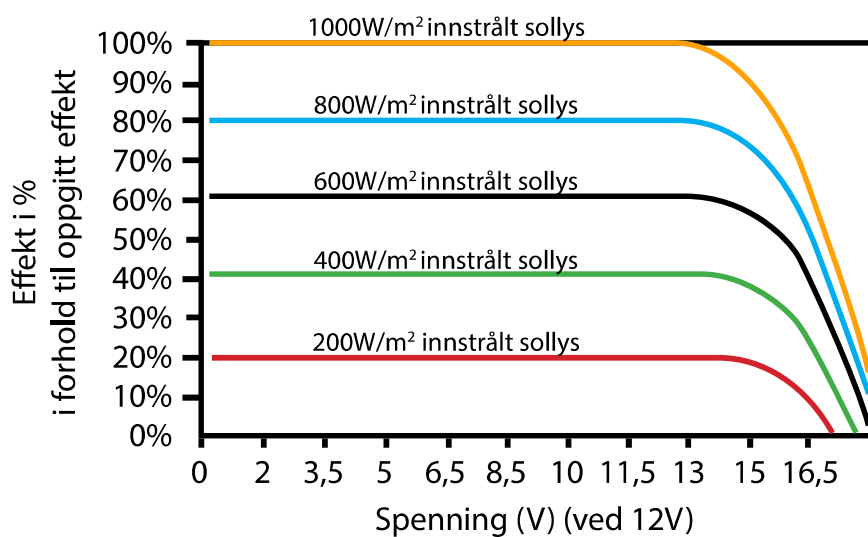
Modulene er sertifisert i henhold til IEC 61215 ed.2, IEC 61730 (sikkerhetsklasse 2).  
Produksjonen er i henhold til ISO 9001:2008 og ISO 14001:2004

# VEDLEGG 6

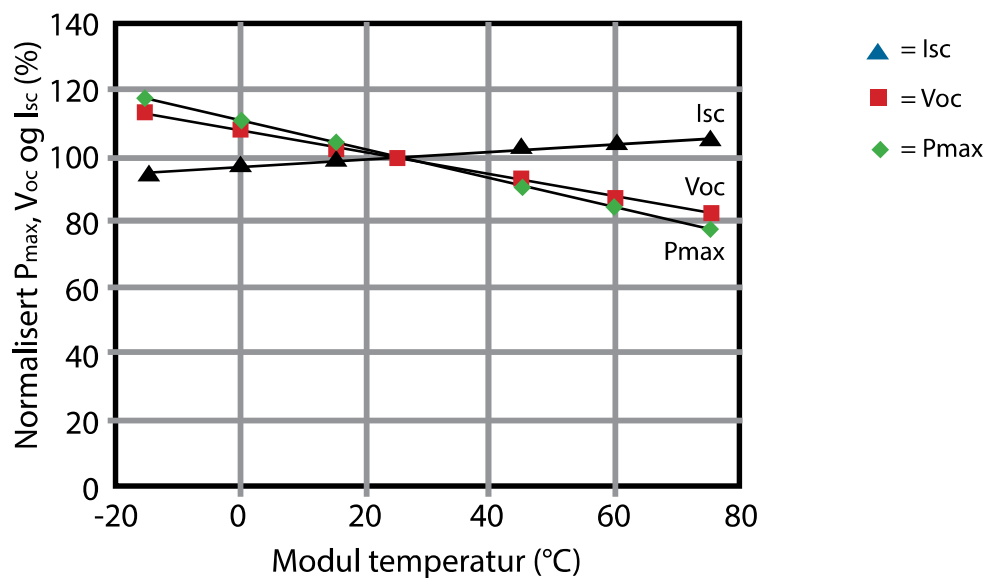
Maks systemspenning [VDC]	1000
Temperaturområde [°C]	-40°C to +85°C
Applikasjonsklasse (to IEC61730)	A
Brannklasse (to IEC 61730)	C
NOCT (Nominal Operating Cell Temperature) (°C)	47 +/- 2°C

Snølast	5400 Pa
Belastningstoleranse (hagl)	25mm Ø
Belastningstoleranse (m/s)	23 (m/s)

## Prinsippskisse, effekt pr innstrålt sollys



## P<sub>max</sub>' Voc' I<sub>sc</sub> ved variabel innstråling:



## **VEDLEGG 7**

**Tekniske spesifikasjoner batteri**

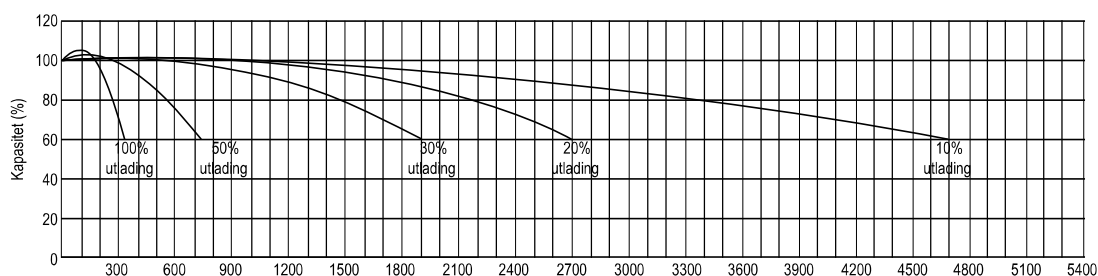
**Antall: 2 sider**



# Hybrid serien 12V

12V batterier 10-års batteri. AGM/GEL

Antall syklingskurver i forhold til utlading:



Kapasitet:

