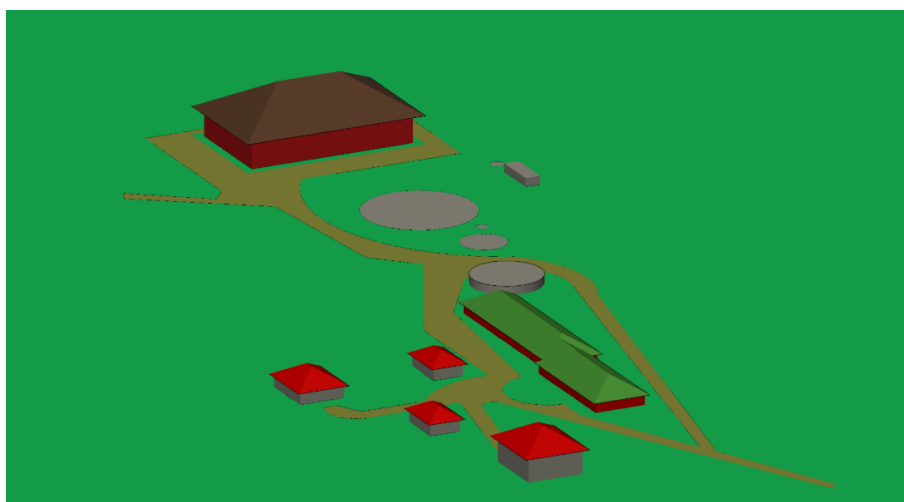


Pål Wagner
Ole Martin Rangul
Håvard Willoch
Ole Eivind Sandvik

Elektrifisering av landbruket - Drift av gård med fornybar energi

Electrification of agriculture
- Operating a farm with renewable energy

Bacheloroppgave i Elkraft
Veileder: Steve Völler
Mai 2020



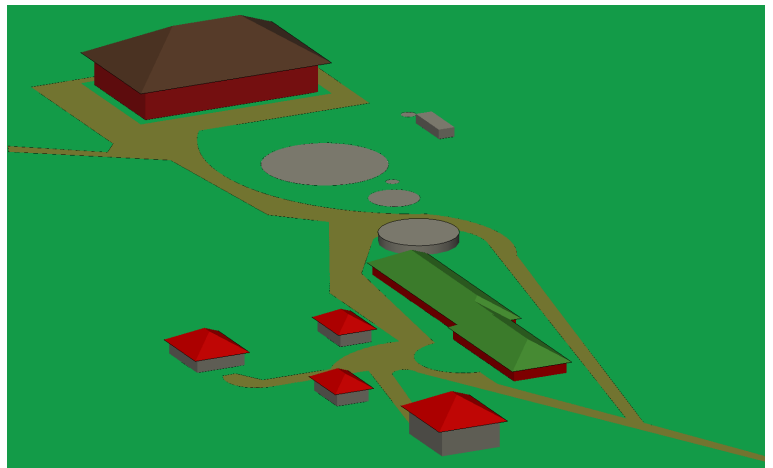
Elektrifisering av landbruket

- Drift av gård med fornybar energi

TELE3021 Bacheloroppgave Elkraftteknikk

Rapport 2020

Ole Martin Rangul
Pål Wagner
Ole Eivind Sandvik
Håvard Willoch



Totalt antall sider inkludert forsiden: 195
Trondheim, 19/05/2020

Tittel: Elektrifisering av landbruket <i>- Drift av gård med fornybar energi</i>			
Title: Electrification of agriculture <i>- Operating a farm with renewable energy</i>			
Forfattere: Ole Martin Rangul Pål Wagner Ole Eivind Sandvik Håvard Willoch			
Dato: 19/05/2020	Emnekode: TELE3021	Emne: Bacheloroppgave Elkraftteknikk	Dokument tilgang: Åpen
Studium: Elkraft			Ant. sider/vedlegg: 195 / 32
Veileder: Steve Völler		Fakultet: Institutt for Elkraftteknikk, NTNU	
Oppdragsgiver: NORSØK, Tingvoll gård		Oppdragsgiver kontaktperson: Ingvar Kvande	
Problemstilling: <p>Det grønne skiftet kommer til å være i fokus i tiden framover. En av tingene som er moden for endring er landbruket. Nye el-maskiner og nytt utstyr som drives elektrisk er på vei ut i markedet. Store el-maskiner kan være energikrevende, derfor er det viktig å se om biogass-anlegg er i stand til å produsere nok energi til å drive disse. Det være viktig å se på løsninger for lagring av energi, slik at denne kan brukes etter behov. <i>Hvordan kan vi sikre lønnsomhet og driftssikkerhet i en gårdsdrift om vi skal ta i bruk dette nye utstyret, hvilke løsninger har vi tilgjengelig og hvordan kan dette utføres?</i></p>			

Innholdsfortegnelse

1	INNLEDNING	5
1.1	Bakgrunn	5
1.2	Problemstilling	6
1.3	Rapportens oppbygging	6
2	METODE OG MATERIALER	8
2.1	Kildevurdering	8
2.2	Informasjonsinnhenting	8
2.3	Befaring av gård	8
2.3.1	Teknisk data for gård	9
2.3.2	Biogassanlegg	9
2.3.3	Elektriske maskiner	10
2.4	Dimensjonering og analyse	11
3	TEORETISK GRUNNLAG	14
3.1	Landbruk og utslipp	14
3.2	Teknisk data for gården	14
3.3	Elektrisk traktor	17
3.4	Elektrisk gravemaskin	19
3.5	Elektrisk lastebil	20
3.6	Biogassanlegg	21
3.7	Lavspente fordelingssystemer	24
3.7.1	IT-system	25
3.7.2	TN-system	26
3.8	Sikringer	29
3.8.1	Automatsikringer	29
3.8.2	Smeltesikringer	30
3.8.3	Effektbrytere	33
3.8.4	Høyeffektpatroner	35
3.8.5	Selektivitet	35
3.9	Rogowski spole	36
3.10	Dimensjoneringer	37
3.11	Kortslutningsberegninger	37
3.12	Mekaniske påkjenninger ved kortslutning	38
3.13	Jordfeil i IT-nett	39
3.13.1	Enpolt jordfeil	39
3.13.2	Topolet jordfeil	40
3.14	Belysning	41
3.15	Spenningsfall	42
3.16	Varmebehov	42
4	Dimensjonering og drift	45
4.1	Termisk dimensjonering av ledertverrsnitt	45
4.1.1	CHP-generator	46

4.1.2	Ladestasjon i anleggsgarasje	47
4.1.3	Kufjøs	48
4.1.4	Grisefjøs	51
4.1.5	Hovedhus	54
4.2	Spenningsfall	55
4.2.1	Transformator til hovedtavlene	55
4.2.2	Kufjøs	56
4.2.3	Ladekurs	57
4.2.4	Grisefjøs	57
4.3	Lastflytanalyse	58
4.4	Dimensjonering i FEBDOK	59
4.5	Valg av overstrømsvern	62
4.5.1	Kufjøs	63
4.5.2	Ladestasjon	65
4.5.3	Grisefjøs	66
4.5.4	Vern i FEBDOK	68
4.6	Varmebehov grisefjøs	69
4.7	Driftsikkerhet	71
4.7.1	Selektivitet	71
4.7.2	Nettverksanalyse	73
4.8	Styring	80
5	ØKONOMISKE BETRAKTNINGER	87
5.1	Drift av biogassanlegg på gård med dyrehold	87
5.2	Elektrisk traktor	91
5.3	Elektrisk gravemaskin	96
5.4	Elektrisk lastebil	99
5.5	Kabler	103
5.6	Vern	108
6	DRØFTING	111
6.1	Bærekraft og Klima	111
6.2	Lønnsomhet vs samfunnsøkonomi	113
6.3	Biogass på gård	114
6.4	Valg av kjøretøy	115
6.4.1	Traktor	115
6.4.2	Lastebil	116
6.4.3	Gravemaskin	117
6.5	Elektrisk anlegg	118
6.6	Kabler og vern	119
6.7	Fremtidsutsikter	120
7	Konklusjon	121
7.1	Valg av kabler	123
7.1.1	Tilførsel kufjøs	123
7.1.2	CHP-generator	124

7.1.3	Melkerobot	124
7.1.4	Fôrblander til kyr	124
7.1.5	Belysning kufjøs	125
7.1.6	Tilførsel anleggsgarasje	125
7.1.7	Lading gårdkjøretøy	125
7.1.8	Lading elbil	126
7.1.9	Tilførsel grisefjøs	126
7.1.10	Fôringsanlegg til gris	126
7.1.11	Ventilasjonsanlegg til gris	127
7.1.12	Belysning i grisefjøs	127
7.2	Lastflytanalyse	127
7.3	Valg av vern	128
7.4	Valg av kjøretøy	129

8 VEDLEGG **130**

Figurliste

3.2.1	Situasjonskart over gården	15
3.3.1	Fendt e100 Vario	18
3.4.1	CAT 323 Z-line (tilsvarende lik CAT 320 Z-line)	19
3.5.1	Volvo FE electric med tipp	20
3.7.1	IT system	26
3.7.2	TN-C-S system	27
3.8.1	Utløserkarakteristikk for automatsikring	29
3.8.2	Smeltekarakteristikk for D-sikringer	30
3.8.3	Smelteintegral for høyeffektsikringer	31
3.8.4	Cut-off-karakteristikk	32
3.8.5	Utløserkarakteristikk for overstrømsvern	34
3.9.1	Prinsippskisse av en Rogowski spole	36
3.14.1	Oversikt over reflektanser i tak, vegger og gulv og tilsvarende virkningsgrad	41
4.0.1	Oversikt av gård tegnet med Autocad	45
4.3.1	Lastflytanalyse av nettet på gård med 240 V som referansespenning	59
4.3.2	Lastflytanalyse av nettet på gård med 400 V som referansespenning	60
4.4.1	FEBDOK nettverk	62
4.7.1	Strøm-tid-selektivitet i en kurs i hovedhuset	71
4.7.2	Strøm-tid-selektivitet for belysning i grisefjøsset	72
4.7.3	Strøm-tid-selektivitet for fôrblenderen i kufjøsset	72
4.7.4	Strøm-tid-selektivitet for ladestasjonen i anleggsgarasjen	73
4.7.5	Kortslutning per fase skjema	75
4.8.1	PLS-program for generatorstyring	86
5.1.1	Godtgjørelse gjødsel	87
5.1.2	Godtgjørelse dyr, eget anlegg	87
5.1.3	Gjødselsmengde per dyr 100 % tørrstoff	88
5.1.4	Biogasspotensiale gjødsel etter dyr	88
5.1.5	Metan energiegenskaper	88
5.1.6	Energiomgjøring metan	88
5.1.7	Fordeling generator output	89
5.1.8	Økonomisk oversikt biogassanlegg, Nåverdi	90
5.2.1	Oversikt over elektrisk og dieseldrevne traktorer	91
5.2.2	Oversikt over forbruk i L/h og kW/h ved maks og gjennomsnittlig ytelse	91
5.2.3	Oversikt over strømpriser	92
5.2.4	Oversikt over dieselpriis 03.03.2020	92
5.2.5	Oversikt over forbruk i kr/h	92
5.2.6	Oversikt over driftkostnader for 300 driftstimer med kjøpt strøm	93
5.2.7	Oversikt over driftkostnader for 300 driftstimer med egenprodusert strøm	93
5.2.8	Oversikt over kr spart i driftkostnader for 300 driftstimer	93
5.2.9	Oversikt over investering, overskudd, rente og nåverdi ved kjøp av strøm	94

5.2.10	Oversikt over investering over 20 år ved kjøp av strøm	94
5.2.11	Oversikt over investering, overskudd, rente og nåverdi ved egenproduksjon av strøm	95
5.2.12	Oversikt over investering over 20 år ved egenproduksjon av strøm .	95
5.3.1	Oversikt over elektrisk og diesel-drevet gravemaskin	96
5.3.2	Oversikt over forbruk i L/h og kWh ved to forskjellige ytelser	96
5.3.3	Oversikt over forbruk i kr/t ved to forskjellige ytelser	96
5.3.4	Oversikt over forbruk ved mange driftstimer	96
5.3.5	Oversikt over strømpriser og dieselpriiser brukt i utregninger	97
5.3.6	Oversikt over driftskostnader ved kjøpt strøm og diesel	97
5.3.7	Oversikt over driftskostnader ved egenprodusert strøm og kjøpt diesel	97
5.3.8	Oversikt over overskudd, rente, investering og nåverdi ved kjøpt strøm	98
5.3.9	Oversikt over investering og overskudd	98
5.3.10	Oversikt over overskudd, rente, investering og nåverdi ved egenprodusert strøm	98
5.3.11	Oversikt over investering og overskudd	98
5.4.1	Oversikt over elektrisk og dieseldrevne lastebiler	99
5.4.2	Oversikt over driftskostnader for 750 driftstimer med kjøpt strøm . . .	99
5.4.3	Oversikt over driftskostnader for 750 driftstimer med egenprodusert strøm	100
5.4.4	Oversikt over kr spart i driftskostnader for 750 driftstimer	100
5.4.5	Oversikt over investering, overskudd, rente og nåverdi ved kjøp av strøm	101
5.4.6	Oversikt over investering over 20 år ved kjøp av strøm	101
5.4.7	Oversikt over investering, overskudd, rente og nåverdi ved egenproduksjon av strøm	102
5.4.8	Oversikt over investering over 20 år ved egenproduksjon av strøm .	102

Tabelliste

3.2.1	<i>Data for noen av bygningene.</i>	16
3.2.2	<i>Lengde mellom fordelingspunkt og relevante laster</i>	17
4.1.1	<i>Forsyning til anleggsgarasjen: oversikt over strømmer og lederdimensjoner ved 230 V</i>	47
4.1.2	<i>Forsyning til anleggsgarasjen: oversikt over strømmer og lederdimensjoner ved 400 V</i>	47
4.1.3	<i>En ladestasjon: oversikt over strømmer og lederdimensjoner ved 230 V</i>	48
4.1.4	<i>En ladestasjon: oversikt over strømmer og lederdimensjoner ved 400 V</i>	48
4.1.5	<i>Tre ladestasjoner: oversikt over strømmer og lederdimensjoner ved 230 V</i>	48
4.1.6	<i>Tre ladestasjoner: oversikt over strømmer og lederdimensjoner ved 400 V</i>	48
4.1.7	<i>Tilførsel kufjøs: oversikt over strømmer og lederdimensjoner ved 230 V og 400 V</i>	49
4.1.8	<i>Melkerobot: oversikt over strømmer og lederdimensjoner ved 230 V og 400 V</i>	49
4.1.9	<i>Fôrblender: oversikt over strømmer og lederdimensjoner ved 230 V og 400 V</i>	49
4.1.10	<i>Belysning: strømmer, kurser og lederdimensjoner ved 230 V, enfase</i>	51
4.1.11	<i>Belysning: strømmer, kurser og lederdimensjoner ved 230 V, trefase</i>	51
4.1.12	<i>Tilførsel grisekjøs: Strømmer, og lederdimensjoner ved 230 V og 400 V</i>	51
4.1.13	<i>Fôringanlegg: Strømmer, og lederdimensjoner ved 230 V og 400 V</i>	52
4.1.14	<i>Ventilasjon: Strømmer, og lederdimensjoner ved 230 V og 400 V</i>	53
4.1.15	<i>Belysning: oversikt over strømmer, kurser og lederdimensjoner ved 230 V, enfase</i>	54
4.1.16	<i>Belysning: oversikt over strømmer, kurser og lederdimensjoner ved 230 V, trefase</i>	54
4.1.17	<i>Tilførsel hovedhus: oversikt over strømmer og lederdimensjoner ved 230 V og 400 V</i>	54
4.2.1	<i>Oversikt over resistanser og reaktanser ved forskjellig tverrsnitt og ledermateriale</i>	55
4.2.2	<i>Spenningsfall sett fra transformator ved bruk av aluminiumleder</i>	56
4.2.3	<i>Spenningsfall ved bruk av aluminiumleder og kobberleder i kufjøset</i>	56
4.2.4	<i>Spenningsfall ved bruk av aluminiumleder i anleggsgarasjen</i>	57
4.2.5	<i>Spenningsfall ved bruk av aluminiumleder og kobberleder i grisekjøset</i>	58
4.4.1	<i>Oversikt over kabeldimensjonering i FEBDOK</i>	61
4.5.1	<i>Trefase med tilsvarende belastningsstrøm og ledertverrsnitt for belysning i kufjøset</i>	63
4.5.2	<i>Oversikt over belastningsstrømmer, nominell strøm på sikringer og lederdimensjoner for trefase belysning i kufjøset</i>	64

4.5.3	<i>Oversikt over belastningsstrøm, effekt og kabeldimensjon for melkerobot</i>	64
4.5.4	<i>Oversikt over belastningsstrømmer, nominell strøm på sikringer og lederdimensjon for melkerobot</i>	64
4.5.5	<i>Oversikt over belastningsstrøm, effekt og kabeldimensjon for fôrblender</i>	64
4.5.6	<i>Oversikt over belastningsstrømmer, nominell strøm på sikringer og lederdimensjon for fôrblender</i>	65
4.5.7	<i>Oversikt over effekt kursene trekker, lederens minste tverrsnitt og belastningsstrøm for ladekurser</i>	65
4.5.8	<i>Oversikt over belastningsstrøm, sikringens nominelle strøm og kabeldimensjoner for ladekurser</i>	65
4.5.9	<i>Oversikt over belastningsstrømmer og dimensjonert ledertverrsnitt for trefase belysning i grise fjøset</i>	66
4.5.10	<i>Oversikt over antall kurser, belastningsstrøm, sikringens nominelle strøm og lederdimensjoner for belysning i grise fjøset</i>	66
4.5.11	<i>Oversikt over belastningsstrømmer og dimensjonert ledertverrsnitt for fôringsanlegg</i>	66
4.5.12	<i>Oversikt over antall kurser, belastningsstrøm, sikringens nominelle strøm og lederdimensjon for fôringsanlegg</i>	67
4.5.13	<i>Oversikt over belastningsstrømmer og dimensjonert ledertverrsnitt for ventilasjonsanlegg</i>	67
4.5.14	<i>Oversikt over antall kurser, belastningsstrøm, sikringens nominelle strøm og lederdimensjon for ventilasjonsanlegg</i>	67
4.5.15	<i>Oversikt over verndimensjonering i FEBDOK</i>	68
4.6.1	<i>Varmekapasitet og varmeledningsevne for luft, tre og steinull.</i>	69
4.7.1	<i>Kortslutningsberegninger for tavle i grise fjøs</i>	76
4.7.2	<i>Kortslutningsberegninger for tavle i anleggsgarasje</i>	76
4.7.3	<i>Kortslutningsberegninger for tavle i hovedhus</i>	76
4.7.4	<i>Kortslutningsberegninger for tavle i grise fjøs</i>	78
4.7.5	<i>Kortslutningsberegninger for tavle i anleggsgarasje</i>	79
4.7.6	<i>Kortslutningsberegninger for tavle i hovedhus</i>	79
5.5.1	<i>Oversikt over anbefalt kabeldimensjon med tilhørende kabellengde, pris/m og tap</i>	103
5.5.2	<i>Oversikt over antatt antall timer kablene er i bruk</i>	104
5.5.3	<i>Oversikt over totale kostnader for kabler og tap</i>	105
5.5.4	<i>Oversikt over minste tverrsnitt ti hver kurs, med tilhørende pris/m og tap</i>	106
5.5.5	<i>Oversikt over total kostnad for valg av kabler ved bruk av minste tverrsnitt</i>	107
5.6.1	<i>Oversikt over verntype og vernpris i hovedtavle i kufjøs</i>	108
5.6.2	<i>Oversikt over verntype og vernpris i kursene i kufjøs</i>	108
5.6.3	<i>Oversikt over verntype og vernpris i tavle i grise fjøs</i>	108
5.6.4	<i>Oversikt over verntype og vernpris i kursene i grise fjøs</i>	108
5.6.5	<i>Oversikt over verntype og vernpris i tavle i anleggsgarasjen</i>	108
5.6.6	<i>Oversikt over verntype og vernpris i kursene i anleggsgarasjen</i>	108

5.6.7	<i>Oversikt over verntype og vernpris i tavle i kufjøs</i>	109
5.6.8	<i>Oversikt over verntype og vernpris i kursene i kufjøs</i>	109
5.6.9	<i>Oversikt over verntype og vernpris i tavle i grise fjøs</i>	109
5.6.10	<i>Oversikt over verntype og vernpris i kursene i grise fjøs</i>	109
5.6.11	<i>Oversikt over verntype og vernpris i tavle i anleggsgarasjen</i>	109
5.6.12	<i>Oversikt over verntype og vernpris i kursene i anleggsgarasjen</i>	109
5.6.13	<i>Oversikt over den totale kostnaden for ABB- og Siemens-vern</i>	110
7.1.1	<i>Anbefalt kabel og kabeldimensjon for tilførsel kufjøs</i>	123
7.1.2	<i>Anbefalt kabel og kabeldimensjon for CHP-generator</i>	124
7.1.3	<i>Anbefalt kabel og kabeldimensjon for melkerobot</i>	124
7.1.4	<i>Anbefalt kabel og kabeldimensjon for fôrblender</i>	124
7.1.5	<i>Anbefalt kabel og kabeldimensjon for belysning kufjøs</i>	125
7.1.6	<i>Anbefalt kabel og kabeldimensjon for tilførsel anleggsgarasje</i>	125
7.1.7	<i>Anbefalt kabel og kabeldimensjon for lading av gårdkjøretøy</i>	125
7.1.8	<i>Anbefalt kabel og kabeldimensjon for lading av elbil</i>	126
7.1.9	<i>Anbefalt kabel og kabeldimensjon for tilførsel grise fjøs</i>	126
7.1.10	<i>Anbefalt kabel og kabeldimensjon for fôringsanlegg</i>	126
7.1.11	<i>Anbefalt kabel og kabeldimensjon for ventilasjonsanlegg</i>	127
7.1.12	<i>Anbefalt kabel og kabeldimensjon for belysning grise fjøs</i>	127
7.3.1	<i>Oversikt over vern til de forskjellige kursene og pris</i>	128
7.4.1	<i>Oversikt over alternative traktorer</i>	129
7.4.2	<i>Oversikt over alternative gravemaskiner</i>	129
7.4.3	<i>Oversikt over alternative lastebiler</i>	129

Sammendrag

Klimagassutslipp og miljøpåvirkning er aktuelle tema som kommer opp når vi snakker om dagens og framtidens landbruk. Landbruk med husdyr, spesielt storfe, gir blant annet utslipp av metan som ikke er gunstig. Hvordan kan vi utnytte den energien som ligger i husdyrenes gjødsel til lading av elektriske landbrukskjøretøy som, traktor, grave-maskin og lastebil, med en biogassgenerator? Og *hvordan kan vi sikre lønnsomhet og driftssikkerhet i en gårdsdrift om vi skal ta i bruk dette nye utstyret, hvilke løsninger har vi tilgjengelig og hvordan kan dette utføres?* Det er spørsmål denne bacheloroppgaven skal forsøke å gi svar på.

For å komme fram til svarene er det brukt litteraturstudie, og en case-studie på Inge Hoemsnes sin gård utenfor Molde. Det er blitt hentet informasjon direkte fra forhandlere, fra artikler og rapporter. For å utarbeide løsninger er det blitt brukt etablerte programmer som FEBDOK, SINCAL og AUTOCAD.

I oppgaven blir det presentert aktuelle anleggsmaskiner som kan passe inn i driften av en gård. Det kommer fram i oppgaven at det finnes lønnsomhet i elektrisk lastebil med nåværende offentlige støtteordninger. Det blir også presentert at for å gjøre elektrisk traktor eller gravemaskin lønnsomme investeringer sammenlignet med tradisjonelt drevet maskineri, må teknologien bli billigere eller bedre støtteordninger må på plass. Det vises også at et biogassanlegg i mikro skala lokalt på gård kan være lønnsomt. Det presenteres en løsning på hvordan lading av kjøretøy kan implementeres og styres. Videre påpekes det problemer ved nettkonfigurasjonen ved case gården. Gården har IT konfigurasjon og burde oppgradere til TN konfigurasjon for å sikre strømkvalitet og minske effekttap i kabler.

Abstract

Greenhouse-gas emissions and environmental impact are issues that arise when we discuss current and future state of agriculture. Farms with livestock, especially cattle, produces greater emissions of methane alongside other unwanted greenhouse gases. How can we harness the energy contained in manure of the livestock to charge electrical farm-vehicles such as, tractors, excavators and trucks, through the use of a biogas-generator? How can we ensure profitability and operational reliability in farms if we are going to use this new equipment, what solutions do we have readily available and how should we implement it? These are questions this bachelor thesis will try to answer.

To write this thesis there has been done a Literature-study, and a case-study of Inge Hoemsnes's farm located near Molde. Information has been obtained directly from manufacturers, from articles and reports. In order to manufacture solutions, established applications such as FEBDOK, SINCAL and AUTOCAD have been used.

The project presents viable agricultural machinery that can be used while running a farm. The study shows profitability in the electric dumptruck with the current governmental financial support. It is also presented that in order to make electric tractors and excavators profitable investments, compared to traditionally driven machinery, the technology must be cheaper, or better governmental financial support must be available. It is also shown that a micro-scale biogas plant located on a farm can be profitable. A solution is presented on how charging of vehicles can be implemented and controlled. Furthermore, challenges connected to the electric network configuration at the case-farm are identified. The farm has IT configuration and should upgrade to TN configuration to assure power quality and reduce electrical losses.

Terminologi

Navn	Forklaring
AC	Vekselstrøm
Al	Aluminium
Belastningsstrøm	Strømmen som utstyret vi har trekker
CCS2-kontakt	Combined charging system (hurtiglader)
CEE kontakt	Industrikontakt
CHP	Kombinert varme og energi generator
Cu	Kobber
DC	Likestrøm
Effektfaktor	Vinkelforskjellen på strøm og spenning i en vekselstrømskrets
Feilstrøm/overstrøm	Strøm som oppstår på grunn av isolasjonssvikt eller nettverksfeil
FEL	Forskrift om elektriske lavspenningsanlegg
Flaterreflektans	Andelen bølgeenergi en flate reflekterer
Forsyning	Spenningsnivå
Generator	Maskin som omdanner mekanisk energi til elektrisk energi
GWP-verdi	Global warning potential, mål på oppvarmingseffekten av en drivhusgass
IEC	International electrotechnical commission
Installasjonsmetode	Hvordan kablene er lagt, på vegg, skjult eller kablebro f.eks
Intestinale	Prosesser som foregår i tarmsystemet
Kabel	Elektrisk ledende leder isolert i jord
Kurs	Er en individuell inndeling av et elektrisk system, beskyttet av hvert sitt vern
kWe	Står for Kilowatt elektrisk energi
Lysfluks	Hvor mye lys som sendes ut fra en lyskilde
NEK 400	Normsamling for elektriske lavspenningsinstallasjoner
Nominell spenning	Spenningen en elektrisk komponent er oppgitt med
Normalkubikkmeter	Volum av en mengde gass ved 0°C
Nøytralleder	Elektrisk leder som er forbundet til et, i normalttilstand, spenningsløst nøytralpunkt
Nåverdi	Verdien i dag av et fremtidig beløp
PTO	Kraftuttaket på en traktor
Samtidighetsfaktor	Sannsynligheten for at alt er påskrudd samtidig
Sanere	Rengjøre
Selektivitet	Kun vernet som er nærmest feilen skal koble ut
Sikring/vern	Beskytter andre elektriske komponenter i nettverket
Spenningsfall	Tap av spenning ut i fra den nominelle spenningen
Strømføringsevne	Kabelens evne til å føre strøm uten at den blir varm og tar skade
Subtransient kortslutning	Verdien av kortslutning umiddelbart etter den oppstår
Tavle	Et elektrisk skap for sikringer og videre fordeling av elektriske kabler
Transformator	Transformerer spenning til et lavere eller høyere spenningsnivå
Transient kortslutning	Verdien av kortslutning litt etter den oppstår

Symboler

Navn	Symbol	Enhet
Strøm	I	A
Spenning	U	V
Resistans	R	Ω
Reaktans	X	Ω
Impedans	Z	Ω
Kapasitans	C	F
Frekvens	f	Hz
Aktiv effekt	P	W
Reaktiv effekt	Q	VA _r
Tilsynelatende effekt	S	VA
Tverrsnitt	a	mm ²
Lengde	l	m
Bredde	b	m
Vinkel	ϕ	°
Vekt	m	g
Stoffmengde	n	mol
Molar masse	M	g/mol
Normalkubikkmeter	V	Nm ³
Temperatur	T	°C
Virkningsgrad	η	%
Tid	t	s
Lux	lx	lm/m ²
Dreiemoment	τ	Nm
Krefter	F	N
Prefikser:		
Mikro	μ	10 ⁻⁶
Milli	m	10 ⁻³
Kilo	k	10 ³
Mega	M	10 ⁶

1 INNLEDNING

1.1 Bakgrunn

Dagens landbruk er veldig avhenging av bondens viktigste redskap, traktoren. Traktoren gjør mye av hverdagen til bonden lettere og er i bruk hver eneste dag året rundt. De fleste gårdbrukerne i Norge i dag bruker lite klima og miljøbesparlige alternativer, og som en bedrift burde, ligger fokuset på lønnsomhet. For eksempel går mange av dagens traktorer på diesel, og i melkeproduksjon og storfeproduksjon er det en del utfordringer tilknyttet utslipp fra dyreholdet og fra dyrene. [1] Selv om det har kommet mange nye løsninger og teknologi i landbruket de siste 10-15 årene med forskjellige roboter (melkerobot, fôrblander og rengjøringsroboter), har disse robotene hovedsakelig lettet og effektivisert arbeidshverdagen til bonden og ikke redusert utslipp av klimagasser.

I Norge er det få gårdbrukere som utnytter seg av energien som ligger i husdyrgjødselen til noe annet enn gjødsling, og dermed slipper man ut mer klimagass enn nødvendig, i tillegg til at man ikke produserer egen energi som reduserer kostnadene med strøm og varme. [2] Det er mange av dagens bønder som har flere maskiner enn bare traktor. Mange har skog og utmark eller sagbruk og pukkverk. Disse bøndene har kanskje lastebil, gravemaskin eller andre større maskiner. Disse maskinene er veldig ofte utstyrt med forbrenningsmotorer som benytter seg av en eller annen form for diesel som drivstoff. Her fins det også muligheter til å redusere både klimagassutslipp og ikke minst driftkostnader. [3]

Norsk Senter for økologisk landbruk (NORSØK) har i en del år prosjektert fornybar produksjon på gård. Deres mål er å bidra med kunnskap for et mer bærekraftig landbruk og samfunn. Bærekraftige løsninger innen landbruk fører til mer lønnsomhet for gårdbrukeren, samtidig som det minker klimautslipp og forbedrer sosiale forhold. Vår gruppe så dette som en god mulighet til å bruke vår kunnskap til å gjøre samfunnet mer bærekraftig med klimavennlige løsninger. Hvor vi kan bidra til å redusere bondens driftskostnader for maskinene som driftes med forbrenningsmotor, samtidig som vi bygger kompetanse til det stadig økende grønne skiftet.

Hensikten med oppgaven "Elektrifisering av landbruket" er å prosjektere fornybar energi på gård, kartlegge termisk og elektrisk effektbehov samt infrastruktur og nær-område, og vurdere ny teknologi og reduksjon i energibruk. Lønnsomheten for gårdbrukeren avhenger av at energien i stor grad blir benyttet på gården, derfor er det viktig å kartlegge termisk og elektrisk behov slik at overskuddsenergi kan lagres eller benyttes andre plasser istedenfor og selges tilbake til nettleverandøren. Hvert år blir teknologi innen fornybar energi billigere, dermed er det viktig å se på det nyeste innen denne sektoren for å avgjøre om slike løsninger vil være lønnsomme eller ikke.

1.2 Problemstilling

Det grønne skiftet kommer til å være i fokus i tiden framover. En av tingene som er moden for endring er landbruket. Nye el-maskiner og nytt utstyr som drives elektrisk er på vei ut i markedet. Store el-maskiner kan være energikrevende, derfor er det viktig å se om biogass-anlegg er i stand til å produsere nok energi til å drive disse. Det er viktig å se på løsninger for lagring av energi, slik at denne kan brukes etter behov. *Hvordan kan vi sikre lønnsomhet og driftssikkerhet i en gårdsdrift om vi skal ta i bruk dette nye utstyret, hvilke løsninger har vi tilgjengelig og hvordan kan dette utføres?*

1.3 Rapportens oppbygging

Første del dokumenterer teorien som vi benytter oss av i rapporten. Her vil man finne grunnleggende informasjon om utslipp i landbruk, teknisk data for gård, elektriske maskiner som er relevante for drift av gård, lavspente fordelingssystemer som IT- og TN-nett, sikringer, vern og selektivitet for driftssikkerhet. Videre tar denne delen for seg teorien og formulerer bak biogassanlegg, termisk dimensjonering av kabler, dimensjonering av vern, belysning og varmebehov, beregning av kortslutnings- og feilstrømmer, samt mekaniske påkjenninger ved kortslutning.

Deretter tar vi for oss dimensjonering av anlegget, med nettverksanalyser og driftforslag. Her benytter vi oss av formlene presentert i første del av rapporten. Dimensjonering av kabler og vern gjøres både for hånd og ved hjelp av dataprogram. Videre utføres det beregninger på spenningsfall og kortslutnings- og jordfeilstømmer. For å kvalitetssikre våre dimensjoneringer, sammenlignes alt utført for hånd med simuleringprogrammer slik at vi får best mulig sluttprodukt. For å utføre mer nøyaktige analyser av nettet, benytter vi oss av *Febdok* for dimensjonering av hele anlegget, slik at vi får dimensjonert spenningsfall og selektivitet etter normer og forskrifter. Programmet *PSS Sincal* benyttes for å utføre lastflytanalyser på nettet slik at vi ser hvor mye effekt som flyter til de forskjellige anleggsdeler, spenningsfall på de forskjellige fordelingspunkter og lastene, og hvor det kan oppstå en mulig overbelastning.

Så ser vi på økonomiske betraktninger på gården, da i all hovedsak ser vi på lønnsomheten ved å ta i bruk forskjellige maskiner og biogassanlegg. De elektriske maskinene vi ser på sammenlignes med dieseldrevet maskiner av størrelsesorden. Videre brukes strøm- og drivstoffpriser og vedlikeholdskostnader for å finne årlig kostnad for drift av elektriske og dieseldrevet maskiner slik at vi kan trekke en konklusjon. Vi har også sett på lønnsomhetspotensialet av et biogassanlegg basert på antall dyr, potensiell gjødselmengde, og dermed gass de produserer og godtgjørelse fra staten. Kabler og vern blir også sett på fra økonomisk perspektiv. Det blir funnet pris på kabler slik at vi får estimert total kostnad for både installasjon av kabler og kostnad for årlig effekttap i kabler. For å se på vern fra økonomisk perspektiv tar vi utgangspunkt i to ulike vernleverandører, og sammenligner deres produkter slik at vi kan trekke en konklusjon.

1.3 Rapportens oppbygging

Videre tar vi for oss de ulike metodene vi har brukt for å fullføre denne oppgaven. Her forteller vi hvem som ble kontaktet for å få informasjon om de ulike maskinene og hva som ble gjennomgått under befaring av gård. Kapitlet gir også innsikt i hvordan vi har samlet inn informasjon om kabler og vern, hvor informasjon om biogassanlegg er hentet fra og hvilke metoder som er brukt i ovenfornevnte dimensjoneringsprosesser.

I det nest siste kapitlet diskuterer vi rundt de elektriske maskinene vi har anbefalt, det elektriske anlegget som allerede er etablert på gården, og mulige forbedringer. Det blir også diskutert hvordan vår løsning påvirker klima dersom de tiltakene vi har anbefalt tas i bruk, og lønnsomhet vs samfunnsøkonomi.

Til slutt presenterer vi resultater vi har kommet fram til. Her presenterer vi dimensjoneringsprosesser som er blitt gjennomført og kort sammendrag om de elektriske maskinene vi anbefaler og ikke.

2 METODE OG MATERIALER

2.1 Kildevurdering

Vi har prøvd å benytte oss av offisielle kilder. Det vil si offentlige etater, produsenter og forskning. Der hvor dette ikke har vært mulig har vi prøvd å finne informasjonen flere steder, hovedsaklig på internett, for å sammenligne kildene med hverandre. Informasjon som vi har blitt tilsendt har vi etterprøvd og sett på med et kritisk blikk. På enkelte områder har vi blitt tilsendt informasjon som vi ikke har bestemt oss for å benytte, siden det oppsto mangelfulle data da dette ble etterprøvd. Tall vi har blitt tilsendt har blitt gjennomgått for å sikre at informasjonen er reell og hensiktsmessig til den bruken vi ønsker. Alle kilder som er blitt brukt er kilder vi har vurdert som pålitelige.

2.2 Informasjonsinnhenting

For å samle inn informasjon som vi trengte så har vi hatt god støtte i vår eksterne veileder og hans samarbeidspartnere. Ekstern veileder har satt oss i kontakt med de personene som satt på informasjonen om gården, nettet tilknyttet dette og anlegget som finnes der. Videre utover dette har vi foretatt litteratursøk for å finne relevant informasjon til å kunne foreta økonomianalyser og for å vise til et godt teoretisk grunnlag til våre antagelser. Videre har vi også hatt direkte kontakt med leverandører av forskjellige maskineri for å få tilstrekkelig informasjon om de forskjellige kjøretøyene vi så for oss var aktuelle for denne oppgaven.

2.3 Befaring av gård

Tidlig i semesteret bestemte vi oss for å besøke den aktuelle gården for en befaring. Dette ble gjort i samråd med ekstern veileder, og vi fikk til et tidspunkt som passet bra i forhold til andre fag det aktuelle semesteret og veileders timeplan. Gruppen ble senere enig med ekstern veileder om å ta befaringen 09.03.2020. Vi leide bil som vi kjørte nedover tidlig på morgenen og var fremme rundt kl 10:30.

Når vi ankom ble vi vist rundt på gården og fikk ta en titt på biogassgeneratoren, råtningskammeret og prosessen fra gjødsel til biogass. Etter omvisningen hadde vi et møte med ekstern veileder og gårdeieren. På møtet fikk vi en del gode svar på flere spørsmål som vi hadde forberedt og vi fikk også bedre innsikt i hva som var målet/ønsket til bonden. Etter møtet skulle det tas gass- og gjødselsprøver, siden det var noen problemer med kvaliteten på biogassen. Prøvene viste forhøyde nivåer med hydrogensulfid i anlegget. Dette er noe man ønsker å fjerne mest mulig av, fordi det over lengre tid tærer veldig på motoren, og dermed kan skape høye vedlikeholdskost-

2.3 Befaring av gård

nader. Gruppa ble med på dette bare for nysgjerrighetens skyld, når dette ga et lite innblikk i hva andre oppgaver NORSØK har. Etter prøvene var tatt kjørte vi hjem til Trondheim igjen.