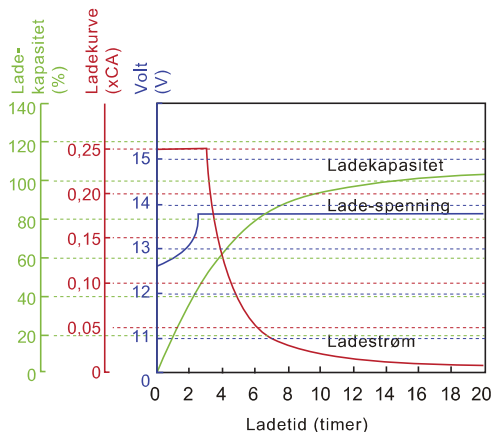
Batteritype	V	AH 10t/1.8vps	1.6 VPC	1.7 VPC		1.8 VPC	
			1 t	5 t	10 t	20 t	100 t
AG127-5	12	7,5	5,15 A	1,33 A	0,74 A	0,38 A	0,079 A
AG128	12	8	5,33 A	1,38 A	0,77 A	0,41 A	0,084 A
AG129	12	9	5,77 A	1,43 A	0,86 A	0,447 A	0,095 A
AG1210	12	10	6,54 A	1,69 A	0,94 A	0,502 A	0,107 A
AG1212	12	12	7,73 A	1,99 A	1,11 A	0,60 A	0,128 A
AG1216	12	16	10,7 A	2,75 A	1,55 A	0,80 A	0,171 A
AG1218	12	18	11,3 A	2,91 A	1,65 A	0,89 A	0,190 A
AG1224	12	24	14,9 A	4,01 A	2,26 A	1,22 A	0,259 A
AG1226	12	26	16,1 A	4,34 A	2,45 A	1,32 A	0,28 A
AG1233	12	33	19,6 A	5,09 A	3,34 A	1,7 A	0,356 A
AG1240	12	40	23,6 A	6,40 A	3,97 A	2,01 A	0,423 A
* <b>AG1242</b>	12	42	27,9 A	7,57 A	4,50 A	2,28 A	0,49 A
AG1255	12	55	24,1 A	6,53 A	4,05 A	2,05 A	0,59 A
AG1265	12	65	38,7 A	10,5 A	6,38 A	3,35 A	0,68 A
* <b>AG1270</b>	12	70	47,5 A	12,5 A	7,44 A	3,95 A	0,79 A
AG1280	12	80	51,6 A	13,6 A	7,85 A	4,04 A	0,84 A
AG1290	12	90	55,8 A	15,1 A	9,05 A	4,60 A	0,97 A
* <b>AG12100</b>	12	100	62,9 A	16,4 A	10,1 A	5,22 A	1,08 A
AG12120	12	120	77,3 A	20,2 A	11,9 A	6,08 A	1,26 A
AG12150	12	150	99,0 A	23,9 A	14,9 A	7,60 A	1,59 A
* <b>AG12200</b>	12	200	120 A	32,6 A	20,0 A	10,4 A	2,15 A

\* Lagerført

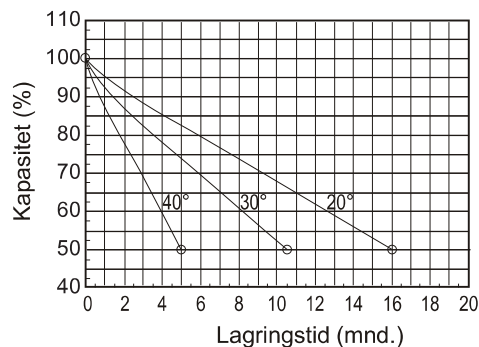
Med forbehold om at noen produkter kan utgå, eller at tekniskdata blir endret, og ev. trykkfeil.  
Alle data er oppgitt ved 20°C

# VEDLEGG 7

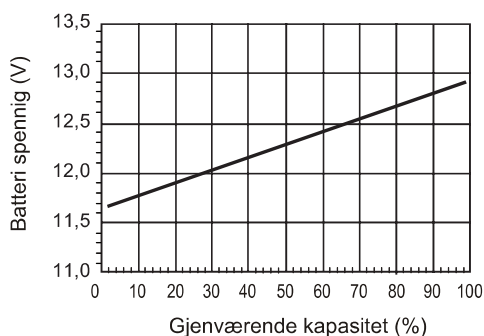
## Ladekurve:



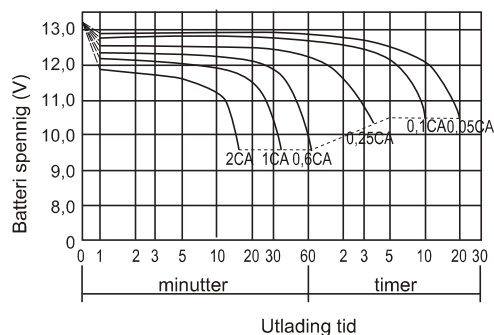
## Selvtutlading:



## Batterispenning kontra ladetilstand:



## Utladings karakteristikk:



## Mål / vekt:

Batteritype	Dimensjon (mm / kg, +/-5%)				
	Lengde	Bredde	Høyde	Total høyde	Vekt
AG127-5	151	65	94	100	2,32
AG128	151	65	94	100	2,44
AG129	151	65	94	100	2,65
AG1210	151	98	95	101	3,25
AG1212	151	98	95	101	3,5
AG1216	181,5	77	167	167	4,62
AG1218	181,5	77	167	167	5,1
AG1224	166	175	125	125	8
AG1226	166	175	125	125	8,25
AG1233	195	130	155	165	10,5
AG1240	197	165	170	170	12,2
* <b>AG1242</b>	197	165	170	170	14,1
AG1255	228	138	209	214	17,5
AG1265	350	167	173	173	20,9
* <b>AG1270</b>	260	169	211	214,5	23
AG1280	260	169	211	214,5	24,5
AG1290	306	169	208	214,5	28,5
* <b>AG12100</b>	329	171	214	220	30
AG12120	406	174	208	236	36
AG12150	485	172	240	240	42,5
* <b>AG12200</b>	522	240	219	223	60

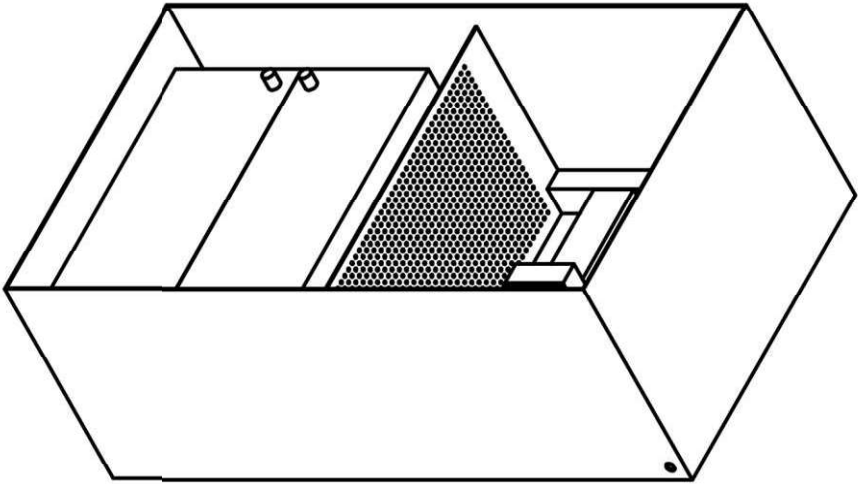
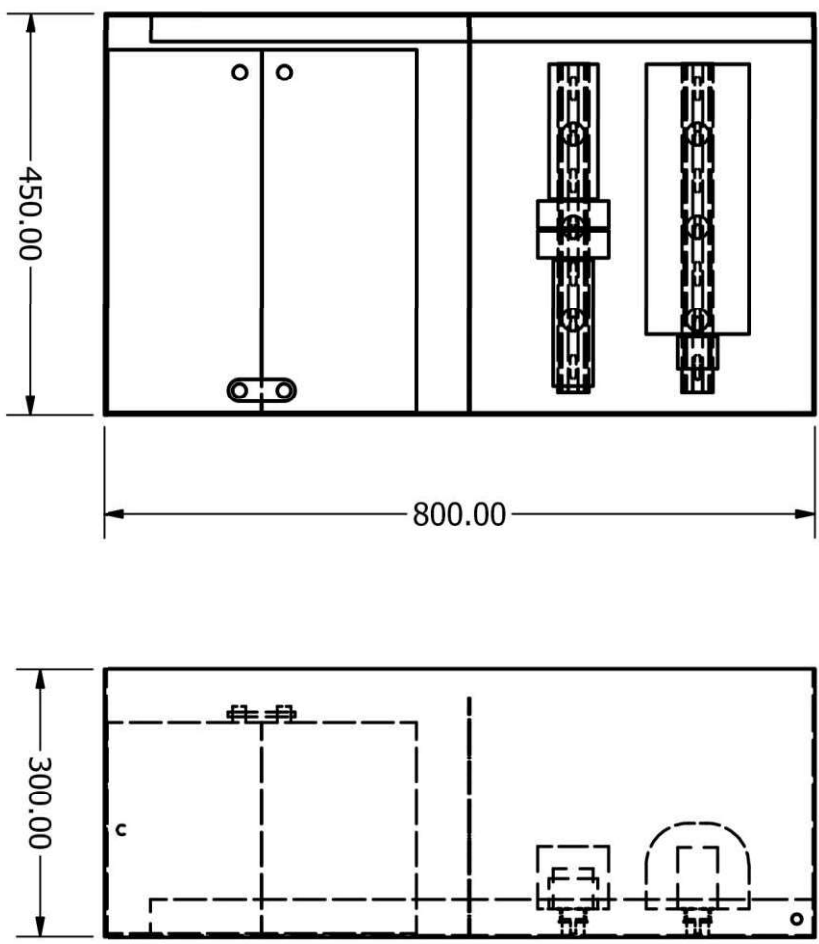
\* Lagerført

AGM/GEL serien



**VEDLEGG 8**  
**Dimensjoner skap**  
**Antall: 1 side**

# VEDLEGG 8



DRAWN	Odd H Johansen.	04.05.2016	NTNU		
CHECKED	Gruppe E1614				
QA			Skapløsning		
MFG					
APPROVED	Gruppe E1614		SIZE	DWG NO	REV
			A	Skap_Drawing	
			SCALE	0,12 : 1	SHEET 1 OF 1