2.3.1 Teknisk data for gård

All teknisk data fra gård er innhentet fra aktuelle personer. Størrelsene på byggene og distansene er hentet fra plantegninger av gården og direkte informasjon fra bonde. Videre er informasjon om trafo og rundtomliggende nett tilknyttet gården hentet fra den lokale kraftleverandøren (Istad nett) som ble kontaktet igjennom gårdseier, og videre fikk vi direktekontakt med kraftleverandøren etter avtale med gårdseier. Enkelte steder har noe av informasjonen om det rundtomliggende nettet ikke vært mulig å finne, så vi har derfor valgt å se på det nærliggende området. Vi klarte ikke å oppdrive eksakte data for alt vi ønsket i trafo, når det ikke fantes datablad å oppdrive på den aktuelle trafoen. Vi har derfor benyttet oss av antatt lignende verdier tatt ifra lærebøker og datablad som omhandler trafo med lignende størrelse og konfigurasjon. Krav om belysning og romtemperaturer er hentet fra statlige instanser som har satt regelment og krav i henhold til dyrevelferd.

2.3.2 Biogassanlegg

For å finne informasjon om biogassanlegg i dette formålet så har vi måttet prøve å finne relevant forskning i kombinasjon med teknisk informasjon fra anleggsprodusenten til gården vi hadde som case. Tall som gjelder miljøperspektiv har vi hentet fra IPCC Climate Change 2007: The Physical Science Basis,[4] slik at vi har et reelt grunnlag til å gjøre noen antagelser rundt utslipp. Videre for å vurdere økonomiske perspektiver så har vi tatt utgangspunkt i kjemiske formler og godt etablerte fakta rundt metangass. I tillegg til relevant forskning på biogassproduksjon sammen med erfaringstall fra staten. Videre har vi fått informasjon fra en produsent av micro-biogassanlegg, som igjen er ansvarlig for å ha satt opp CHP anlegget som finnes på case gården.

Det vi fikk av informasjon var erfaringsdata på produksjon fra en gård som skulle tilsvare et anlegg av samme størrelse, slik at vi kunne bruke dette som et grunnlag til å gjøre økonomiske beregninger. Vi endte opp med å ikke benytte oss av informasjonen som kom fra anleggsprodusenten, når vi fant ut at det var mangelfulle tall når vi begynte å gå igjennom materialet. Manglene var i henhold til hva som ble produsert i generator utover det som ble solgt til nett, og om man skulle bruke eksempelet til å gjøre beregninger på et lignende anlegg så måtte vi ha gjort mange antagelser. Så det var grunnlaget til at vi valgte å se bort ifra denne informasjonen når vi gjorde økonomiberegningene. Vi valgte da heller å benytte oss av tall fra østfold forskning og lovdata i kombinasjon med de kjemiske egenskapene til metan for å komme fram til et grunnlag for å gjøre de økonomiske beregningene.

Etter vi fikk tilsendt dokumentene og kommenterte manglene, så har vi ikke fått videre

2.3 Befaring av gård

kontakt med leverandør. Vi manglet også informasjon om annet enn kWe mengden produsert i CHP-generatoren og prøvde å spørre om dette. Gårdseier satt ikke på informasjonen, og hadde ikke datablad til CHP-generatoren. Derfor har vi måttet benytte oss av antatt lignende CHP-generator som grunnlag til beregninger når vi ikke har fått tilgang til informasjon om generator som finnes på det eksisterende anlegget.

Tallene fra østfold forskning vi benyttet oss av var gassmengde per tonn avføring fra forskjellige dyr, og metanmetningen i denne gassen. Lovdata brukte vi som grunnlag til å beregne gjennomsnittlig avføringsmengde per dyr. Den kjemiske formelen ble brukt for å regne ut energiverdien av biogassen. Tallene vi trengte utenom kWe energi fra CHP generator var gassforbruk ved 100 % drift, for å få gjort antagelser angående driftstid og energifordeling i forhold til varme/strøm, i tillegg til informasjon om mulig faseforskyvning for å få gjort gode nettanalyser,

2.3.3 Elektriske maskiner

For å kunne gi nok informasjon om elektriske maskiner som vi tenker bønder kan ha god bruk for, måtte vi hente informasjon fra internett. Vi har undersøkt ulike produsenter som produserer elektriske traktorer, lastebiler og gravemaskiner. Enkelte nettsteder inneholdte ikke nok teknisk informasjon om produktene vi var interessert i, dermed måtte vi sende e-post, ringe eller opprette videokontakt direkte til produsenter for å få tilgang til data vi trengte.

Ved undersøkning av elektriske traktorer tok det ikke lang tid før vi kom fram til at det ikke finnes mange alternativer. Mange av traktorer vi fant var for små eller automatiserte som var egnet for drift i mindre gård og ikke for tungt arbeid. Det er også per dags dato kun en håndfull som er under utvikling. Likevel klarte vi å finne en hel-elektrisk traktor, Fendt e100 Vario som kan utføre oppgaver til en tradisjonell traktor. Traktoren ble utviklet av AGCO/Fendt, som tilbyr en rekke elektrifiserte redskaper til landbruk. Informasjonen om den hel-elektriske traktoren ble hentet fra nettsiden Fendt og inneholdte informasjon om batterikapasitet, lademuligheter, motorytelse og hvilke redskaper traktoren er utstyrt med. Nettsiden ga ingen informasjon om traktorens pris, rekkevidde eller ladetiden ved standard lading. Det ble prøvd å få tak i denne informasjonen ved å sende e-post direkte til Fendt, men denne informasjonen kunne de ikke oppgi.

Ved undersøkning av elektrisk gravemaskin fikk vi øye på CAT 323F Z-line. Den tekniske informasjonen som var oppgitt på produsentens nettsted var informasjon om lading av maskinen. Da dette ikke var nok informasjon for å kunne vurdere nytte av gravemaskinen, sendte vi e-post og fikk svar fra Eivind Hafslund, som var med på å utvikle denne gravemaskinen. I responsen vi fikk, var det oppgitt maskinens vekt, forsyningsbehov ved hurtiglading og prisen på maskinen. I tillegg til dette ble vi også tilsendt datablad for tre forskjellige gravemaskiner, men kun en av disse var relevant. Vi ble også informert om at CAT 323F Z-line modellen var sluttsolgt, og at etter sommeren skulle selskapet begynne å levere nye modeller av den elektriske gravemaskinen. Dette var før restriksjonene på grunn av *Covid-19 viruset*. Det er derfor god grunn til å tro at lanseringen

2.4 Dimensjonering og analyse

av den nye gravemaskinen til CAT vil bli noe forsinket. Vi etterspurte teknisk informasjon om en av modellene som var relevant for oppgaven, og fikk et svar relativt fort. Informasjonen vi fikk var pris på maskinen, batterikapasitet, kostnad på hurtiglader ettersom denne ikke følger med maskinen, vekt på gravemaskinen og on-board-lading.

Når vi skulle finne informasjon om elektrisk lastebil, var det flere valgmuligheter sammenlignet med elektrisk gravemaskin og elektrisk traktor. Ulempen med elektriske lastebiler i dette tilfelle er at de fleste lastebilene er laget for drift i urbane strøk eller for distribusjon av varer. Ved valg av hvilken lastebil som skulle brukes i oppgaven ble det vurdert to pålitelige produsenter – Tesla og Volvo. Etter mye vurdering, så vi bort fra lastebilen fra Tesla, selv om både prisen og kjørelengden var veldig attraktiv. Grunnen til at vi valgte å se bort fra Tesla var at lastebilene var bedre egnet for distribusjon av varer og kjøring på en lettere vei. Lastebilen som vi da valgte å se på var Volvo FE Electric. Informasjonen om denne lastebilen ble hentet fra Volvo sine nettsider. Her var det oppgitt batterikapasitet og antall batterier lastebilen kan utrustes med, topp og kontinuerlig motorytelse, støynivå på lastebilen angitt i dB og de forskjellige lademuligheter. Det ble sendt en e-post direkte til Volvo med den hensikt å få tak i mer informasjon om pris på lastebilen, ladetider og systemspenning på bilens høyspenningsanlegg. Det tok noen uker før vi fikk svar, men når svaret kom foreslo de å ta et *skype-møte* med oss. På møtet fikk vi en grundig gjennomgang av Volvo sine produkter og spesifikasjonene vi enda ikke hadde fått svar på via deres nettsider eller e-poster.

2.4 Dimensjonering og analyse

Ved dimensjonering av kabler har gruppa brukt *NEK 400* [5] som veiledning og oppslagsverk i dette prosjektet. Normen har blitt brukt til å finne installasjonsmetoder, korreksjonsfaktorer for forlegning av kabel og temperatur, og valg av riktig kabeldimensjon ut fra beregnet strømføringsevne. For å finne de resistive og induktive verdier for kablene vi har valgt, benyttet vi oss av dimensjoneringsprogrammet FEBDOK. Det er også brukt litteratur fra emnet "elektriske lavspenningsinstallasjoner" (TELE 2005) [6], for uthenting av matematiske formler. I tillegg er pris på alle kablene hentet fra *elektroimportøren*. [7]

For dimensjonering av belysning har gruppa benyttet seg av *Mattilsynets veileder til forskrift om hold av storfe* [8] og *Forskrift om hold av svin* [9] for å finne hvor mye lys dyrene trenger hver dag. For å finne riktig type lysarmaturer, benyttet vi oss av internet. Ved beregning av det totale effektbehovet, og dermed antall armaturer de forskjellige byggene har behov for, ble det brukt belysningsstyrke [lux] oppgitt i forskriftene, og lysstyrke [lumen] oppgitt i produktblad til lysarmaturer. [10] For beregning av antall armaturer, benyttet vi oss av plantegninger oppgitt av oppdragsgiver, slik at vi kunne beregne byggets areal og få en symmetrisk lysfordeling.

For beregning av varmebehov i grisfjøset, ble det brukt data om veggtykkelser og type isolasjon oppgitt av gårdeier ved befaring av gård. Vi ble fortalt at isolasjon var av

2.4 Dimensjonering og analyse

type Rockwool klasse A, og vi antok at det ble brukt steinull som isolerende materiale. Videre antok vi at veggene var laget av tre. Beregningsmetode som er brukt for dimensjonering av varmebehov er hentet fra tidligere forelesninger i emnet *Elektriske lavspenningsinstallasjoner*.

Ved beregning av feilstrømmer i nettverket har gruppa valgt og bruke lærebøker fra emnene "elektriske lavspenningsinstallasjoner" (TELE 2005) [6] og "høyspenning- anlegg, kraftproduksjon og nett 1 og 2" (TELE 3014). [11] [12] Årsaken til at det er valgt to forskjellige lærebøker er for å sammenligne litteraturen som står i de, og fordi den ene boka hadde fler beregningseksempler som var sammenlignbare med vår case. Vi har også valgt å sammenligne beregnede verdier med verdier fra FEBDOK, slik at vi har en pekepinne på at våre matematiske beregninger er omtrent det FEBDOK har kommet fram til.

Den teoretiske informasjonen om sikringer har blitt hentet fra flere kilder. Det er både brukt internett-søk og en bok om elektroinstallasjoner [6], som var undervisningsbok i emnet "Elektriske lavspenningsinstallasjoner" (TELE 2005). Årsaken til at man bør vite noe om sikringer er, fordi dette er vern som beskytter ulike komponenter i det elektriske anlegget. Sikringer er en billig måte å beskytte dyrere og mer kritiske komponenter som f.eks transformatorer og generatorer. Informasjonen som er hentet fra boka er sammenlignet med informasjon man finner på internett for å sikre oss at det er flere kvalifiserte personer som mener det samme. Nettsidene som er brukt er hovedsaklig offentlige kilder som er skrevet av forfattere med høyere teknisk utdanning, som ved f.eks store norske leksikon. Boka "Elektroinstallasjoner" er skrevet av Eilif Hugo Hansen og ble utgitt i 2010. Eilif Hugo Hansen er førsteamanuensis ved institutt for elkraftteknikk på NTNU og er utdannet sivilingeniør og doktoringeniør, begge ved institutt for elkraftteknikk NTH (Norges tekniske høyskole).

Ved praktisk dimensjonering av vern benyttet vi oss av *NEK 400 - Elektriske lavspenningsinstallasjoner* [5] for å finne de rette kravene vi skulle forholde oss til. Videre ble dimensjonering utført for hånd brukt som en veileder for dimensjonering i Febdok. Dimensjonering i Febdok viste oss at noen av sikringene måtte endres slik at selektivitet kunne oppnås.

For å utføre økonomiske betraktninger for vern, sammenlignet vi produkter av to forskjellige vern-leverandører - ABB og Siemens. For å finne spesifikk informasjon om ABB vern, benyttet vi oss av produktbladet publisert av ABB. [13] I produktbladet fant vi informasjon som produktnummer og pris for alle type sikringer opp til 64 A. Videre forsøkte vi å bruke produsentens nettside for å finne mer informasjon om sikringer med nominell strøm på over 100A, men det var ikke mulig å finne pris på disse. Det ble forsøkt å sende en mail direkte til ABB for å få tilgang til informasjon om pris. I mailen listet vi opp de forskjellige produktnummerene vi var interesserte i, men det var ikke mulig å få et svar. Som følge av dette måtte vi benytte oss av andre produsenter og går ut i fra at vern i samme størrelsesklasse har omtrentlig samme pris. Dette er grunnen til at det kan være noen avvik i *kapittel 5 - Økonomiske betraktninger*. Siemens hadde ingen lignende datablad på internett, og det var ikke mulig å finne pris på automat-

2.4 Dimensjonering og analyse

sikringer på deres nettsider. Da var vi nødt til å benytte oss av andre entreprenører for å finne pris. Vi benyttet oss av nettsiden *elfadistralec* [14] og fant automatsikringer med riktig nominell strøm og utløsekarakteristikk.

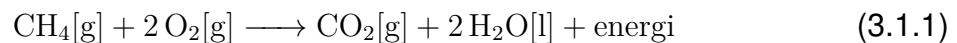
For analyse av av driftsituasjonen har vi valgt å benytte oss av et simulering og beregningsprogram som heter Sincal. Der har vi fylt inn informasjon om strømvei, generator, ytre nett og transformator og belastning. Ved hjelp av den informasjonen vi har oppdrevet så har vi kjørt lastflytanalyser og kortslutningsberegninger på det programmet i tillegg til håndberegninger. Dette har blitt gjort slik at vi kan bekrefte arbeidet og antagelsene vi har gjort i forhold til av anlegget. Det er også med for å underbygge våre påstander og visuelt vise driftsituasjonen og hva vi må ta hensyn til i forhold til bruk og driftsikkerhet på anlegget.

Det er også blitt satt opp forslag til hvordan man kan oppnå automatisk styring av effektflyten i anlegget, da i liten skala, med uavhengig programvare. Dette er kun ment som et veiledende forslag til hvordan det kan utføres, forslaget er utestet og i et veldig enkelt stadie, og kan derfor inneholde mangler. Det finnes allerede etablerte løsninger på dette som kan benyttes, men vi ønsket å sette opp vårt eget forslag, da vi mangler innblikk i hvordan andre aktører har valgt å programmere disse funksjonene.

3 TEORETISK GRUNNLAG

3.1 Landbruk og utslipp

I 2018 sto norsk landbruk for utslipp tilsvarende 4,5 millioner tonn CO₂ ekvivalenter. Fra 2017 til 2018 er det en nedgang på 1,2 %. Fokuserer man bare på metan (CH₄), som er en klimagass som er mer skadelig for klimaet enn CO₂, var utslippet av metan 105,4 tusen tonn i 2018 fra jordbruk - husdyr og husdyrgjødsel. Det vil si at av de 4,5 millioner tonn CO₂ ekvivalentene er ca 2,21 millioner av de fra metan. [1] Utslipp av 1 kg metan tilsvarer utslipp av 21 kg CO₂ (GWP-vedi). [4] Derfor kan det være mye å spare på å ikke slippe metanen rett ut i atmosfæren. Dette kan gjøres ved å brenne metangassen, også kalt fakling:

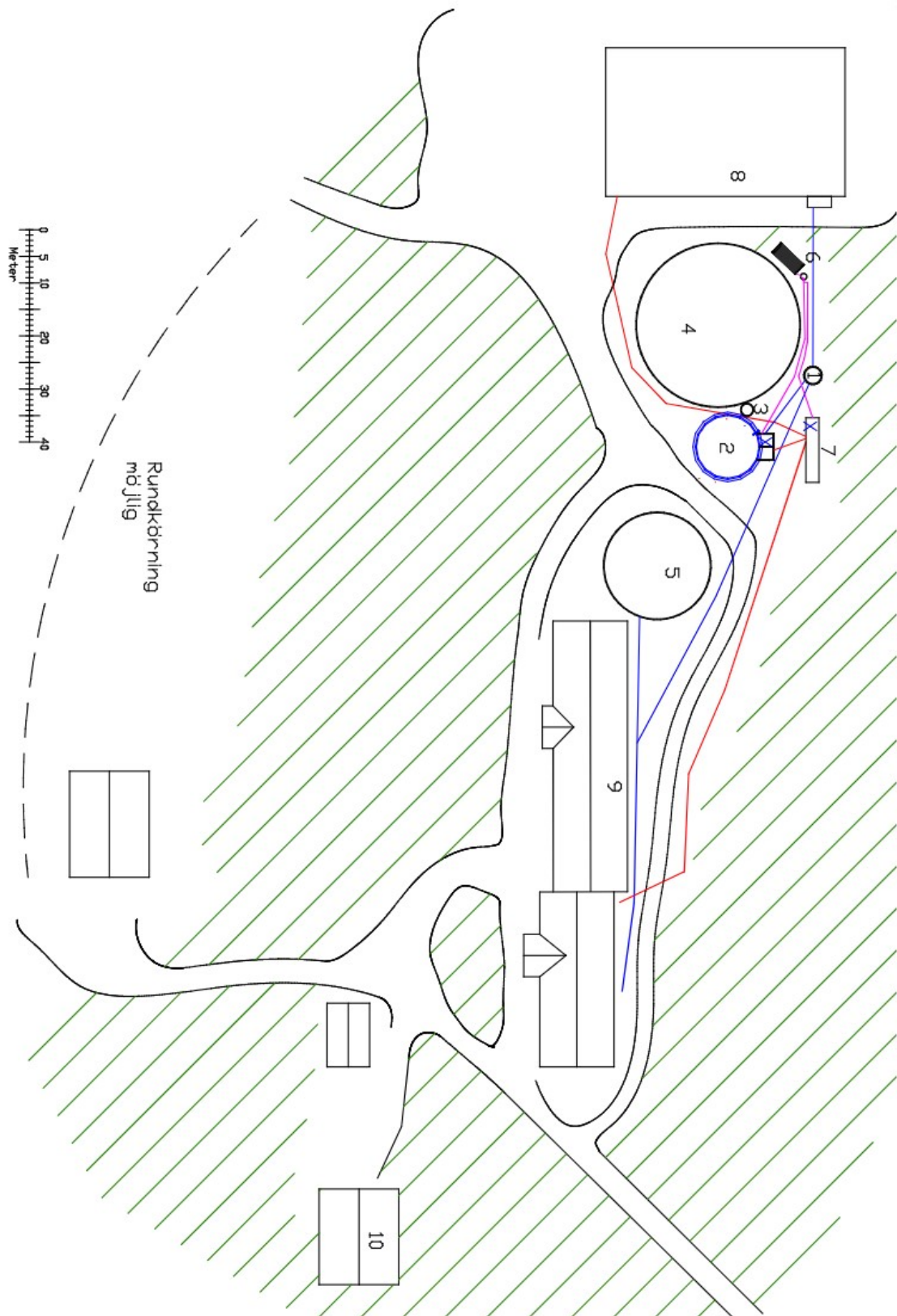


Ut ifra den kjemiske formelen kan vi se at forbrenning av 1 mol CH₄ gir utslipp av 1 mol CO₂ pluss frigitt energi i form av varme. Fakling er blitt brukt i forbindelse med oljeutvinning, hvor overskuddsgassen ofte blir brent på denne måten. I oljeindustrien er det en kilde for utslipp, men forbrenning av metan som oppstår under forråtnelsesprosessen vil være med på å redusere total mengde utslipp i GWP ekvivalenter. Utslippene av metan fra norsk landbruk er mye dominert av intestinale utslipp fra storfe. [1] Dette kan vi ikke gjøre stort med, men det er gjort noe forskning på fôralternativer som skal kunne være med å redusere intestinal metangass. [15] Men utslippene i metan som kommer fra husdyrgjødsel, mat og dyreavfall kan vi organisere oppsamling av og utnytte som ressurs i biogassanlegg.

3.2 Teknisk data for gården

Vi tar for oss en spesifikk gård som case i vår oppgave. Denne gården ligger like utenfor Molde på *Hoemsneset*. Gården er vårt utgangspunkt når det kommer til å dimensjonere løsningene som skal bli presentert i denne oppgaven. Under er det et bilde som viser situasjonskart hvor de røde linjene er elektriske kabler, blå er avfallsrør og lilla er gassledninger.

3.2 Teknisk data for gården



Figur 3.2.1: *Situasjonskart over gården*

3.2 Teknisk data for gården

Av situasjonskartet ser vi at gården har to fjøs - bygning nr. 8 er kufjøs, mens bygning nr. 9 er grisefjøs. Begge fjøs er tilkoblet blandingsbrønn som er bygning nr. 1 i situasjonskartet. Biogassanlegget og generatoren ligger i bygning nr. 7. Bygning nr. 4 og nr. 5 er gjødselsbrønnene og konstruksjon, nr. 3 er avsalvingsbrønn. I bygning nr. 6 blir gassen samlet i et gasslager og bygning nr. 2 er råtningskammeret. Siste huset som er markert som nr. 10 er hovedhuset, de to andre bygningene på situasjonskartet er garasjer.

Bygning (nr)	Lengde [m]	Bredde [m]	Flateareal [m ²]	Effektforbruk [kW]
Kufjøs (8)	47,2	28,8	1260	49,4
Grisefjøs (9)	86,5	14,3	1596	59,7
Enebolig (10)	18,6	15,7	292	19,3
Anleggsgarasje (Umarkert)	13	15,7	204	43

Tabell 3.2.1: Data for noen av bygningene.

Størrelsene på bygningene er beregnet ut i fra situasjonskartet. Energibehovet til eneboligen er beregnet ut ifra våre antagelser¹ til å ha samlet effekttrekk på 19,3 kW med samtidighetsfaktor på 0,6. Samtidighetsfaktor er noe som benyttes når vi har mange kurser som går imot samme forsyningspunkt. Det er en antagelse om at alle kurser ikke blir benyttet på samme tid. Vår antagelse er ut ifra antall kurser som er satt opp i huset og veiledning fra *NEK 400*. [5]

På tomteområdet til gården drives det pukkverk/grustak, dette har en tilknyttet anleggsgarasje. Tilknytningspunktet til trafo ligger 190 meter unna hovedsikring til grisefjøset og 360 meter unna hovedsikring til kufjøset vi bruker som case.

Etter en befaring på gården fikk vi vite litt om isolasjonen og det byggetekniske rundt fjøsene. For å sikre god økonomisk gevinst på svin er dyrevelferden viktig, dette inkluderer at temperaturen skal holde seg stabil og helst rundt 15 °C. I veggene var det 10 cm isolasjon (Rockwool A-klasse) og 10 cm bordkledning. I taket var det 30 cm med isolasjon (Rockwool A-klasse)². I kufjøset er det ingen oppvarmingsbehov siden kyrene tåler kulde og fjøset er laget slik at det holder noen gode plussgrader hvis det er minusgrader ute.

Fordelingspunktene ligger i grisefjøset og kufjøset, slik at alle kabler trekkes derifra. Ved installasjon av nye kurser, er det viktig å vite lengden mellom fordelingspunktet og last. Tabellen under viser avstand fra fordelingspunkt til relevante laster:

¹Kapittel 4.1

²Vedlegg 4

Fra	Til	Lengde [m]
Transformator	Kufjøs	360
Generator	Kufjøs	73
Kufjøs	Anleggsgarasje	160
Transformator	Grisefjøs	190
Grisefjøs	Hovedhus	50

Tabell 3.2.2: Lengde mellom fordelingspunkt og relevante laster

3.3 Elektrisk traktor

Vi lette lenge og nøye etter gode alternativer på elektriske traktorer, men det viste seg at dette ikke er en maskin man har begynt å elektrifisere i særlig stor grad enda. Det har blitt gjort noen forsøk, men det er foreløpig ingen batterielektriske traktorer på markedet som vi mente ville passe i vår oppgave. Hovedårsaken til at ingen av prototypene som er utviklet hittil har tatt steget ut på markedet er batterikapasiteten. De fleste traktorene vi fant informasjon om holder foreløpig bare til omtrent 4-5 timers arbeid, før de må lades opp igjen, noe som ikke er godt nok til vanlig gårdsdrift.

John Deere presenterte sitt første forsøk på en elektrisk traktor i 2016 med en modell de kalte SESAM (Sustainable Energy Supply for Agricultural Machinery). Dette var en av de første batterielektriske traktorene, med en batteripakke på 130 kWh og to elektriske motorer på 150 kW hver. En til å skape framdrift, og en til å drive redskaper og andre funksjoner. Den påstås å ha en rekkevidde på 55 km eller opptil 4 timers drift, og en ladetid på 3 timer. [16] Denne kunne vært et godt alternativ å bruke i oppgaven, men vi har valgt å se på en traktor laget av AGCO isteden.

AGCO er en verdenskjent produsent og distributør av landbruksutstyr. Selskapet tilbyr en produktlinje bestående av traktorer, skurtreskere, redskaper for høy, gress og halm, sprøyter, jordbearbeidingsredskap og andre relaterte maskiner, utstyr og reservedeler. [18] Fendt, som er et datterselskap til AGCO, har i mange år jobbet med å utvikle løsninger for bruk av elektriske fremdriftssystemer. Selskapet er en produsent av traktorer og høstingsmaskiner som blir brukt både av bønder og entreprenører verden over.

Selskapene har sammen utviklet traktoren Fendt e100 Vario, en batterielektrisk traktor med en effekt på 50 kW som kan driftes i opptil fem timer under normale arbeidsforhold. Traktoren bruker en 650 V lithium-ion batteri med en kapasitet på rundt 100 kWh. Batteriet kan lades med enten 400 V og opptil 22 kW med en standard CEE utendørskontakt, eller med hurtiglading med direkte spenning. Ved bruk av en standard CCS type 2 kontakt, kan batteriet lades opp til 80 % på kun 40 minutter. [19]

Traktoren tillater bruk av konvensjonelle så vel som elektrifiserte redskaper slik at kjøretøyet kan brukes som en tradisjonell traktor. Dersom det skal benyttes tungt og energikrevende redskaper, kan batteriet levere en kortvarig effekt på 150 kW. Traktoren har tilgang til PTO-tilkobling og hydraulisk forsyning til redskapene, noe som betyr at



Figur 3.3.1: Fendt e100 Vario

Kilde: [17]

den batterielektriske traktoren kan benytte utstyr som brukeren allerede eier, men er også utstyrt for å kunne bruke elektrisk tilleggsutstyr. Kraftelektronikken traktoren er utstyrt med gir god kontroll av traktoren. Traktoren kan skape maksimalt dreiemoment fra en stående start, noe som tillater tunge arbeidsoppgaver. Den er også utstyrt med elektrisk systemovervåking slik av driften av traktoren er sikker både for forbrukeren og traktoren. [19]

Effektiviteten av den batterielektriske traktoren er økt ved bruk av en ny, energieffektiv termisk overvåking. Temperatur-regulering av kabinen, batteriet og elektronikk i traktoren blir styrt av en regulert elektrisk varmepumpe. Traktorens energiforbruk og batteriets informasjon kan bli overvåket ved bruk av en applikasjon på en smarttelefon. Når traktoren er tilkoblet strømmettet, kan den avkjøles eller varmes opp før bruk, slik at komforten økes om vinteren eller sommeren. [19]

Den batterielektriske traktoren bidrar til å redusere CO₂-utslippene betraktelig. Ved bruk av fornybar energi produsert på gården, kan maskinen driftes med tilnærmet null karbonavtrykk. Ettersom traktoren ikke benytter drivstoff, filter og andre komponenter man finner i en forbrenningsmotor, blir den batterielektriske traktoren veldig kostnadseffektiv. [19]

3.4 Elektrisk gravemaskin

Gravemaskinen CAT 320 Z-line på 25 tonn er en hel-elektrisk gravemaskin med null utslipp som er i samme ytelsesklasse som tradisjonelle gravemaskiner. Denne opereres på samme måte som tradisjonelle, dieseldrevne gravemaskiner. Eneste forskjell, bortsett fra drivverk, på den elektriske modellen og de tradisjonelle modellene er en ekstra overvåkings skjerm som viser informasjon om batteri, den elektriske motoren og annet elektrisk utstyr som er nødvendig for å drifte maskinen.



Figur 3.4.1: CAT 323 Z-line (tilsvarende lik CAT 320 Z-line)

Kilde: [20]

Den elektriske motoren som leverer en effekt på 120 kW og dreiemoment på 750 Nm skaper mindre vibrasjoner enn drivstoffdrevne gravemaskiner, noe som gir mer behagelig arbeidsforhold. Maskinen har en anvendbar batterikapasitet på 275 kWh som kan lades med enten CCS2 hurtiglader som trekker 150 kW for å sikre tilgjengelighet av ladbart utstyr på arbeidsplassen, eller med en "onboard lader" som trekker 43/66 kW. Sistnevnte følger med gravemaskinen og må kobles direkte til ladekontakt. Lade-tiden vil være avhengig av hvilken lader som benyttes. Hurtiglader kan lade batteriet fra 0-100 % på under to timer, mens de standardiserte ladere på 43/66 kW vil lade batteriet fra 0-100 % på 7- og 4,5 timer. Ulempen med hurtigladeren er at denne ikke følger med gravemaskinen, og koster ca 700.000 kr³.

Gravemaskinen kan driftes mellom fem og åtte timer, avhengig av arbeidsoppgaver. Maskinen vil kunne yte i fem til seks timer ved drift i vanskelige kjøreforhold og ved å heve masse fra bakkenivå til det høyeste nivået maskinen klarer. Ytelsen øker til mellom seks og åtte timer ved lett utgraving og masseheving fra lav til middels nivå.⁴

Overvåkningssystemer montert i gravemaskinen sørger for sikkerheten av maskinen

³Vedlegg 11

⁴Vedlegg 2 og 3

3.5 Elektrisk lastebil

og driftspersonell ved å overvåke den elektriske motoren og annen elektronikk som sørger for drift av maskinen.⁵ Gravemaskinen vil koste tre ganger så mye som en standard maskin. Hvis man tar hensyn til færre bevegelige deler, mindre væske og filtre, mindre energiforbruk, lengre service-intervaller og enovastøtte som dekker opptil 50 % av merkostnaden [21], vil den totale prisen for gravemaskinen synke betraktelig. Driftskostnaden synker også betraktelig. Man skal kunne spare opp til en million kroner på 12.000 timer kjøring hvis man velger strøm framfor å bruke diesel. [22]

3.5 Elektrisk lastebil



Figur 3.5.1: Volvo FE electric med tipp

Kilde: [23]

Volvo FE Electric er en elektrisk lastebil fra bil-og lastebil produsenten Volvo. Som en batterielektrisk lastebil har den null utslipp og lavere støynivå. Den elektriske lastebilen produserer en lyd på 69 dB, 10 dB mindre enn en tradisjonell lastebil. En forskjell på 10 dB vil si at den elektriske lastebilen produserer halvparten så mye støy som en tradisjonell lastebil, noe som vil være mer behagelig for både mennesker og dyr. [24]

Lastebilen har en elektrisk motor som leverer en topp effekt på 400 kW, kontinuerlig effekt på 330 kW og dreiemoment på 850 Nm. [24] Ettersom motoren er elektrisk, vil både vibrasjoner og støy den produserer minke betraktelig sammenlignet med en lastebil som benytter diesel. 2-trinns girkassen om bord sørger for å utnytte motorens rekkevidde på mest mulig effektiv måte. Rekkevidden varierer avhengig av arbeidsopp-gaver. Ved lett anleggskjøring vil rekkevidden være opptil 120 km, men ved distribusjon

⁵Vedlegg 2

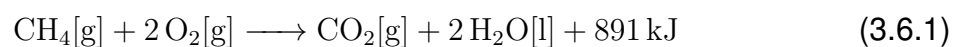
vil rekkevidden øke til opptil 200 km. Girkassen har en uavhengig energiflyt, noe som tillater bytte av gir uten avbrudd i kraften levert av motoren.⁶

I Volvo FE Electric har hvert batteri en batterikapasitet på 50 kWh, men denne kan tilpasses etter behov. Lastebilen kan utstyres med fire batteripakker, hver på 50 kWh, noe som tilsvarer maksimal batterikapasitet på 200 kWh. Batteriene er basert på løsningen brukt i Volvo Buss, en modell som Volvo har produsert omtrent 4.000 enheter av, noe som forteller oss at batteriene er av god kvalitet. Levetiden på batteriene har en estimert levetid på 8-10 år, avhengig av virksomheten. Batteriene kan lades enten med den innebygde AC-laderen som brukes ved lading på industriområder, eller ladekabelen som følger med kjøretøyet. Begge alternativene krever 400V spenning. On-board ladekapasitet er 22 kW (2 x 11 kW) og det tar omtrent 8 timer å lade batteriene fra 0-100 %. Lastebilen kan også lades med en vanlig CCS2 hurtiglader som har en ladekapasitet på 150 kW. Ved bruk av hurtigladeren tar det omtrent en og en halv time på å lade batteriene fra 0-100 %. Ladetiden vil være avhengig av forskjellige faktorer, og kan variere i praksis. [25]

3.6 Biogassanlegg

Hensikten med et biogassanlegg er å oppnå kontrollert nedbrytning av organisk materiale, slik at man kan utvinne mest mulig av gassen som blir produsert i nedbrytningsprosessen. Når den prosessen blir utført anaerobt så blir det høy konsentrasjon av metangass CH₄ og en mindre andel CO₂. Større anlegg kan blant annet brukes som sluttstasjon i kloakkrensaneanlegg, hvor oppsamlet biologisk avfall kan benyttes til energiproduksjon, samtidig som at prosessen sanerer avfallet. Dersom det ikke er for mye tungmetallstoffer i avfallet kan bioresten også brukes som gjødsel. Oppsamling av matavfall og avfall fra fiskeoppdrettsanlegg er også gode kandidater for produksjon av biogass i større kvanta. Her i denne oppgaven har vi fokus på micro biogassanlegg. Det vil si biogassanlegg som en bonde kan ha på gården sin, hvor det kan installeres en CHP-generator som forbrenner produsert biogass og dermed produserer strøm og varme. Man kan oppnå opptil 70-75 % CH₄ konsentrasjon i biogassen i et biogassanlegg. Men i micro anlegg så kan man gå ut ifra et tall rundt 60 % CH₄ i biogassen. [26]

Biogassanlegg er en måte samfunnet utnytter biologisk avfall som ressurs, som bidrar med å senke utslipp av klimagass. Metan, CH₄, har en GWP-verdi lik 21 ganger CO₂. [4] Det vil si 1 kg CH₄ har samme klimaeffekt som 21 kg CO₂. Ved fullstendig forbrenning av metan har vi en kjemisk formel som ser slik ut: [27]



⁶Vedlegg 5

3.6 Biogassanlegg

Her ser vi at ved forbrenning så får vi energi i form av varme og utslippet blir ett CO₂ molekyl og to vannmolekyl per molekyl med metan som forbrennes. Molekylær vekt av metan er 16 g/mol og av CO₂ er 44 g/mol. Hvis vi ser på forholdet mellom disse molekylærvektene så får vi:

$$\text{CO}_2 / \text{CH}_4 = X \longrightarrow \frac{44}{16} = 2,75 \quad (3.6.2)$$

Videre kan vi bruke dette forholdet

$$(1 \text{ kg CH}_4) \times (2,75) = 2,75 \text{ kg CO}_2. \quad (3.6.3)$$

$$\frac{21}{2,75} = 7,6 \quad (3.6.4)$$

Ut fra å enkelt betrakte den kjemiske ligningen for forbrenning av metan, og sammenligner dette med verdien av metanutslippet alene, ser vi at ved å samle og forbrenne metangassen, framfor å slippe den ut, så sparer vi miljøet 7,6 ganger potensielt CO₂ utslipp. Det kan argumenteres for at alt biologisk avfall burde bli samlet opp og forbrent på denne måten, ut ifra et samfunnsøkonomisk perspektiv. Avfallet ville råtnet og utslippet ville antagelig oppstått på en eller annen måte om vi hadde benyttet oss av dette som ressurs eller ikke. En annen effekt av dette er at vi får et beriket gjødselprodukt i enden av prosessen som kalles biorest. Siden kunstgjødsel har et klimabidrag i sin produksjon, så bidrar bioresten også med å spare miljøet i form av å minske behovet for bruk av kunstgjødsel. Beregningen på miljøpåvirkningen av dette er ikke blitt gjort i denne oppgaven, ettersom vi ikke har klart å finne noen konkrete tall. Mer forskning på området må til for å kunne bestemme et godt tall på hvor mye kunstgjødsel som kan erstattes med biorest, og miljøpåvirkningen av dette.

Fra den kjemiske ligningen ser vi også en vesentlig energimengde i form av varme ved forbrenningen av metan. Forbrenning av metan som vi tar for oss i denne oppgaven involverer bruk av CHP generatorer i et såkalt micro biogassanlegg. Biogassanlegget vi tar for oss i oppgaven drives på dyregjødsel. Ved full utnyttelse av energi som blir produsert igjennom forbrenning av metan i et CHP-anlegg så har man gode muligheter til fortjeneste. Det forutsetter at man bygger ut infrastruktur som kan sørge for at varmeenergi blir utnyttet og samtidig legge til rette for at produsert energi blir brukt før eventuelt salg. På grunn av nettleie etc. vil energi som blir benyttet til eget bruk tilsvare rundt 1 kr per kWh, mens salg til spotpris vil tilsvare rundt 20 øre per kWh.⁷ Den norske stat stiller også med godtgjørelse for levert husdyrgjødsel. §-4 *Beregning i tilskudd* i lovdatas *Forskrift om tilskudd for levering av husdyrgjødsel til biogassanlegg* [28], står det at man har rett til 583 kroner i tilskudd til husdyrgjødsel med 100 %

⁷Vedlegg 9

3.6 Biogassanlegg

tørrstoff levert til biogassanlegg. Ved levering til eget anlegg, hvor all husdyrgjødselen benyttes kan man beregne tilskudd per dyr.