A

B



2

2



1

1

A

B

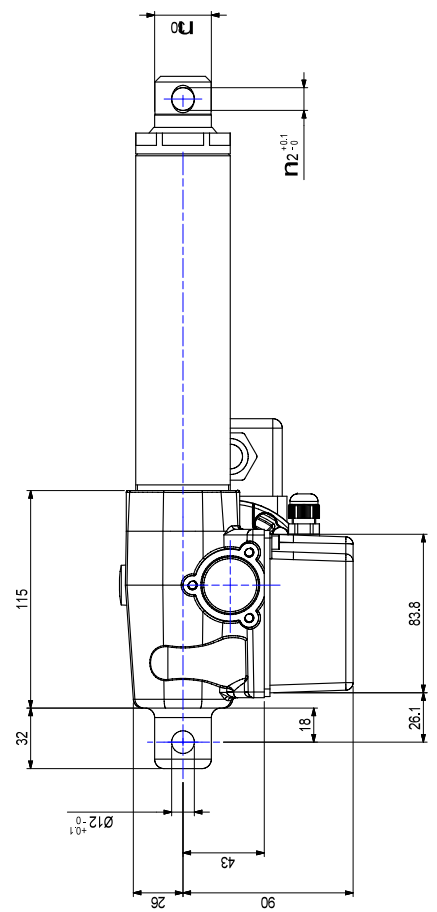
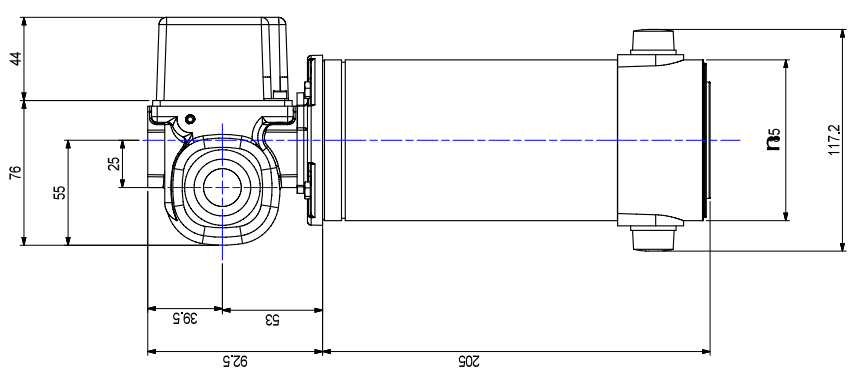
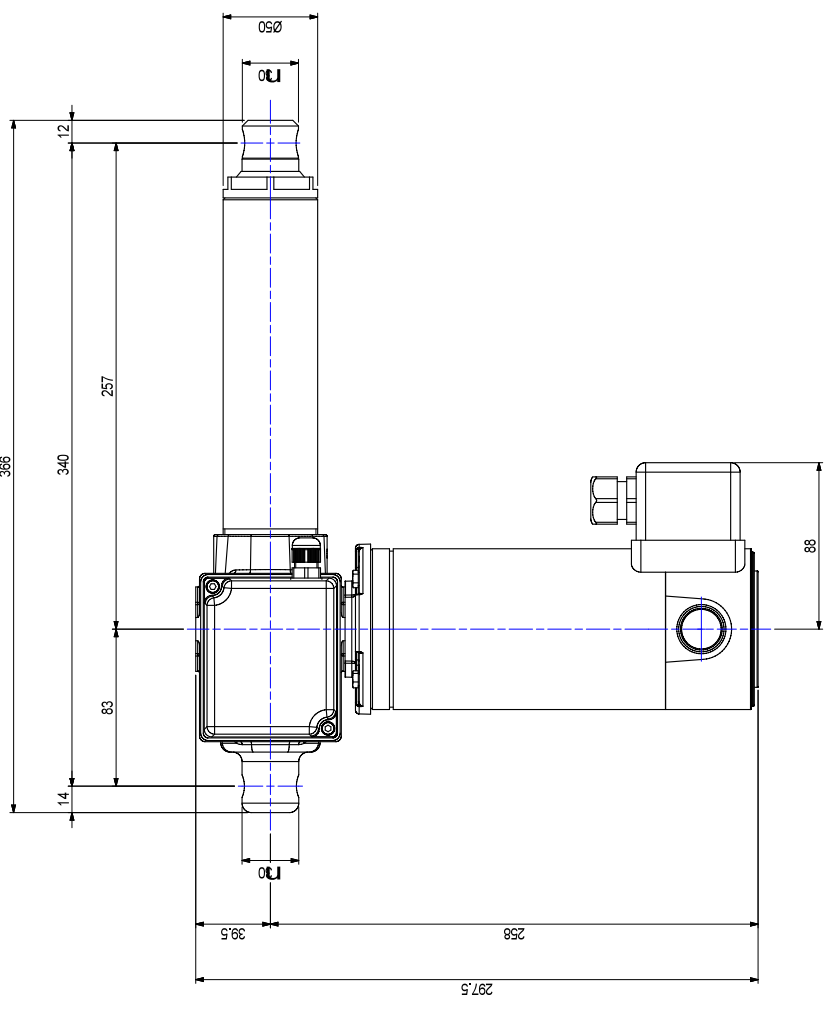
## **VEDLEGG 9**

**Tekniske spesifikasjoner aktuator**

**Antall: 3 sider**



VEDLEGG 9

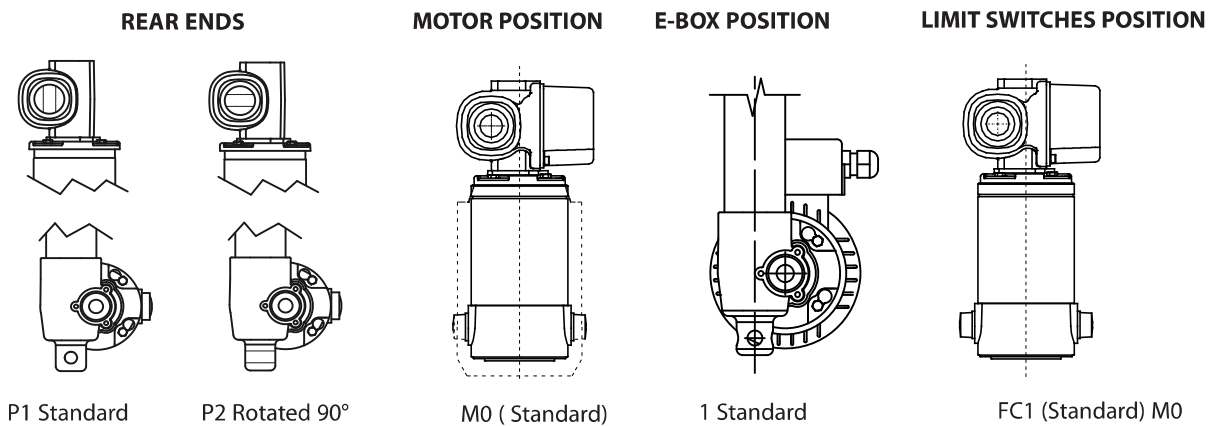


OGGETTO	INSERITO IN PDM
MODIFICHE	
REVISIONI	
DATA	05/06/2013
DATA	
SIGNATURE	P. Matteuzzi

UN EN 22768 SCORTAMENTI PER DIMENSIONI LINEARI NOMINALI (R) QUOTE SENZA INDICAZIONE DI TOLLERANZA	
UN EN 22768 MOVEMENTS FOR NOMINAL LINEAR DIMENSIONS (R) DIMENSIONS WITHOUT TOLERANCE	
Designazione Dimensione (R) D.3 a 3	3 a 6
max	0.05
min	0.05
max	0.1
min	0.05
max	0.2
min	0.15
max	0.3
min	0.2
max	0.5
min	0.3

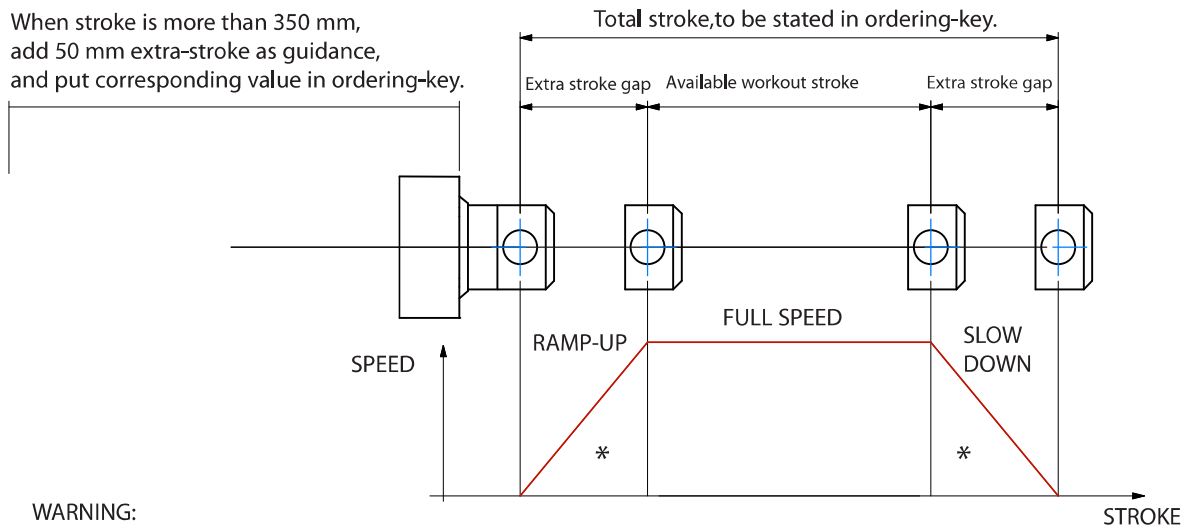
SCALA-SCALE		DATA-DATE		TRATTAMENTO SUPERFICIALE - SURFACE TREATMENT	
1:2		26/04/2013			
FIRMA		SIGNATURE		CODICE - PART N.	
P. Matteuzzi		P. Matteuzzi		PP068.0493	
REV.		REV.		REV.	
A		A		A	

NOTE ELIMINARE EVENTUALI BAVE  
 DESCRIPTION ALI4-F0150/20/CC-24-PML-3000/FC/IM02/FC/PA/1



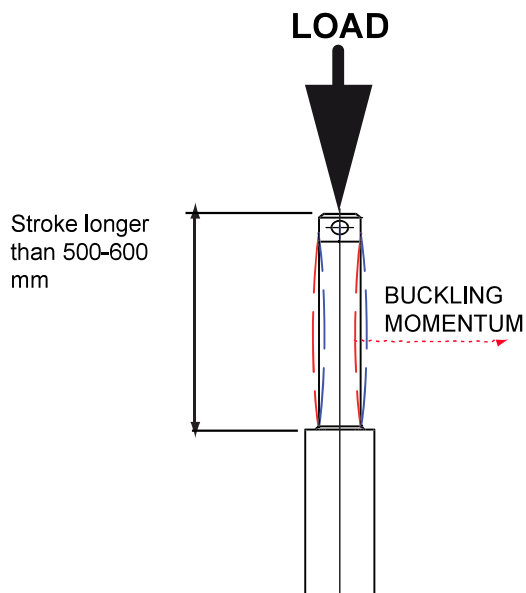
**STROKE SETUP:** Useful tips for handling stroke and avoid run-on-block collision.

When stroke is more than 350 mm, add 50 mm extra-stroke as guidance, and put corresponding value in ordering-key.



**WARNING:**  
**SPEED-TIMING ALONG STROKELENGTH:**  
 ramps are extremely important when speed is > 40mm/s !!! Inverter or PWM drive recommended!  
 \* The more speed raises the more extra stroke has to raise too.

**BUCKLING:** When strokes longer than 500mm, BUCKLING can be a risk: please check mounting with our offices and/or see user manuals.



**IMPORTANT:**  
 Long strokes, even if load is low, can generate significant buckling momentums, as sketch slows.  
 This happens when actuator is in its all-opened position: that's the reason why we recommend 100 mm extra-stroke.  
 Pushtube will have this 100 mm-portion always inside the overtube, improving guidance against buckling.  
 For more information on this, contact our office.

## ORDERING KEY

ALI4 / 0250 / M01 / CA-400/50-T-56-4-0,09 / AB / FC1 / M0 / 1 / E01 / 2FC2 / POT01A / P1 / A1

**MODEL:** \_\_\_\_\_  
 ALI4 / ALI4-F / ALI4-FCM / ALI4-FCI  
 ALI4-VRS / ALI4-VRS-F / ALI4-VRS-FCM  
 ALI4-VRS-FCI

**STROKE:** \_\_\_\_\_  
 es. 250 mm = 0250

**VERSION:** (Pag. 37) \_\_\_\_\_  
 Advise: choose among  
 M00 Not standard speed  
 Flanged Version = Rpm  
 Advise reduction ratio and screw pitch

**MOTOR:** \_\_\_\_\_  
 Advise only if with motor:  
**A.C.:** version, voltage, type, size, n°pole, power  
**D.C.:** version, voltage, size, Rpm  
 With motorflange only put 0  
 With special motorflange put: PD

**AC MOTOR OPTIONS:** (Pag. ACCESSORIES) \_\_\_\_\_  
 Motorflange: for motorflange version only advise size - i.e. for IEC56 B14 put 56B14  
 No motor or DC motor: leave all following parameters blank  
 Protection Degree: IP65, for selfbrake motor IP54 standard  
 Brake type: for brakemotors only: ES, FECA  
 Options: Advise if needed (ES, AB 2'shaft)

**LIMIT SWITCHES POSITION:** \_\_\_\_\_  
**FC1** None: Leave blank

**MOTOR POSITION:** \_\_\_\_\_  
**M0** None: Leave blank

**E-BOX POSITION:** \_\_\_\_\_  
**1** No Motor: Leave blank

**ENCODER:** (Pag. ACCESSORIES) \_\_\_\_\_  
 None: Leave blank

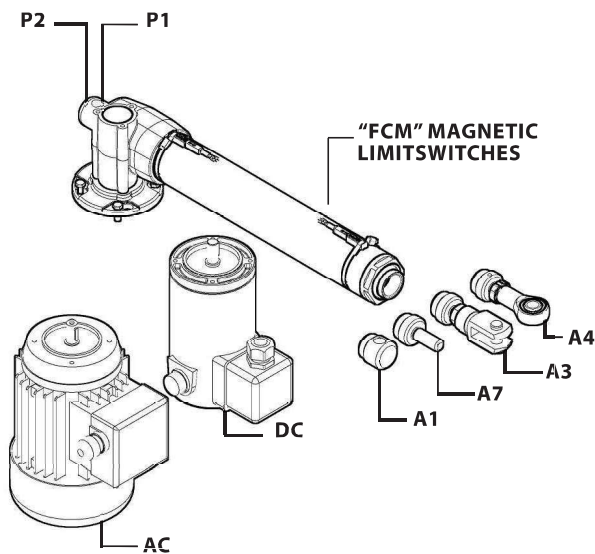
**LIMIT SWITCHES:** (Pag. ACCESSORIES) \_\_\_\_\_  
 None: Leave blank