Dyreslag	Tilskudd(kroner)
Melkeku ¹	1937
Ammekur ¹	1108
Ungdyr av stofe ¹	665
Avlsgris ¹	397
Slaktegris ²	40
1000 Verpehøns og slaktekyllingmødre ¹	11667
1000 Livkylling ³	1493
1000 Slaktekylling ³	595
1000 Slaktekalkun ³	7443
1000 And ³	1493
Sau eldre enn 1 År ¹	210
Melkegeit ¹	210
Hest ¹	910

1 Oppgitt faktor gjelder gjødselmengde per årsdyr.

2 Oppgitt faktor gjelder gjødselmengde per slaktede dyr.

3 Oppgitt faktor gjelder gjødselmengde per slaktede eller leverte dyr.

Kilde: §-4.Beregning av tilskudd <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2014-12-19-1815>

3.7 Lavspente fordelingsystemer

Når vi tar for oss tabellen om godtgjørelse per dyr og tallet for tilskudd per tonn husdyrgjødsel, kan vi bruke dette som utgangspunkt til å regne ut gjennomsnittlig gjødselmengde per ku. Ut fra satsene kommer vi fram til at en gjennomsnittlig melkeku vil produsere 3,3 tonn husdyrgjødsel tilsvarende 100 % tørrstoff. Faktisk tørrstoffmengde hos dyrene ligger vanligvis langt under 100 %, men siden alt leveres til eget anlegg så benytter vi oss av de tallene som er oppgitt av lovdata. [28] Ved å regne molvekt (g/mol) fordelt på hver normalkubikkmeter (Nm^3) og finne ut av energimengde per forbrent mol kan vi regne ut den potensielle energien i biogassen fra husdyrgjødselen fra for eksempel en melkeku. Beregnet potensiell energi er cirka 11 kWh pr Nm^3 med 100 % metan. En melkeku kan produsere omtrent 230 Nm^3 med biogass per år som har en konsentrasjon på 60 % metan. [26]

Potensiell energi produsert hver ku blir som følgende:

$$3,3t \times 230Nm^3/t \times 11kWh/Nm^3 \times 0,6 = 5009kWh \quad (3.6.5)$$

Ved forbrenning med CHP, 80 % antatt utnyttelse:

$$5009kWh \times 0,8 = 4007kWh \quad (3.6.6)$$

Strøm 40 % av produkt:

$$4007kWh \times 0,4 = 1602kWh \quad (3.6.7)$$

varme 60 % av produkt:

$$4007kWh \times 0,6 = 2404kWh \quad (3.6.8)$$

Som utregningene viser, får vi 4007 kWh med energi ut av hver melke-ku med dette oppsettet. Hvor 1602 kWh av dette kommer ut som strøm og 2404 kWh av det er varmeenergi når vi forbrenner produsert metan ved hjelp av en CHP generator med 80 % antatt utnyttelse av potensiell energi i biogassen.

3.7 Lavspente fordelingsystemer

De lavspente nettsystemene skal kunne lede energien fra fordelingstransformatoren og til det elektriske apparatet (varmeovn, komfyr, kaffetrakter etc.). Disse er delt inn i spenningsnivå og hvordan systemet er jordet. NEK har definert følgende verdier for vekselspanning fra 100-1000 V [5]: 230 V 230/400 V 400/690 V 1000 V

Når det kun er oppført en verdi, f.eks 1000 V, betyr det at det ikke er noen nøytralleder. Det vil si at det er kun linjespenningen som er tilgjengelig. Dersom det står oppført to verdier, f.eks 400/690 V, betyr det at linjespenningen er på 690 V og nøytrallederen er tilgjengelig og fasespenning er 400 V. IEC har definert de samme normene som NEK, men har fjernet 230 V. Dette er fordi 230 V uten nøytralleder er utdatert og de fleste nye boliger og bygg installeres med 400 V med nøytralleder. [6] For å skille mellom de ulike anleggenes jordingsforhold bruker man hovedsaklig to bokstaver. Den første bokstaven indikerer:

3.7 Lavspente fordelingsystemer

- T (Terra): Det er direktejording fra et punkt i strømsystemet til jord.
- I (Isolated): Spenningsførende deler er isolert fra jord.

Den andre bokstaven indikerer hvordan utsatte anleggsdeler er jordet:

- T (Terra): Anleggsdelene er direkte jordet.
- N (Neutral): Anleggsdelene er direkte jordet via en beskyttelsesleder.

De etterfulgte bokstavene beskriver hvordan hvordan nøytrallederen brukes, PE-leder eller PEN-leder (TN-nett):

- S (Separated): PE-lederen og N-lederen er splittet til to separate ledere.
- C (Combined): PE-lederen og N-lederen er kobinert i en felles PEN-leder.

I følge IEC skiller vi mellom tre forskjellige nettsystemer på lavspenningsanlegg:

- IT-nett
- TT-nett (brukes nesten ikke lenger)
- TN-nett (TN-C-nett, TN-S-nett og TN-C-S-nett)

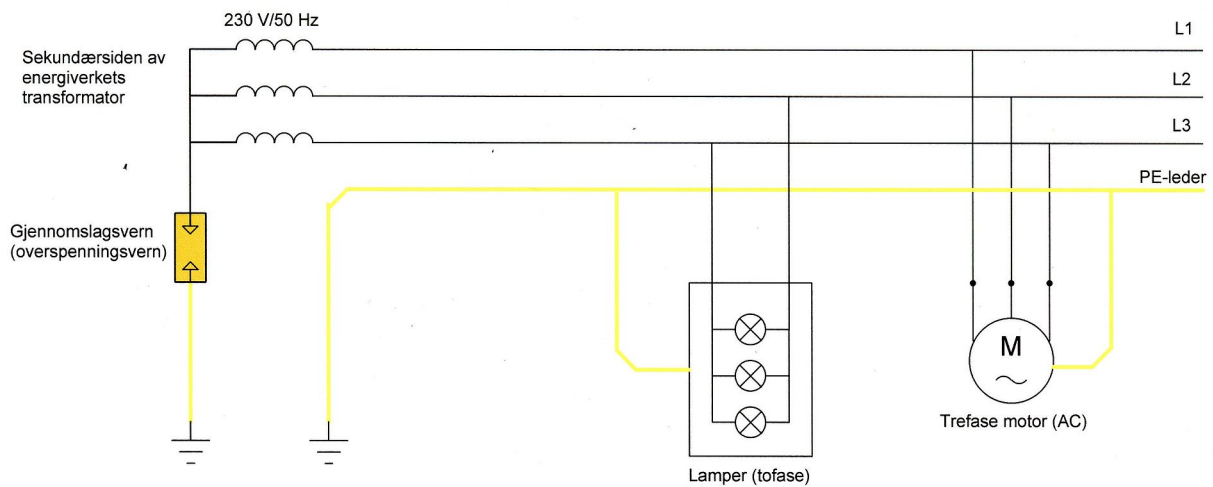
3.7.1 IT-system

I et IT-nett er alle strømførende ledere isolert fra jord. Utsatte deler har beskyttelsesjording direkte til jord, det vil si at installasjonen har en egen jordelektrode, uavhengig av jording andre steder i systemet. I vårt tradisjonelle 230 V nett blir nøytralpunktet isolert fra jord ved hjelp av et gjennomslagsvern. Dermed er det impedansene mellom faseledere og jord som styrer spenningene mot jord. I et friskt og symmetrisk system vil fasespenningen være faktoren kvadratroten av tre mindre enn linjespenningen. Tre-fasebelastningen tas ut mellom alle tre lederne, mens tofasebelastning tas ut mellom to ledere.

Fordeler med IT-nett:

- Høy driftssikkerhet. Driften kan opprettholdes dersom en jordfeil oppstår.
- Jordingsresistansen kan tillates å være høyere enn for anlegg med jordet nøytralpunkt.

3.7 Lavspente fordelingsystemer



Figur 3.7.1: IT system

Kilde: [29]

- Systemet skal utføres med jordfeilvarsling som varsler første jordfeil som dermed kan repareres før neste feil oppstår.

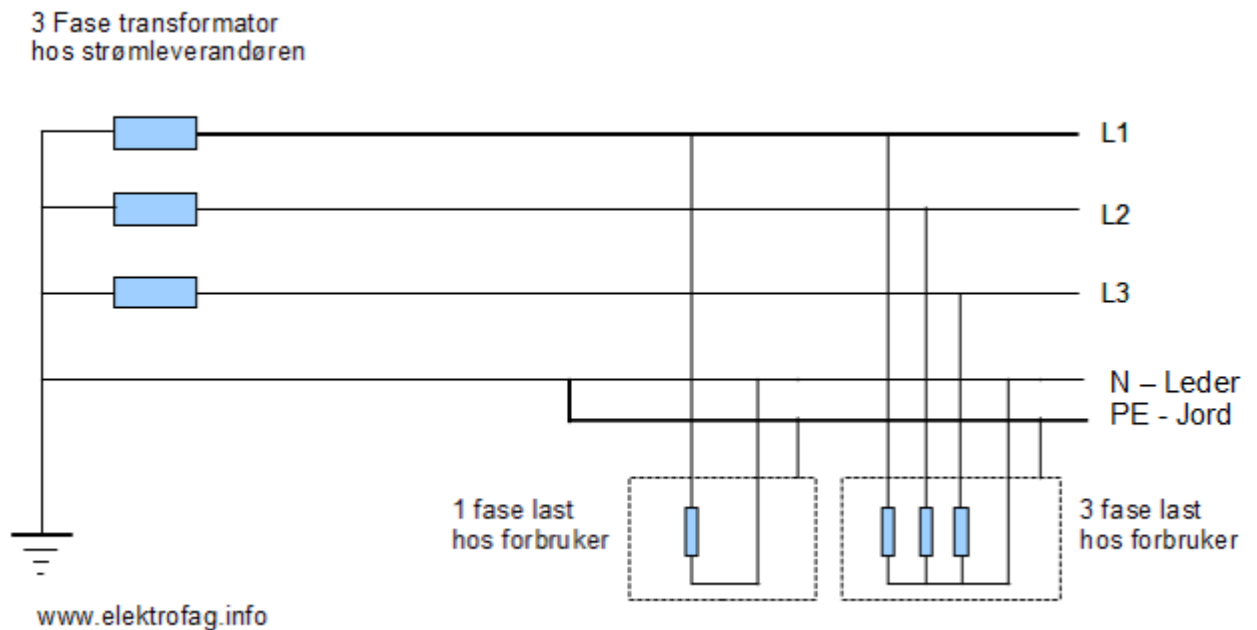
Ulemper med IT-nett:

- Systemet kan drives videre med en jordfeil. I installasjoner hvor det ikke er installert jordfeilvarsling kan en ny jordfeil i et styresystem forårsake utilsiktet oppstart, forbi-koble og sette viktige stoppbrytere ut av funksjon.
- Enpolet jordslutning gir ikke utkobling over overstrømsvern. Man kan derfor risikere at en jordfeil blir stående over lang tid ved tilhørende brann- og berøringsfare.

3.7.2 TN-system

Et TN-system har direktejordet nøytralepunkt, slik at last kan knyttes til jordpotensialet. Enfase last kobles mellom en fase og jord. Utsatte anleggsdeler er knyttet til systemets jording (i tillegg til evt. egen jordelektrode). Et TN-system skal være dimensjonert slik at strømmen som oppstår ved jordslutning/kortslutning mellom faseleder (ytterleder) og en N-, PEN-, PE-leider eller jordet del skal være så stor at strømtilførselen automatisk frakobles innen fastsatt tid. I TN-systemer er enpolet jordslutning den vanligste feilarten. Strømmen har i slike tilfeller så høy verdi at man kaller denne type feil for enpolet kortslutning. Kortslutningsstrømmen er begrenset av serieimpedansen i transformator, faseleder og ytterleder og PE-, PEN- eller N-leider.

3.7 Lavspente fordelingsystemer



Figur 3.7.2: TN-C-S system

Kilde: [30]

Fordeler med TN-system:

- Kortslutning mellom en faseleder og PE-, N- eller PEN- leder skal umiddelbart forårsake utkobling av feilkretsen.
- Det er liten eller ingen risiko for utilsiktede innkoblinger eller oppstart av motorer som kan være tilfelle i IT-anlegg.
- Det er liten risiko for at stoppbrytere og annet sikkerhetsutstyr settes ut av funksjon ved jordfeil som i IT-anlegg.
- Nettets impedans mot jord blir så lav at systemjordingen virker reduserende på overspenningen.

Ulemper med TN-system:

- Ved enpolet kortslutning legges belastningsobjekter ut og kan ikke settes igang igjen før feilen er rettet (dårligere driftssikkerhet).
- Jordslutningsstrømmen er vesentlig større enn i IT-anlegg, hvilket kan medføre større fare.
- Ved jordfeil som ikke fører til ren kortslutning (for eksempel ved jordslutning i en varmekabel hvor en del av nyttelasten ligger i feilkretsen), er strømmen normalt ikke stor nok til å forårsake utkobling.

3.7 Lavspente fordelingsystemer

- I anlegg med PEN-ledere må en regne med at det går strøm i ledende rørledninger og bygningskonstruksjoner. Dette kan medføre fare for brann og forstyrrelser i elektronikk- og dataanlegg.
- Ved brudd i PEN-leder kan det oppstå brann- og berøringsfare

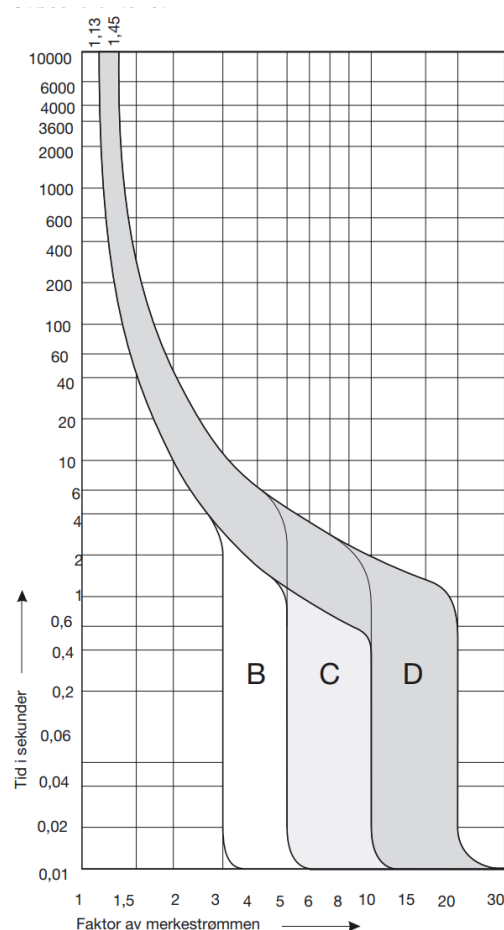
3.8 Sikringer

3.8.1 Automatsikringer

Automatsikringer har den engelske betegnelsen *miniature circuit breaker* og er laget for nominell driftsspenning og frekvens. Denne typen sikring tillater bedre utnyttelse av ledningstverrsnittet i overstrømsområdet, uten at det oppstår skadelig oppvarming. Ved for stor belastningsstrøm, vil kretsen kobles ut ved hjelp av et bimetallrele før temperaturen overskrider lederens tillatte temperatur. Dersom det oppstår en kortslutning, eller annen type overstrøm som er større enn vanlig, får vi en momentan magnetisk utkobling ved at en magnetpole over et utløseanker bryter kretsen. [6]

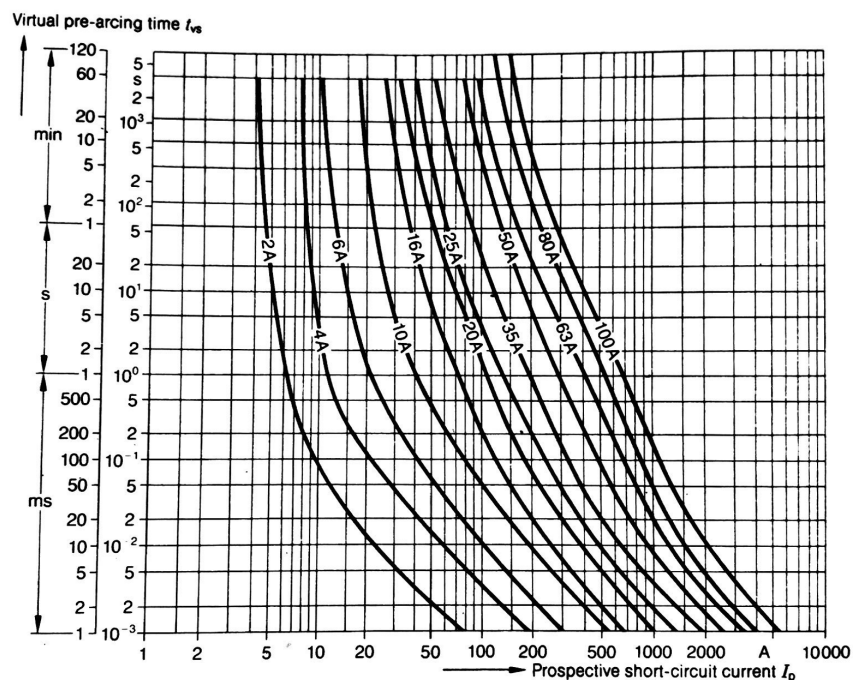
Automatsikringer har en nominell strøm som sikringen er laget for å kunne tåle ved en gitt temperatur. Verdier for nominell strøm, etter *IEC 60898* [32] kan strekke seg fra og med 6 A til og med 125 A. [6] Standard omgivelsestemperatur er 30°C og brukes i utløsekarakteristikken. Ved høyere omgivelsestemperaturer skjer den termsike utløsningen raskere, slik at sikringen ikke kan belastes med sin nominelle strøm. Dersom automatsikringen skal installeres i varme rom, eller i omgivelser der ohmske tap gir økt omgivelsestemperatur, må man ta hensyn til den oppgitte standard omgivelsestemperaturen slik at sikringen ikke bryter kretsen før den må.

I tillegg til å være sikringer, kan automatsikringer benyttes som koblingsbrytere. Sikringene kan være laget for en koblingsevne for inntil 10 kA i 230/400 V nett. Automatsikringene monteres normalt på skinner i tavlen.



Figur 3.8.1: Utløserkarakteristikk for automatsikring

Kilde: [31]



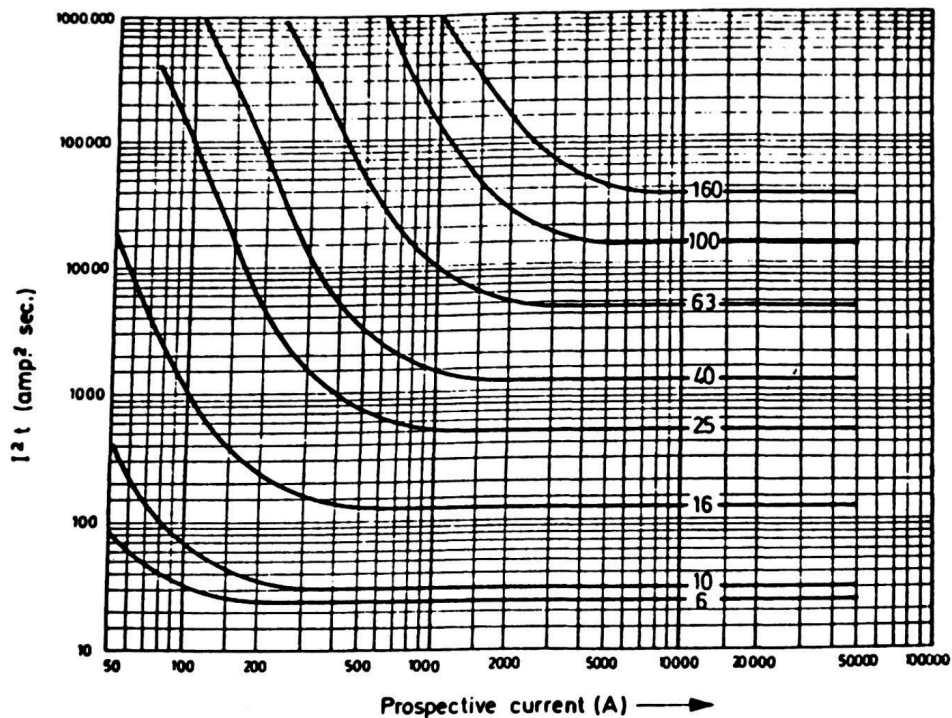
Figur 3.8.2: Smeltekarakteristikk for D-sikringer

Kilde: [6]

3.8.2 Smeltesikringer

Smeltesikringer er en komponent som skal kunne bryte den høyeste kortslutningsstrømmen som kan oppstå, og samtidig beskytte mot overstrøm. Denne komponenten skal helst ikke ta for mye plass og i tillegg skal den tilfredstille kravene om sikkerhet, minimalt med tap, selektivitet, aldring og effektiv strømbegrensning. Dersom kortslutningsstrømmen er for lav kan disse sikringene ha for lang utløsertid, og i de tilfellene må andre alternativer benyttes. Disse sikringene har en metallfilament som er plassert i en "patron", dette er en beholder som er fylt med fin sand. Denne sanden er lysbueslukkediet (kvarts-sand eller silisium-sand f.eks). En smeltesikring må alltid byttes ut etter utløsning.

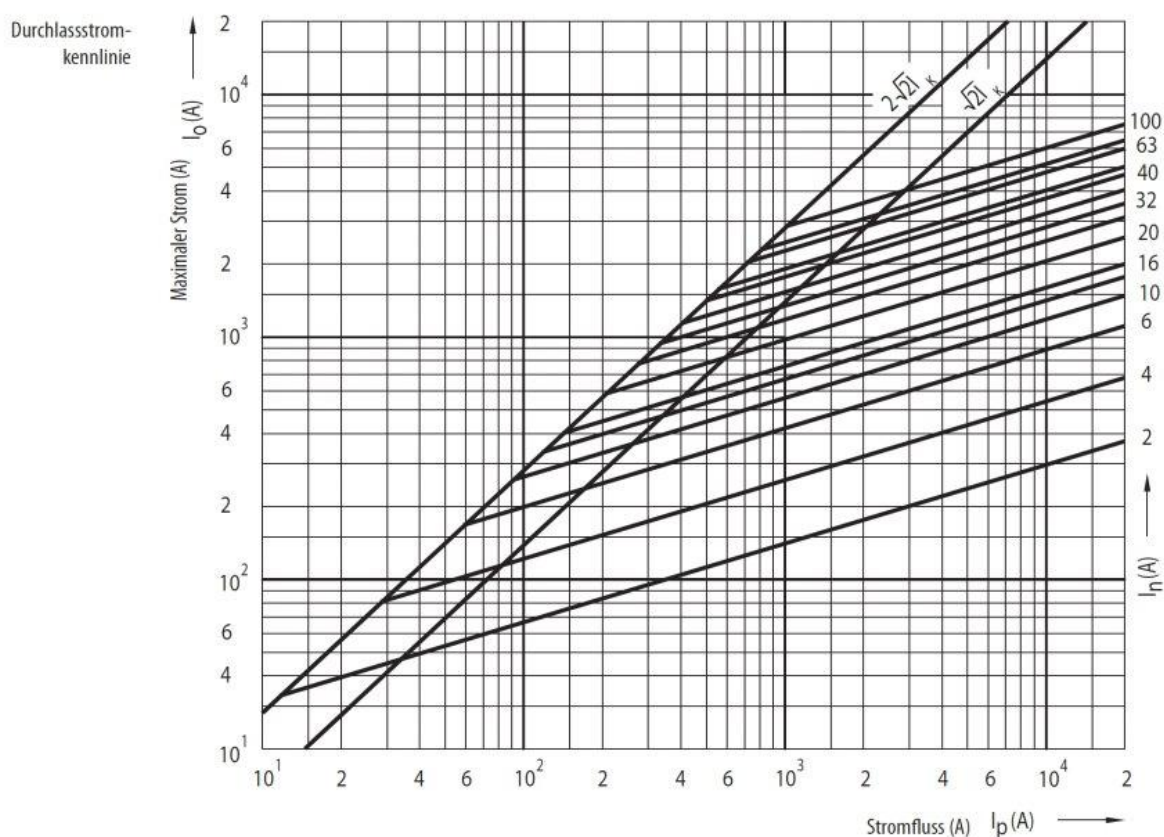
D-sikringer (Diazed-sikringer) er sikringer beregnet for bruk opp til 500 V og nett med relativt lave belastningstrømmer og små kortslutningsstrømmer. [6] Disse sikringene finnes både som *kvikke* og *trege*. Kvikke sikringer er en sikring som har kort smeltetid ved stor overstrøm, mens en treg sikring er det motsatte. Treg sikringer vil ikke kunne tåle belastning som er større enn merkestrømmen. Disse er merket med et eget symbol (snegle). D-sikringer er på grunn av sin berøringsikkerhet, og evne til å ikke kunne forveksles med andre, tillat betjent av ikke-instruert personell.



Figur 3.8.3: Smelteintegral for høyeffektsikringer

Kilde: [6]

Høyeffektsikringer er sikringer som ikke er berøringssikre, i tillegg kan det brukes ulike sikringsstørrelser i samme beholder. Disse kan derfor kun betjenes av instruert personell. Høyeffektsikringer er strøm- begrensede sikringer, som vil si at disse begrenser strømmen til en verdi som ligger under den maksimale dersom sikringer ikke var der. *Det finnes 6 størrelser av disse sikringene. De er betegnet som 00, 0, 1, 2, 3 og 4a med merkestrøm mellom 6 og 1250 A ved nominell spenning på 500 V og i 4 størrelser (00, 1, 2 og 3) med merkestrøm mellom 6 og 500 A ved nominell spenning 660 V.* [6] Sikringene overlapper hverandre med tanke på merkestrøm, dette vil si at man kan få sikringer med merkestrøm 63 A i størrelsene 00, 0, og 1. Dette gjør planleggingen og en eventuell utvidelse av det elektriske anlegget mye enklere.



Figur 3.8.4: Cut-off-karakteristikk

Kilde: [6]

Smeltekarakteristikken for sikringer som er representert i strømmengde per tidsenhet har som regel eksponentielle kurver. I praksis viser dette at det tar kortere tid for en sikring å bryte dersom strømmen er høy, ettersom det da vil bli avgitt mest varme og smelte av metalltråden i sikringen raskere enn ved en lavere strøm. Smelteintegralet for en kobbertråd er:

$$\int_0^{t_s} i^2 dt = a^2 * 100000 [A^2 sek] \quad (3.8.1)$$

Man ønsker at tapene i sikringer er så lave som overhodet mulig ut i fra et kostnadspektiv og uønskede effekter som følge av oppvarming. Når det blir tatt termiske prøver av sikringene gjøres dette i en åpen beholder hvor kjøleforholdene er relativt gode. Hvis man bygger sikringene inn i et apparat eller ett skap kan man ikke belaste disse med merkestrømmen lengre, de blir redusert til omtrent 70-80 % av I_k .

3.8.3 Effektbrytere

Effektbrytere er en mekanisk bryteenhet som skal kunne bryte laststrømmen og legges inn, lede og bryte strømmen under normale forhold. Den skal også kunne bryte strømmen ved unormale forhold, som ved kortslutning. Effektbryteren består av to enheter, en bryterdel og en utløserdel. Åpningstiden t_0 , er tiden det tar for bryteren er i lukket posisjon til kontaktene er skilt fra hverandre (åpen posisjon). Lysbuetiden t_L , til bryteren er tiden det tar fra en lysbue oppstår på en pol til den er slukket ved den sammen polen. Hvis det er flere poler er det tiden fra en lysbue oppstår på en av polene til den er slukket hos alle polene. Brytetid t_g , er tiden det tar for en effektbryter å oppdage feilstrømmen og slukke den, det vil si summen av åpningstid og lysbuetid. [6]

Hvordan feilstrømmene opptrer bestemmer hvordan effektbryterne klassifiseres.

- a Vern med termisk forsinket utløsning ved overstrøm.
- n Vern med elektromagnetisk utløsning ved overstrøm.
- z Vern med kort tidsforsinkelse ved overstrøm.

Elektromagnetisk utløsning, eller med tidsforsinkelse kan ha innkoblingssperre. Disse blir merket på følgende måte:

- nv Vern med elektromagnetisk utløsning ved overstrøm, og innkoblingssperre.
- zv Vern med kort tidsforsinkelse ved overstrøm, og innkoblingssperre.

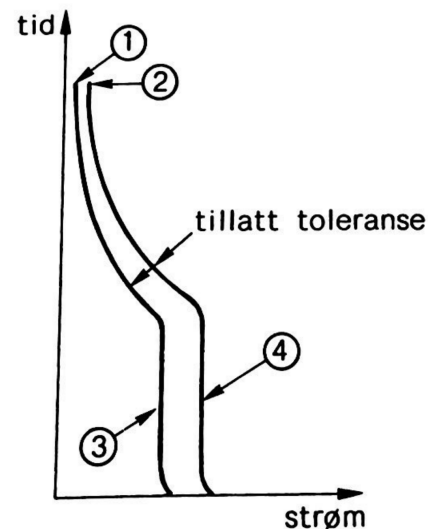
Strøm-tid-karakteristikken viser hvor lang tid utløsningselementet bruker på å operere ved en gitt strøm. Tallene i figur 3.8.5 oppgir følgende informasjon:

- 1 Minste prøvestrøm I_1 : Største strømmen vernet skal tåle i en time uten å løse ut.
- 2 Største prøvestrøm I_2 : Minste strømmen som garanterer at vernet løser ut før det har gått en time.
- 3 Største strøm som ikke fører til elektromagnetisk utkobling.
- 4 Minste strøm som garanterer elektromagnetisk utkobling.

Det er viktig at punkt 2 og 4 blir fulgt ifølge forskriftene da disse bestemmer hvor lang tid det går før garantert utkobling oppstår. Siden utløsertiden ikke er bare avhengig av strømmen, men også omgivelsestemperaturen kan dette kompenseres ved å benytte seg av en bimetall-strimmel som ikke blir varmet opp av strømmen. [6]

Ved valg av effektbrytere bør man ta hensyn til:

- Nominelle spenninger.
- Nominelle Strømmer.
- Belastningstypen eller systemet effektbryteren skal verne.
- Holdfasthet ved feilstrømmer, og nominell slutte- og brytekapasitet ved kortslutning.
- Monteringssted og monteringsmetode for bryteren.



Figur 3.8.5:
 Utløserkarakteristikk for
 overstrømsvern

Kilde: [6]

Den nominelle innkoblingsstrømmen for effektbryteren er gitt som strømmen som kan legges inn ved nominell spenning +10 % ved nominell frekvens og en bestemt effektfaktor. Nominell brytestrøm I_{cn} er den strøm effektbryteren kan bryte ved nominell spenning +10 % ved nominell frekvens og en gitt faktor. Nominell kontinuerlig strøm I_u er strømmen effektbryteren kan føre under normale forhold i en ubegrenset periode uten at den kobler ut, uten avbrudd eller at grensetemperaturen til bryteren blir nådd. Nominell driftsstrøm I_e er strømmen som er bestemt under spesielle betingelser ved bruk av effektbryteren.

Effektbrytere deles inn i to typer, avhengig av hvordan de bryter strømmen ved en kortslutning [6]:

”Effektbrytere med nullstrømsbryting slukker lysbuen i bryterens naturlige nullgjennomgang”. [6] Denne fungerer etter følgende prinsipp:

En effektbryter med høy indre resistans. Eller en kortslutningsfast effektbryter er så lavt innstilt på termisk utløsning at den samlede resistansen på polene på bimetallet og spolen som gir momentanutløsning blir veldig høy. Den kan bli så høy at kortslutningsstrømmen I_k alltid vil være begrenset av en verdi som effektbryteren ikke bare tåler termisk og dynamisk, men også bryte. Steder man vanligvis installerer disse er hvor kortslutningsstrømmen kan komme opp i over 50 kA.

”Effektbrytere med strømbegrensning bryter strømmen så tidlig at den enda ikke har rukket å stige til sin maksimalverdi”. [6] Denne fungerer på følgende måte:

3.8 Sikringer

Effektbryter med ekstremt kort operasjonstid og høy lysbuespenning. Denne typen effektbryter er veldig forskjellig fra prinsippet med nullstrømsbrytning. En bevegelig kjerne skyver kontaktene fra hverandre og skaper en høy lysbuespenning som varer i en liten periode. Med en spesiell utforming av kontaktene går lysbuen raskt fra kontaktflatene og inn i lysbuekammeret hvor den blir nedkjølt, og deretter slukket.

3.8.4 Høyeffektpatroner

Høyeffektpatroner eller NH sikringer, er som navnet tilsier en sikring mot høye effekter. Disse brukes hovedsaklig for strømmer opp mot 100 A og høyere. Høyeffekt- patronene fungerer på samme måte som en vanlig sikring med en metalltråd som er omgitt av et slukkemedium. Når metalltråden brennes av vil det dannes en gass som slukker og av-ioniserer lysbuen som oppstår. I motsetning til vanlige smeltesikringer (f.eks D-sikringer) skal disse høyeffektpatronene kun benyttes av instruert personell. [33]

3.8.5 Selektivitet

Selektivitet kan være viktig for driftsikkerheten i et elektrisk anlegg. Selektivitet er noe en ønsker å oppnå mellom to eller flere vern som er plassert i seriekonfigurasjon. Med selektivitet mellom vern mener man at kun vernet som ligger nærmest feilstedet utløser i en feilsituasjon. Dette er ønskelig for å kunne fortsette å holde de friske delene av nettverket i drift. I lavspenning kreves kjennskap til maksimale og minimale kortslutningsstrømmer for å oppnå selektivitet. Dette er viktig for å unngå at høyeste kortslutningsstrøm ikke er større enn vernets bryteevne, og for at vernet skal kunne løse ut ved laveste kortslutningsstrøm. Det skilles mellom to former for selektivitet, total og delvis selektivitet. Total selektivitet er selektivitet der kun vernet nærmest feilstedet løses ut. Det er også ofte akseptabelt med delvis selektivitet. Delvis selektivitet er selektivitet mellom to vern kun i et spesifikt intervall, og ikke i den fulle karakteristikken. Et annet tilfelle av delvis selektivitet er dersom et system/skap er uavhengig av andre deler av systemet, men sikringene i den ene delen ikke har selektivitet seg imellom. I forhold til selektivitet når man bestemmer sikringer er det anbefalt å kun bruke vern fra én vernfabrikant, dette er fordi selektivitet kan kun garanteres dersom sikringene er testet sammen. Siden det er fabrikant som utfører disse testene, så kan ikke selektivitet, før anlegget er satt i drift, garanteres dersom man velger å bruke vern fra forskjellige fabrikanter.

I FEL §16 [34] står det følgende : "Elektriske anlegg skal planlegges og utføres slik at mennesker, husdyr og eiendom er beskyttet mot fare og skader ved normal bruk og slik at anlegget blir egnet til den forutsatte bruk".

Videre står det i veiledning til §16 [34]: "Valg av løsning for anlegget sammen med nødvendige vern og andre beskyttelsestiltak forutsetter vurdering av risiko forbundet med det aktuelle anlegget. Dette innebærer også at anlegget skal ha tilfredsstillende

3.9 Rogowski spole

pålitelighet i strømtilførselen ved at det tas hensyn til beskyttelse mot avbrudd og selektivitet for vern”.

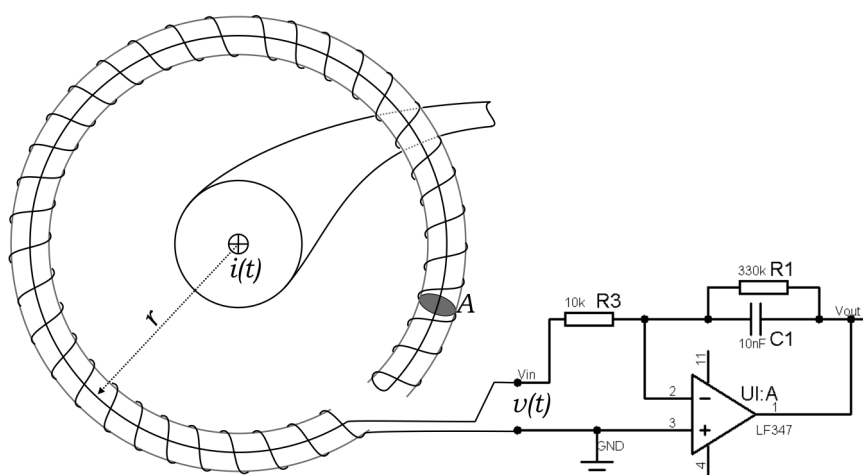
Her er det også spesifisert at man skal ha spesielt fokus på dette i anlegg som har med landbruk å gjøre.

NEK 400 [5] har også ulike krav til selektivitet. I NEK 400:310 står det: ”Det skal foretas en vurdering av hver kurs hvorvidt det foreligger spesielle krav til pålitelighet for strømforsyningen. Følgende forhold bør vurderes:”. Blant forholdene som videre blir listet opp, er ”valg av kurser for å oppnå selektivitet”. [5]

Under seksjon 536.4.2 ”Krav til selektivitet” har NEK listet opp en rekke ulike forhold, og hvilke krav som stilles til selektivitet ved disse forholdene. I seksjon 705.56.101 ”Livsoppholdende systemer for husdyrhold med høy tetthet av dyr” står det: ”For husdyrhold med stor tetthet av dyr og hvor livsoppholdene systemer kreves, gjelder følgende:... b) Det skal være sikret selektivitet slik at hovedkursene til ventilasjonsanlegget ikke faller ut ved overstrøm eller feil”. [5]

3.9 Rogowski spole

Rogowski spolen er oppkalt etter *Walter Rogowski*, som oppfant denne elektriske komponenten. Rogowski spolen brukes i hovedsak til måling av AC-strøm og høy hastighets strømimpulser. Selve komponenten består av en spole formet som en sirkel hvor den ene enden av spolen blir tredd tilbake igjennom midten av spolen slik at begge terminalene (endene) av spolen ender opp på samme side. Hele komponenten blir så tredd over en rett leder hvor strømmen skal måles. Spenningen som blir induert i spolen er proporsjonal med den deriverte av strømmen i den rette lederen, derfor kobles den ofte til en ytre krets som gir et utgangssignal som er proporsjonal med strømmen. [35]



Figur 3.9.1: Prinsippkisse av en Rogowski spole

Kilde: [35]

3.10 Dimensjonerings

Ved installasjon av nye kurser er det viktig at riktig tverrsnitt velges. Underdimensjonering av ledertverrsnitt kan medføre ødeleggelse av kabel, mens overdimensjonering kan gi uønskede økonomiske utgifter.

Det første vi må gjøre ved dimensjonering av ledertverrsnitt, er å finne belastningsstrøm. Dette kan gjøres ved å bruke følgende formel.

$$I_b = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times \cos\phi} \quad (3.10.1)$$

Når belastningsstrømmen er funnet, må vi benytte oss av *NEK 400 - Elektriske lavspenningsinstallasjoner* [5] for å velge riktig installasjonsmetode og referanseinstallasjonsmetode. Når disse er valgt, må reduksjonsfaktor, k , og temperaturkorreksjonsfaktor, k_t finnes i forskriften. Denne brukes til å finne den strømføringsevnen, I_z , lederen må ha:

$$I_z = \frac{I_B}{k \times k_t} \quad (3.10.2)$$

Bruker denne strømføringsevnen til å finne en leder som har minst like stor strømføringsevne. Når vi har valgt en leder, må vi finne den korrigerte strømføringsevnen for lederen:

$$I_{z,korrigert} = I_{z,kabel} \times k \times k_t \quad (3.10.3)$$

Ved dimensjonering av vern og kabler er det viktig å kjenne til tre størrelser. Disse strømmene er belastningsstrømmen, I_b , størrelse på vernet, I_n og strømføringsevnen til kabelen, I_z . For at anlegget skal fungere etter forskrifter og hensikten må disse strømmene være etter følgende standard i følge *NEK 400, avsnitt 533.2* [5]:

$$I_b \leq I_n \leq I_z \quad (3.10.4)$$

3.11 Kortslutningsberegninger

Når man skal dimensjonere et elektrisk anlegg er det viktig å vite den største og den minste kortslutningsstrømmen. Siden de lavspente anleggene ligger som regel langt unna generatorene kan man tillate seg å si at den subtransiente kortslutningsstrømmen

3.12 Mekaniske påkjenninger ved kortslutning

I_k og den transiente kortslutningsstrømmen I_k' er lik. Derfor operere man som regel kun med en kortslutningsstrøm i lavspenningsnettet, I_k . Den største kortslutningsstrømmen som kan oppstå i et IT-nett er som regel den trepolte kortslutningsstrømmen og den laveste er som regel topolt kortslutningsstrøm. Når man beregner kortslutningsstrømmer er det også vanlig å regne ut støtstrømmen I_s .