**POTENTIOMETER:** (Pag. ACCESSORIES) \_\_\_\_\_  
**POT01A** (1Kohm) **POT10A** (10Kohm) None: Leave blank

**REAR END:** \_\_\_\_\_  
**P1** = Eyelet (standard) **P2** = Eyelet (90°)

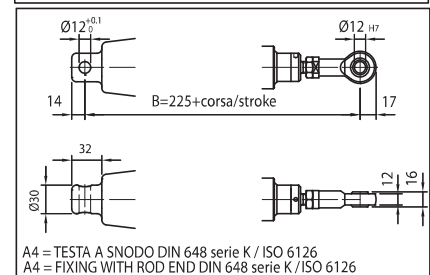
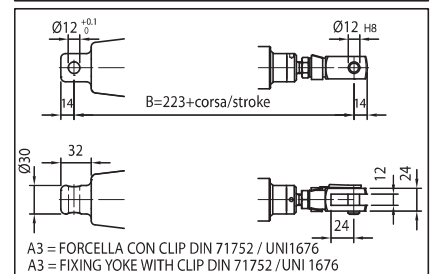
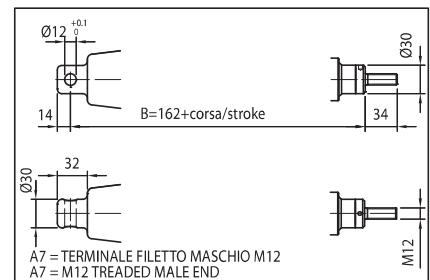
**FRONT END:** \_\_\_\_\_  
**A1** = Eyelet (Std pag.38) **A3** = Yoke + Clip  
**A4** = Rod end **A7** = M12 male

**NOTE: COMPLETE THE ORDERING KEY ADDING THE OPTIONS YOU CAN FIND IN THE "ACCESSORIES AND OPTIONS" SECTION.**



**Note:** "B" dimension variations depending on model

ALI4 = see pictures	ALI4-F = + 30 mm	ALI4-FCM = + 42,5 mm	ALI4-FCI = + 42,5 mm
	with safety nut "G" = + 30 mm	(i.e. ALI4-F "G" option = +30)	
ALI4-VRS (versione 16x5) = + 25 mm	ALI4-VRS-F (versione 16x5) = + 55 mm		
ALI4-VRS-FCM (versione 16x5) = + 53 mm	ALI4-VRS-FCI (versione 16x5) = + 53 mm		
L = + 15 mm			
Bellows = + 15 mm (excluding FCM and FCi version, for versions FCM and FCi contact MecVel)			





## **VEDLEGG 10**

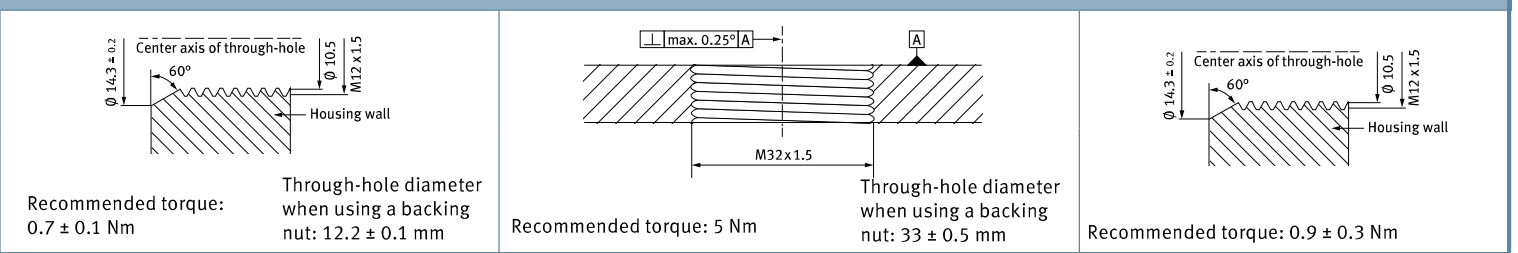
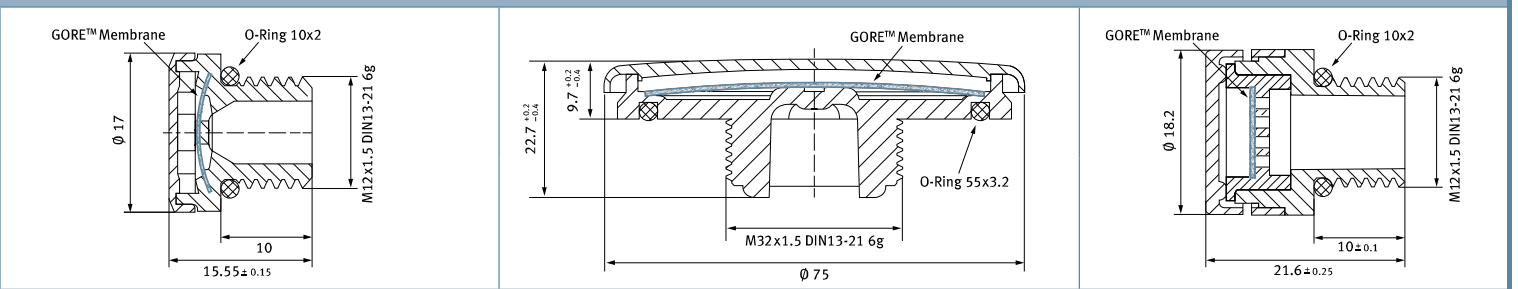
**Tekniske spesifikasjoner ventil**