For å beregne trepolt kortslutningsstrøm må man kjenne til resistansen og reaktansen i kabler og linjer og den nominelle spenningen. I tillegg må man vite transformatorens kortslutningsresistans e_r og kortslutningsimpedans e_z . Når man da beregner bruker man lederresistanser ved 20°C, og spenningen settes lik nettets merkespenning. Når man har funnet alle impedansene fra transformatoren og frem til det aktuelle feilstedet kan man beregne trepolt kortslutningsstrøm på følgende måte [11]:

Først summere alle resistansene og reaktansene:

$$R_f = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_N \quad (3.11.1)$$

$$X_f = X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_N \quad (3.11.2)$$

Så finner vi impedansen ved å regne ut absoluttverdi av resistans og reaktans:

$$Z_f = \sqrt{R_f^2 + X_f^2} \quad (3.11.3)$$

Deretter kan man regne ut trepolt kortslutningsstrøm:

$$I_{k3pol} = \frac{U_N}{\sqrt{3} \times Z_f} \quad (3.11.4)$$

Og deretter regne ut støtstrøm:

$$I_s = 2 \times I_{k3pol} \quad (3.11.5)$$

For å finne minste kortslutningsstrøm, som er den minste topolte kortslutningsstrømmen (I_{k2pol}), må man regne om resistanseverdiene til verdier ved 80°C, og spenningen settes til 95 % av nettets merkespenning. [11]

$$I_{k2pol} = \frac{0,95 \times U_N}{2 \times (Z_{ytre} + R_{fase})} \quad (3.11.6)$$

3.12 Mekaniske påkjenninger ved kortslutning

Når parallelle ledere fører en strøm, oppstår det en kraftutvikling på dem som øker med kvadratet av strømmen. Avhengig av hvilken retning strømmen går i blir enten kraften

mellom lederne frastøtende eller tiltrekkende. Strøm i samme retning gir en kraft som virker tiltrekkende mellom lederne, mens ledere der strømmen går i motsatt retning blir kraften frastøtende mellom lederne. For å beregne kraften som oppstår mellom lederne i en trefase kortslutning kan man benytte formelen [11]:

$$F = 0,87 \times 2 \times \frac{I^2}{D} \times 10^{-7} \times l \quad [N] \quad (3.12.1)$$

Strømmen gjennom lederen er da maks gjennomsluppet strøm, altså støtstrøm I_s , "D" er avstanden mellom de parallelle lederne og "l" er lengden på kabelene.

3.13 Jordfeil i IT-nett

Jordfeil er en betegnelse på situasjoner som oppstår på grunn av isolasjonssvikt (kan være i kabler eller linjer) eller feil i det elektriske nettet eller apparater tilknyttet dette anlegget. Apparater dette kan forekomme på er kaffetraktere, panelovner eller vaske-maskiner f.eks. Jordfeil forekommer ved at strømførende ledninger kommer i kontakt med jordete anleggsdeler eller direkte med jordleder. Lekkasjestrømmer kan føre til at at man får elektrisk støt, og kan være til skade for mennesker og dyr. [36]

3.13.1 Enpolt jordfeil

Som vist i figur 3.7.1 opereres det alltid med et gjennomslagsvern i et IT-nett. Dette sørger for at det alltid er full isolasjon mellom transformatorens nullpunkt og jord. Der-som det oppstår en enpolt jordfeil i et IT-nett vil man kunne få feilstrømmer i jord og man kan få høye spenninger over transformatorens nullpunkt og jord. Blir denne spennin-gen over 500 V vil gjennomslagsvernet bli ledende, det er derimot ingen fare dersom dette bare er en spenningspeak. [12] Da vil nemlig vernet gjenvinne full isolasjon igjen etterfulgt av spenningspeaken. Blir det derimot en stående feil og gjennomslagsver-net begynner å lede vil man ha en fast ledende forbindelse mellom transformatorens nullpunkt og jord. IT-nettet oppfører seg da prinsippet som et TT-nett, og eneste som begrenser den enpolte jordeilstrømmen er elektrodernes impedans til jord ved trans-formatoren og installasjonens elektroder. Går man inn i *NEK 400* [5] er maksimal spenning over jordelektroden satt til 50 V.

I lavspenningsnettet kan vi gjøre noen forenklinger når vi beregner jordfeilstrømmen, transformatorytelsen settes inn i kVA:

$$I_j = 2 \times S[mA] \quad (3.13.1)$$

Spenningen over jordelektroden:

$$U_{j1p} = R_j \times I_j \quad (3.13.2)$$

Største tillatt overgangsmotstand til sann jord R_{jmax} :

$$R_{jmax} = \frac{U_{j1p}}{I_j} \quad (3.13.3)$$

Dersom gjennomslagsvernet etablerer en ledende forbindelse til jord vil man som nevnt tidligere få større strømmer igjennom transformatorens nullpunkt. I tillegg vil man få strømmer gjennom nettets kapasitanser tilhver fase (I_{c1j} og I_{c2j} for eksempel). Disse blir som regel veldig små sammenlignet med strømmen igjennom transformatorens nullpunkt. [12] Vi kan derfor se bort i fra disse strømmene og beregne jordfeilstømmen ut i fra:

$$I_j = \frac{U_f}{R_j + R_0} \quad (3.13.4)$$

Hvor U_f er spenningen i fasen som har en feil.

$$U_f = \frac{230V}{\sqrt{3}} = 132,8V \quad (3.13.5)$$

3.13.2 Topolet jordfeil

Topolet jordfeil eller jordslutning er når man får en elektrisk forbindelse direkte mellom to faser og jord. En topolt jordfeil kan regnes som en kortslutning hvis impedansen ved feilstedet er liten. Dersom stedene hvor de to jordslutningene forekommer ligger nære hverandre og motstanden på feilstedet er liten, kan feilstømmene som oppstår bli store. Det er derfor viktig at den topolte jordslutningsstrømmen blir koplet ut raskt av et vern. [11]

Topolet jordslutning vil derfor i prinsippet være det samme som en kortslutning, bare via jord. Eneste forskjellen man må ta hensyn til når man skal beregne en topolet jordslutning er motstanden i jordingselektroden. Dermed blir den forenklete ligningen for en topolet jordslutning:

$$I_{kj2pol} = \frac{0,95 \times U_n}{2 \times (Z_{ytref} + R_{fase} + R_{PE})} \quad (3.13.6)$$

3.14 Belysning

For å kunne dimensjonere belysningsanlegg må vi ha tilgang til data som ønsket lysintensitet, lysfluks, byggets dimensjoner, flaterreflektanser og vedlikeholdsfaktor. Videre må romfaktoren, k , bestemmes ut fra følgende formel:

$$k = \frac{L \times B}{H \times (L + B)} \quad (3.14.1)$$

Når romfaktoren er funnet, kan figuren under benyttes til å bestemme lysarmaturenes virkningsgrad.

	Reflektanser								
Tak/hulrom	0,7	0,7	0,7	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0
Vegger	0,5	0,3	0,1	0,5	0,3	0,1	0,3	0,1	0
Arbeidsplan	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0
Romfaktor	Virkningsfaktor i %								
$k = 0,60$	30	25	22	29	25	22	25	22	21
0,80	37	33	29	36	32	29	32	29	28
1,00	43	38	35	42	38	35	37	34	33
1,25	47	43	40	46	43	40	42	39	38
1,50	51	47	44	49	46	43	45	43	42
2,00	55	52	49	53	51	48	49	47	45
2,50	58	55	53	56	54	51	52	50	48
3,00	60	57	55	58	56	54	54	52	50
4,00	62	60	58	60	58	57	56	55	52
5,00	64	62	61	61	60	59	58	57	54

Figur 3.14.1: Oversikt over reflektanser i tak, vegger og gulv og tilsvarende virkningsgrad

Kilde: Vedlegg 17

Med virkningsgraden på plass, kan vi beregne antall armaturer:

$$N = \frac{E_{krav} \times A}{\phi_0 \times \eta \times v} \quad (3.14.2)$$

Når vi har funnet antall armaturer, kan den totale effekten belysningsanlegget vil trekke beregnes:

$$P_{Total} = N_{arm} \times P_{arm} \quad (3.14.3)$$

Den totale effekten som anlegget trekker brukes til å finne belastningsstrøm. Ved en-fase kan belastningsstrømmen beregnes med formelen:

$$I_b = \frac{P}{V \times \cos\phi} \quad (3.14.4)$$

Belastningsstrøm for trefase beregnes med formelen:

$$I_b = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times \cos\phi} \quad (3.14.5)$$

Belastningsstrømmene brukes for å finne minste ledertverrsnitt nødvendig for å forsyne anlegget.

3.15 Spenningsfall

Når vi har beregnet lederens tverrsnitt, kan vi beregne spenningsfall. Det er lederens resistans og reaktans som forårsaker spenningsfall. Denne vil øke med kabellengde og strøm, men vil avta med økende tverrsnitt. Det er viktig å ta hensyn til spenningsfall i kabel, fordi det ikke bør være spenningsvariasjoner på mer enn $\pm 3\%$ av nominell spenning på belysning og $\pm 5\%$ på andre installasjoner. [5] For å kontrollere at spenningsfallet ikke overstiger tillatt verdi, kan vi benytte oss av følgende formel:

$$U_{f2} = U_{f1} - R \times I \cos(-\varphi) - X \times I \sin(-\varphi) \quad (3.15.1)$$

Som gir oss:

$$U_{f2} = \frac{U_1}{\sqrt{3}} - R \times I \times [\cos(-\varphi) + j \times \sin(-\varphi)] - X \times I \times [\cos(-\varphi) + j \times \sin(-\varphi)] \quad (3.15.2)$$

Der:

- U_{f2} er fasespenning [V] i slutten av kabelen.
- U_{f1} er fasespenning [V] i starten av kabelen.
- I er strømmen som går gjennom kabelen.
- Vinkelen, φ , er vinkelen mellom strøm og spenning.
- R og X er resistans og reaktans i hele kabelen.

Når vi har funnet U_{f2} kan vi finne linjespenning:

$$U_2 = \sqrt{3} \times U_{f2} \quad (3.15.3)$$

Når U_2 er funnet, finner vi spenningsfall i prosent:

$$\Delta U_{\%} = \left(1 - \frac{U_2}{U_1}\right) \times 100\% \quad (3.15.4)$$

3.16 Varmebehov

Beregninger av varmebehov brukes for å avgjøre hvor mye elektrisk effekt som er nødvendig for å varme opp et rom, en bolig eller et bygg. Når vi beregner varmebehov, ser vi på tre tapsledd:

- **Transmisjonstap:** Overføring av energi. I dette tilfelle vil det si overføring av varmeenergi fra innsiden til utsiden av bygget.

- **Ventilasjonstap:** Her er det både mekanisk og selvtreksventilasjon. Med sistnevnte menes det ufrivillig ventilasjon som styres av termiske krefter når varm luft stiger og lekker ut av bygningen gjennom åpninger eller utettheter. [37]
- **Infiltrasjonstap:** Bygningens varmetap som skyldes luftlekkasje gjennom utettheter

For å utføre beregningene må vi også ha informasjon om tykkelse og type vegg og isolasjon. Når denne informasjonen er kjent, kan vi begynne med beregning av varmebehov.

Vi starter med å finne varmemotstand i hver element som veggen er laget av:

$$\rho_{vegg} = \frac{B_{vegg}}{\lambda_p} \quad (3.16.1)$$

Når varmemotstand i veggene og isolasjon er funnet, beregner vi total varmemotstand:

$$\rho_{total} = x \times \rho_{vegg} + y \times \rho_{isolasjon} \quad (3.16.2)$$

Den totale varmemotstanden brukes til å finne varmegjennomgangskoeffisienten, U:

$$U = \frac{1}{\rho_{total}} \quad (3.16.3)$$

Når vi har funnet varmegjennomgangskoeffisienten, kan vi finne transmisjonstap:

$$P_t = U \times A \times (\theta_i - \theta_u) \quad (3.16.4)$$

- U er varmegjennomgangskoeffisient
- A er areal
- θ_i er innetemperatur
- θ_u er utetemperatur

Videre beregner vi ventilasjonstap:

$$P_v = c \times \Phi \times (1 - \eta) \times (\theta_i - \theta_u) \quad (3.16.5)$$

- c er varmekapasitet for luft
- Φ er luftstrøm
- η er virkningsgrad på gjenvinner
- θ_i er innetemperatur

3.16 Varmebehov

- θ_u er utetemperatur

Siste tapsledd er infiltrasjon, beregnes slik:

$$P_i = c \times n_i \times V \times (\theta_i - \theta_u) \quad (3.16.6)$$

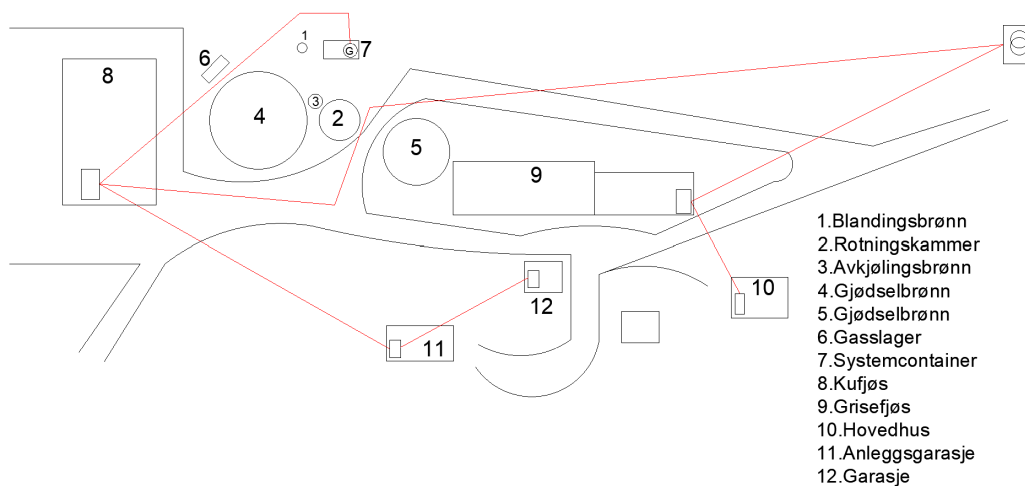
- c er varmekapasitet for luft
- n_i er luftskifte
- V er volum
- θ_i er innetemperatur
- θ_u er utetemperatur

Til slutt beregner vi det totale varmebehovet i bygget:

$$P_{total} = P_t + P_v + P_i \quad (3.16.7)$$

4 Dimensjonering og drift

I dette kapitlet skal vi utføre dimensjonering av ledertverrsnitt og vern, beregne spenningsfall, kortslutningsstrømmer og jordfeilstømmer og se på digital dimensjonering av anlegget.



Figur 4.0.1: *Oversikt av gård tegnet med Autocad*

Figur 4.0.1 viser en tegning av oversikt-bilde. Bilde får med alle bygninger fra oversikt-bilde tilsendt av oppdragsgiver, men viser i tillegg kabler fra transformator til hovedtavle i kufjøset (8) og grisejøset (9). Videre blir anleggsgarasjen forsynt fra kufjøset (8), mens bolig (10) blir forsynt fra grisejøset (9).

Vi begynner med termisk dimensjonering av kabler for å finne det minste tverrsnittet som er nødvendig. Videre tar vi disse dimensjoneringer i Febdok og tar hensyn til spenningsfall, økonomisk levetid og vedlikehold, og øker tverrsnittet dersom dette er nødvendig. Ved dimensjonering av vern kan vi utføre beregningene for hånd, men for å sikre at anlegget tilfredstiller kravene om selektivitet velger vi å dimensjonere i Febdok. Spenningsfall- og kortslutningsberegninger blir utført for hånd, men blir sammenlignet med både Febdok og PSS Sincal for å sikre at det ikke blir for store avvik.

4.1 Termisk dimensjonering av ledertverrsnitt

Termisk dimensjonering av kabler utføres for å finne det minste tverrsnittet som de forskjellige anleggsdeler trenger. Her tar vi utgangspunkt i belastningsstrøm for å beregne den nødvendige strømføringssevnen en leder må ha. Videre benytter vi oss av normen *NEK 400 - Elektriske lavspenningsinstallasjoner* [5] for å velge riktig installasjonsmetode, finne riktige korreksjonsfaktorer for både forlegningsmåte og temperatur, og for valg av riktig kabeldimensjon ut fra nødvendig strømføringssevne.

4.1 Termisk dimensjonering av ledertverrsnitt

4.1.1 CHP-generator

Generatoren leverer 50 kW på maks effekt og kablene må derfor dimensjoneres etter dette. Siden vi ikke har fått generatorspesifikasjoner på den aktuelle generatoren velger vi å bruke data fra en tilsvarende generator. [38] Effektfaktoren til den tilsvarende generatoren er oppgitt til, $\cos\phi = 0,8$. Bruker ligning 3.10.1 for å beregne belastningsstrømmen:

230 V:

$$I_{b,50kW} = \frac{50kW}{\sqrt{3} \times 240V \times 0,8} = 150,4A \quad (4.1.1)$$

Når belastningsstrømmen er funnet kan vi bestemme oss for referanseinstallasjonsmetode ved å gå inn i *NEK 400, tabell 52B-1* og velge for eksempel referanseinstallasjonsmetode D2. Kabelen til CHP-generatoren ligger alene og vi kan derfor anta at reduksjonsfaktor, k , er lik 1 og temperaturkorreksjonsfaktor $k_t = 1,10$ i følge *NEK 400, tabell 52B-15*. [5] Bruker ligning 3.10.2 og finner at den nødvendige strømføringssevnen til kabelen blir:

$$I_z = \frac{150,4A}{1,10} = 136,7A \quad (4.1.2)$$

Dermed kan man da finne riktig tverrsnitt for kabelen til CHP-generatoren. Da benytter man seg av *NEK 400, tabell 52B-5*, kolonne åtte, referanseinstallasjonsmetode D2 og velger riktig strømføringssevne ut i fra ligning 4.1.2.

Nødvendig tverrsnitt for 50 kW-kurs med 230 V forsyning:

- 230 V [Cu]: PEX/EPR isolert, tre belastede ledere 3x50 mm² med strømføringssevne 153 A.
- 230 V [Al]: PEX/EPR isolert, tre belastede ledere 3x70 mm² med strømføringssevne 144 A.

Til slutt bruker vi ligning 3.10.3 for å finne korrigert strømføringssevne for lederen. Korrigert strømføringssevne for 50 kW kurs med 240 V forsyning:

- 230 V [Cu]:

$$153A \times 1,10 = 168,3A \quad (4.1.3)$$

- 230 V [Al]:

$$144A \times 1,10 = 158,4A \quad (4.1.4)$$

4.1 Termisk dimensjonering av ledertverrsnitt

4.1.2 Ladestasjon i anleggsgarasje

Tilførsel til anleggsgarasje:

Anleggsgarasjen er tenkt til tre maskiner - gravemaskin, traktor og lastebil. Alle disse skal lades med tre forskjellige ladere som kan trekke forskjellig effekt. Gravemaskinen og traktor bruker en lader på 22 kW, mens lastebilen kan bruke 22 kW og 43 kW. Kabelen skal ligge i jord, dermed velger vi installasjonsmetode D2 fra tabell 52B-1. Reduksjonsfaktor, k , for forlegning av kabel blir $k=1$. *NEK 400, tabell 52B-15* gir korreksjonsfaktor for temperatur $k=1,10$. [5] Ved å benytte oss av metoden som ble brukt ovenfor, får vi følgende resultat for både 230 V og 400 V forsyning:

Forsyning [V]			
230			
I_b [A]	I_z [A]	Dimensjon [Cu] [mm ²]	Dimensjon [Al] [mm ²]
240	218,2	3x120	3x150

Tabell 4.1.1: Forsyning til anleggsgarasjen: oversikt over strømmer og lederdimensjoner ved 230 V

Forsyning [V]			
400			
I_b [A]	I_z [A]	Dimensjon [Cu] [mm ²]	Dimensjon [Al] [mm ²]
138,3	125,7	3x50	3x50

Tabell 4.1.2: Forsyning til anleggsgarasjen: oversikt over strømmer og lederdimensjoner ved 400 V

Ut ifra denne informasjonen ser vi at med dagens nettkonfigurasjon så må det tilrettelegges for veldig store strømmer dersom det skal settes opp tre ladestasjoner i anleggsgarasjen. Det er også ikke aktuelt at alle kjøretøy skal lade samtidig med tanke på at lading av kjøretøy skal være for å utnytte seg av overskuddsstrøm fra generator. Videre har vi derfor gått bort ifra flere ladestasjoner og dimensjonert for lading av ét enkelt kjøretøy.

Ladestasjon:

Ved dimensjonering av tverrsnitt til ladestasjoner, brukes effektene 22 kW og 43 kW som utgangspunkt, fordi det er disse effektene ladere trekker. Først ser vi på tilfelle med kun en lader i anleggsgarasjen. For å finne strømføringsvevnen kabelen må ha, må vi først bestemme oss for referanseinstallasjonsmetode og hvor mange kabler som skal ligge sammen. Den beste måten å utføre denne installasjon på er å legge kablene direkte i jord. Ved bruk av *NEK 400, tabell 52B-1* [5] og finner *referanseinstallasjonsmetode D2*. Videre finner vi reduksjonsfaktor ut i fra hvor mange kabler som skal ligge sammen. En ladestasjon tilsvarer en kabel, noe som gir reduksjonsfaktor, $k=1$. Etersom kabelen skal ligge direkte i jord, må vi korrigere for temperatur. Benytter oss

4.1 Termisk dimensjonering av ledertverrsnitt

av tabell 52B-15 og finner korreksjonsfaktor, $k_t=1,1$ for ledere med PVC isolasjon, og $k_t=1,07$ for ledere med PEX eller EPR isolasjon. Siden differansen mellom PVC og PEX/EPR er 0,03, regner vi med $k_t=1,1$.

Effekt [kW]	Forsyning [V]	I_b [A]	I_z [A]	Dimensjon [Cu] [mm ²]	Dimensjon [Al] [mm ²]
22	230	80	72,72	3x25	3x25
43	230	156,66	142,42	3x70	3x70

Tabell 4.1.3: En ladestasjon: oversikt over strømmer og lederdimensjoner ved 230 V

Effekt [kW]	Forsyning [V]	I_b [A]	I_z [A]	Dimensjon [Cu] [mm ²]	Dimensjon [Al] [mm ²]
22	400	46	41,8	3x10	3x16
43	400	90	81,8	3x25	3x25

Tabell 4.1.4: En ladestasjon: oversikt over strømmer og lederdimensjoner ved 400 V

Videre ser vi på et alternativ med tre ladestasjoner. Det brukes en tilførselskabel med dimensjon 3x150 mm² [Al] fram til anleggsgarasje, også fordeles det på tre kurser - en for hver ladestasjon. Bruker *NEK 400, tabell 52B-1* [5] og velger referanseinstallasjonsmetode B2 - flerleder kabel i installasjonsrør på en trevegg. Videre benytter vi oss av tabell 52B-17, kolonne 2, rad 3 - og finner korreksjonsfaktor for forlegning av kabel $k=0,79$.

Effekt [kW]	Forsyning [V]	I_b [A]	I_z [A]	Dimensjon [Cu] [mm ²]	Dimensjon [Al] [mm ²]
22	230	80	101,26	3x50	3x25
43	230	156,66	198,3	3x120	3x95

Tabell 4.1.5: Tre ladestasjoner: oversikt over strømmer og lederdimensjoner ved 230 V

Effekt [kW]	Forsyning [V]	I_b [A]	I_z [A]	Dimensjon [Cu] [mm ²]	Dimensjon [Al] [mm ²]
22	400	46	58,23	3x16	3x10
43	400	90	114	3x50	3x35

Tabell 4.1.6: Tre ladestasjoner: oversikt over strømmer og lederdimensjoner ved 400 V

Fullstendige utregninger for ladestasjon finnes i vedlegg 18.

4.1.3 Kufjøs

Tilførsel til kufjøs: Det totale effektbehovet i kufjøset er summen av de apparatene som vil stå på samtidig, som gir høyest effekttrekk. Det vil si 43 kW lading i anleggsgarasje og belysning i kufjøset. De andre apparatene (fôrblander, melkerobot og elbilladeren) vil ikke stå på samtidig, siden ladingen i anleggsgarasje er tilltenkt slik at det er kun mulig å lade når de andre apparatene, utenom belysning, er avslått.

4.1 Termisk dimensjonering av ledertverrsnitt

Går inn i *NEK 400, tabell 52B-1* [5] og bestemmer oss for *installasjonsmetode D2*. Siden denne kablen skal ligge alene kan vi anta at reduksjonsfaktor, k , er lik 1 som beskrevet i *NEK 400 tabell 52B-16* og temperaturkorreksjonsfaktor $k_t=1,10$ som i *NEK 400, tabell 52B-15*.

Effekt [kW]	Forsyning [V]	I_b [A]	I_z [A]	Dimensjon [Cu] [mm ²]	Dimensjon [Al] [mm ²]
49,4	230	179,9	163,5	3x95	3x95
49,4	400	103,5	94,1	3x35	3x50

Tabell 4.1.7: Tilførsel kufjøs: oversikt over strømmer og lederdimensjoner ved 230 V og 400 V

Melkerobot:

Når vi skal dimensjonere tverrsnitt til melkeroboten går vi ut i fra at den trekker 7 kW. I følge gårdbruker er det så mye effekt roboten hans bruker. For å finne strømføringsevnen kablen må ha, må vi først bestemme oss for referanseinstallasjonsmetode og hvor mange kabler som skal ligge sammen. Den beste måten å utføre denne installasjonen på er å legge kablene direkte i jord. Ved bruk av *NEK 400, tabell 52B-1* [5] finner vi *referanseinstallasjonsmetode D2*. Videre finner vi reduksjonsfaktor ut i fra hvor mange kabler som ligger sammen. Ettersom det er bare en melkerobot, velges det en kurs alene. *NEK 400, tabell 52B-16* gir en reduksjonsfaktor, $k=1$. Korreksjonsfaktor for temperatur blir da $k_t=1,10$ i følge *NEK 400, tabell 52B-15*. For å finne riktig ledertverrsnitt benytter man *NEK 400, tabell 52B-4* og kolonne åtte og velger riktig strømføringsevne.

Effekt [kW]	Forsyning [V]	I_b [A]	I_z [A]	Dimensjon [Cu] [mm ²]
7	230	25,5	23,2	3x4
7	400	14,7	13,3	3x1,5

Tabell 4.1.8: Melkerobot: oversikt over strømmer og lederdimensjoner ved 230 V og 400 V

Fôrblander:

I følge bonden var fôrblander en av de største maskinene han hadde på gården. Den brukte 30 kW effekt når den ble brukt. Fôrblander blir brukt to ganger i døgnet når kyrne skal ha fôring, morgen og kveld. Bestemmer oss for referanseinstallasjonsmetode D2 i følge *NEK 400, tabell 52B-1* [5] og legger da kablen direkte i jord. Siden dette er en kabel som ligger alene kan vi bruke reduksjonsfaktor, $k=1$ i følge *NEK 400, tabell 52B-16* og korreksjonsfaktor for temperatur, $k_t=1,10$.

Effekt [kW]	Forsyning [V]	I_b [A]	I_z [A]	Dimensjon [Cu] [mm ²]	Dimensjon [Al] [mm ²]
30	230	109,3	99,4	3x35	3x70
30	400	62,8	57,1	3x16	3x25

Tabell 4.1.9: Fôrblander: oversikt over strømmer og lederdimensjoner ved 230 V og 400 V

4.1 Termisk dimensjonering av ledertverrsnitt

Belysning:

I mattilsynets veileder til forskrift om hold av storfe står det at lysstyrken i et kufjøs bør ligge mellom 100 og 200 lux på dagtid. [8] Vi tar utgangspunkt i at lysintensiteten skal være på 150 lux. Ved å bruke situasjonskartet som ble oppgitt av oppdragsgiver beregnet vi oss fram til følgende dimensjoner på kufjøset: Lengde = 47,2 meter og bredde = 28,8 meter. I tillegg ble det oppgitt at høyden i kufjøset er 8 meter og at det er ønskelig at lysarmaturene monteres i taket. Det antas at reflektanser i taket, vegger og gulv er: $\rho_t=0,5$, $\rho_v=0,5$ og $\rho_a=0,2$ og at vedlikeholdsfaktoren, v , er 0,75.

Ved å benytte oss av ligning 3.14.1 finner vi at romfaktoren, k , blir:

$$k = \frac{47,2m \times 28,8m}{8m \times (47,2m + 28,8m)} = 2,2 \approx 2,5 \quad (4.1.5)$$

Videre bruker vi figur 3.14.1 og romfaktoren til å bestemme virkningsgrad, og finner at virkningsgraden blir $\eta=0,56$. Antall lumen man oppnår per armatur er funnet til 32500 lm. [10] Med virkningsgraden på plass, bruker vi ligning 3.14.2 for å finne antall lysarmaturer som trengs:

$$N = \frac{150lm/m^2 \times (47,2m \times 28,8m)}{32500lm \times 0,56 \times 0,75} = 14,91 \approx 15 \quad (4.1.6)$$

Velger 16 armaturer for å få en jevn fordeling: 2 x 8. For valg av hvor mye effekt lysene skal trekke, har vi to muligheter: 250 W eller 400 W. [10] Ettersom det er ønskelig at lysene monteres i taket, velger vi 400 W/armatur. Bruker ligning 3.14.3 og finner den totale effekten lysarmaturene vil trekke:

$$P_{Total} = 16 \times 400W = 6,4kW \quad (4.1.7)$$

Videre bestemmer vi oss for minste ledertverrsnitt. Først ser vi på enfase. Her benyttes det *NEK 400 - Elektriske lavspenningsinstallasjoner*. [5]

- Tabell 52A-2 gir installasjonsmetode 21 med referanseinstallasjonsmetode C.
- Tabell 52B-14 gir korreksjonsfaktor for temperatur på 10 °C, $k=1,22$.
- Tabell 52B-17 gir reduksjonsfaktor for mer enn en kurs eller for mer enn en flerled-erkabel. Finner av tabellen at reduksjonsfaktor for en kurs med forlegning mot tak blir $k=0,95$, to kurser $k=0,81$ og tre kurser $k=0,72$.

4.1 Termisk dimensjonering av ledertverrsnitt

Enfase					
Antall kurser	Effekt[kW]	I_b [A]	I_z [A]	Dimensjon [Cu] [mm ²]	Dimensjon [Al] [mm ²]
1	6,40	32	27,60	3x4	3x6
2	6,40	16	16,20	3x1,5	3x2,5
3	6,40	12	13,66	3x1,5	3x2,5

Tabell 4.1.10: Belysning: strømmer, kurser og lederdimensjoner ved 230 V, enfase

For trefase bruker vi samme korreksjonsfaktorer for å finne lederens strømføringsevne:

Trefase					
Antall kurser	Effekt[kW]	I_b [A]	I_z [A]	Dimensjon [Cu] [mm ²]	Dimensjon [Al] [mm ²]
1	6,4	20	17,2	3x1,5	3x2,5
2	6,4	10	10,1	3x1,5	3x2,5

Tabell 4.1.11: Belysning: strømmer, kurser og lederdimensjoner ved 230 V, trefase

Fullstendige utregninger for kufjøs finnes i vedlegg 19

4.1.4 Grisefjøs

Tilførsel til grisefjøs:

Det totale effektbehovet i grisefjøset er summen av alle lastene i fjøset. Ettersom boligen forsynes fra grisefjøset, må vi også legge til boligens effektforbruk. Benytter oss av *NEK 400, tabell 52B-1* [5] og velger *installasjonsmetode D2*. Siden denne kableen skal ligge alene kan vi anta at reduksjonsfaktor, k er lik 1 som beskrevet i *NEK 400, tabell 52B-16* og temperaturkorreksjonsfaktor, $k_t=1,10$ som i *NEK 400, tabell 52B-15*. Bruker tabell 52B-4, kolonne åtte, referanseinstallasjonsmetode D2 for kobberleder og velger riktig tverrsnitt.

Effekt [kW]	Forsyning [V]	I_b [A]	I_z [A]	Dimensjon [Cu] [mm ²]	Dimensjon [Al][mm ²]
59,7	230	217,5	197,7	3x120	3x150
59,7	400	125,0	113,6	3x50	3x50

Tabell 4.1.12: Tilførsel grisefjøs: Strømmer, og lederdimensjoner ved 230 V og 400 V

Føringsanlegg:

I følge bonden trakk føringsanlegget til gris 35 kW. Benytter oss av *NEK 400* [5] for å velge riktig installasjonsmetode. Tabell 52B-1 gir oss *installasjonsmetode D2*. Siden denne kableen skal ligge alene kan vi anta at reduksjonsfaktor, k , er lik 1 som beskrevet i *NEK 400, tabell 52B-16* og temperaturkorreksjonsfaktor, $k_t=1,10$ som i *NEK 400*,

4.1 Termisk dimensjonering av ledertverrsnitt

Effekt [kW]	Forsyning [V]	I_b [A]	I_z [A]	Dimensjon [Cu] [mm ²]	Dimensjon [Al] [mm ²]
35	230	127,5	115,9	3x50	3x70
35	400	73,3	66,6	3x16	3x25

Tabell 4.1.13: Fôringsanlegg: Strømmer, og lederdimensjoner ved 230 V og 400 V

tabell 52B-15. Bruker NEK 400, tabell 52B-4, kolonne åtte, referanseinstallasjonsmetode D2 og velger riktig tverrsnitt:

Ventilasjon:

For å finne ut hvor mye ventilasjonsanlegget trekker har vi brukt følgende formel:

$$Q_{vent} = \frac{C \times L \times (1 - \eta) \times G \times h \times \left(\frac{t}{168}\right)}{1000} kWh \quad (4.1.8)$$

Og med følgende parametre:

- C [luftens varmekapasitet]=0,33 Wh/m³K
- L [luftmengde]=1855,5 m³/h [(L x B x H)/2]
- η =0,8
- G [graddagstall for aktuelt klima] [39] =4150
- h [timer i ett døgn]=24 h
- t [driftstimer per uke]=168 h

Får vi følgende resultat:

$$Q_{vent} = \frac{0,33Wh/m^3K \times 1855,5m^3/h \times (1 - 0,8) \times 4150 \times 24h \times \frac{168h}{168h}}{1000} = 12197,31kWh/\text{år} \quad (4.1.9)$$

Som blir:

$$Q_{vent,dag} = \frac{12197,31kWh/\text{år}}{365dager/\text{år}} = 33,41kWh/dag \quad (4.1.10)$$

Dette gir et effekttrekk ved drift på:

$$Q_{vent,time} = \frac{33,41kWh/dag}{24h/dag} \approx 1,4kW \quad (4.1.11)$$

Går inn i NEK 400, tabell 53B-1 [5] og bestemmer oss for *installasjonsmetode C*. Denne kablet ligger alene og med omgivelsestemperatur på 15°C, kan vi anta at temperaturkorreksjonsfaktor, $k_t=1,17$ som i NEK 400, tabell 52B-14. [5] Dermed kan vi finne

4.1 Termisk dimensjonering av ledertverrsnitt

riktig tverrsnitt for kabelen til ventilasjonsanlegget til grisene. Bruker da *NEK 400, tabell 52B-4* [5], kolonne seks, referanseinstallasjonsmetode C og velger riktig tverrsnitt:

Videre beregninger gir disse resultatene for dimensjonering:

Effekt [kW]	Forsyning [V]	I_b [A]	I_z [A]	Dimensjon [Cu] [mm ²]
1,4	230	5,1	4,4	3x1,5
1,4	400	2,9	2,5	3x1,5

Tabell 4.1.14: Ventilasjon: Strømmer, og lederdimensjoner ved 230 V og 400 V

Belysning:

Paragraf §14. Lys i Forskrift om hold av svin forteller at lysintensiteten skal være på minst 75 lux i minst 8 timer per dag. [9] Her tar vi utgangspunkt i at lysintensiteten skal være på 100 lux. Ved å bruke situasjonskart fra *kapittel 3.2*, beregnet vi oss fram til grise fjøsets dimensjoner: Lengde = 86,5 meter og bredde = 14,3 meter. Det ble oppgitt av oppdragsgiver at høyden i fjøset er litt ujevn, men at snitthøyden er på 3 meter. Det antas samme refleksjoner i tak, vegger og gulv som i *kapittel 4.1.3 - Belysning*: $\rho_t=0,5$, $\rho_v=0,5$ og $\rho_a=0,2$ og at vedlikeholdsfaktoren, v , er 0,75. Bruker ligning 3.14.1 og finner romfaktoren, k :

$$k = \frac{86,5m \times 14,3m}{3m \times (86,5m + 14,3m)} = 4,1 \approx 4 \quad (4.1.12)$$

Bruker figur 3.14.1 og romfaktoren for å finne virkningsgraden. Finner at $\eta=0,6$. Lumen per armatur er som tidligere nevnt 32500 lm. [10] Bruker ligning 3.14.2 for å finne antall armaturer som trengs:

$$N = \frac{100lm/m^2 \times (86,5m \times 14,3m)}{32500lm \times 0,6 \times 0,75} = 8,45 \approx 9 \quad (4.1.13)$$

Her kan vi velge å montere lysarmaturene 3x3, eller øke antall lysarmaturer og montere 2x5. Vi velger sist nevnte og får 10 armaturer. Ettersom gris trenger godt med lys for å sikre god helse og velferd, og for å produsere stoffer som er viktig for et godt immunforsvar og trivsel, velges det lysarmaturer med 400 W/armatur. Bruker ligning 3.14.3 og får at den totale effekten er:

$$P_{Total} = 10 \times 400W = 4kW \quad (4.1.14)$$

Bruker *NEK 400 - Elektriske lavspenningsinstallasjoner* [5] til å finne samme installasjonsmetode og referanseinstallasjonsmetode som i *kapittel 4.1.3*. Ettersom ønsket temperatur i kufjøset er 15°C, brukes tabell 52B-14 for å finne korreksjonsfaktor, k , for temperatur. Finner at $k_{temp}=1,17$. Forlegning av kabel blir samme som i *kapittel 4.1.3*, dermed blir også korreksjonsfaktorer samme - $k=0,95$ for en kurs og $k=0,81$ for to kurser.

4.1 Termisk dimensjonering av ledertverrsnitt

Videre beregninger gir disse resultatene for dimensjonering:

Enfase					
Antall kurser	Effekt [kW]	I_b [A]	I_z [A]	Dimensjon [Cu] [mm ²]	Dimensjon [Al] [mm ²]
1	4	20	18	3x2,5	3x2,5
2	4	10	10,5	3x1,5	3x2,5

Tabell 4.1.15: Belysning: oversikt over strømmer, kurser og lederdimensjoner ved 230 V, enfase

Trefase					
Antall kurser	Effekt [kW]	I_b [A]	I_z [A]	Dimensjon [Cu] [mm ²]	Dimensjon [Al] [mm ²]
1	4	20	12,6	3x1,5	3x2,5

Tabell 4.1.16: Belysning: oversikt over strømmer, kurser og lederdimensjoner ved 230 V, trefase

Fullstendige utregninger for grisekjøs finnes i vedlegg 20.