**Antall: 1 side**

# VEDLEGG 10



PolyVent High Airflow	PolyVent XL	MetalVent
M12x1.5	M32x1.5	M12x1.5
PMF100585 (black) / PMF100586 (grey)	PMF200542	PMF100444
4000 ml / min (dp = 70 mbar)	16 l / min (dp = 12 mbar)	1700 ml / min (dp = 70 mbar)
ePTFE / Polyester (PET)	ePTFE / Polyester (PET)	ePTFE / Polyester (PET)
Oleophobic	Oleophobic	Oleophobic
Polyamide (PA6)	Polycarbonate (PC)	Aluminium zinc alloy with nickel, copper coating
Black: RAL 9011 / Grey: RAL 7035	Grey: RAL 7035	Metallic
16 mm	70 mm	18 mm
Silicone 60 Shore A	Silicone 60 Shore A	Silicone 60 Shore A
Plastic / Grey / M10510-009	Plastic / Grey / M10510-010	Metal / M10510-008
Yes: Individually laser-marked	No	No



**Corrosive Gas Testing**

Vent durability in corrosive gas environment (e.g., NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, H<sub>2</sub>S, Cl<sub>2</sub>)

METHOD:

- GR-3108-CORE

**Vibration Testing**  
(Not applicable to PolyVent XL or MetalVent)

Vent resistance against vibration

METHOD:

- ETSI EN 300 019-2-2
- IEC 60068-2-64

**Flammability and UV Resistance Testing**  
(Not applicable to MetalVent)

Resistance to open flame, radiant heat and ultraviolet light

METHOD:

- All PolyVent cap and body materials: **UL 94 V-0 and UL 746C f1**
- All PolyVent O-ring materials: **UL 94 V-0**
- PolyVent XS membrane: **UL 94 V-0**

**Solar Industry Testing**  
(Polyvent XL only)

Durability in solar applications

METHODS:

- IEC 62108 10.8** (humidity freeze – high temperature / humidity followed by freezing temperature)
- IEC 62108 10.9** (hail impact)

**Explosion Testing**  
(MetalVent only)

Durability in explosive environment

METHOD:

- Council Directive 94/9 / EC ATEX (95)**
  - I M2 Ex e I
  - II 2G Ex e II
  - II 1D

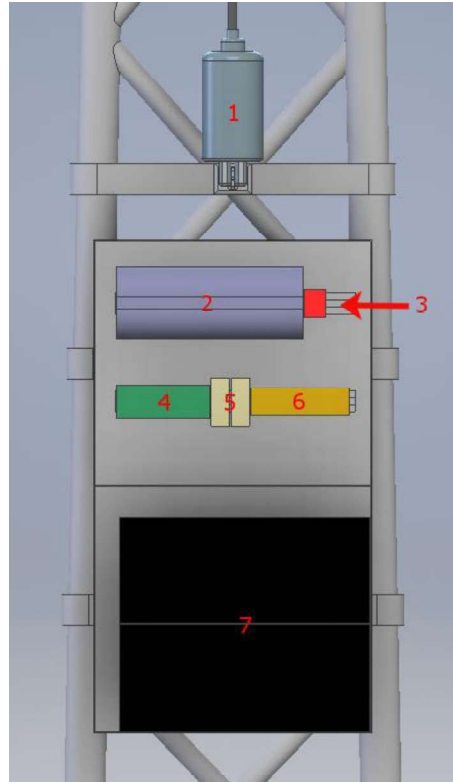
# **VEDLEGG 11**

**A3-Poster**

**Antall: 1 side**

# Desentralisert strømforsyning til brytere og signaler

Remote area power supply for switches and signals



1. Aktuator
2. Styringsenhet
3. Sikring
4. Regulator
5. Reléer
6. Rekkeklemme
7. Batteripakke
8. Lastskillebryter
9. Kontaktledning
10. Solcellepanel

Ved elektrifisering av jernbanen nord for Trondheim skal det monteres lastskillebrytere med tilhørende styresignaler for hver 5 km. kontaktledning. Lastskillebryterne styres via et stag tilkoblet en manøvermaskin i skap nederst på mast. Slike system forsynes normalt fra lokale distribusjonsnett i nærheten av jernbanen. Av den grunn er det ofte nødvendig å legge kabel over lengre distanser. Jernbaneverket ønsker derfor å finne en alternativ løsning til dette. I denne oppgaven er det sett på en løsning hvor systemet skal forsynes med solenergi.

For en desentralisert strømforsyning som dette er det viktig å kartlegge energibehovet, gjerne ved hjelp av målinger over lengre tid. Etter kartlegging av energibehovet må det vurderes om det er mulig å redusere forbruket. Dette kan gjøres ved å velge mer energieffektive komponenter og gjøre prosessen smartere ved hjelp av programmering. Det er særlig faste laster som varmeelement og kommunikasjonsutstyr som er utfordrende. Varmeelementet kobles inn når temperaturen går under 5°C, og kommunikasjonsmodulen sender kontinuerlig melding om bryterstatus til sentral. Disse utfordringene krever gode løsninger for å redusere forbruket.

Eksempel på beregning av energibehov:

1,9 Watt kontinuerlig (f.eks. kommunikasjonsenhet i standby):

$$E = 1,9W \times 8756 \text{ timer} = 16,6 \text{ kWh/år}$$

408 Watt i 4 timer i løpet av ett år (f.eks. motor):

$$E = 408W \times 4 \text{ timer} = 1,6 \text{ kWh/år}$$

Vinteren er kritisk for et solcelleanlegg, og batteripakken dimensjoneres derfor etter lav produksjon i vintermånedene. Ved hjelp av utregninger og simuleringer er det kommet frem til følgende systemoppsett: **24V-anlegg med 2x140W solcellepaneler og 2x120Ah 12V batterier.**

Dette vil sørge for sikker forsyning gjennom hele året. Batteribanken er ikke stort større enn 2 bilbatterier og solcellene vil dekke ca. 2m<sup>2</sup>.

Andre utfordringer ved en slik løsning er blant annet å unngå kondensproblematikk i skapet til manøvermaskinen. Varmeelementet som ordinært står i slike skap er der for å forhindre kondensering og ising på stag, og vil være et problem for batteripakken. For å unngå bruk av varmeelement er det montert ventiler som sikrer sirkulering av luft uten å gå på bekostning av IP-sertifiseringen til skapet. Ventilene forhindrer kondensering og oppsamling av fukt. Kommunikasjons- og styringsenhet er blitt optimalisert ved å settes i «dvalmodus» når de ikke er i drift. Motoren som i utgangspunktet er plassert på innsiden av skapet erstattes av en lineær aktuator som settes på toppen av skapet. Aktuatoren er vedlikeholdsfri og er designet for å tåle det nordiske klimaet året rundt. Alle andre komponenter i skap tåler temperaturer fra -40°C til +50°C.