4.1.5 Hovedhus

Belastningen i huset er satt til 31 kW med en samtidighetsfaktor på 0,6. Benytter oss av *NEK 400, tabell 52B-1* [5] og velger installasjonsmetode D2, kabel direkte i jord. Siden kablet til huset ligger alene kan vi anta en reduksjonsfaktor, $k=1$, og en temperaturkorreksjonsfaktor for PVC, $k_t=1,10$ og $k_t=1,07$ for PEX i følge *NEK 400, tabell 52B-15*. [5] Benytter oss av *NEK 400, tabell 52B-4 og 52B-5* [5] og velger riktig kabeldimensjon:

Effekt [kW]	Forsyning [V]	I_b [A]	I_z [A]	Dimensjon [Cu] [mm ²]	Dimensjon [Al] [mm ²]
31	230	112,9	102,6	3x35	3x50
31	400	64,9	59	3x16	3x16

Tabell 4.1.17: Tilførsel hovedhus: oversikt over strømmer og lederdimensjoner ved 230 V og 400 V

Fullstendige utregninger for hovedhus finnes i vedlegg 21.

4.2 Spenningsfall

Ved beregning av spenningsfall er det effekt lasten trekker og lengde på kabel som avgjør spenningsfallet. For å beregne spenningsfall skal vi benytte oss av ligningene 3.15.2, 3.15.3 og 3.15.4. I tillegg benytter vi oss av resistans- og reaktansverdier oppgitt av FEBDOK.

Kabeldimensjon [mm ²]	Materiale	Resistans [mΩ/m]	Reaktans [mΩ/m]
3x1,5	Cu	12,1	0,106
3x2,5	Cu	7,41	0,11025
3x4	Cu	4,61	0,1
3x25	Al	1,2	0,079
3x95	Al	0,32	0,075
3x240	Al	0,125	0,072
3x3x240	Al	0,125	0,081

Tabell 4.2.1: Oversikt over resistanser og reaktanser ved forskjellig tverrsnitt og ledermateriale

Med effektfaktor 0,689 får vi at vinkelen mellom spenning og strøm er:

$$\varphi = \arccos(0,689) = 46,49^\circ \quad (4.2.1)$$

Dette gir oss:

$$\sin\varphi = \sin(46,49) = 0,7247^\circ \quad (4.2.2)$$

4.2.1 Transformator til hovedtavlene

Ved beregning av spenningsfall fra transformator til hovedtavlene, har vi tatt utgangspunkt i at det er benyttet en kabel med dimensjon 3x3x240 mm². Lengde på kabel til kufjøset er 360 m, og til grisfjøset 190 m. Ettersom det er tre ledere i parallell, må vi først finne kabelens totale resistans og reaktans:

$$R_{Kufjøs} = 360m \times \left(\frac{1}{0,125m\Omega/m} + \frac{1}{0,125m\Omega/m} + \frac{1}{0,125m\Omega/m} \right)^{-1} = 15m\Omega \quad (4.2.3)$$

$$X_{Kufjøs} = 360m \times \left(\frac{1}{0,081m\Omega/m} + \frac{1}{0,081m\Omega/m} + \frac{1}{0,081m\Omega/m} \right)^{-1} = 5,13m\Omega \quad (4.2.4)$$

$$R_{Grisefjøs} = 190m \times \left(\frac{1}{0,125m\Omega/m} + \frac{1}{0,125m\Omega/m} + \frac{1}{0,125m\Omega/m} \right)^{-1} = 7,91m\Omega \quad (4.2.5)$$

$$X_{Grisefjøs} = 190m \times \left(\frac{1}{0,081m\Omega/m} + \frac{1}{0,081m\Omega/m} + \frac{1}{0,081m\Omega/m} \right)^{-1} = 5,13m\Omega \quad (4.2.6)$$

4.2 Spenningsfall

Ved å benytte oss av ligningene 3.15.2, 3.15.3 og 3.15.4 og tabell 4.2.1 får vi følgende oversikt over spenningsfall ved bruk av aluminiumleder:

Dimensjonerende spenning [V]	Lengde [m]	Lederdim. [Al]	Spenningsfall, ΔU [%]
240	360	3x3x240	1,746
240	190	3x3x240	1,38

Tabell 4.2.2: Spenningsfall sett fra transformator ved bruk av aluminiumleder

Fullstendige utregninger for spenningsfall fra transformator til hovedtavlene finnes i vedlegg 28.

4.2.2 Kufjøs

Ved beregning av spenningsfall i kufjøsset, ser vi på kursene for belysning, melkerobot og fôrblander. Vi har følgende data:

- Belysningsanlegget trekker 6,4 kW
- Melkerobot trekker 7 kW
- Fôrblander trekker 30 kW
- Samme effektfaktor og vinkel som i *kapittel 4.2.1*
- Dimensjonerende spenning er 240 V - $(240 \text{ V} \times 0,01746) = 235,8 \text{ V}$

Beregnet termisk dimensjon på ledere er $3 \times 70 \text{ mm}^2$ for fôrblander, $3 \times 4 \text{ mm}^2$ for melkerobot og $3 \times 1,5 \text{ mm}^2$ for belysning. Ettersom tverrsnittet på ledere som forsyner fôrblander er 70 mm^2 , velger vi en aluminiumleder og øker dimensjonen til 95 mm^2 . Dimensjonen på ledere som forsyner belysning og melkerobot er liten, derfor vil det være mest gunstig å velge kobberledere.

Benytter oss av ligningene 3.15.2, 3.15.3 og 3.15.4 og tabell 4.2.1 og finner spenningsfall:

Dimensjonerende spenning [V]	Lengde [m]	Effekt [kW]	Lederdim. [mm^2]	Spenningsfall ΔU [V]
230	50	6,40	3x4	2,62
230	15	7,00	3x4	0,9
230	25	30,00	3x95	0,547

Tabell 4.2.3: Spenningsfall ved bruk av aluminiumleder og kobberleder i kufjøsset

Fullstendige utregninger for spenningsfall i kufjøsset finnes i vedlegg 29.

4.2 Spenningsfall

4.2.3 Ladekurs

For beregning av spenningsfall på ladekurs, har vi følgende data:

- Effekt på lader til gårdkjøretøy er 43 kW
- Effekt på lader til elbil er 12 kW
- Lengde på kabel fram til anleggsgarasjen er 164 meter
- Effektfaktoren er 0,689
- Dimensjonerende spenning for tilførsel er 235,8 V
- Dimensjonerende spenning for kursene blir $235,8 \text{ V} - (235,8 \text{ V} \times 0,025) = 229,9 \text{ V}$

Ettersom lengden på kabel er 160 meter, ser vi bort fra kapasitanser. På grunn av kabelens lengde og dimensjon, vil det være økonomisk ugunstig å bruke en kobberleder. Ved termisk dimensjonering kom vi fram til at dimensjonen på aluminiumleder bør være $3 \times 70 \text{ mm}^2$, men på grunn av økonomisk levetid og vedlikehold velger vi å gå opp til $3 \times 95 \text{ mm}^2$ ved 43 kW. Ved å benytte oss av ligningene 3.15.2, 3.15.3 og 3.15.4 og tabell 4.2.1 får vi følgende oversikt over spenningsfall ved bruk av aluminiumleder:

Dimensjonerende spenning [V]	Lengde [m]	Effekt [kW]	Lederdim. [Al]	Spenningsfall, ΔU [%]
240	160	43	3x240	2,55
240	10	43	3x95	0,33
240	50	12	3x25	1,45

Tabell 4.2.4: Spenningsfall ved bruk av aluminiumleder i anleggsgarasjen

Fullstendige utregninger for spenningsfall for ladekurs finnes i vedlegg 30.

4.2.4 Grisefjøs

For å beregne spenningsfall i grisefjøsset, bruker vi følgende data:

- Lenge på tilførselskabel er 190 m
- Belysning trekker 4 kW
- Fôringanlegg trekker 35 kW

4.3 Lastflytanalyse

- Ventilasjon trekker 1,4 kW
- Samme effektfaktor og vinkel som i *kapittel 4.2.1*
- Dimensjonerende spenning er $240\text{ V} - (240\text{ V} \times 0,0183) = 235,6\text{ V}$

Beregnet termisk dimensjon for belysning og ventilasjon er $3 \times 1,5\text{ mm}^2$, og for fôringsanlegget $3 \times 70\text{ mm}^2$. Dimensjonen til kabelen som forsyner fôringsanlegg økes til $3 \times 95\text{ mm}^2$ for å øke økonomisk levetid og minske vedlikeholdskostnader. Benytter oss av ligningene 3.15.2, 3.15.3 og 3.15.4 og tabell 4.2.1 for å finne spenningsfall:

Dimensjonerende spenning [V]	Lengde [m]	Effekt [kW]	Lederdim [mm ²].	Spenningsfall ΔU [V]
230	80	4	3x2,5	4,19
230	10	1,4	3x1,5	0,32
230	50	35	3x95	1,29

Tabell 4.2.5: Spenningsfall ved bruk av aluminiumleder og kobberleder i grise fjøset

Fullstendige utregninger for spenningsfall i grise fjøset finnes i vedlegg 31.

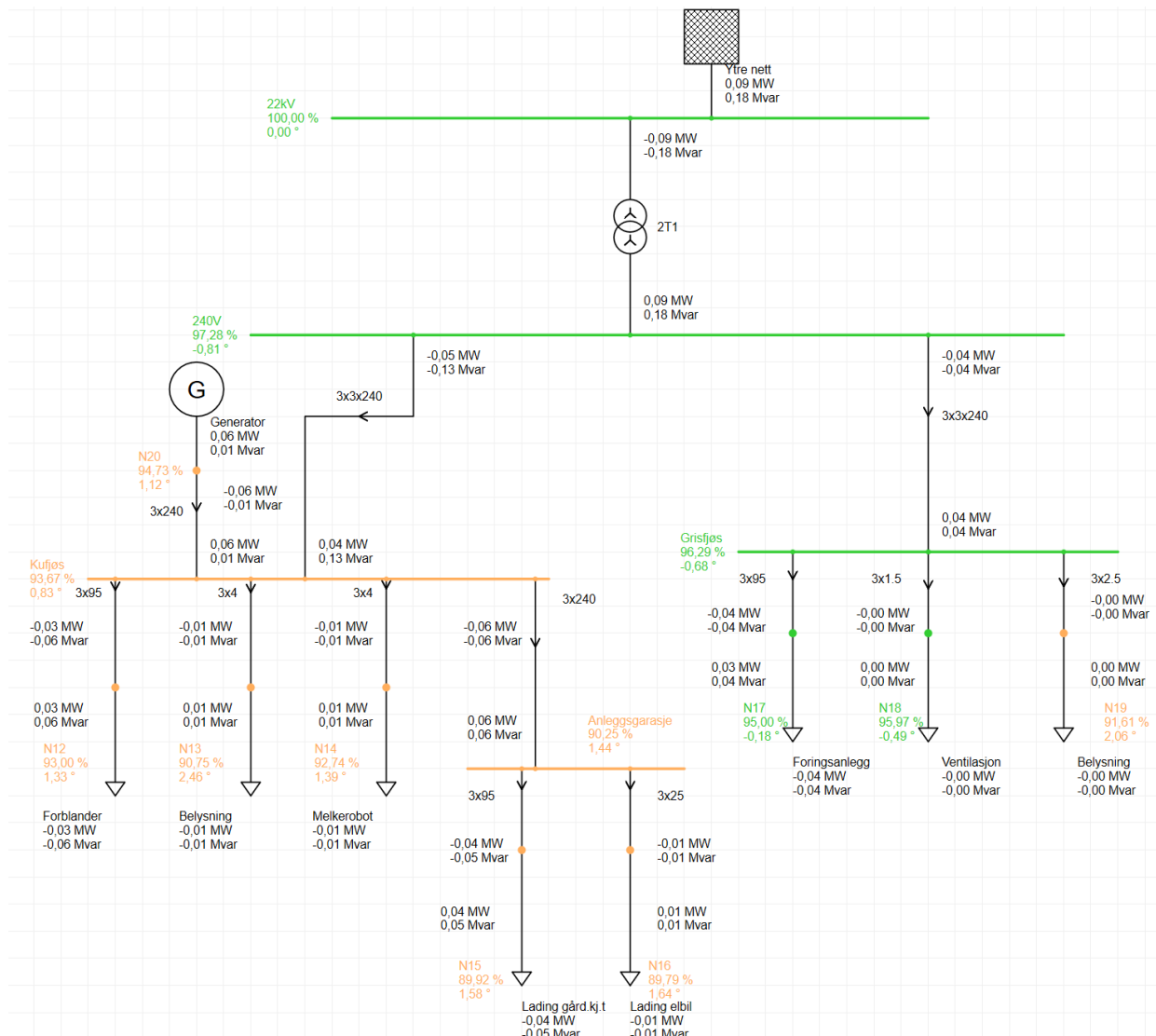
4.3 Lastflytanalyse

For å utføre lastflytanalyse har vi benyttet oss av programmet PSS Sincal. Lastflytanalyse utføres for å se hvor mye effekt som flyter til de forskjellige anleggsdeler, og kan brukes for å sikre at spenningsfallet ikke når et visst nivå.

Figur 4.3.1 viser hvor mye aktiv og reaktiv effekt de forskjellige lastene vil trekke. Av figuren kan vi også se spenningsfall ved de forskjellige lastene og fordelingspunktene. Det er lagt inn en fargefilter som viser spenning under 95 % i oransje, spenning mellom 95 % - 105 % i grønn og spenning over 105 % i rød farge. Av figuren kan vi se at spenningsfall i transformertavle og grise fjøset er 2,72 % og 3,71 %. Av fargekodene kan vi se at spenningsfall i fordelingspunktet i kufjøset og anleggsgarasjen blir over 5 %. Dette er på grunn av de store lastene i kufjøset, og på grunn av den store avstanden mellom fordelingspunktet og anleggsgarasjen.

Figur 4.3.2 viser nøyaktig det samme som figur 4.3.1, bare at systemspenning er satt til 400 V. Av figuren kan vi se at spenningsfallet minker til under 5 % i alle fordelingspunkter, bortsett fra anleggsgarasjen. Grunnen til at spenningsfallet blir så høyt i anleggsgarasjen er som tidligere nevnt den store avstanden mellom fordelingspunktet i kufjøset og fordelingspunktet i anleggsgarasjen. Det er viktig å understreke at det er brukt samme kabler i figur 4.3.1 og 4.3.2. Systemspenning på 400 V ville gitt mindre belastningsstrømmer, som hadde gitt muligheten til å kunne dimensjonere mindre

4.4 Dimensjonering i FEBDOK



Figur 4.3.1: Lastflytanalyse av nettet på gård med 240 V som referansespenning

kabler i endekursene. Det hadde også blitt mindre tap i overførselskablene når mindre strømmer hadde vært nødvendig for å overføre ønsket elektrisk effekt. I tillegg så kunne vi enklere sikret god strømkvalitet i endekursene.

4.4 Dimensjonering i FEBDOK

FEBDOK er et svært egnet program til å gjøre beregninger i elektriske anlegg, og tar utgangspunkt i både NEK 400 [5] og FEL [34] sine lover og normer. Programmet blir med jevne mellomrom oppdatert, slik at det inneholder det meste av tilgjengelige elektriske komponenter på markedet. Det ble satt opp et tenkt nettverk i FEBDOK der det ble dimensjonert for både kabler og vern.

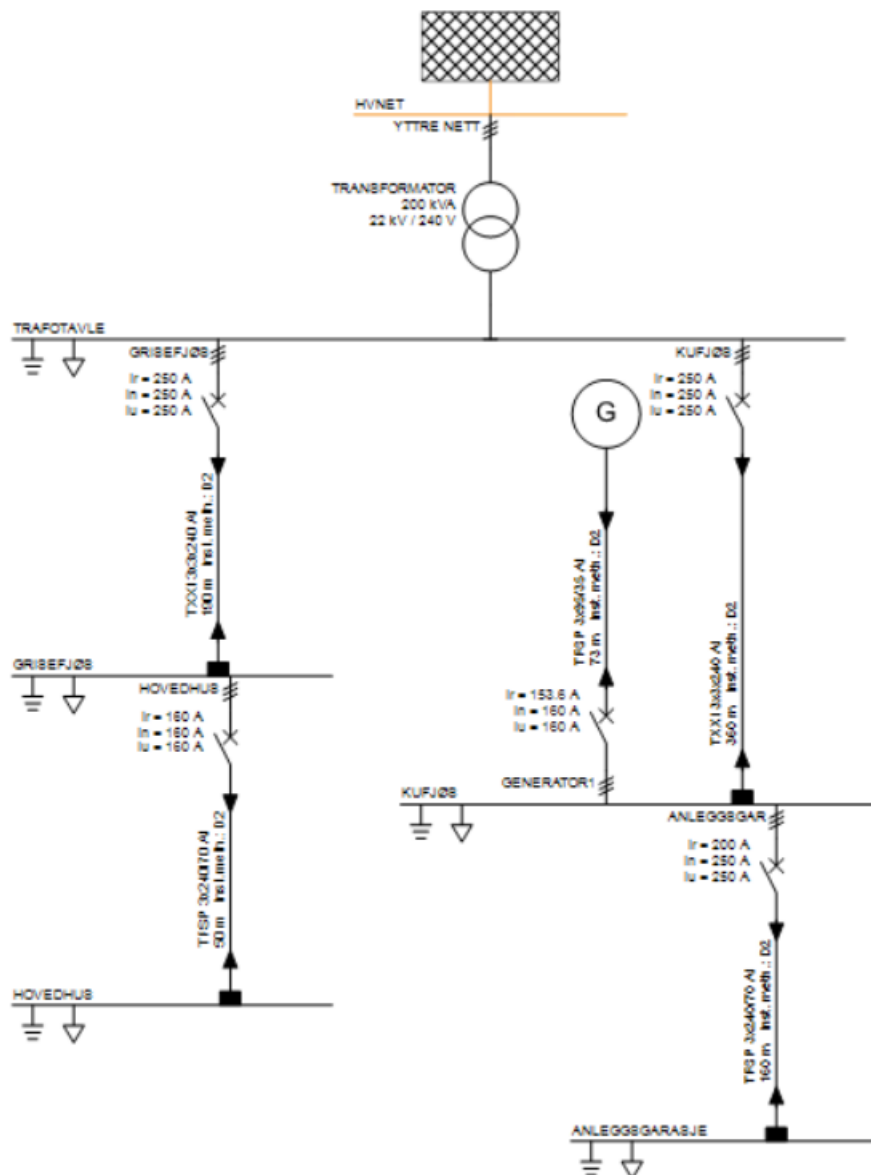
4.4 Dimensjonering i FEBDOK

Kursnummer	Navn på kurs	Tversnitt	Matriale	Lengde	effektrett	Kabeltype
1	Kufjøs	3x3x240mm ²	Al	360 m	49,4 kW	TXXI
2	Forblander kyr	3x150 mm ²	Al	25 m	30 kW	PFSP
3	Belysning kufjøs	3x2,5mm ²	Cu	50 m	6,4 kW	TFSP
4	Melkerobot	3x4 mm ²	Cu	15 m	7 kW	PFSP
5	CHP levering	3x95 mm ²	Al	73 m	50 kW	TFSP
6	CHP driftsbehov	3x1,5mm ²	Cu	73 m	1 kW	PFSP
7	Anleggsgarasje	3x240 mm ²	Al	160 m	43 kW	TFSP
8	lading Gårdskj.tøy	3x95 mm ²	Al	10 m	43 kW	TFSP
9	lading elbil	3x25mm ²	Al	50 m	12 kW	TFSP
10	Grisefjøs	3x3x240 mm ²	Al	190 m	59,7 kW	TXXI
11	føringsanlegg gris	3x150 mm ²	Al	50 m	35 kW	PFSP
12	Ventilasjon grisefjøs (med varmegjenvinning)	3x1,5mm ²	Cu	10 m	1,4 kW	PFSP
13	Belysning grisefjøs	3x2,5mm ²	Cu	80 m	4 kW	PFSP
14	Hovedhus	3x240mm ²	Al	50 m	19,3 kW	TFSP
15	Belysning kjøkken	2x2,5 mm ²	Cu	30 m	2 kW	PFSP
16	Stikk kjøkken	2x2,5 mm ²	Cu	30 m	4 kW	IFSI
17	Oppvaskmaskin	2x2,5 mm ²	Cu	15 m	2 kW	PFSP
18	stekeovn	3x4 mm ²	Cu	15 m	7 kW	IFSI
19	Platetopp	3x1,5 mm ²	Cu	15 m	4 kW	IFSI
20	Lys + stikk stue	2x2,5 mm ²	Cu	35 m	3,2 kW	IFSI
21	lys + stikk soverom 1+2	2x1,5 mm ²	Cu	40 m	1,5 kW	PFSP
22	lys + stikk soverom 3+4	2x1,5 mm ²	Cu	40 m	1,5 kW	PFSP
23	Baderom belysning + stikk	2x1,5 mm ²	Cu	30 m	1 kW	PFSP
24	Vaskerom belysning + stikk	2x1,5 mm ²	Cu	30 m	0,5 kW	PFSP
25	Vaskemaskin	2x2,5 mm ²	Cu	15 m	2,5 kW	IFSI
26	Tørketrommel	2x2,5 mm ²	Cu	15 m	3 kW	IFSI

Tabell 4.4.1: Oversikt over kabeldimensjonering i FEBDOK

Disse kablene er dimensjonert etter anbefalinger gjort av programmet, samt justeringer som ble gjort for å få akseptabelt spenningsfall på alle kursene. Lengdene på kablene er beregnet ut i fra figur 3.2.1, og ut i fra antagelser på steder hvor slike beregninger ikke var mulig. Effekttrekkene som er lagt inn er oppgitt data fra gårdeier Inge Hoem-snes, noen egne antagelser, og tatt fra Enøk sin guide om energiforbruk i bolig. [40] Materialet og kabeltype er valgt etter det som er ansett som mest vanlig tilførsel hos hver kurs.

4.5 Valg av overstrømsvern



Figur 4.4.1: FEBDOK nettverk

4.5 Valg av overstrømsvern

Ved valg av overstrømsvern til kursene som skal forsyne ladeanlegg må vi ta utgangspunkt i belastningsstrøm for hver kurs. NEK 400, §533.2, kapittel 533.2.1 oppgir at:

- Merkestrømmen til overbelastningsvernet, I_n er større eller lik kursens dimensjonerende strøm, I_b
- Merkestrømmen til overbelastningsvernet, I_n er mindre eller lik kabelens strømføringssevne, I_z

4.5 Valg av overstrømsvern

- Strømmen som sikrer utkobling av vernet innen en fastsatt tid, I_2 , skal være mindre eller lik kabelens strømføringsevne multiplisert med en faktor på 1,45.

Punktene ovenfor gir oss følgende formler for valg av overstrømsvern:

$$I_b \leq I_n \leq I_z \quad (4.5.1)$$

$$I_2 \leq 1,45 \times I_z \quad (4.5.2)$$

4.5.1 Kufjøs

Ved valg av overstrømsvern til belysningsanlegg, fôrblender og melkerobot i kufjøset, tar vi utgangspunkt i kravene fra *NEK 400, §533.2, kapittel 533.2.1*. I *kapittel 4.1.3* beregnet vi belastningsstrømmer og ledertverrsnitt for både en- og trefase. Her tar vi for oss kun trefase med en kurs. Fra *kapittel 4.1.3* har vi følgende oversikt for trefase med en kurs:

Antall kurser	Effekt [kW]	Kabeldim. mm ² [Cu]	Belastningsstrøm [I_b] [A]
1	6,4	3x4 mm ²	20 A

Tabell 4.5.1: Trefase med tilsvarende belastningsstrøm og ledertverrsnitt for belysning i kufjøset

Benytter oss av ligningene 4.5.1 og 4.5.2 for å finne den nominelle strømmen til vern:

- En kurs: $20 \text{ A} \leq I_n$

Sikringens nominelle strøm skal være mindre eller lik lederens strømføringsevne x 1,45:

- En kurs [Cu]: $25 \text{ A} \leq 1,45 \times 32 \text{ A}$

Får følgende oversikt for belysning med trefase, 1 kurs:

Fra *kapittel 4.1.3* har vi følgende oversikt for melkerobot:

Benytter oss av ligning 4.5.1 for å finne vernets nominelle strøm:

- $25.5 \text{ A} \leq 32 \text{ A} \leq 33 \text{ A}$

4.5 Valg av overstrømsvern

Antall kurser	Belastningsstrøm [I_b] [A]	Vern [I_n] [A]	Kabeldim. mm ² [Cu]
1	20	25	3x4 mm ²

Tabell 4.5.2: Oversikt over belastningsstrømmer, nominell strøm på sikringer og lederdimensjoner for trefase belysning i kufjøset

Antall kurser	Effekt [kW]	Kabeldim. mm ² [Cu]	Belastningsstrøm [I_b] [A]
1	7	3x4	25,5

Tabell 4.5.3: Oversikt over belastningsstrøm, effekt og kabeldimensjon for melkerobot

Benytter oss av ligning 4.5.2:

- $32 \text{ A} \leq 1,45 \times 33 \text{ A}$

Får følgende oversikt:

Antall kurser	Belastningsstrøm [I_b] [A]	Vern [I_n] [A]	Kabeldim. mm ² [Cu]
1	25,5	32	3x4 mm ²

Tabell 4.5.4: Oversikt over belastningsstrømmer, nominell strøm på sikringer og lederdimensjon for melkerobot

Fra *kapittel 4.1.3* har vi følgende oversikt for fôrblander:

Antall kurser	Effekt [kW]	Kabeldim. mm ² [Al]	Belastningsstrøm [I_b] [A]
1	30	3x150	110

Tabell 4.5.5: Oversikt over belastningsstrøm, effekt og kabeldimensjon for fôrblander

Benytter oss av ligningene 4.5.1 og 4.5.2:

- $150 \text{ A} \leq 160 \text{ A} \leq 220 \text{ A}$
- $160 \text{ A} \leq 1,45 \times 220 \text{ A}$

Får følgende oversikt:

4.5 Valg av overstrømsvern

Antall kurser	Belastningsstrøm [I_b] [A]	Vern [I_n] [A]	Kabeldim. mm ² [Al]
1	110	160	3x150

Tabell 4.5.6: Oversikt over belastningsstrømmer, nominell strøm på sikringer og lederdimensjon for fôrblander

Kurs	Effekt [kW]	Kabeldim mm ² [Al]	Belastningsstrøm [I_b] [A]
1	12	3x25	43,7
2	43	3x95	156,6

Tabell 4.5.7: Oversikt over effekt kursene trekker, lederens minste tverrsnitt og belastningsstrøm for ladekurser

4.5.2 Ladestasjon

Fra kapittel 4.1.2 - Minste ledertverrsnitt til ladestasjoner har vi følgende oversikt:

Kursens dimensjonerende strøm skal være mindre eller lik sikringens nominelle strøm:

- Kurs 1: $43,7 \text{ A} \leq I_n$
- Kurs 2: $156,6 \text{ A} \leq I_n$

Strømmen som sikrer utkobling av vernet innen fastsatt tid skal være mindre enn eller lik kursens strømføringsevne. Den nominelle strømmen til sikring som skal beskytte kurs 1 settes til 50 A. Sikring som skal beskytte kurs 2 settes til 160 A

- Kurs 1: $50 \text{ A} \leq 1,45 \times (82 \text{ A})$
- Kurs 2: $160 \text{ A} \leq 1,45 \times (172 \text{ A})$

Oversikt over kabeldimensjoner og vern for ladekursene:

Kurs	Belastningsstrøm [I_b] [A]	Vern [I_n] [A]	Kabeldim. mm ² [Al]
1	43,7	50	3x25
2	156,6	160	3x95

Tabell 4.5.8: Oversikt over belastningsstrøm, sikringens nominelle strøm og kabeldimensjoner for ladekurser

4.5 Valg av overstrømsvern

4.5.3 Grisefjøs

For valg av overstrømsvern til belysningsanlegget i grisefjøset, tar vi utgangspunkt i de samme kravene som ved valg av overstrømsvern til kufjøset. Her tar vi utgangspunkt i trefase, en kurs. Fra *kapittel 4.1.4* har vi følgende oversikt:

Antall kurser	Effekt [kW]	Belastningsstrøm [I_b] [A]	Kabeldim. mm ² [Cu]
1	6	12	3x2,5

Tabell 4.5.9: Oversikt over belastningsstrømmer og dimensjonert ledertverrsnitt for trefase belysning i grisefjøset

Den nominelle strømmen for sikringene, I_n , settes til 16 A trefase. Denne strømmen skal være mindre eller lik lederens strømføringssevne x 1,45:

- En kurs [Cu]: $16 \text{ A} \leq 1,45 \times 24 \text{ A}$

Oversikt over sikringenes nominelle strøm vises i tabellen under:

Antall kurser	Belastningsstrøm [I_b] [A]	Vern [I_n] [A]	Kabeldim. mm ² [Cu]
1	12	16	3x2,5

Tabell 4.5.10: Oversikt over antall kurser, belastningsstrøm, sikringens nominelle strøm og lederdimensjoner for belysning i grisefjøset

Fra *kapittel 4.1.4* har vi følgende oversikt over fôringsanlegg:

Antall kurser	Effekt [kW]	Belastningsstrøm [I_b] [A]	Kabeldim. mm ² [Al]
1	35	127,5	3x150

Tabell 4.5.11: Oversikt over belastningsstrømmer og dimensjonert ledertverrsnitt for fôringsanlegg

Bruker ligningene 4.5.1 og 4.5.2:

- $127,5 \text{ A} \leq 160 \text{ A} \leq 220 \text{ A}$
- $160 \text{ A} \leq 1,45 \times 220 \text{ A}$

Får følgende oversikt:

4.5 Valg av overstrømsvern

Antall kurser	Belastningsstrøm $[I_b]$ [A]	Vern $[I_n]$ [A]	Kabeldim. mm^2 [Al]
1	127,5	160	3x150

Tabell 4.5.12: Oversikt over antall kurser, belastningsstrøm, sikringens nominelle strøm og lederdimensjon for føringsanlegg

Antall kurser	Effekt [kW]	Belastningsstrøm $[I_b]$ [A]	Kabeldim. mm^2 [Cu]
1	1,4	5,1	3x1,5

Tabell 4.5.13: Oversikt over belastningsstrømmer og dimensjonert ledertverrsnitt for ventilasjonsanlegg

Fra kapittel 4.1.4 har vi følgende oversikt over ventilasjonsanlegg:

Bruker ligningene 4.5.1 og 4.5.2:

- $5.1 \text{ A} \leq 6 \text{ A} \leq 17.5 \text{ A}$
- $6 \text{ A} \leq 1,45 \times 17,5 \text{ A}$

Får følgende oversikt:

Antall kurser	Belastningsstrøm $[I_b]$ [A]	Vern $[I_n]$ [A]	Kabeldim. mm^2 [Cu]
1	5,1	6	3x1,5

Tabell 4.5.14: Oversikt over antall kurser, belastningsstrøm, sikringens nominelle strøm og lederdimensjon for ventilasjonsanlegg

4.5 Valg av overstrømsvern

4.5.4 Vern i FEBDOK

Som nevnt i *kapittel 4.4* har det blitt laget et tenkt nettverk i FEBDOK. Her ble det også dimensjonert med vern. I tabell 4.5.15 er alle kursene fra programmet listet opp med belastningsstrøm og valgt størrelse på sikringen.

Kursnummer	Navn på kurs	Belastningsstrøm	Sikring
1	Kufjøs	172,5 A	250 A
2	Forblander kyr	109,2 A	160 A
3	Belysning kufjøs	22,3 A	25 A
4	Melkerobot	25,3 A	32 A
5	CHP levering	150,4 A	160 A
6	CHP driftsbehov	3,6 A	4 A
7	Anleggsgarasje	156,6 A	250(200) A
8	lading Gårdskj.tøy	156,6 A	250(160) A
9	lading elbil	43,7 A	50 A
10	Grisefjøs	208,3 A	250 A
11	fôrringsanlegg gris	127,5 A	250 A
12	Ventilasjon grisefjøs (med varmegjenvinning)	5,1 A	6A
13	Belysning grisefjøs	14,5 A	16 A
14	Hovedhus	67,3 A	160 A
15	Belysning kjøkken	12,6 A	13 A
16	Stikk kjøkken	24,2 A	25 A
17	Oppvaskmaskin	12,6 A	13 A
18	Stekeovn	24,3 A	25 A
19	Platetopp	40,2 A	16 A
20	Lys + stikk stue	20,2 A	25 A
21	lys + stikk soverom 1+2	9,5 A	10 A
22	lys + stikk soverom 3+4	9,5 A	10 A
23	Baderom belysning + stikk	6,3 A	8 A
24	Vaskerom belysning + stikk	3,2 A	4 A
25	Vaskemaskin	15,8 A	16 A
26	Tørketrommel	18,9 A	20 A

Tabell 4.5.15: Oversikt over verndimensjonering i FEBDOK

Vernene er valgt etter anbefalingene fra FEBDOK som tidligere nevnt følger lover og normer fra både NEK 400 og FEL. Det har i tillegg blitt gjort justeringer i forhold til selektivitet mellom vernene, noe som det blir sett nærmere på i *kapittel 4.7.1*.

4.6 Varmebehov grise fjøs

For å vite hvor mye energi som trengs for å varme opp grise fjøset til ønsket temperatur, må vi først finne bygningens varmebehov. Grise fjøset er bygd av tre, og det ble oppgitt av gårdeieren at isolasjon er av typen Rockwool A-klasse. Veggene i grise fjøset er 10 cm tykke, og inni veggene finner vi isolasjon som er 10 cm tykk. I taket er det lagt 30 cm isolasjon. Det antas at isolasjonen er laget av steinull. Grise fjøset er utstyrt med ventilasjonsanlegg, men luftstrømmen skapt av ventilasjonsanlegget er ukjent, dermed antas denne å være $0,02 \text{ m}^3/\text{s}$. Videre antas det at infiltrasjonstap er 0,1 luftskift per time. Ønsket innetemperatur er 15°C . Bruker datablad for *Varmeteknikk*⁸, og finner at dimensjonerende utetemperatur er -18°C .

For å finne bygningens varmebehov må vi først beregne transmisjons-, ventilasjons- og infiltrasjonstap. For å gjøre dette benytter vi følgende verdier:

Varmekapasitet luft	Varmeledningsevne tre, λ_p	Varmeledningsevne steinull λ_p
$1260 \text{ J/m}^3 \times \text{K}$	$0,12 \text{ W}/(\text{m} \times \text{K})$	$0,04 \text{ W}/(\text{m} \times \text{K})$

Tabell 4.6.1: Varmekapasitet og varmeledningsevne for luft, tre og steinull.

Transmisjon

For å bestemme varmemotstand for hver komponent i vegg benytter vi oss av formel 3.16.1:

$$\rho_{tre} = \frac{0,1\text{m}}{0,12\text{W}/(\text{m} \times \text{K})} = 0,83 \frac{\text{m}^2 \times \text{K}}{\text{W}} \quad (4.6.1)$$

$$\rho_{steinull} = \frac{0,1\text{m}}{0,04\text{W}/(\text{m} \times \text{K})} = 2,5 \frac{\text{m}^2 \times \text{K}}{\text{W}} \quad (4.6.2)$$

I taket er det lagt 30 cm isolasjon, og dermed blir varmemotstanden:

$$\rho_{steinull} = \frac{0,3\text{m}}{0,04\text{W}/(\text{m} \times \text{K})} = 7,5 \frac{\text{m}^2 \times \text{K}}{\text{W}} \quad (4.6.3)$$

Alle komponenter nevnt ovenfor kan betraktes som seriekoblede varmemotstander. Den totale varmemotstanden blir summen av disse. Benytter oss av formel 3.16.2:

$$\rho_{total} = (4 \times 0,83 + 4 \times 2,5 + 7,5) \frac{\text{m}^2 \times \text{K}}{\text{W}} = 20,82 \frac{\text{m}^2 \times \text{K}}{\text{W}} \quad (4.6.4)$$

⁸Vedlegg 16

4.6 Varmebehov grisekjøles

Benytter oss av ligning 3.16.3 og finner varmegjennomgangskoeffisienten:

$$U = \frac{1}{20,82 \frac{m^2 \times K}{W}} = 0,048 \frac{W}{m^2 \times K} \quad (4.6.5)$$

Når vi har funnet varmegjennomgangskoeffisienten kan vi beregne

Transmisjonstap ved å bruke ligning 3.16.4:

$$P_t = 0,048 \frac{m^2 \times K}{W} \times 86,5m \times 14,3m \times (15^\circ\text{C} - (-18^\circ\text{C})) = 1960W \quad (4.6.6)$$

Ventilasjonstap Benytter oss av ligning 3.16.5 for å beregne ventilasjonstap:

$$P_v = 1260 \frac{J}{m^3 \times K} \times 0,02 \frac{m^3}{s} \times (1 - 0) \times (15^\circ\text{C} - (-18^\circ\text{C})) = 831,6W \quad (4.6.7)$$

Infiltrasjonstap Benytter oss av ligning 3.16.6 for å beregne infiltrasjonstap:

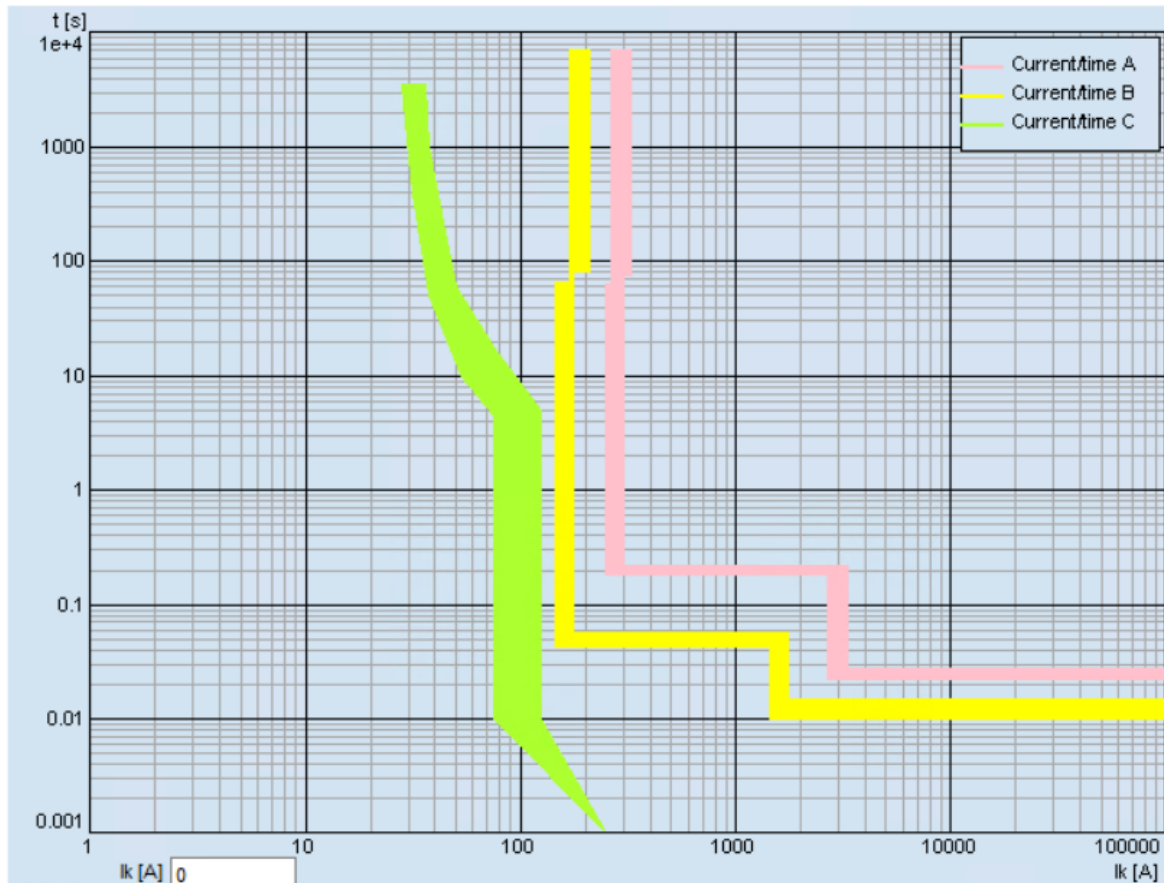
$$P_i = 1260 \frac{J}{m^3 \times K} \times \frac{0,1}{3600} \times 86,5m \times 14,3m \times 3m \times (15^\circ\text{C} - (-18^\circ\text{C})) = 4286W \quad (4.6.8)$$

Til slutt benytter vi oss av ligning 3.16.7 og finner **det totale varmebehovet**:

$$P_{total} = 1960W + 831,6W + 4286W = 6807,6W \quad (4.6.9)$$

4.7 Driftsikkerhet

4.7.1 Selektivitet

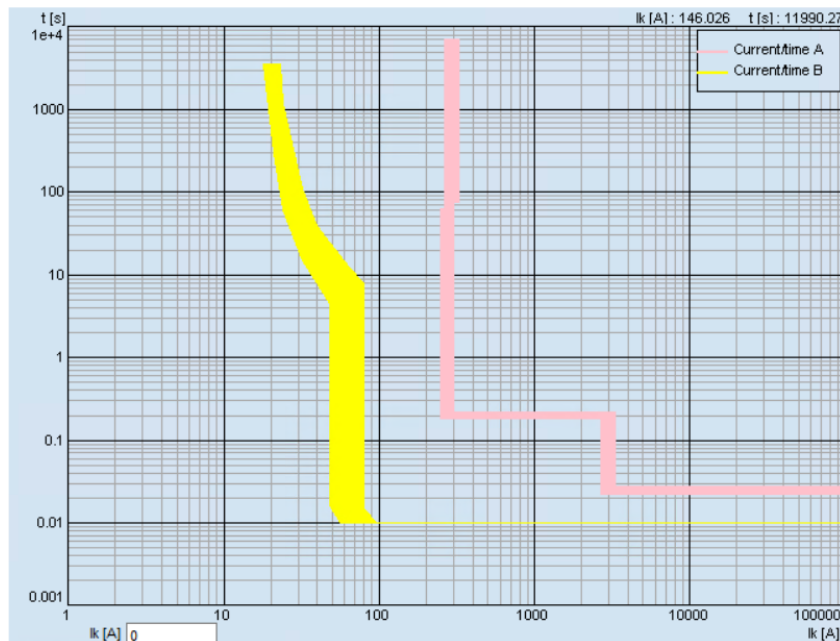


Figur 4.7.1: Strøm-tid-selektivitet i en kurs i hovedhuset

Figur 4.7.1 viser et utklipp fra selektiviteten på en kurs i et nettverk laget i FEBDOK. Det kan for eksempel legges inn tidsforsinkelser slik at det vernet som ligger nærmest feilen løser ut, og lar resten av det rundtliggende nettet være uberørt av feilen. Vernene er forsøkt justert slik at bare vernet nærmest feilen skal slå ut, slik at resten av nettverket som ikke har feil ikke blir utkoblet unødvendig.

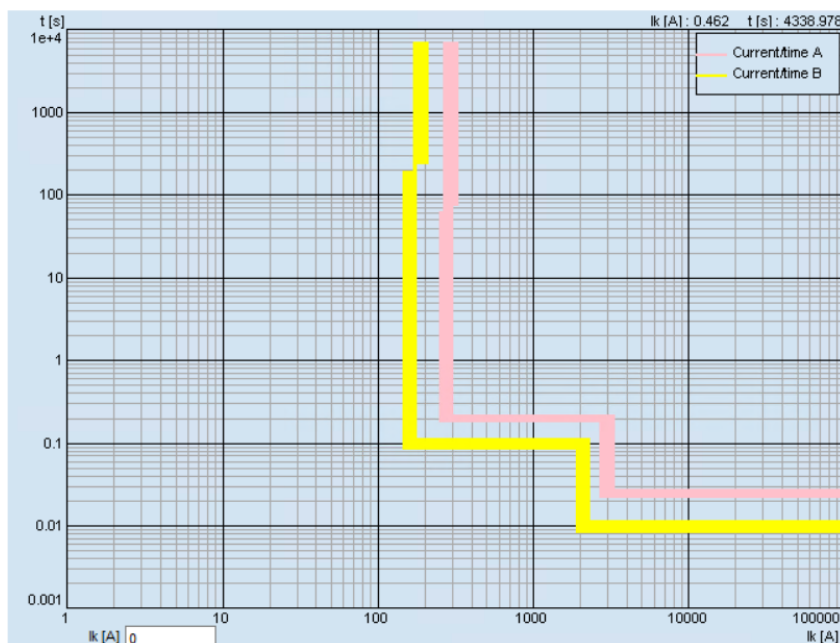
I dette tilfellet har vi oppnådd total selektivitet for alle tre vernene. Om vi får feilstrømmer på denne kursen skal i de fleste tilfeller kun vern C løse ut. Hvis det mot formodning oppstår en større strøm enn vern C klarer å bryte, vil vern B også løse ut. Dette er hovedsikringen i hovedhuset, så dette vil føre til at alle kursene i boligen blir koblet ut, men det vil fortsatt være strømtilførsel i resten av nettet.

Figur 4.7.2 viser selektiviteten for belysningskursen i grisefjøset. Også her har vi total selektivitet, noe som er viktig i et fjøs med så mange dyr. Det er ikke akseptabelt med delvis selektivitet i mellom hovedsikringen i grisefjøset (vern A) og vernet



Figur 4.7.2: Strøm-tid-selektivitet for belysning i grise fjøset

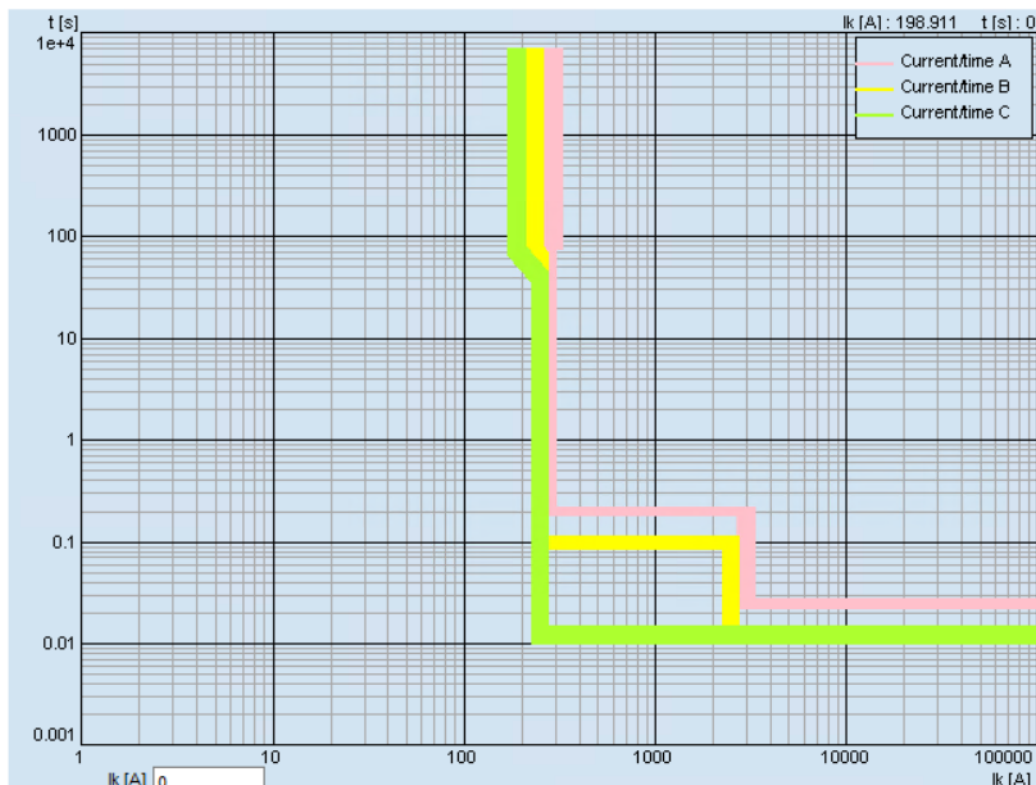
på belyningskursen (vern B). Dette er på grunn av alle husdyrene som oppholdes i fjøset. Hvis det skjer en feil som løser ut vernet på belysningen, er det nødvendig at ventilasjonsanlegget fortsatt holdes i drift.



Figur 4.7.3: Strøm-tid-selektivitet for fôrblenderen i kufjøset

I figur 4.7.3 vises selektivitet for fôrblenderen i kufjøset. Som i de to foregående tilfellene er det oppnådd total selektivitet for denne kursen. Siden kufjøset er åpent, og ikke er avhengig av ventilasjonsanlegg, er ikke total selektivitet like kritisk i kufjøset. Men

det er fortsatt ønskelig så langt det lar seg gjøre.



Figur 4.7.4: Strøm-tid-selektivitet for ladestasjonen i anleggsgarasje

Fra figur 4.7.4 ser man at det er delvis selektivitet mellom sikingen på ladekursen (vern C), og hovedsikringen i tavla i anleggsgarasje (vern B). Dette er akseptabelt, siden det eneste som er tilkoblet tavla i tillegg til lading for anleggskjøretøyene, er lading for elbilen. Enten vi får utkobling bare på vern C, eller vi får utkobling i B, vil ikke dette føre til utkobling av hovedsikringen i hovedtavlen i kufføset.

4.7.2 Nettverksanalyse

Kortslutningsberegninger:

For å kjenne til de høyeste og laveste kortslutnings - strømmene i et elektrisk anlegg er man nødt til å beregne disse for hånd eller ved hjelp av dataprogrammer. Grappa har valgt å gjøre enkelte beregninger for hånd og deretter sammenligne med FEBDOK. Kortslutningsstrømmene er nyttige å ha kjennskap til, fordi det er disse strømmene vern i anlegget skal klare å koble ut. Hos effektbrytere er det ofte oppgitt bryterens bryteevne (I_{cs}), denne skal være minst like stor som eller større enn anleggets største kortslutningsstrøm. Støtstrømmen er også viktig å kjenne til, fordi det er denne som er avgjørende for mekaniske dimensjonerings for anlegget. Ved store kortslutningsstrømmer er det ofte et forankoplet strømbegrensende vern som klipper

bort deler av kortslutningsstrømmen, det vil si at anlegget isåfall kun trenger å dimensjoneres for den strømmen som slipper igjennom det strømbegrensede vernet. Der-
 som man får en stående feil i anlegget kan dette få store konsekvenser som brann og
 ødeleggelser på annet elektrisk utstyr.

Trepolt kortslutningsstrøm

Kortslutning på transformator-klemmene:

Beregning av høyspenningsnettets og transformatorens impedanser når vi vet at
 $S_k=47,301$ MVA:

$$Z_{nett} = \frac{1,1 \times U_N^2}{S_k} = \frac{1,1 \times (240V)^2}{47,301MVA} = 11,25\Omega \quad (4.7.1)$$

Hvor tallet 1,1 er en spenningsfaktor for maksimal kortslutningsstrøm i et 230 V IT-nett.

$$X_{nett} = 0,995 \times Z = 0,995 \times 11,25m\Omega = 11,19\Omega \quad (4.7.2)$$

$$R_{nett} = 0,1 \times X = 0,1 \times 11,19m\Omega = 1,12\Omega \quad (4.7.3)$$

Hvor 0,1 og 0,995 er konstanter ved mangelfull informasjon om nettet. [6]

Summert blir dette på høyspentsiden:

$$Z_{HV} = 1,12 + j11,19\Omega \quad (4.7.4)$$

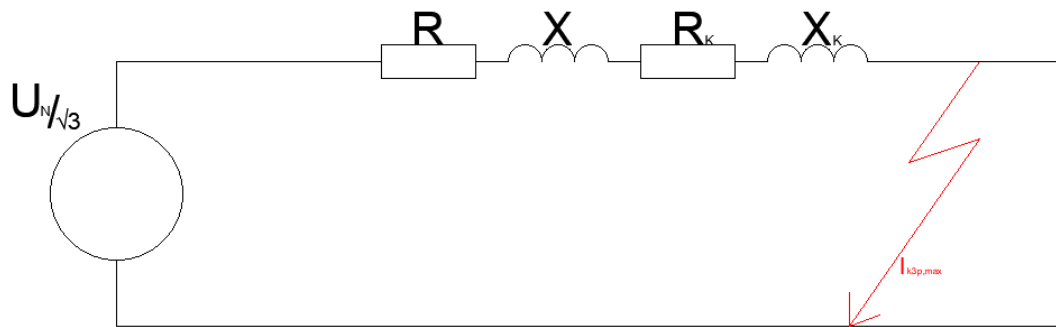
Transformert til lavspentsiden ($n=22$ kV/0,24 kV):

$$Z_{s,1} = \frac{1}{n^2} \times Z_p = 0,13 + j1,33m\Omega \quad (4.7.5)$$

$$R_k = \frac{e_r \times U_N^2}{100 \times S_N} = \frac{1 \times (240V)^2}{100 \times 200kVA} = 2,88m\Omega \quad (4.7.6)$$

$$X_k = \frac{e_x \times U_N^2}{100 \times S_N} = \frac{2,83 \times (240V)^2}{100 \times 200kVA} = 8,15m\Omega \quad (4.7.7)$$

$$Z_k = 2,88 + j8,15m\Omega \quad (4.7.8)$$



Figur 4.7.5: Kortslutning per fase skjema

Summerer alle impedansene frem til feilstedet:

$$Z_{k,1} = Z_{s,1} + Z_k = (0,12 + j1,22)m\Omega + (2,88 + j8,15)m\Omega \quad (4.7.9)$$

$$Z_{k,1} = 3,0 + j9,37m\Omega = 9,83m\Omega \times e^{j72,24} \quad (4.7.10)$$

Trepolet kortslutningsstrøm:

$$I_{k,3pol} = \frac{U_N}{\sqrt{3} \times Z_{k,1}} = \frac{240V}{\sqrt{3} \times 9,83m\Omega} = 14,1kA \quad (4.7.11)$$

Støtstrøm:

$$I_s = 2 \times I_{k3pol} = 2 \times 14,1kA = 28,2kA \quad (4.7.12)$$

Kortslutning på tavla i kufjøset:

Regner ut impedansene i kabelen mellom transformatoren og tavla i kufjøset:

$$R_{L1} = r_1 \times l_1 = 0,125m\Omega/m \times 360m = 45,0m\Omega \quad (4.7.13)$$

$$X_{L1} = x_1 \times l_1 = 0,08105m\Omega/m \times 360m = 29,19m\Omega \quad (4.7.14)$$

$$Z_{L1} = \sqrt{R_{L1}^2 + X_{L1}^2} = \sqrt{45,0^2 + 29,19^2} = 53,64m\Omega \quad (4.7.15)$$

Siden kabelen fra transformatoren er en 3x3-lederkabel kan vi se på disse tre kablene som parallelle. Rekner da ut kabelens impedans:

$$Z_{parallel} = \frac{1}{\frac{1}{53,64m\Omega} + \frac{1}{53,64m\Omega} + \frac{1}{53,64m\Omega}} = 17,88m\Omega \quad (4.7.16)$$

4.7 Driftsikkerhet

Den totale impedansen mellom trafoen og tavla i kufjøset blir da:

$$Z_1 = Z_{parallel} + Z_{k,1} = 17,88m\Omega + 9,83m\Omega = 27,71m\Omega \quad (4.7.17)$$

Trepolt kortslutningsstrøm:

$$I_{k3pol} = \frac{U_N}{\sqrt{3} \times Z_2} = \frac{240V}{\sqrt{3} \times 27,71m\Omega} = 5,0kA \quad (4.7.18)$$

Støtstrøm:

$$I_s = 2,0 \times I_{k3pol} = 2,0 \times 5,0kA = 10,0kA \quad (4.7.19)$$

Kortslutning på tavla i grisekjøset:

Bruker samme fremgangsmåte som for kortslutning på tavle i kufjøset:

Spenning [V]	Impedans [mΩ]	I_{k3pol} [kA]	I_s [kA]
240	19,27	7,2	14,4

Tabell 4.7.1: Kortslutningsberegninger for tavle i grisekjøset

Fullstendige utregninger for grisekjøset finnes i vedlegg 22.

Kortslutning på tavla i anleggsgarasje:

Spenning [V]	Impedans [mΩ]	I_{k3pol} [kA]	I_s [kA]
240	50,79	2,7	5,4

Tabell 4.7.2: Kortslutningsberegninger for tavle i anleggsgarasje

Fullstendige utregninger for anleggsgarasje finnes i vedlegg 23.

Kortslutning på tavle i hovedhus:

Spenning [V]	Impedans [mΩ]	I_{k3pol} [kA]	I_s [kA]
240	26,48	5,3	10,6

Tabell 4.7.3: Kortslutningsberegninger for tavle i hovedhus

Fullstendige utregninger for hovedhus finnes i vedlegg 24.

Topolt kortslutningsstrøm

Kortslutning på transformatorklemmene:

Regner ut impedansene i det ytre nettet:

$$Z_{nett} = \frac{1,0 \times U_N^2}{S_k} = \frac{1,0 \times (22kV)^2}{47,301MVA} = 10,23\Omega \quad (4.7.20)$$

$$X_{nett} = 0,995 \times Z_{nett} = +0,995 \times 10,23\Omega = 10,18\Omega \quad (4.7.21)$$

$$R_{nett} = X_{nett} \times 0,1 = 10,18\Omega \times 0,1 = 1,01\Omega \quad (4.7.22)$$

Når vi summerer disse impedansene får vi:

$$Z_p = 1,01 + j10,18\Omega \quad (4.7.23)$$

Når vi transformerer dette til lavspentsiden (n=22 kV/0,24 kV):

$$Z_{s,2} = \frac{1}{n^2} \times Z_p = 0,11 + j1,11m\Omega \quad (4.7.24)$$

Impedanser i transformatoren (*på grunn av mangelfull informasjon om transformatoren benytter vi oss av verdiene til en transformator av nesten samme størrelse*) [6]:

$$\frac{R_{(0)T1}}{R_{T1}} = 1 \rightarrow R_{(0)T1} = 1 \times 2,88m\Omega = 2,88m\Omega \quad (4.7.25)$$

$$\frac{X_{(0)T1}}{X_{T1}} = 0,96 \rightarrow X_{(0)T1} = 0,96 \times 8,63m\Omega = 8,29m\Omega \quad (4.7.26)$$

Den totale impedansen frem til feilstedet blir da:

$$Z_{k,2} = Z_{s,2} + R_{(0)T1} + X_{(0)T1} \quad (4.7.27)$$

$$Z_{k,2} = (0,11 + j1,11)m\Omega + (2,88 + j8,29)m\Omega = 2,99 + j9,4m\Omega \quad (4.7.28)$$

Skrevet på polar form blir dette:

$$Z_{k,2} = 9,86 \times e^{j72,35} \quad (4.7.29)$$

Topolt kortslutningsstrøm blir da når vi benytter ligning ??:

4.7 Driftsikkerhet

$$I_{k2pol} = \frac{0,95 \times 240V}{2 \times (9,86m\Omega)} = 11,5kA \quad (4.7.30)$$

Kortslutning på tavla i kufjøset:

Impedansene i kabelen, med korreksjonsfaktor for temperaturøkning av resistansen, C_{min} :

$$R_{L1} = r_1 \times l_1 \times C_{min} = 0,125m\Omega/m \times 360m \times 1,25 = 56,25m\Omega \quad (4.7.31)$$

$$X_{L1} = x_1 \times l_1 = 0,08105m\Omega \times 360m = 29,19m\Omega \quad (4.7.32)$$

$$Z_{L1} = \sqrt{R_{L1}^2 + X_{L1}^2} = 63,37m\Omega \quad (4.7.33)$$

Betrakt denne kabelen som et parallelt system siden den består av en 3x3-lederkabel:

$$Z_{parallel} = \frac{1}{\frac{1}{63,37m\Omega} + \frac{1}{63,37m\Omega} + \frac{1}{63,37m\Omega}} = 21,12m\Omega \quad (4.7.34)$$

Den totale impedansen frem til feilstedet:

$$Z_1 = Z_{parallel} + Z_{k,2} = 21,12m\Omega + 9,86m\Omega = 30,98m\Omega \quad (4.7.35)$$

Topolt kortslutningsstrøm:

$$I_{k2pol} = \frac{0,95 \times 240V}{2 \times 30,98m\Omega} = 3,7kA \quad (4.7.36)$$

Kortslutning på tavla i grisejøset:

Spenning [V]	Impedans [mΩ]	I_{k2pol} [kA]
240	21,01	5,4

Tabell 4.7.4: Kortslutningsberegninger for tavle i grisejøset

Fullstendige utregninger for grisejøset finnes i vedlegg 25.

Kortslutning på tavla i anleggsgarasjen:

Spenning [V]	Impedans [$m\Omega$]	I_{k2pol} [kA]
240	58,5	1,9

Tabell 4.7.5: Kortslutningsberegninger for tavle i anleggsgarasje

Fullstendige utregninger for anleggsgarasjen finnes i vedlegg 26.

Kortslutning på tavla i hovedhuset:

Spenning [V]	Impedans [$m\Omega$]	I_{k2pol} [kA]
240	29,61	3,9

Tabell 4.7.6: Kortslutningsberegninger for tavle i hovedhus

Fullstendige utregninger for hovedhuset finnes i vedlegg 27.

Enpolt jordfeil:

For å beregne jordfeilstrømmen i 230 V IT-nettet i vår case, benytter vi oss av ligning 3.13.1:

$$I_j = 2 \times 200kVA = 400mA = 0,4A \quad (4.7.37)$$

Spenningen mellom fasene og jord blir ved en enpolt jordfeil i fase 3:

$$U_{1j} = 230V \quad (4.7.38)$$

$$U_{2j} = 230V \quad (4.7.39)$$

$$U_{3j} = 0V \quad (4.7.40)$$

Spenningen mellom transformatorens nullpunkt og jord blir da:

$$U_{0j} = \frac{230V}{\sqrt{3}} = 132,8V \quad (4.7.41)$$

Største tillatte overgangsmotstand for jordelektroden:

$$R_{jmax} = \frac{U_{maxtillatt}}{I_j} = \frac{50V}{0,4A} = 125\Omega \quad (4.7.42)$$

Er det en feil som gjør at gjennomslagsvernet blir ledende (over 500 V) får vi en ny og større feilstrøm:

$$I_j = \frac{U_f}{R_j + R_0} \quad (4.7.43)$$

Dersom overgangsmotstandene er lave ser vi at feilstrømmen I_j kan bli noen ampere, men det er skjeldent den blir så høy at vernet løser ut. R_j er ofte mye større enn R_0 og en enpolt jordfeil vil derfor ikke være så alvorlig. Det vil si at man kan drifte systemet med en enpolt jordfeil, men feilen må detekteres og rettes opp før neste feil inntreffer.

Mekanisk påkjenning ved trefase kortslutning:

Som nevnt i teoridelen så oppstår det mekaniske krefter mellom parallelle ledere som fører en strøm. dette er særlig aktuelt der vi har flere enn en leder, som fra transformatoren og frem til tavlene i i ku-og grisekjøset. Den mekaniske påkjenningen ved en trefase kortslutning per kabelmeter vil i disse tilfellene bli, hvis vi benytter oss av ligning 3.12.1, og antar at kablene ligger i flat forlegning med avstand lik en kabeldiameter:

- Ledere til tavla i kufjøset

$$F = 0,87 \times 2 \times \frac{(10,0kA)^2}{0,24m} \times 10^{-7} \times 1m = 72,5N \quad (4.7.44)$$

- Ledere til tavla i grisekjøset

$$F = 0,87 \times 2 \times \frac{(14,4kA)^2}{0,24m} \times 10^{-7} \times 1m = 150,3N \quad (4.7.45)$$

Ved høye kortslutningskrefter anbefales det å feste disse kablene skikkelig med kabelklemmer, slik at de ikke slynger seg fra hverandre ved en eventuell kortslutning. Det står i *REN*: "Ledninger skal forlegges eller beskyttes slik at de ikke blir utsatt for mekanisk beskadigelse og korrosjon i utillatelig omfang". [41] I dette ligger det at ledningene skal festes slik at det ikke oppstår mekaniske skader av større omfang ved en eventuell kortslutning. Ved større kortslutningskrefter ville vi anbefalt å installere strømbegrensede sikringer for å redusere den gjennomsluppede strømmen som igjen begrenser kortslutningskreftene.

4.8 Styring

Gården som vi har hatt som case har også en intern styringssoftware i biogassanlegget, men dette er for produksjonsintervaller bestemt av tilgjengelig gassmengde og overvåking av produksjonen. Gårdseier Inge Hoemsnes nevnte også at anlegget har muligheten til å tvangsstarte produksjon når de har behov for å drifte høyeffekts- maskineri på gården, for eksempel ved bruk av fôrblender i kufjøset. Men videre utover

dette så har ikke anlegget effektovervåkning annet enn igjennom AMS og effektflyt ut av generatoren. Dette er da et tilfelle hvor rogowskispoler kan komme godt med. Ved å plassere spolene til overvåkning av hovedkabel til grisefjøsset, hovedhuset og kretsene internt i kufjøsset, kan vi samle nok informasjon til å styre ladekretsene til de elektriske kjøretøyene slik at mest mulig av den elektriske effekten produsert går til eget bruk, framfor å bli solgt på nett. Dette utgangspunktet er også fleksibelt nok til å kunne bygge på med flere målepunkter og utganger til å kunne etablere et styringsystem for alle kretselementer om det skulle være ønskelig. Vi ønsker derimot å se på et enkelt eksempel på hvordan man kan utnytte effektovervåkingen til å styre ladingen av elektriske kjøretøy på gården.

For effektiv bruk av den egenprodusert energi så trengs det smart styring og overvåking av effektflyten. En metode for å utnytte seg av overskuddproduksjon til eget bruk som kan være fornuftig å benytte seg av er, lading av batterier til elektriske kjøretøy. Dersom vi antar at alle kabler i anlegget er blitt lagt på forhånd, og slik overvåkning ikke er blitt etablert på et ferdig bygd anlegg, kan det eventuelt tilpasses slik at man kan overvåke effektbrukt til forskjellige kurser med rogowskispoler. Spolene kan enkelt plasseres på eksisterende kabling og kobles til en annen enhet kan prosessere måleresultatene og deretter sende signaler som kan aktivere/deaktivere kretselementer. Denne måten å sette opp overvåkning av effektbruk kan være gunstig når man skal etablere en CHP generator på et allerede eksisterende elektrisk anlegg og trenger styre effektflyten etter produksjonen på egen enhet.

Siden gården har to separate strømforsyninger inn fra kraftselskapet så finnes det også noen utfordringer dersom vi ønsker å bruke egenprodusert strøm til begge fjøsene og i bolighuset. For å gjøre dette mest mulig effektivt så må effektbruken på de forskjellige kretsene sammenlignes. Og vi trenger en indikator ifra ladestasjonene eller kjøretøyet når den er ferdig ladet.

Vi har utarbeidet et forslag til hvordan en uavhengig prosesseringsenhet kan programmeres for å kunne etablere styring på anlegget igjennom å programmere i arduino:⁹

```
int PowerlimitLarge = 7; // Grense for effekt kW for lading av Tungt elektrisk maskineri
```

```
int PowerlimitSmall = 38; //Grense for effekt kW for lading av elbil
```

```
int TotalPowerGen = 50; //Maks generert effekt fra generator i kW
```

```
int Un = 230; //Systemspenning i Volt
```

```
float CosPhi = 0.7; //FaseForskryvning
```

```
int GriseTavlePort = A0; //Forhåndsdefinerer Port for lesing av inndata fra Rogowskispole fra tavle i Grisefjøs. Inndata i mV
```

```
int ForBlandKuPort = A1; //Forhåndsdefinerer Port for lesing av inndata fra Rogowskispole fra kurs til fôrblender. Inndata i mV
```

```
int HusTavlePort = A2; //Forhåndsdefinerer Port for lesing av inndata fra Rogowskispole fra fordelingskabel til Tavle i Bolighus. Inndata i mV
```

```
int MelkeRobPort = A3; //Forhåndsdefinerer Port for lesing av inndata fra Rogowskispole
```

⁹<https://www.arduino.cc/>

4.8 Styring

fra kurs til melkerobot. Inndata i mV

```
int LysKuPort = A4; //Forhåndsdefinerer Port for lesing av inndata fra Rogowskispole  
fra kurs til Lys i Kufjøs. Inndata i mV
```

```
float GriseTavleVerdi = 0.0; //Lagring av verdi fra inndata  
float ForBlandKuVerdi = 0.0; //Lagring av verdi fra inndata  
float HusTavleVerdi = 0.0; //Lagring av verdi fra inndata  
float MelkeRobVerdi = 0.0; //Lagring av verdi fra inndata  
float LysKuVerdi = 0.0; //Lagring av verdi fra inndata
```

```
float GriseTavleVerdiAmp = 0.0; //Langring verdi faktisk ampere  
float ForBlandKuVerdiAmp = 0.0; //Langring verdi faktisk ampere  
float HusTavleVerdiAmp = 0.0; //Langring verdi faktisk ampere  
float MelkeRobVerdiAmp = 0.0; //Langring verdi faktisk ampere  
float LysKuVerdiAmp = 0.0; //Langring verdi faktisk ampere
```

```
float SumVerdi_Tilkobling_Ku = 0.0; //Sum av verdi inndata  
float SumVerdi_Tilkobling_Hus = 0.0; //Sum av verdi inndata  
float TotalEffekt_Ku = 0.0; //Total effekt brukt kufjøs  
float TotalEffekt_Hus = 0.0; //Total effekt brukt hus/grisefjøs  
float refVolt = 3.0; //Referansespenning for analog inngang
```

```
int LargeOut = 1; //Forhåndsdefinerer Utport av/på signal for lading av tungt elektrisk  
maskineri
```

```
int SmallOut = 2; //Forhåndsdefinerer Utport av/på signal for lading av elbil
```

```
int HusGen = 3; //Forhåndsdefinerer Utport av/på signal
```

```
int KuGen = 4; //Forhåndsdefinerer Utport av/på signal
```

```
int LadeStatusLarge = 5; //Forhåndsdefinerer Innpport Ladestatus (fulladet = LOW,  
Lader = HIGH)
```

```
int LadeStatusSmall = 6; //Forhåndsdefinerer Innpport Ladestatus (fulladet = LOW,  
Lader = HIGH)
```

```
void setup() {  
  Serial.begin (9600); //starter Serial for mulig output senere  
  pinMode(LargeOut, OUTPUT); //definere pin funksjon  
  pinMode(SmallOut, OUTPUT); //definere pin funksjon  
  pinMode(HusGen, OUTPUT); //definere pin funksjon  
  pinMode(KuGen, OUTPUT); //definere pin funksjon  
  pinMode(LadeStatusLarge, INPUT); //definere pin funksjon  
  pinMode(LadeStatusSmall, INPUT); //definere pin funksjon  
}
```

4.8 Styring

```
void loop() {
  GriseTavleVerdi = analogRead(GriseTavlePort); //Leser innverdi fra Rogowskispole og
  legger inn tallverdi
  ForBlandKuVerdi = analogRead(ForBlandKuPort); //Leser innverdi fra Rogowskispole
  og legger inn tallverdi
  HusTavleVerdi = analogRead(HusTavlePort); //Leser innverdi fra Rogowskispole og
  legger inn tallverdi
  MelkeRobVerdi = analogRead(MelkeRobPort); //Leser innverdi fra Rogowskispole og
  legger inn tallverdi
  LysKuVerdi = analogRead(LysKuPort); //Leser innverdi fra Rogowskispole og legger
  inn tallverdi
```

```
GriseTavleVerdi = GriseTavleVerdi * (refVolt / 1023.0); //Gjør om analog inn bitverdi om
  til verdi i volt
  ForBlandKuVerdi = ForBlandKuVerdi * (refVolt / 1023.0); //Gjør om analog inn bitverdi
  om til verdi i volt
  HusTavleVerdi = HusTavleVerdi * (refVolt / 1023.0); //Gjør om analog inn bitverdi om til
  verdi i volt
  MelkeRobVerdi = MelkeRobVerdi * (refVolt / 1023.0); //Gjør om analog inn bitverdi om
  til verdi i volt
  LysKuVerdi = LysKuVerdi * (refVolt / 1023); //Gjør om analog inn bitverdi om til verdi i
  volt
```

```
GriseTavleVerdiAmp = map (GriseTavleVerdi, 0, 3, 0, 9090); //Gjør innverdi Volt om til
  Verdi Ampere
  ForBlandKuVerdiAmp = map (ForBlandKuVerdi, 0, 3, 0, 9090); //Gjør innverdi Volt om
  til Verdi Ampere
  HusTavleVerdiAmp = map (HusTavleVerdi, 0, 3, 0, 9090); //Gjør innverdi Volt om til
  Verdi Ampere
  MelkeRobVerdiAmp = map (MelkeRobVerdi, 0, 3, 0, 9090); //Gjør innverdi Volt om til
  Verdi Ampere
  LysKuVerdiAmp = map (LysKuVerdi, 0, 3, 0, 9090); //Gjør innverdi Volt om til Verdi Am-
  pere
```

```
SumVerdi_Tilkobling_Ku = (ForBlandKuVerdiAmp + MelkeRobVerdiAmp + LysKuVer-
  diAmp); //Summerer ampere verdi i kurser hovedtilkobling generator
  SumVerdi_Tilkobling_Hus = (HusTavleVerdiAmp + GriseTavleVerdiAmp); //Summerer
  ampere verdi i kurser alternativ tilkobling generator
```

```
TotalEffekt_Ku = (SumVerdi_Tilkobling_Ku * Un * CosPhi * sqrt(3)); //Regner ut total ef-
  fekt tilkobling Kufjøs
  TotalEffekt_Hus = (SumVerdi_Tilkobling_Hus * Un * CosPhi * sqrt(3)); //Regner ut total
```

4.8 Styring

effekt tilkobling Hus/Grisefjøs

```

if (TotalEffekt_Ku <= PowerlimitLarge) { //Dersom TotalEffekt_Ku er Mindre eller lik
grenseverdi for Tungt elektrisk utstyr skrus lading PÅ
digitalWrite(LargeOut, HIGH);
}
else if (TotalEffekt_Ku > PowerlimitLarge){ //Dersom TotalEffekt_Ku er Større enn gren-
severdi for Tungt elektrisk utstyr skrus lading AV
digitalWrite(LargeOut, LOW);
}
else if (TotalEffekt_Ku <= PowerlimitSmall) { //Dersom Totaleffekt_Ku er Mindre eller lik
grenseverdi for elbil skrus lading PÅ
digitalWrite(SmallOut, HIGH);
}
else if (TotalEffekt_Ku > PowerlimitSmall) { //Dersom Totaleffekt_Ku er større enn gren-
severdi for elbil skrus lading AV
digitalWrite(SmallOut, LOW);
};

if ((digitalRead(LadeStatusLarge) == HIGH)—— (digitalRead(LadeStatusSmall) == HIGH)){
//Dersom ladekurs for tungt Maskineri eller Elbil er aktiv, holder generatorforsyning til
tavle kufjøs
digitalWrite(KuGen,HIGH);
digitalWrite(HusGen, LOW);
}
else if (((digitalRead(LadeStatusLarge) == LOW) && (digitalRead(LadeStatusSmall)
== LOW)) && (TotalEffekt_Ku < TotalEffekt_Hus)){ //Dersom Batterier kjøretøy er ful-
ladet og kretser for Grisefjøs+Hus trekker mest effekt, Bytter generatorforsyning til
Grisefjøs+Hus forsyning
digitalWrite(KuGen, LOW);
digitalWrite(HusGen, HIGH);
}
else if (((digitalRead(LadeStatusLarge) == LOW) && (digitalRead(LadeStatusSmall ==
LOW))) && (TotalEffekt_Ku > TotalEffekt_Hus)){ //Dersom Batterier kjøretøy er fulladet
og kretser i kufjøs trekker mest effekt, bytte generatorforsyning til Kufjøs forsyning
digitalWrite(KuGen,HIGH);
digitalWrite(HusGen, LOW);
};
};
};

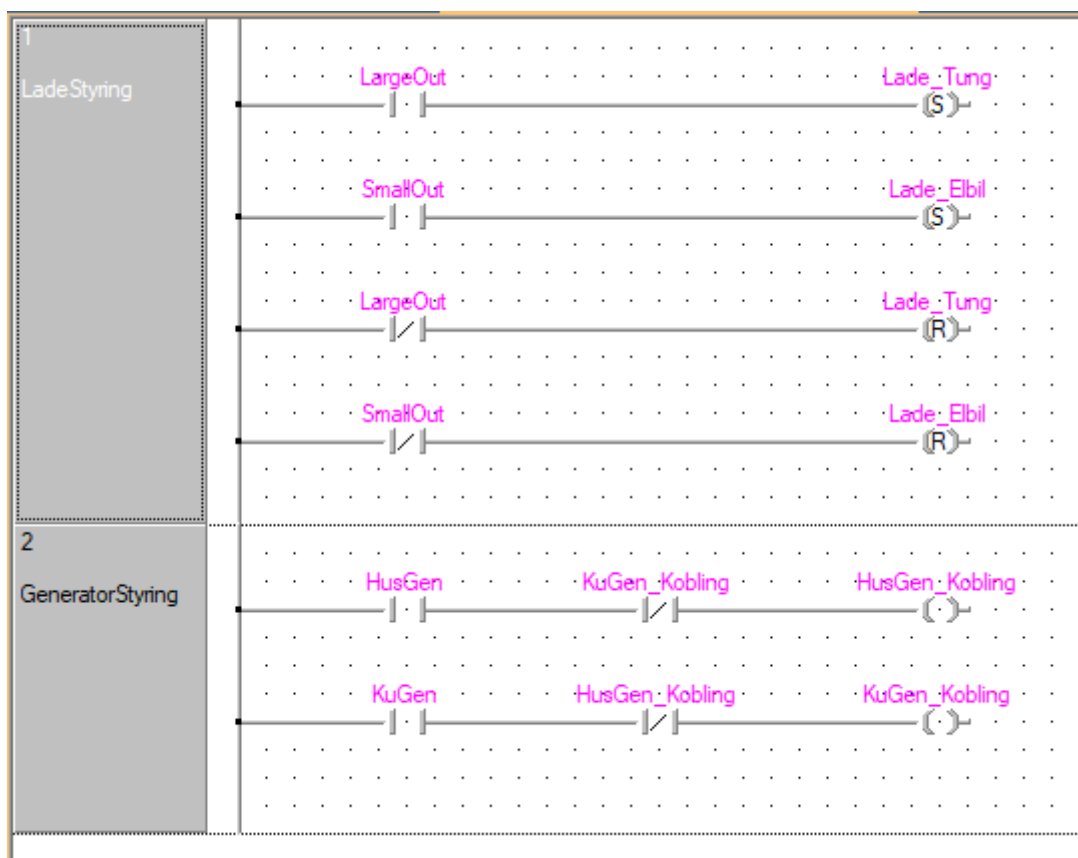
```

Koden er laget i Arduino IDE, som er en modifisert C/C++ utgave. Utgangspunktet i koden er Rogowski spoler som gir inngangssignal på 333 mV per 1 kA og en arduino med analog inngangsport som måler 0-3 Volt i et 10-bits nummerintervall. Med et

slikt begrenset tallintervall så vil det være begrensninger i verdiene vi får målt, og nøyaktigheten vil ikke være optimal, men styring vil være mulig å oppnå. Hvis vi ser bort i ifra enheten brukt i forslaget til programmering, ville jeg anbefalt en arduino med et 16-bits nummerintervall for å kunne få mye mer nøyaktige målinger, og dermed kalkuleringer. Denne arduino enheten alene er ikke nok til å styre kretsen, men er tenkt som en støttekomponent i samarbeid med en PLS enhet. Utsignalet fra arduino enheten blir fungerende som en bryter/indikator som en PLS bruker til å faktisk styre den virkelige kretsen. I tillegg er denne programbiten avhenging av tilbakemelding fra lader eller ladestasjon som indikerer når batteri på kjøretøyene er fulladet. Intervallet som indikerer når kjøretøyet er fulladet bør være litt fleksibelt. et intervall som setter fulladet indikator på ved 100 % og skrur den av ved 90 % hadde vært gunstig. på denne måten kan vi unngå unødvendig bytter imellom forsyningskretsene.