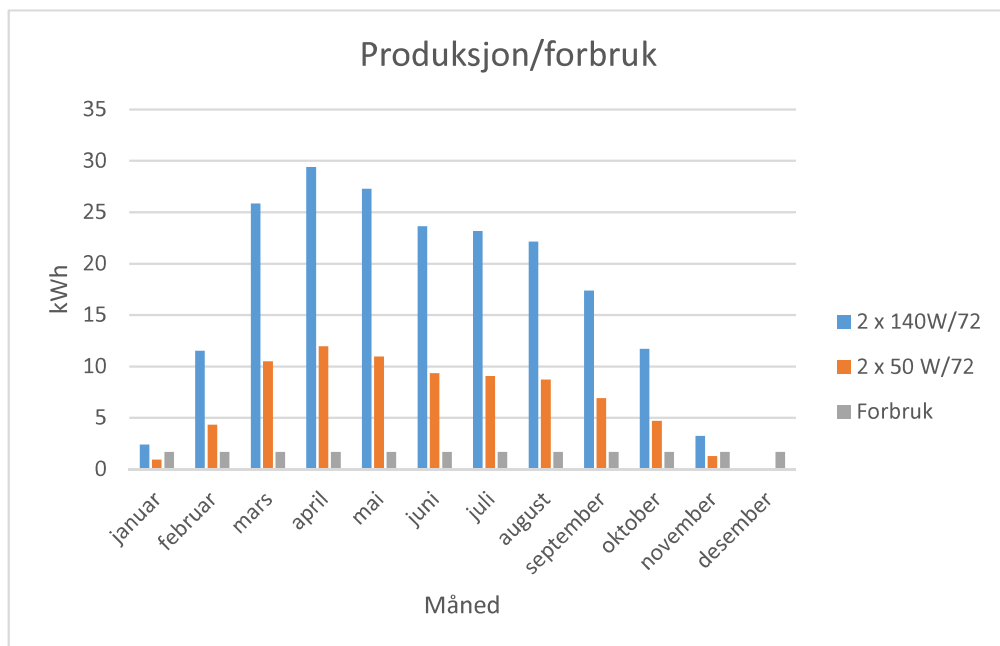
Trondheim, mai 2016. Bachelorgruppe E1614: Stian Aune, Mathias Røe, Odd Harald Johansen og Jørgen Sjøli

**VEDLEGG 12**  
**Energiregnskap**  
**Antall: 2 sider**

# VEDLEGG 12

måned	Produksjon [kWh]			Batteribalanse		
	2 x 140W/47°	Forbruk [kWh]	Diff. 2x140W	100Ah	120 Ah	
januar	1,91	1,66	0,25	0,99	1,47	
februar	9,91	1,66	8,25	2,4	2,88	
mars	24,45	1,66	22,79	2,4	2,88	
april	31,13	1,66	29,47	2,4	2,88	
mai	31,77	1,66	30,11	2,4	2,88	
juni	28,61	1,66	26,95	2,4	2,88	
juli	27,6	1,66	25,94	2,4	2,88	
august	24,72	1,66	23,06	2,4	2,88	
september	17,61	1,66	15,95	2,4	2,88	
oktober	10,56	1,66	8,9	2,4	2,88	
november	2,73	1,66	1,07	2,4	2,88	
desember	0	1,66	-1,66	0,74	1,22	

måned	Produksjon [kWh]			Batteribalanse		
	2 x 50W/47°	Gj. Snittlig forbru	Diff 2x50W	100 Ah	120 Ah	
januar	0,74	1,66	-0,92	-0,79	-0,31	
februar	3,67	1,66	2,01	1,22	1,7	
mars	9,82	1,66	8,16	2,4	2,88	
april	12,7	1,66	11,04	2,4	2,88	
mai	12,72	1,66	11,06	2,4	2,88	
juni	11,31	1,66	9,65	2,4	2,88	
juli	10,81	1,66	9,15	2,4	2,88	
august	9,74	1,66	8,08	2,4	2,88	
september	7,02	1,66	5,36	2,4	2,88	
oktober	4,3	1,66	2,64	2,4	2,88	
november	1,05	1,66	-0,61	1,79	2,27	
desember	0	1,66	-1,66	0,13	0,61	



# VEDLEGG 12

måned	Produksjon [kWh]			Batteribalanse	
	2 x 140W/72°	Forbruk [kWh]	Diff. 2x140W	100Ah	120 Ah
januar	2,39	1,66	0,73	1,47	1,95
februar	11,52	1,66	9,86	2,4	2,88
mars	25,85	1,66	24,19	2,4	2,88
april	29,39	1,66	27,73	2,4	2,88
mai	27,28	1,66	25,62	2,4	2,88
juni	23,62	1,66	21,96	2,4	2,88
juli	23,16	1,66	21,5	2,4	2,88
august	22,14	1,66	20,48	2,4	2,88
september	17,36	1,66	15,7	2,4	2,88
oktober	11,69	1,66	10,03	2,4	2,88
november	3,23	1,66	1,57	2,4	2,88
desember	0	1,66	-1,66	0,74	1,22

måned	Produksjon [kWh]			Batteribalanse	
	2 x 50W/72°	Gj. Snittlig forbru	Diff 2x50W	100 Ah	120 Ah
januar	0,92	1,66	-0,74	-0,4	0,08
februar	4,32	1,66	2,66	2,26	2,74
mars	10,49	1,66	8,83	2,4	2,88
april	11,95	1,66	10,29	2,4	2,88
mai	10,96	1,66	9,3	2,4	2,88
juni	9,33	1,66	7,67	2,4	2,88
juli	9,04	1,66	7,38	2,4	2,88
august	8,71	1,66	7,05	2,4	2,88
september	6,91	1,66	5,25	2,4	2,88
oktober	4,69	1,66	3,03	2,4	2,88
november	1,26	1,66	-0,4	2	2,48
desember	0	1,66	-1,66	0,34	0,82