Selve styringen i PLS er ganske enkel i sin oppbygging. Vi kan ta utgangspunkt i en enkel "set" "reset" struktur til ladekretsene. Hvor høyt signal fra arduino setter den aktuelle ladekursen aktiv og dermed slår på ladekretsen ved å aktivere en kontaktor. Lavt signal fra arduino resetter og dermed slår av ladekretsen ved å deaktivere samme kontaktor. Dette prinsippet gjelder for både lading ved høy og lav effekt. Generatorstyringa baserer seg kun på signal fra arduino, og er foriglet slikt at den ikke kan koble seg på begge kretsene samtidig. Dette er for å forhindre kortslutning av transformatoren. Dette er et forslag som kun tar for seg automatisk styring av effektflyten i anlegget og retter den dit effektbehovet er størst. Ønsker man manuell styring i tillegg på dette så kan det også implementeres ved et senere tidspunkt.

Dersom man ikke vil benytte seg av PLS kan neste generasjons elektroniske vern også være med på å kunne styre effektflyten. Moderne vern kan ha innebygde overvåkningsinstrumenter og kan programmeres til å styre hvilke kurser som skal holdes åpne, eller skal lukkes. Dette krever da at man bruker programvare og komponenter fra vernleverandøren. En leverandør med vern som har disse egenskapene er ABB.



Figur 4.8.1: PLS-program for generatorstyring

5 ØKONOMISKE BETRAKTNINGER

Som en del av oppgaven vår så har vi sett på forskjellige økonomiske perspektiver i de sentrale delene av oppgaven vår. Dette inkluderer drift av biogassanlegg på gård, basert på dyrehold og gjødselmengde med forebehold om mulighet til å benytte produsert energi til eget bruk. Kostnad på kabler og utstyr til elektriske kurser. Kostnader av elektrisk drevet gårdsutstyr sammenlignet med tradisjonelt drevet gårdsutstyr.

5.1 Drift av biogassanlegg på gård med dyrehold

Gården vi har case på holder storfe og svin. Vi tar denne typen som utgangspunkt i våre lønnsomhetsvurderinger. For å beslutte om det er lønnsomt å investere i et biogassanlegg, så tar vi utgangspunkt i nåverdi. Det vi har bestemt oss for å se på er verdien av en investering over en 20års periode, med rente på 7 %. For å legge grunnlaget, så må vi finne ut hvor mye gass hvert enkelt dyr har mulighet til å produsere på en periode over 1 år. Dette finner vi ut av ved å bruke *lovdata* sine kompensasjonsverdier for å sette gjennomsnittsproduksjon av husdyrgjødsel med 100 % tørrstoffandel. [28]

Godtgjørelse pr tonn 100% tørrstoff	kr	583,00
-------------------------------------	----	--------

Figur 5.1.1: Godtgjørelse gjødsel

Dyr	Godtgjørelse pr dyr
Melkeku	kr 1 937,00
Ammeku	kr 1 108,00
Ungdyr Storfe	kr 665,00
Avlsgris	kr 397,00
Slaktegris	kr 40,00
Sau > 1 år	kr 210,00
Melkegeit	kr 210,00
Hest	kr 910,00

Figur 5.1.2: Godtgjørelse dyr, eget anlegg

5.1 Drift av biogassanlegg på gård med dyrehold

Dyr	Gjødselsmengde per år
Melkeku	3,322469983 Tonn
Ammeku	1,90051458 Tonn
Ungdyr Storfe	1,140651801 Tonn
Avlsgris	0,680960549 Tonn
Slaktegris	0,068610635 Tonn
Sau > 1 år	0,360205832 Tonn
Melkegeit	0,360205832 Tonn
Hest	1,560891938 Tonn

Figur 5.1.3: Gjødselsmengde per dyr 100 % tørrstoff

Deretter tar vi utgangspunkt i *Østfoldforskning* sine tall for Nm³ biogass produsert for hvert tonn husdyrgjødsel med 100 % tørrstoffandel. [26]

Dyr	Biogass Nm ³ pr tonn gjødsel 100% tørrstoff
Melkeku	230
Ammeku	230
Ungdyr Storfe	230
Avlsgris	330
Slaktegris	330
Sau > 1 år	230
Melkegeit	230
Hest	230

Figur 5.1.4: Biogasspotensiale gjødsel etter dyr

Deretter finner vi ut hvor mye metan det er i hver kubikk med biogass og energimengden som er tilgjengelig i metan.

metan g/Nm ³	Metan g/Mol	metan Mol/Nm ³	Metaninnhold
716	16,043	44,63005672	60 %

Figur 5.1.5: Metan energiegenskaper

Energi (kJ) pr forbrent Mol metan	kJ => kWh	Energi (kWh) pr forbrent Mol metan
891	0,000277778	0,247500198

Figur 5.1.6: Energiomgjøring metan

5.1 Drift av biogassanlegg på gård med dyrehold

Til slutt må vi ha virkningsgraden av CHP generatoren, og hvordan energien fordeler seg her.

Virkningsgrad CHP	Energi strøm	Energi varme
80 %	40 %	60 %

Figur 5.1.7: Fordeling generator output

Da har vi alt det grunnleggende på plass som vi trenger for å kunne beregne lønnsomheten i driften av biogassanlegget.

Både når det kommer til energiproduksjon i anlegget, og tillegg som kommer fra staten i kompensasjon for å bruke husdyrgjødselen i biogassanlegget. Resultatet forutsetter at all potensiell biogass som blir produsert blir brukt av CHP generatoren, og man får full utnyttelse av potensialet. Det forutsetter også at man har tilrettelagt for forbruk av denne energien, både elektrisk og termisk. Investeringskostnaden i år 0 inkluderer også 45 % støtte fra innovasjon norge. [42] Når vi setter dette inn i regnearket og fyller inn de aktuelle tallene vi har fått fra gården vi hadde som case, så får vi beregnet nåverdiresultat som vist på neste side:

5.1 Drift av biogassanlegg på gård med dyrehold

Dyr	Antall	Type energi	Privat behov (kWh)
Melkeku	50	Strøm	200 000
Ammeku	50	Varme	75 000
Ungdyr Storfe	80		
Avlsgris	100	Kostnad anlegg	Årlig vedlikehold
Slaktegris	600	kr 5 500 000	kr 35 000
Sau > 1 år	0		
Melkegeit	0		
Hest	0		

Rente (%)	7
-----------	---

Fortjeneste anlegg pr år	
kr	518 823

Nåverdi	kr 1 755 796
---------	--------------

År	0	1	2
Sum	-kr 3 025 000	kr 518 823	kr 518 823
År	3	4	5
Sum	kr 518 823	kr 518 823	kr 518 823
År	6	7	8
Sum	kr 518 823	kr 518 823	kr 518 823
År	9	10	11
Sum	kr 518 823	kr 518 823	kr 518 823
År	12	13	14
Sum	kr 518 823	kr 518 823	kr 518 823
År	15	16	17
Sum	kr 518 823	kr 518 823	kr 518 823
År	18	19	20
Sum	kr 518 823	kr 518 823	kr 518 823

Figur 5.1.8: Økonomisk oversikt biogassanlegg, Nåverdi

Dette er kun en teoretisk representasjon av hva man kan få til under optimale forhold. Men det er en del faktorer som kan komme til å påvirke dette. En faktor er blant annet CHP generatoren. Man må derfor tenke på driftstid på den i forhold til gassmengde produsert. For eksempel så benytter en 50 kWe generator seg av omtrent 25 m³ med biogass per time under 100 % drift dersom vi kompenserer for 60 % metaninnhold i gassen. [38] Ut ifra potensiell gassmengde ifra dyrene som kommer fram ut ifra økonomiberegningene så er ikke produksjonen stor nok til å kunne drifte anlegget 24 timer i døgnet året rundt. Så et kontrollorgan som kan reduserer produksjon i forhold til strømbehov eller som styrer effektflyten er nødvendig for å kunne benytte seg av mest mulig av strømproduktet til eget bruk. Dette kan man eventuelt oppnå også med digital overvåkning og styring, som kan være med på å effektivt supplere de kretsene der det er høyest effektbehov. Et annet alternativ er å forandre nivået av elektrisk produksjon etter gjennomsnittlig forbruksmønster, for eksempel dag/natt sykluser, om man ikke ønsker eller ikke har mulighet til å implementere realtidsovervåkning av effektbehovet.

5.2 Elektrisk traktor

Et alternativ for å benytte seg av overskytende produsert elektrisk energi kan være å drive batterielektriske maskiner på gården, isteden for å selge denne effekten på strømbørsen.

En av maskinene vi skal se på er en traktor. For å sammenligne lønnsomheten av en elektrisk traktor mot en dieseltraktor må vi se på driftskostnadene, prisene på de ulike maskinene og vedlikeholdskostnader. Vi har valgt å se på Fendt sin elektriske traktor, e100 Vario. For å gjøre en best mulig sammenlikning med dieseldrevne traktorer, tar vi utgangspunkt i disse tre traktorene som sammenligningsgrunnlag, som har tilsvarende størrelse og motorkraft som sin elektriske motvariant:

	New Holland T4.95	John Deere 5083E LTD	Massey Ferguson 2660HD	Fendt e100 Vario
Ca. pris på maskin:	kr 925 000	kr 1 025 000	kr 975 000	kr 1 600 000

Figur 5.2.1: Oversikt over elektrisk og dieseldrevne traktorer

Først ser vi på drivstofforbruket til de ulike maskinene ved gjennomsnittlig driftsyttelse fra motoren. Dette har blitt testet av University of Nebraska-Lincoln på et bredt utvalg av traktorer fra forskjellige merker. [43] Vi bruker resultatene fra disse testene som utgangspunkt når vi ser på de utvalgte modellene:

Yttelse:	New Holland T4.95	John Deere 5083E LTD	Massey Ferguson 2660HD	Fendt e100 Vario
Maks	20,55	18,16	17,63	50
Gjennomsnittlig	13,03	11,35	11,53	22

Figur 5.2.2: Oversikt over forbruk i L/h og kW/h ved maks og gjennomsnittlig ytelse

5.2 Elektrisk traktor

For å finne ut hvor mye forbruket på disse traktormodellene koster, må vi se på prisen for avgiftsfri diesel [44], og prisen på strøm. Strømprisene varierer hele tiden, så for å få en så riktig pris som mulig tar vi utgangspunkt i prisene fra 2017-2019¹⁰:

	2017K1	2017K2	2017K3	2017K4
Øre/kWh	96,5	95,0	95,2	98,4
	2018K1	2018K2	2018K3	2018K4
	106,4	110,3	123,4	123,4
	2019K1	2019K2	2019K3	2019K4
	124,3	112,6	108,8	112,3

Snittpris 2017	Snittpris 2018	Snittpris 2019
96,275	115,875	114,5

Snittpris 2017-2019	
108,8833333	øre/kWh
1,088833333	kr/kWh

Figur 5.2.3: Oversikt over strømpriser

	Pris[Kr/L]:
Avgiftsfri diesel:	9,37

Figur 5.2.4: Oversikt over dieselpris 03.03.2020

Videre må vi bruke disse prisene til å se på hva det koster å drive de forskjellige traktorene i en time:

Ytelse:	New Holland T4.95 (Kr/h)	John Deere 5083E LTD (Kr/h)	Massey Ferguson 2660HD (Kr/h)	Fendt e100 Vario (Kr/h)
Maks	kr 192,55	kr 170,16	kr 165,19	kr 54,44
Gjennomsnittlig	kr 122,09	kr 106,35	kr 108,04	kr 23,95

Figur 5.2.5: Oversikt over forbruk i kr/h

Siden vår bonde ser for seg å bruke traktoren i omtrent 300 driftstimer i året, er det dette vi bruker som grunnlag for beregning av årlige driftskostnader. Vi ser på kostnadene til to forskjellige måter å drifte den batterielektiske traktoren. Det første tilfellet er når traktoren blir driftet på kjøpt energi, mens det andre tilfellet er når traktoren driftes på egenprodusert energi.

¹⁰Vedlegg 9

5.2 Elektrisk traktor

	New Holland T4.95	John Deere 5083E LTD	Massey Ferguson 2660HD	Fendt e100 Vario
Driftkostnad per år(Maks)	kr 57 766,05	kr 51 047,76	kr 49 557,93	kr 16 332,50
Driftkostnad per år(Gjennomsnittlig)	kr 36 627,33	kr 31 904,85	kr 32 410,83	kr 7 186,30

Figur 5.2.6: Oversikt over driftkostnader for 300 driftstimer med kjøpt strøm

	New Holland T4.95	John Deere 5083E LTD	Massey Ferguson 2660HD	Fendt e100 Vario
Driftkostnad per år (Maks)	kr 57 766,05	kr 51 047,76	kr 49 557,93	kr 0,00
Driftkostnad per år (Gjennomsnittlig)	kr 36 627,33	kr 31 904,85	kr 32 410,83	kr 0,00

Figur 5.2.7: Oversikt over driftkostnader for 300 driftstimer med egenprodusert strøm

	New Holland T4.95	John Deere 5083E LTD	Massey Ferguson 2660HD
Spart per år(Kjøpt strøm/Maks):	kr 41 433,55	kr 34 715,26	kr 33 225,43
Spart per år(Kjøpt strøm/Gjennomsnitt):	kr 29 441,03	kr 24 718,55	kr 25 224,53
Spart per år(Egen strøm/Maks):	kr 57 766,05	kr 51 047,76	kr 49 557,93
Spart per år(Egen strøm/Gjennomsnitt):	kr 36 627,33	kr 31 904,85	kr 32 410,83

Figur 5.2.8: Oversikt over kr spart i driftkostnader for 300 driftstimer

Vi ser ut i fra driftskostnadene, at det er mye mer kostnadseffektivt å drifte en batterielektrisk traktor isteden for en dieseldreven traktor. Det kommer også fram at man sparer betydelig mer om man produserer strømmen selv, i motsening til å kjøpe den fra nettet.

Men for å avgjøre om det vil være lønnsomt å gå over til elektrisk traktor må vi som nevnt tidligere også ta med vedlikehold av maskinen. En elektrisk traktor kan antas å ha et årlig vedlikehold på 30 % høyere kostnad enn vedlikeholdet på en diesel drevet traktor. Vi har intervjuet noen bønder om hva de anslår en traktor koster å vedlikeholde per år, og har kommet fram til at vedlikehold kan antas å ligge på rundt 16.000 kr for diesel traktorer. For en elektrisk traktor kan vi da anta at årlig vedlikehold ligger på ca. 20.800 kr.

Vi ønsker å se hvor lønnsomt det vil være å investere i en elektrisk traktor over en 20 års periode. For å se på den totale lønnsomheten til investeringen av en elektrisk traktor i forhold til en diesel traktor setter vi investeringen til å være forskjellen i pris for en Fendt e100 Vario mot gjennomsnittsprisen på de tre dieseltraktorene. Dette blir det vi ser på som investeringen i år 0. Det årlige overskuddet blir summen av den gjennomsnittlige besparte driftkostnaden og differansen i vedlikeholdskostnad for elektrisk og dieseldrevet maskin. Vi ser på lønnsomheten både ved kjøpt og egenprodusert strøm ved gjennomsnittlig driftsyttelse:

Pris elektrisk traktor:	kr 1 600 000
Gjennomsnittlig pris dieseltraktor:	kr 975 000
Innvestering el-traktor:	kr 625 000
Gjennomsnittlig Overskudd:	kr 21 661
Rente (%)	5

Nåverdi:	-kr 355 051
----------	-------------

Figur 5.2.9: Oversikt over investering, overskudd, rente og nåverdi ved kjøp av strøm

År	0	1	2
Sum	-kr 625 000	kr 21 661	kr 21 661
År	3	4	5
Sum	kr 21 661	kr 21 661	kr 21 661
År	6	7	8
Sum	kr 21 661	kr 21 661	kr 21 661
År	9	10	11
Sum	kr 21 661	kr 21 661	kr 21 661
År	12	13	14
Sum	kr 21 661	kr 21 661	kr 21 661
År	15	16	17
Sum	kr 21 661	kr 21 661	kr 21 661
År	18	19	20
Sum	kr 21 661	kr 21 661	kr 21 661

Figur 5.2.10: Oversikt over investering over 20 år ved kjøp av strøm

Av figur 5.2.9 og 5.2.10 ser vi at investering i el-traktor sammenlignet med dieseltraktor kommer på 625.000 kr, og at det årlige overskuddet fra driftkostnader og vedlikehold kommer på litt over 21.000 kr. Landkreditt bank har lånerente på traktorlån fra 4,00 %. [?] Anser dette som en grei pekepinn vi kan bruke for å finne avkastningen vi eventuelt kan oppnå med investert beløp. Vi antar her en rente på 5 % siden elektriske traktorer er så lite utprøvd. Dette gir oss en nåverdi på over 355.000 kr i tap. Dette resultatet kommer av strøm kjøpt fra nettet, og viser at å investere i elektrisk traktor framfor dieseldreven ikke er lønnsomt med disse vilkårene.

Pris elektrisk traktor:	kr 1 600 000
Gjennomsnittlig pris dieseltraktor:	kr 975 000
Innvestering el-traktor:	kr 625 000
Gjennomsnittlig Overskudd:	kr 28 848
Rente (%)	5

Nåverdi:	-kr 265 494
----------	-------------

Figur 5.2.11: Oversikt over investering, overskudd, rente og nåverdi ved egenproduksjon av strøm

År	0	1	2
Sum	-kr 625 000	kr 28 848	kr 28 848
År	3	4	5
Sum	kr 28 848	kr 28 848	kr 28 848
År	6	7	8
Sum	kr 28 848	kr 28 848	kr 28 848
År	9	10	11
Sum	kr 28 848	kr 28 848	kr 28 848
År	12	13	14
Sum	kr 28 848	kr 28 848	kr 28 848
År	15	16	17
Sum	kr 28 848	kr 28 848	kr 28 848
År	18	19	20
Sum	kr 28 848	kr 28 848	kr 28 848

Figur 5.2.12: Oversikt over investering over 20 år ved egenproduksjon av strøm

Figur 5.2.11 og 5.2.12 viser tilsvarende utregning, men med egenprodusert energi. Her ser vi at tapet er betydelig lavere enn ved kjøp av strømmen. Man taper ca. 90.000 kr mindre ved å bruke egenprodusert strøm til lading i motsetning til å kjøpe strømmen.

5.3 Elektrisk gravemaskin

5.3 Elektrisk gravemaskin

Som nevnt tidligere, kan det være gunstig at den overproduerte energien blir brukt til å lade batterielektriske maskiner. For å kunne utføre en grov vurdering av hvor mye billigere det er å drifte en elektrisk gravemaskin enn en diesel-drevet gravemaskin, tar vi utgangspunkt i to gravemaskiner av samme produsent og samme modell. Begge gravemaskiner har omtrent samme motorkapasitet og vekt. Figur nedenfor viser en oversikt over begge maskiner:

Gravemaskin	Drivstoff	Batteri[kWh]	Drivstofftank [L]	Motor[kW]	Vekt[Tonn]	Pris
CAT 320	Diesel		345	122	22	kr 1 900 000,00
CAT 320 Z-line	Elektrisk	275		120	25	kr 5 700 000,00

Figur 5.3.1: Oversikt over elektrisk og diesel-drevet gravemaskin

For å kunne se på lønnsomheten må vi først vurdere gravemaskinenes forbruk og timeskostnad for å drifte maskinene. Tabellene under viser oss forbruk ved 100 % og 75 % ytelse:

Ytelse [%]	CAT 320 [L]	CAT 320 Z-Line [kW]
100	13,3	120
75	9,9	90

Figur 5.3.2: Oversikt over forbruk i L/h og kWh ved to forskjellige ytelser

Ytelse[%]	Forbruk [kr/t]			Kostnadsforskjell [kr]
	CAT 320		CAT 320 Z-Line	
100	kr 124,15	kr 130,60	-kr 6,45	
75	kr 93,11	kr 97,95	-kr 4,84	

Figur 5.3.3: Oversikt over forbruk i kr/t ved to forskjellige ytelser

I figuren under er det mulig å se driftskostnader ved 500, 1000 og 2000 arbeidstimer:

Ytelse[%]	Forbruk[kr]			Forbruk[kr]		
	Driftstimer			Driftstimer		
	500	1000	2000	500	1000	2000
	CAT 320			CAT 320 Z-Line		
100	kr 62 076,25	kr 124 152,50	kr 248 305,00	kr 65 299,80	kr 130 599,60	kr 261 199,20
75	kr 46 557,19	kr 93 114,38	kr 186 228,75	kr 48 974,85	kr 97 949,70	kr 195 899,40

Figur 5.3.4: Oversikt over forbruk ved mange driftstimer

5.3 Elektrisk gravemaskin

Av figuren ser vi at det blir mindre lønnsomt å drifte en elektrisk gravemaskin. Hvis vi ser på 2000 driftstimer, vil det koste 186.228,75 kr å drifte en dieseldrevet CAT 320 ved 75 % ytelse. Denne kostnaden blir 9671 kr høyere for drift av elektrisk gravemaskin i like mange timer og ved samme ytelse som sin dieseldrevne motpart. Prisene som brukes for utregning av forbruk kan ses i figuren under:

Årstall	Strømpris [øre/kWh]	Strømpris[kr/kWh]	Avgiftsfri diesel[kr/L]
2017	96,3	kr 0,96	kr 9,4
2018	115,9	kr 1,2	kr 9,4
2019	114,5	kr 1,1	kr 9,4
Gjennomsnittspris	108,9	kr 1,1	kr 9,4

Figur 5.3.5: Oversikt over strømpriser og dieselpriiser brukt i utregninger

Videre ser vi på driftskostnader i timen ved maksimal og gjennomsnittlig ytelse og driftskostnader i året ved maksimal og gjennomsnittlig ytelse. Det antas at gravemaskinen brukes 4 timer hver dag, 180 dager i året, noe som tilsvarer 720 driftstimer. Figurene under viser driftskostnader ved kjøpt strøm og diesel og ved kjøpt diesel og egenprodusert strøm:

Driftskostnader kjøpt strøm/drivstoff	CAT 320	CAT 320 Z-Line	Forskjell i driftskostnad
Driftskostnad/h(maks) [kr]	kr 124,2	kr 130,6	-kr 6,4
Driftskostnad/h(gjennomsnittlig) [kr]	kr 93,1	kr 97,9	-kr 4,8
Driftskostnad/år(maks) [kr]	kr 89 389,8	kr 94 031,7	-kr 4 641,9
Driftskostnad/år(gjennomsnittlig) [kr]	kr 67 042,4	kr 70 523,8	-kr 3 481,4

Figur 5.3.6: Oversikt over driftskostnader ved kjøpt strøm og diesel

Driftskostnader kjøpt drivstoff/egenprodusert strøm	CAT 320	CAT 320 Z-Line	Forskjell i driftskostnad
Driftskostnad/h(maks) [kr]	kr 124,2	kr -	kr 124,2
Driftskostnad/h(gjennomsnittlig) [kr]	kr 93,1	kr -	kr 93,1
Driftskostnad/år(maks) [kr]	kr 89 389,8	kr -	kr 89 389,8
Driftskostnad/år(gjennomsnittlig) [kr]	kr 67 042,4	kr -	kr 67 042,4

Figur 5.3.7: Oversikt over driftskostnader ved egenprodusert strøm og kjøpt diesel

Av figur 5.3.6 ser vi at ved gjennomsnittlig drift som tilsvarer 75 % av motorens ytelse, er det 3481,4 kr dyrere å drive en elektrisk gravemaskin. Ved drift på maksimal ytelse blir det 4641,9 kr dyrere i forhold til dieseldrevet gravemaskin. Drift av den elektriske gravemaskinen blir dyrere dersom man kjøper strøm, men av figur 5.3.7, ser vi at den gjennomsnittlige besparelsen ligger på 67.042 kr dersom man bruker egenprodusert strøm. Ingen av tabellene over tar vedlikeholdskostnader inn i beregninger. Ettersom det er få elektriske gravemaskiner på markedet, kan vi anta at det er lite tilgang på deler, og dermed blir den årlige vedlikeholdsprisen omtrent 30 % høyere enn vedlikehold for en tradisjonell gravemaskin.

Til slutt ser vi på lønnsomheten over en periode på 20 år. Investering i år null tilsvarer prisdifferansen mellom elektrisk og dieseldrevet gravemaskin. I tillegg dekker Enova

5.3 Elektrisk gravemaskin

50 % av denne differansen [21], slik at investering i år null blir 1.900.000 kr. Lånerente settes til 5 %. Vi ser på lønnsomhet både ved kjøpt og egenprodusert strøm:

Gjennomsnittlig overskudd (kjøpt strøm)	Rente [%]	Innvestering [kr]	Nåverdi
-kr 3 481	5	kr 1 900 000	-kr 1 943 386

Figur 5.3.8: Oversikt over overskudd, rente, investering og nåverdi ved kjøpt strøm

År	0	1	2
Sum	-kr 3 481	-kr 3 481	-kr 3 481
År	3	4	5
Sum	-kr 3 481	-kr 3 481	-kr 3 481
År	6	7	8
Sum	-kr 3 481	-kr 3 481	-kr 3 481
År	9	10	11
Sum	-kr 3 481	-kr 3 481	-kr 3 481
År	12	13	14
Sum	-kr 3 481	-kr 3 481	-kr 3 481
År	15	16	17
Sum	-kr 3 481	-kr 3 481	-kr 3 481
År	18	19	20
Sum	-kr 3 481	-kr 3 481	-kr 3 481

Figur 5.3.9: Oversikt over investering og overskudd

Gjennomsnittlig overskudd (egenprodusert strøm)	Rente [%]	Innvestering [kr]	Nåverdi
kr 67 042	5	kr 1 900 000	-kr 1 064 504

Figur 5.3.10: Oversikt over overskudd, rente, investering og nåverdi ved egenprodusert strøm

År	0	1	2
Sum	-kr 1 900 000	kr 67 042	kr 67 042
År	3	4	5
Sum	kr 67 042	kr 67 042	kr 67 042
År	6	7	8
Sum	kr 67 042	kr 67 042	kr 67 042
År	9	10	11
Sum	kr 67 042	kr 67 042	kr 67 042
År	12	13	14
Sum	kr 67 042	kr 67 042	kr 67 042
År	15	16	17
Sum	kr 67 042	kr 67 042	kr 67 042
År	18	19	20
Sum	kr 67 042	kr 67 042	kr 67 042

Figur 5.3.11: Oversikt over investering og overskudd

5.4 Elektrisk lastebil

Hvis vi sammenligner figur 5.3.10 med 5.3.8 så ser vi at nåverdien øker med 878.882 kr. Ved å studere figurene 5.3.8 - 5.3.11 ser vi at investering i en elektrisk gravemaskin ikke vil være lønnsomt på grunn av den høye innkjøpsprisen. Som nevnt ovenfor, er driften av elektrisk gravemaskinen billigere når man bruker egenprodusert strøm, men blir dyrere dersom man skal kjøpte strøm. Det er viktig å understreke at disse beregningene ikke er 100 % eksakte, ettersom faktorer som vedlikeholdskostnader og årlig produksjon er ukjente.

5.4 Elektrisk lastebil

I tillegg til traktor og gravemaskin, skal den overproduuerte strømmen også benyttes til å drifte en elektrisk lastebil. For å sammenligne lønnsomheten av en elektrisk lastebil mot en diesel lastebil må vi som hos de andre maskinene se på driftskostnadene, prisene på de ulike lastebilene og vedlikeholdskostnader. Vi har valgt å se på Volvo sin elektriske lastebil FE electric. For å gjøre en best mulig sammenlikning med dieseldrevne lastebiler, tar vi utgangspunkt i to varianter fra Volvo med tilsvarende størrelse og motorkraft:

	Volvo FH 540 (2019)	Volvo FE	Volvo FE electric
Ca. pris på maskin:	kr 1 500 000	kr 1 500 000	kr 4 100 000

Figur 5.4.1: Oversikt over elektrisk og dieseldrevne lastebiler

Vi velger å ta utgangspunkt i driftskostnadene som er blitt oppgitt av eieren av gården vi har hatt som case. Han har oppgitt et årlig forbruk tilsvarende 180.000 - 200.000 kr. Dette er et forbruk beregnet etter ca 700-800 driftstimer årlig. Vi har i våre beregninger derfor tatt utgangspunkt i 750 driftstimer per år. For den elektriske lastebilen bruker vi strømprisen som ble regnet ut i figur 5.2.3 til å beregne årlig driftskostnad ved kjøp av strøm. Vi ser så på kostnadsforskjellene ved kjøp av strømmen som brukes til drift av den elektriske traktoren, og ved bruk av egenprodusert strøm fra overskudd i produksjonen:

	Volvo FH 540 (2019)	Volvo FE	Volvo FE electric
Driftkostnad per år(Maks)	kr 200 000,00	kr 200 000,00	kr 57 163,75
Driftkostnad per år(Min)	kr 180 000,00	kr 180 000,00	kr 40 831,25

Figur 5.4.2: Oversikt over driftskostnader for 750 driftstimer med kjøpt strøm

	Volvo FH 540 (2019)	Volvo FE	Volvo FE electric
Driftkostnad per år (Maks)	kr 200 000,00	kr 200 000,00	kr 0,00
Driftkostnad per år (Min)	kr 180 000,00	kr 180 000,00	kr 0,00

Figur 5.4.3: Oversikt over driftkostnader for 750 driftstimer med egenprodusert strøm

	Volvo FH 540 (2019)	Volvo FE
Spart per år(Kjøpt strøm/Maks):	kr 142 836,25	kr 142 836,25
Spart per år(Kjøpt strøm/Min):	kr 139 168,75	kr 139 168,75
Spart per år(Egen strøm/Maks):	kr 200 000,00	kr 200 000,00
Spart per år(Egen strøm/Min):	kr 180 000,00	kr 180 000,00

Figur 5.4.4: Oversikt over kr spart i driftkostnader for 750 driftstimer

Ut i fra driftskostnadene ser det også svært lønnsomt ut å bytte til elektrisk fra dieseldrevet. Det kommer også fram at man sparer betydelig mer om man produserer strømmen selv, i motsening til å kjøpe den fra nettet.

Men for å avgjøre om det vil være lønnsomt å gå over til elektrisk lastebil må vi som nevnt tidligere også ta med vedlikehold av maskinen. Det kan antas at en elektrisk lastebil har et årlig vedlikehold med 30 % høyere kostnad enn vedlikeholdet på en dieseldrevet lastebil. Gårdeier av gården vi har hatt som case anslår et årlig vedlikehold på sin lastebil til å ligge på rundt 45.000 kr som vi bruker i våre betraktninger. For en elektrisk lastebil kan vi da anta at årlig vedlikehold ligger på 22.500 kr.

Vi ønsker å se hvor lønnsomt det vil være å investere i en elektrisk traktor over en 20 års periode. For å se på den totale lønnsomheten til investeringen av en elektrisk lastebil i forhold til en diesel lastebil setter vi investeringen til å være forskjellen i pris for en Volvo FE electric mot gjennomsnittsprisen på de to diesellastebilene. Enova har som nevnt i forrige delkapittel en støtteordning der de gir økonomisk støtte til Energi- og klimatiltak i landtransport. Her kan man søke om å få dekket inntil 50 % av merkostnadene om man er en liten bedrift, noe en gård kvalifiserer som. [21] Merkostnaden er den nevnte differansen mellom elektrisk og dieseldrevet kjøretøy. Investeringen i år 0 blir da halvert om man antar at man får innvilget støtte av Enova. Det årlige overskuddet blir summen av den gjennomsnittlige besparte driftkostnaden og differansen i vedlikeholdskostnad for elektrisk og dieseldrevet maskin. Vi ser på lønnsomheten både ved kjøpt og egenprodusert strøm ved høyeste driftkostnad:

Pris elektrisk lastebil:	kr 4 100 000
Gjennomsnittlig pris disellastebil:	kr 1 500 000
Innvestering el-lastebil:	kr 2 600 000
Innvestering el-lastebil m/støtte:	kr 1 300 000

Gjennomsnittlig Overskudd:	kr 129 336
Rente (%)	5

Nåverdi:	kr 311 816
----------	------------

Figur 5.4.5: Oversikt over investering, overskudd, rente og nåverdi ved kjøp av strøm

År	0	1	2
Sum	-kr 1 300 000	kr 129 336	kr 129 336
År	3	4	5
Sum	kr 129 336	kr 129 336	kr 129 336
År	6	7	8
Sum	kr 129 336	kr 129 336	kr 129 336
År	9	10	11
Sum	kr 129 336	kr 129 336	kr 129 336
År	12	13	14
Sum	kr 129 336	kr 129 336	kr 129 336
År	15	16	17
Sum	kr 129 336	kr 129 336	kr 129 336
År	18	19	20
Sum	kr 129 336	kr 129 336	kr 129 336

Figur 5.4.6: Oversikt over investering over 20 år ved kjøp av strøm

Av figur 5.4.5 og 5.4.6 ser vi at investeringens merkostnaden i el-lastebil sammenlignet med diesel lastebil kommer på 1.300.000 kr når vi tar med støtten fra Enova på 50 %. [21] Det årlige overskuddet fra driftkostnader og vedlikehold kommer på litt over 129.000 kr. Nordea har satt effektiv rente på landbrukslån på intill 80 % til 4,28 %. [45] Vi velger derfor å ta for oss en rente på 5 % i vår teoretiske beregning. Dette gir oss en nåverdi på over 311.000 kr i overskudd. Det vil si at det med disse tallene vil lønne seg å investere i en elektrisk fremfor dieseldrevet maskin hvis strømmen blir kjøpt.

Pris elektrisk lastebil:	kr 4 100 000
Gjennomsnittlig pris disellastebil:	kr 1 500 000
Innvestering el-lastebil:	kr 2 600 000
Innvestering el-lastebil m/støtte:	kr 1 300 000

Gjennomsnittlig Overskudd:	kr 186 500
Rente (%)	5

Nåverdi:	kr 1 024 202
----------	--------------

Figur 5.4.7: Oversikt over investering, overskudd, rente og nåverdi ved egenproduksjon av strøm

År	0	1	2
Sum	-kr 1 300 000	kr 186 500	kr 186 500
År	3	4	5
Sum	kr 186 500	kr 186 500	kr 186 500
År	6	7	8
Sum	kr 186 500	kr 186 500	kr 186 500
År	9	10	11
Sum	kr 186 500	kr 186 500	kr 186 500
År	12	13	14
Sum	kr 186 500	kr 186 500	kr 186 500
År	15	16	17
Sum	kr 186 500	kr 186 500	kr 186 500
År	18	19	20
Sum	kr 186 500	kr 186 500	kr 186 500

Figur 5.4.8: Oversikt over investering over 20 år ved egenproduksjon av strøm

Figur 5.4.7 og 5.4.8 viser tilsvarende utregning, men med egenprodusert strøm. Her ser vi at nåverdien er betraktelig høyere enn ved kjøp av strømmen. Man har over 700.000 kr høyere nåverdi ved å bruke egenprodusert strøm til lading i motsetning til å kjøpe strømmen.

5.5 Kabler

I *kapittel 3* ble ledertverrsnitt dimensjonert termisk, men på grunn av spenningsfall, antatte vedlikeholdskostnader og økonomisk levetid har vi valgt å gå opp noen dimensjoner. I dette kapittelet har vi sett på kabelpris og kostnader ved tap i kabel. Tabellen under viser en oversikt over hvilken kabel som er valgt til hver kurs. Tapene i hver kabel er hentet fra FEBDOK.

Kursnummer	Navn på kurs	Tverrsnitt	Matriale	Lengde [m]	Kabeltype	Pris/m [kr]	Tap [kW]
1	Kufjøs	3x3x240mm ²	Al	360	TXXI	2457	1,716
2	Forblander kyr	3x95mm ²	Al	25	PFSP	433	0,344
3	Belysning kufjøs	3x4mm ²	Cu	50	TFSP	67	0,438
4	Melkerobot	3x4mm ²	Cu	15	PFSP	67	0,159
5	CHP levering	3x95mm ²	Al	73	TFSP	433	2,031
6	CHP driftsbehov	3x1,5mm ²	Cu	73	PFSP	32	0,042
7	Anleggsgarasje	3x240mm ²	Al	160	TFSP	819	1,887
8	lading Gårdskj.tøy	3x95mm ²	Al	10	TFSP	433	0,302
9	lading elbil	3x25mm ²	Al	50	TFSP	69	0,441
10	Grisefjøs	3x3x240mm ²	Al	190	TXXI	2457	1,32
11	Føringsanlegg gris	3x95mm ²	Al	50	PFSP	433	0,938
12	Ventilasjon grisefjøs (med varmegjenvinning)	3x1,5mm ²	Cu	10	PFSP	32	0,011
13	Belysning grisefjøs	3x2,5mm ²	Cu	80	PFSP	47	0,447
14	Hovedhus	3x240mm ²	Al	50	TFSP	819	0,109
15	Belysning kjøkken	2x2,5mm ²	Cu	30	PFSP	47	0,084
16	Stikk kjøkken	2x2,5mm ²	Cu	30	IFSI	47	0,332
17	Oppvaskmaskin	2x2,5mm ²	Cu	15	PFSP	47	0,042
18	stekeovn	3x4mm ²	Cu	15	IFSI	79	0,156
19	Platetop	3x1,5mm ²	Cu	15	IFSI	52	0,134
20	Lys + stikk stue	2x2,5mm ²	Cu	35	IFSI	49	0,27
21	lys + stikk soverom 1+2	2x1,5mm ²	Cu	40	PFSP	32	0,104
22	lys + stikk soverom 3+4	2x1,5mm ²	Cu	40	PFSP	32	0,104
23	Baderom belysning + stikk	2x1,5mm ²	Cu	30	PFSP	32	0,034
24	Vaskerom belysning + stikk	2x1,5mm ²	Cu	30	PFSP	32	0,009
25	Vaskemaskin	2x2,5mm ²	Cu	15	IFSI	49	0,071
26	Tørketrommel	2x2,5mm ²	Cu	15	IFSI	49	0,101

Tabell 5.5.1: Oversikt over anbefalt kabeldimensjon med tilhørende kabellengde, pris/m og tap

5.5 Kabler

Av tabell 5.5.1 ser vi at tapene i kabel er oppgitt i [kW]. For å kunne regne ut hvor mye effekt som blir tapt hver time, multipliseres dette tallet med antatt antall timer det kommer til å gå strøm gjennom kabelen. Det regnes også ut antatt antall timer hvert år.

Kursnummer	Navn på kurs	Timer i bruk/dag	Timer i bruk/år
1	Kufjøs	24	8760
2	Forblander kyr	6	2190
3	Belysning kufjøs	12	4380
4	Melkerobot	6	2190
5	CHP levering	12	4380
6	CHP driftsbehov	12	4380
7	Anleggsgarasje	10	3650
8	lading Gårdskj.tøy	10	3650
9	lading elbil	6	2190
10	Grisefjøs	24	8760
11	Føringsanlegg gris	6	2190
12	Ventilasjon grisefjøs (med varmegjenvinning)	24	8760
13	Belysning grisefjøs	15	5475
14	Hovedhus	24	8760
15	Belysning kjøkken	7	2555
16	Stikk kjøkken	24	8760
17	Oppvaskmaskin	2	730
18	stekeovn	2	730
19	Platetopp	2	730
20	Lys + stikk stue	7	2555
21	lys + stikk soverom 1+2	2	730
22	lys + stikk soverom 3+4	2	730
23	Baderom belysning + stikk	3	1095
24	Vaskerom belysning + stikk	1	365
25	Vaskemaskin	2	730
26	Tørketrommel	2	730

Tabell 5.5.2: Oversikt over antatt antall timer kablene er i bruk

5.5 Kabler

Pris på hele kabellengden regnes ut ved å multiplisere *pris/m* og *løpemeter* verdier fra tabell 5.5.1. Kostnad på effekttap i kabel regnes ut ved å gange sammen *tap* fra 5.5.1, *timer i bruk/år* fra tabell 5.5.2 og gjennomsnittlig strømpris fra tabell 5.3.5.

Kursnummer	Navn på kurs	Pris på kabel [kr]	Tap/år [kWh]	Tap/år [kr]
1	Kufjøs	884 520	15 032,1	16 359,9
2	Forblander kyr	10 825	753,3	819,9
3	Belysning kufjøs	3 350	1 918,4	2 087,8
4	Melkerobot	1 005	348,2	378,9
5	CHP levering	31 609	8 895,7	9 681,5
6	CHP driftsbehov	2 336	183,9	200,2
7	Anleggsgarasje	131 040	6 887,5	7 495,9
8	lading Gårdskj.tøy	4 330	1 102,3	1 199,6
9	lading elbil	3 450	965,7	1 051,0
10	Grisekjøs	466 830	11 580,7	12 603,6
11	Føringsanlegg gris	21 650	2 054,2	2 235,6
12	Ventilasjon grisekjøs (med varmegjenvinning)	320	96,3	104,8
13	Belysning grisekjøs	3 760	2 447,3	2 663,4
14	Hovedhus	40 950	954,8	1 039,1
15	Belysning kjøkken	1 410	214,6	233,5
16	Stikk kjøkken	1 410	2 908,3	3 165,2
17	Oppvaskmaskin	705	30,6	33,3
18	stekeovn	1 185	113,8	123,9
19	Platetopp	780	97,8	106,4
20	Lys + stikk stue	1 715	689,8	750,7
21	lys + stikk soverom 1+2	1 280	75,9	82,6
22	lys + stikk soverom 3+4	1 280	75,9	82,6
23	Baderom belysning + stikk	960	37,2	40,5
24	Vaskerom belysning + stikk	960	3,2	3,5
25	Vaskemaskin	735	51,8	56,4
26	Tørketrommel	735	73,7	80,2
Sum		1.619.130	57.594,0	62.681,3

Tabell 5.5.3: Oversikt over totale kostnader for kabler og tap

5.5 Kabler

For å sammenligne økonomiske utgifter ved valg av anbefalt kabel og minste tverrsnitt har vi laget en tabell som viser samme informasjon som tabellene 5.5.1 og 5.5.3, men her er anbefalt tverrsnitt byttet ut med det minste tverrsnittet det er mulig å bruke:

Kursnummer	Navn på kurs	Tverrsnitt	Matriale	Lengde [m]	Kabeltype	Pris/m [kr]	Tap [kW]
1	Kufjøs	3x150mm ²	Al	360	TXXI	563	8,846
2	Forblander kyr	3x95mm ²	Al	25	PFSP	433	0,344
3	Belysning kufjøs	3x2,5mm ²	Cu	50	TFSP	47	0,0705
4	Melkerobot	3x4mm ²	Cu	15	PFSP	67	0,159
5	CHP levering	3x95mm ²	Al	73	TFSP	433	2,031
6	CHP driftsbehov	3x1,5mm ²	Cu	73	PFSP	32	0,042
7	Anleggsgarasje	3x95mm ²	Al	160	TFSP	433	4,832
8	lading Gårdskj.tøy	3x95mm ²	Al	10	TFSP	433	0,302
9	lading elbil	3x25mm ²	Al	50	TFSP	69	0,441
10	Grisefjøs	3x150mm ²	Al	190	TXXI	563	6,53
11	Føringsanlegg gris	3x95mm ²	Al	50	PFSP	433	0,938
12	Ventilasjon grisefjøs (med varmegjenvinning)	3x1,5mm ²	Cu	10	PFSP	32	0,011
13	Belysning grisefjøs	3x1,5mm ²	Cu	80	PFSP	32	0,731
14	Hovedhus	3x25mm ²	Al	50	TFSP	69	1,045
15	Belysning kjøkken	2x2,5mm ²	Cu	30	PFSP	47	0,084
16	Stikk kjøkken	2x2,5mm ²	Cu	30	IFSI	47	0,332
17	Oppvaskmaskin	2x2,5mm ²	Cu	15	PFSP	47	0,042
18	stekeovn	3x4mm ²	Cu	15	IFSI	67	0,156
19	Platetop	3x1,5mm ²	Cu	15	IFSI	32	0,134
20	Lys + stikk stue	2x2,5mm ²	Cu	35	IFSI	47	0,27
21	lys + stikk soverom 1+2	2x1,5mm ²	Cu	40	PFSP	32	0,104
22	lys + stikk soverom 3+4	2x1,5mm ²	Cu	40	PFSP	32	0,104
23	Baderom belysning + stikk	2x1,5mm ²	Cu	30	PFSP	32	0,034
24	Vaskerom belysning + stikk	2x1,5mm ²	Cu	30	PFSP	32	0,009
25	Vaskemaskin	2x2,5mm ²	Cu	15	IFSI	47	0,071
26	Tørketrommel	2x2,5mm ²	Cu	15	IFSI	47	0,101

Tabell 5.5.4: Oversikt over minste tverrsnitt ti hver kurs, med tilhørende pris/m og tap

5.5 Kabler

Kursnummer	Navn på kurs	Pris på kabel [kr]	Tap/år [kWh]	Tap/år [kr]
1	Kufjøs	202.680	77.490,9	84.335,7
2	Forblander kyr	10.825	753,3	819,9
3	Belysning kufjøs	2350	308,7	336,0
4	Melkerobot	1005	348,2	378,9
5	CHP levering	31.609	8 895,7	9 681,5
6	CHP driftsbehov	2336	183,9	200,2
7	Anleggsgarasje	69.280	17.636,8	19.194,6
8	lading Gårdskj.tøy	4330	1102,3	1199,6
9	lading elbil	3450	965,7	1051,0
10	Grisefjøs	106.970	57.237,8	62.293,6
11	Føringsanlegg gris	21.650	2054,2	2235,6
12	Ventilasjon grisefjøs (med varmegjenvinning)	320	96,3	104,8
13	Belysning grisefjøs	2560	4002,2	4355,7
14	Hovedhus	3450	9154,2	9962,7
15	Belysning kjøkken	1410	214,6	233,5
16	Stikk kjøkken	1410	2908,3	3165,2
17	Oppvaskmaskin	705	30,6	33,3
18	stekeovn	1005	113,8	123,9
19	Platetopp	480	97,8	106,4
20	Lys + stikk stue	1645	689,8	750,7
21	lys + stikk soverom 1+2	1280	75,9	82,6
22	lys + stikk soverom 3+4	1280	75,9	82,6
23	Baderom belysning + stikk	960	37,2	40,5
24	Vaskerom belysning + stikk	960	3,2	3,5
25	Vaskemaskin	705	51,8	56,4
26	Tørketrommel	705	73,7	80,2
Sum		475.360	184.603,8	200.909,9

Tabell 5.5.5: Oversikt over total kostnad for valg av kabler ved bruk av minste tverrsnitt

Hvis vi sammenligner tabell 5.5.3 med 5.5.5 ser vi at pris på kabel blir litt over 1.100.000 kr lavere ved valg av det minste tverrsnittet som er mulig, samtidig som at kostnad/år på tap i kabel øker med omtrent 140.000 kr. Grunnen for at pris på kabel faller med over 1.100.000 er fordi de store tilførselskablene til kufjøset og grisefjøset byttes ut med mindre kabler. En mindre dimensjon på kabel gir mindre materiale som er nødvendig for å produsere kabel, noe som minker salgskostnader. Det er viktig å huske at spenningsfall ved valg av det minste tverrsnittet ikke tilfredstiller kravene stilt av NEK 400, og dermed kan ikke brukes i en reell installasjon.

5.6 Vern

For å beskytte anleggsdeler mot overspenninger og kortslutningsstrømmer er det viktig å velge riktig vern. I dette delkapittelet skal vi se på vern fra det økonomiske synspunktet ved å sammenligne to forskjellige produsenter - ABB og Siemens. I tabellene under er det lagt inn varenummer slik at produktene kan enkelt søkes opp. Vi begynner med å se på produktene fra ABB.

Tavle	Sikring [A]	Karakteristikk	Type sikring	Pris [kr]
Kufjøs	250	A	3VA2225-5HL32-0AA	9330

Tabell 5.6.1: Oversikt over verntype og vernpris i hovedtavle i kufjøs

Kursnummer	Navn på kurs	Sikring [A]	Karakteristikk	Type sikring	Varenummer	Pris [kr]
1	Forblander kyr	160	B	3VA1116-4ED36-0AA0	3VA1116-3EE36-0AA0	5181
2	Belysning kufjøs	25	B	S203M-B	2CDS273001R0255	481
3	Melkerobot	32	B	S203M-B	2CDS273001R0325	481
4	CHP levering	160	B	3VA1116-4ED36-0AA0	3VA1116-3EE36-0AA0	5181
5	CHP driftsbehov	4	D	S203M-D	2CDS273001R0041	922

Tabell 5.6.2: Oversikt over verntype og vernpris i kursene i kufjøs

Tavle	Sikring [A]	Karakteristikk	Type sikring	Pris [kr]
Grise fjøs	250	A	3VA2225-5HL32-0AA0	9330

Tabell 5.6.3: Oversikt over verntype og vernpris i tavle i grise fjøs

Kursnummer	Navn på kurs	Sikring [A]	Karakteristikk	Type sikring	Varenummer	Pris [kr]
7	Føringsanlegg grise fjøs	160	B	3VA1116-4ED36-0AA0	3VA1116-3EE36-0AA0	5181
8	Ventilasjon grise fjøs	6	D	S203M-D	2CDS273001R0061	922
9	Belysning grise fjøs	16	B	S203-B16	2CDS273001R0165	481

Tabell 5.6.4: Oversikt over verntype og vernpris i kursene i grise fjøs

Tavle	Sikring [A]	Karakteristikk	Type sikring	Pris [kr]
Anleggsgar.	200	A	3VA1225-4EF32-0AA0	8027

Tabell 5.6.5: Oversikt over verntype og vernpris i tavle i anleggsgarasjen

Kursnummer	Navn på kurs	Sikring [A]	Karakteristikk	Type sikring	Varenummer	Pris [kr]
11	Lading gårdkjøretøy	160	B	3VA1116-4ED36-0AA0	3VA1116-4ED36-0AA0	5181
12	Lading elbil	50	Z	S201-Z	2CDS253001R0578	996

Tabell 5.6.6: Oversikt over verntype og vernpris i kursene i anleggsgarasjen

Anlegget består av tre anleggsdeler - kufjøs, grise fjøs og anleggsgarasje. Tabellene over viser en produkt- og prisoversikt over vern som skal beskytte kursene i de forskjellige anleggsdeler. Tabellene 5.6.1 og 5.6.2 viser prisoversikt over vern i kufjøset. Tabellene 5.6.3 og 5.6.4 viser prisoversikt over vern i grise fjøs, og tabellene 5.6.5 og 5.6.6 viser en prisoversikt over vern i anleggsgarasjen.

5.6 Vern

Tabellene under viser produkter fra Siemens.

Tavle	Sikring [A]	Karakteristikk	Type sikring	Pris [kr]
Kufjøs	250	A	3VA2225-5HL32-0AA0	9330

Tabell 5.6.7: Oversikt over verntype og vernpris i tavle i kufjøs

Kursnummer	Navn på kurs	Sikring [A]	Karakteristikk	Type sikring	Pris [kr]
1	Forblander kyr	160	B	3VA1116-3EE36-0AA0	5181
2	Belysning kufjøs	25	B	5SL4325-6	770
3	Melkerobot	32	B	5SY4332-6	884
4	CHP levering	160	B	3VA1116-3EE36-0AA0	5181
5	CHP driftsbehov	4	D	FAZ-D4/3-NA	1239

Tabell 5.6.8: Oversikt over verntype og vernpris i kursene i kufjøs

Tavle	Sikring [A]	Karakteristikk	Type sikring	Pris [kr]
Grisefjøs	250	A	3VA2225-5HL32-0AA0	9330

Tabell 5.6.9: Oversikt over verntype og vernpris i tavle i grisefjøs

Kursnummer	Navn på kurs	Sikring [A]	Karakteristikk	Type sikring	Pris [kr]
7	Fôringanlegg grisefjøs	160	B	3VA1116-3EE36-0AA0	5181
8	Ventilasjon grisefjøs	6	D	5SL4306-6	707
9	Belysning grisefjøs	16	B	5SY4316-6	599

Tabell 5.6.10: Oversikt over verntype og vernpris i kursene i grisefjøs

Tavle	Sikring [A]	Karakteristikk	Type sikring	Pris [kr]
Anleggsgar.	200	A	3VA1225-4EF32-0AA0	9137

Tabell 5.6.11: Oversikt over verntype og vernpris i tavle i anleggsgarasjen

Kursnummer	Navn på kurs	Sikring [A]	Karakteristikk	Type sikring	Pris [kr]
11	Fôringanlegg grisefjøs	160	B	3VA1116-3EE36-0AA0	5181
12	Ventilasjon grisefjøs	50	Z	3VA1150-4EE36-0AA0	2782

Tabell 5.6.12: Oversikt over verntype og vernpris i kursene i anleggsgarasjen

Tabellene 5.6.7 og 5.6.8 viser prisoversikt over vern i kufjøset. Tabellene 5.6.9 og 5.6.10 viser prisoversikt over vern i grisefjøs, og tabellene 5.6.11 og 5.6.12 viser en prisoversikt over vern i anleggsgarasjen.

ABB	Siemens
51213 kr	55502 kr
Differanse	
4289 kr	

Tabell 5.6.13: *Oversikt over den totale kostnaden for ABB- og Siemens-vern*

Av tabell 5.6.13 ser vi at den totale kostnaden for ABB-vern er 51.213 kr, og for Siemens-vern 55.502 kr. Av kolonne 4 ser vi at man sparer 4289 kr ved å velge ABB vern over Siemens vern.

6 DRØFTING

6.1 Bærekraft og Klima

For å kunne gjøre noen antagelser rundt klima så har vi måttet ta utgangspunkt i det vi vet noe om. For å få den reelle situasjonen så hadde vi hatt behov for finne ut hvor mye metan og andre stoffer som blir sluppet ut igjennom åpne gjødselsbrønner. Slik forskning er desverre ikke blitt utført, og det er derfor ikke mulig for oss og komme med en reel sammenligning. Derfor har vi gjort forenklinger i form av å sammenligne forbrenning av produsert biogass i anlegget framfor å slippe denne gassen direkte ut i atmosfæren.

Gårdbrukere som driver med dyredrift har fått hard medfart i klimadebatten. Dette er fordi de står for en stor del av utslippene som er forbundet med gårdsdriften, hvor storfe blir malt som den store synderen. [1] Dette vil si at i gårdsdrift med dyrehold er det stort potensiale for forbedring og ressursutnyttelse for å få ned klimaavtrykket denne typen drift medfører. Hvis vi ser på andre deler av landbruket, så ser vi at det finnes potensiale til å benytte seg av moderne løsninger og verktøy til å bidra med å senke klimaavtrykket sitt også, slik at landbruket generelt driver mer effektivt, moderne og miljøvennlig.

Landbruket som det er i dag er moden for modernisering, spesielt med tanke på metoder som kan forbedre miljøhensyn. For å sikre at vi skal kunne bruke dyrehold som matkilde i framtiden så må man gjøre grep som i større grad kan veie opp for utslippene som kommer av denne typen drift. [1] Biogass er en flott mulighet for gårder som driver med dyrehold, dette er på grunn av biogasspotensialet som ligger i avføringen til dyr. Dette er med på å redusere et av utslippspostene til gårdene med dyrehold. Dette kan løse mye av utslippspromatikken som en tilknyttet gris og fuglehold, ettersom de ikke har samme utslippsmengde av metan igjennom rap eller flatulens som storfe. Varme og strømbehovet til denne typen dyrehold kan også dekkes av en CHP generator tilknyttet anlegget, og dermed kan avfallsstoffene fra disse dyrene være med på å forsyne sin egen drift. For å videre sikre effektiv bruk av gjødselen så kan fortsatt bioresten som oppstår etter gassutvinning brukes til gjødsling. Biorest har større gjødselsgrad i forhold til tradisjonell gjødsel ved at mer av næringsstoffene er tilgjengelig for opptak av plantene. [46] Samtidig så kan man også argumentere for at ved å bruke et slikt beriket gjødselprodukt, så kan man eventuelt kutte i bruken av kunstgjødsel. Produksjonen av kunstgjødsel har i seg selv et iboende klimabidrag, og dersom man kan redusere produksjonen ved å berike og utnytte tradisjonell gjødsel vil man antagelig kunne redusere i utslipp.

For storfe så har vi noen flere utfordringer tilknyttet utslippet. Dette er fordi mye av metanutslippet som kommer fra kyr ikke ligger i avføringen, men nemlig i tarmgass. [1] Denne blir sluppet ut som rap og flatulens. Vi får selvsagt en reduksjon i utslippene ved å utnytte avføringen som ressurs, men andre grep må også tas. Fôralternativer for å

6.1 Bærekraft og Klima

redusere mengden tarmgass hos storfe er blitt utprøvd, [15] og andre alternativer som skal kunne samle opp denne gassen er under testing og utprøving. Utfordringer med dette er at dyrene må holdes innendørs hele året, hvilket ikke er gunstig med tanke på dyrevern.

Men andre grep i driften kan bli gjort, blant annet å benytte seg av elektriske kjøretøy i gårdsdriften. Dette vil antagelig hjelpe til med å redusere utslipp som er tilknyttet til drift av gården som kjøretøy med fossilt drivstoff tilhører.

I dagens marked er det ikke mange elektriske alternativer tilgjengelig som kan erstatte tradisjonelle gårdsmaskiner i alle ledd i en gårdsdrift, men vi har sett at de store produsentene av landbrukskjøretøy har begynt å utvikle alternativer som kan benyttes. Total sett hvilken grad dette påvirker klimaet i det store bilde gjenstår det å se, men man kan anta et positivt klimabidrag dersom kjøretøyene som blir benyttet er drevet med grønne energikilder og det erstatter mange nok timer med drift av maskineri med fossilt brennstoff.

Andre alternativer er å drive gårdsutstyr på bioetanol, eventuelt i kombinasjon med el-drift. Altså en ladbar hybridløsning. Ønsker man denne typen anlegg, vil produksjonen av drivstoff gå på bekostning av andre måter å benytte seg av energien i biogassen som blir produsert, og vil derfor kun gå til drifting av maskineri med biodrivstoff. Mye av energien i biogass og biodrivstoff er varme, og dersom dette blir brukt i maskineri så går man potensielt glipp av mye erstattet el-varme, som kan være med å dra lønnsomheten på et micro-anlegg ned betraktelig når erstattet varme er sentralt i lønnsomhetsvurderingen.¹¹

Vi har også tatt utgangspunkt i økonomisk dimensjonering av kursene vi har satt opp. Dette er med på å spare ressurser når det øker levetiden på kablen og dermed senke frekvensen på utskifting av kabel. Selv om hovedparten av kablen er gjenvinnbar så er det en energikostnad tilknyttet dette som vil ha et klimautslag. Men hovedpunktet med økonomisk dimensjonering er å minske effektapet som oppstår i kablene, og dermed også effektivt redusere det årlige effektforbruket på gården. Summen av dette kan utgjøre en forskjell om mange gårder utfører disse oppgraderingene av de elektriske systemene sine.

Mye av problematikken med å få til dette skiftet i landbruket er motvillighet til forandring av driftstradisjoner. Det er en utfordring for mennesker å tenke nytt og legge om drift som har vært på et spesielt vis over lengre tid. Denne tankegangen hos mennesker kan det være vanskelig å gjøre noe med, men det er ikke umulig. Insentiver fra staten for å sikre at det er økonomisk lønnsomt å gjøre investeringene som skal til er en nødvendig pådriver for å realisere dette, for uten et slikt insentiv så er det antagelig kun ildsjeler som vil investere tid og penger i å endre godt etablerte driftsrutiner.

Det å reklamere om løsninger og komme med konkrete eksempler på løsninger som i denne oppgaven er også et godt bidrag som kan gjøre det mer tilgjengelig og overkom-

¹¹Se Kapittel 5.1.

melig for bønder til å legge om driften sin.

6.2 Lønnsomhet vs samfunnsøkonomi

Det som ofte er en stor utfordring i omlegging av allerede etablerte gårdsdrifter er spørsmålet om lønnsomhet. Det er ingen hemmelighet at det er kostbart å investere i ny teknologi, og at motivasjonen til å gjøre en slik investering er økonomisk lønnsomhet. Men hva gjør man hvis man har noe som er nødvendig og bra i et samfunnsperspektiv, men som har lav lønnsomhet? Her er det statlige støtteordninger kommer inn som kan være med å skape denne lønnsomheten eller i det minste gjøre at en investering vil være like lønnsom som en tilsvarende, mindre samfunnsnyttig investering. For besparelsen som kan gjøres for samfunnet generelt kan være med å forsvare en statlig støttet driftsomlegging.

En gårdsdrift kan potensielt gjøres mer miljøvennlig ved å gå over til elektrisk maskineri, men er det forsvarlig å spise av profitten til en gårdsdrift, som allerede lever på marginer. Bransjen er sterkt subsidiert fra før av [47], og enda flere statlige støtteordninger og tiltak må antageligvis til dersom man forespeiler seg at man skal legge om driften på samtlige gårdsdrifter. Nå i begynnelsen av det grønne skiftet blir det produsert mye nytt elektrisk anleggsmaskineri som baserer seg på blant annet ren batterielektrisk drift [48], men denne nye teknologien er delvis uprøvd og kostbar. Kostnadene tilknyttet innkjøp av disse maskinene er fortsatt høye, så lønnsomheten er lav,¹² og innkjøpssubsidiering må vurderes. Men etterhvert som utbredelsen av batteridrevne kjøretøy øker, så antar vi også at batteriteknologien blir bedre og billigere. Dersom teknologien kan bidra til lengre brukstid før lading, kan man antageligvis kunne hatt flere brukbare alternativer til å erstatte maskinparken i jordbruket. Så om dette ikke nødvendigvis er et positivt regnestykke i første omgang så er det en investering i framtiden og framtidig miljøvennlig drift.

Derfor om man ønsker at gårddrivere skal engasjere seg og bli med på å bytte ut deler av sin maskinpark med disse nye elektriske anleggsmaskinene så krever det at den norske stat har muligheten til å kompensere for den økte innkjøpskostnaden. På den måten tilrettelegger man for muligheten for økonomisk gevinst på lik linje med tradisjonelt maskineri.

Man kan se for seg at kostnaden på maskineriet blir mindre når det i framtiden blir mer utbredt, og flere produsenter kommer og skaper konkurranse. Men først når dette scenariet oppstår kan man begynne å fire på støtteordningene.

¹²Kapittel 5.2 - 5.4

6.3 Biogass på gård

Et biogassanlegg er i utgangspunktet en stor investering som det tar tid å gjøre lønnsom. Det er mye arbeid som må legges inn i det, sammen med testing og utprøving. Vedlikehold av bakteriekultur og stabile driftsforhold er noe vi mener er viktige faktorer for å produsere god nok biogass til at det skal kunne brukes til forbrenning. [26] Også vannskrubbing og filtrering kan være nødvendig for å fjerne uønskede stoffer fra gassen som kan skape korrosjon i systemet og eventuelle motorrom dersom anlegget er tilknyttet en CHP generator. Til tross for dette så kan en investering være lønnsom. Lønnsomheten avhenger mye av kostnaden av anlegget og hvilke støtteordninger som er tilgjengelig. Som all annen ny teknologi så koster det penger å utføre. Sånn som vi ser det nå så er det vanskelig å sikre lønnsomhet i anlegget uten støtteordninger. Det er mange ukjente faktorer, og det er lite eller ingen erfaringsdata på microbiogassanlegg i Norge. Dette er noen av utfordringene som kan gjøre det vanskelig å sikre lønnsomhet. Den norske stat sin rolle burde være å sikre lønnsomhet i bærekraftige løsninger slik at det kan bli tatt i bruk, og på den måten sørge for at implementeringen blir mest mulig smertefri. Ut ifra beregninger som har blitt gjort i denne oppgaven har vi vist at de norske ordningene som allerede finnes, tilrettelegger for at det skal være lønnsomhet i et biogassanlegg, også småskala. Dermed burde flere offentlige instanser involvere seg i oppstart og drifting for innsamling av data, så er iallefall dagens økonomiske ordninger tilfredsstillende.

Til tross for at det antageligvis er noe mer arbeid forbundet med oppstart av et biogassanlegg, sammenlignet med solkraft eller vindkraft, så er det en veldig effektiv energiproducent. Det gir stabil strøm og varmeproduksjon som er med på å redusere behovet for kjøpt kraft fra nettet betraktelig. Hvis vi klarer å benytte oss av varmen som blir produsert vil vi verken ha behov for elektrisk oppvarming av vann til varmtvannsbereder eller elektriske varmekabler. Elektrisk oppvarming generelt vil kun være nødvendig i spesielle tilfeller, og dersom man legger til rette for vannbåren varme i boenhet og fjøs, så er store utgifter spart. Det er nesten en forutsetning at man benytter seg av varmen som blir produsert når en CHP generator produserer 60 % av energien sin som varmeenergi. Når man bygger anlegget så burde dette absolutt tas med i anleggsprisen, slik at man får benyttet seg av innovasjon Norge sin støtte til utbygging av biogassanlegg på 45 %. [42] Alternativt så har innovasjon Norge en støtteordning for utbygging av varmesystemer, som dekker 35 % av prisen på et varmeanlegg, opp til 1 million kroner. [42]

Videre arbeid i dette er å involvere flere instanser slik at man får etablert et godt miljø som har kunnskap om hvordan man drifter et slik anlegg, som har innsikt i forskjellige driftsituasjoner og har gode løsninger på hvordan å løse problemer. Dette er essensielt dersom vi ønsker at bøndene som skal ta i bruk denne løsningen skal lykkes. Det burde også arbeides med å spre informasjon og være utarbeidet gode forslag til hvordan slike anlegg kan utføres. Etterhvert som det er mer erfaringsdata om driften av slike anlegg og kostnader tilknyttet dette. Det burde også utarbeides økonomiske hjelpemidler som er enkle å bruke og er lett tilgjengelig for interesserte bønder, slik at man kan vurdere

6.4 Valg av kjøretøy

om det er lønnsomt å opprette et anlegg på egen gård.

Det er også noen aspekter man burde se på i forhold til drifting av et biogassanlegg. Det som er en av utfordring ved drift som burde nevnes derimot er dersom driften av egen generator streiker og man skal fortsette å drifte nytt elektrisk utstyr sammen med eksisterende utstyret på gården. I et slikt tilfelle for å sikre driftsikkerhet så må tilkoblingen til det elektriske nettet være dimensjonert etter et slikt tilfelle, noe som peker mot at tilknyttet strømnnett må styrkes til tross for at den gjennomsnittlige belastningen på strømnettet kommer til å synke. Dersom generatoren blir å falle ut så ville man potensielt ha høyere belastning på rundtliggende dersom man ikke har lagt til styring som tidligere foreslått¹³ og kun har benyttet generator som supplementerende til kontinuerlig drift og lading av batterielektriske maskiner. En fordel med egen strømproduksjon er at dersom man har strømbrydd i forsyningsnettet så har man muligheten til å drifte deler av gården igjennom egen produksjon. Dette har sine egne utfordringer knyttet til seg. Hovedutfordringen er å drive stabilt, da i forhold til frekvens og spenning. For at dette skal være en mulighet så må man ha styring på plass slik at man ikke overbelaster generator og eventuelt skader den eller annet elektrisk utstyr.

6.4 Valg av kjøretøy

6.4.1 Traktor

Som vist i kapittelet om økonomiske beregninger er det ikke lønnsomt å gå for en elektrisk traktor i forhold til dieseldrevet ved de betingelsene vi har lagt til grunn¹⁴. Traktoren koster for mye i forhold til tilsvarende varianter med diesel motor, selv om man sparer penger på drivstoff. Om antall driftstimer ble økt til omlag 500 timer og man kun benytter egenprodusert strøm til å lade den opp, ville det kunnet påvirke nåverdien nok til at det ville blitt lønnsomt å investere. Hvis man kjøper strøm må driftstimer økes til omlag 650 timer i året for at nåverdien skal være positiv etter 20 år.

I de økonomiske betraktningene har vi ikke tatt med kostnaden for å bytte batteriene i traktoren. Batteriene har trolig en levetid på ca 8 - 10 år (slik som Volvo sine batteri), så man må forvente at de blir byttet 2 ganger i løpet av en 20 års periode¹⁵. Batteripakka til traktoren har vi ikke klart å finne en pris på, men de dyreste batteriene i Tesla sine biler virker å ligge på rundt 150-200.000 kr. Dette er en ekstra kostnad vi ikke har tatt med i våre økonomiske beregninger, og vil gjøre nåverdien enda lavere enn den vi har presentert.

Utviklingen av billigere og bedre batterier er trolig noe av årsaken til at vi ikke har elektriske traktorer på markedet i dag. Kraften som kreves fra motoren for å drifte

¹³Kapittel 4.8

¹⁴Kapittel 5.2

¹⁵Vedlegg 5

6.4 Valg av kjøretøy

en traktor som også må trekke ulike redskaper som plog, potetoptaker, slepeharv, snøfreser og rundballepresse er mer enn dagens batterier klarer å levere over den tiden en traktor vanligvis er i bruk daglig. For å erstatte dagens traktorer fullt og helt med elektriske, må kapasiteten på en elektrisk være slik at den kan driftes i 12-14 timer uavbrutt. Hvis ikke vil det kun erstatte deler av driften. En annen årsak er som vi har sett, er at det fremdeles for stor prisforskjell mellom en elektrisk og dieseldrevet traktor i tilsvarende størrelse. For å gjøre el-traktor til et mer reelt alternativ for flere bønder er man avhengig av økonomisk støtte. Om man får støtte til å velge en el-traktor fremfor et dieseldrevet alternativ, kan dette være med på å påvirke flere bønder til å bytte til elektrisk når dette blir tilgjengelig på markedet. Da er det igjen et viktig perspektiv, at selv om el-traktor blir et alternativ med statlig støtte, kan det kun praktisk erstatte deler av driften fra en ordinær dieseldreven traktor. Riktig nok har en større gård gjerne flere traktorer til forskjellige formål, og dersom de har en mindre traktor til mindre gjøremål, så kan el-traktoren, med statlig støtte, være et godt alternativ til den delen av driften. Vi forhørte oss med "Fendt" for muligheten for å teste en slik traktor i Norge, men de hadde objekter i Tyskland og anså det som lite aktuelt å sende en slik maskin til Norge på nåværende tidspunkt.

6.4.2 Lastebil

Markedet for elektriske lastebiler vokser stadig, og det er flere og flere produsenter som kommer ut med elektriske varianter på sine kjøretøy. Volvo som vi har valgt å se på i denne oppgaven har flere lastebiler som er blitt elektrifiserte. Det beste alternativet for bruken på pukkverket ble Volvo FE electric. Den kan leveres med ulike typer påbygg, deriblant tipp, som er ønskelig for vårt tilfelle med pukkverk. Den kan også leveres med krok for å ha større fleksibilitet. Med krok kan man ha flere forskjellige typer påbygg som flak, container eller ramme for ulike typer bruk.

En utfordring med de elektriske lastebilene er at de veier mer enn de dieseldrevne. Dette gjør at nyttelasten blir lavere, og dermed kan man ikke laste like tungt fordi totalvekten fremdeles er den samme. Volvo har egne muligheter her hvor man kan velge for eksempel tykkelsen på rammen (både i bunn og i karmene) for å redusere egenvekten. Rekkevidden på en slik lastebil varierer veldig. Volvo har oppgitt til oss at man kan regne med i fra 50 til 200 km rekkevidde, alt etter som hvordan man bruker den. Lastebilen kan lades med enten en standard CEE-ladekontakt (22 kW) eller en CCS2 (150 kW) hurtiglader. Ved 22kW lading kan man forvente å ha fulladet batteriet på 8 timer, mens man med en hurtiglader kan lade fra 0-100 % på 1,5 time. Vedlikehold av elektriske lastebiler er forventet å være anslagsvis 30 % dyrere enn på en tilsvarende lik diesebil¹⁶. Dette er på grunn av at elektriske komponenter som ikke er standard på diesebiler er mye dyrere å skifte ut enn alle slitedelene på diesebiler. For eksempel ville en utskifting av lademodulen, hvis den skulle bli ødelagt, ha en kostnad på 200.000

¹⁶Vedlegg 5

6.4 Valg av kjøretøy

- 300.000 kr.¹⁷ Bilen bør lades med en 400 V 3-fase forsyning, men kan også lades med 230 V 3-fase. Utfordringen med å lade på 230 V er at strømmene blir veldig høye og isolasjon og effekttap blir en faktor. Batteriteknologien er fremdeles i stadig utvikling og vi befinner oss fremdeles på et tidlig stadiet her. Derfor er batteriene til slike kjøretøy også veldig kostbare og utbytting av et batteri koster i dag rundt 200.000 kr. [49] Denne prisen vil mest sannsynlig synke fremover når det kommer ny og bedre teknologi.

Som tidligere vist er det mye å spare på driftskostnader for lastebil. Med et lavere støynivå enn dieseler er også komfort hos sjåfør og de som oppholder seg rundt disse bilene. Lavere utslipp og lite forurensning gjør også at disse bilene er aktuelle i fremtiden. Det var ønskelig fra gårdbrukers side å høre om det var noen interesse for utprøving av en slik elektrisk lastebil for å redusere investeringskostnaden, men Volvo hadde allerede testet ut sine objekter og hadde derfor ingen slik løsning tilgjengelig på nåværende tidspunkt.

6.4.3 Gravemaskin

Det finnes ikke et stort utvalg av batterielektriske gravemaskiner på markedet, men Norge er et av få land hvor det faktisk er mulig å få tak i dette. Det vil i løpet av sommeren 2020 bli mulig å få tak i 3 ulike el-gravemaskiner fra "Pon equipment". De leverer to minigravere på 8 og 10 tonn, og en større grever på 25 tonn.¹⁸ Disse har en ganske god driftstid på batteriene på 5-8 timer, avhengig av arbeidet de blir brukt til. Cat 320 Z-line som har blitt sett på i denne oppgaven er utstyrt med en kraftig elektrisk motor som leverer like stor effekt som motoren i sin dieseldrevne motpart. Den har gode oppladningsmuligheter på opptil 150 kW, som gir en ladetid på under 2 timer. Men dette krever en svært kraftig lader, og ikke minst en stor strømtilførsel. Spesielt i urbane områder vil det være gunstig å erstatte de dieseldrevne maskinene med elektriske. Her er luftkvaliteten ofte dårligere enn andre steder, og det kan bidra stort til å bedre dette om man skifter ut noen av de forurensende anleggsmaskinene med elektriske.

Det er flere positive aspekter med den elektriske gravemaskinen, men en stor ulempe er prisen. Cat 320 Z-line koster 3 ganger så mye som den dieseldrevne versjonen Cat 320. Selv med støtte fra Enova og egenprodusert strøm har de økonomiske betraktningene vist at man får en svært negativ nåverdi. Det vil ikke være en attraktiv investering for mindre bedrifter om ikke prisen på maskinene synker, eller støtten øker enda mer. Vi forhørte oss om muligheten for å prøve ut en slik maskin på gården for å redusere innkjøpskostnadene, men "PON CAT" mente deres maskiner var mer fokusert mot bruk i urbane strøk og hadde derfor liten interesse av en slik avtale.

¹⁷Vedlegg 5

¹⁸Vedlegg 1 og 2

6.5 Elektrisk anlegg

På case gården som mange andre gårder står det en gammel trafo som leverer 230 V i IT konfigurasjon. Det er en betydelig kostnad å utbedre nettet på dette nivået på så mange plasser, men om man skal legge til rette for moderne drift, med melkeroboter, fôringsanlegg, biogassanlegg og elektriske landbruksmaskiner så er det en nødvendighet.

Et stort spørsmål ved dette er hvor den økonomiske byrden på denne utbedringen skal ligge. Er det forbrukeren som har behovet som skal dekke det, eller er det strømlieferandøren som skal kunne tilby en moderne elektrisk løsning, eller skal dette gjøres i felleskap. Det er også et spørsmål om hvor mye de statlige instansene skal bidra i dette. En ny trafo og ny fordeling er en økonomisk byrde på forbruker og leverandør. Forbrukerne må legge om fordelingsskapene sine, vern må dimensjoneres på nytt og byttes ut. Kablene må derimot ikke byttes, når strømmen som vil gå igjennom er mindre enn den som var tidligere. Det utdaterte fordelingsnettet er med på skape utfordringer når det kommer til spenningsfall og kabeldimensjoner når det er så stor avstander som det er på en gård. Mye planlegning kreves dersom man skal tilrettelegge effektiv drift i kombinasjon med CHP på en slik gård.

Det som hadde vært det mest gunstige er om det hadde blitt satt opp en ny transformator som kan levere 400 V i TN konfigurasjon. Dette ville skapt et mye mer overkommelig situasjon med hensyn til spenningsfall, man kunne gått ned i kabeldimensjoner og fått vesentlig mer effektive ladekretser. Som følge av høyere spenning i TN-nettet får man også lavere strømmer som påvirker effekttap og kabeldimensjonering. Når hele resten av systemet vil operere på 400 V ville man også fått mindre tap i overføringen fra generatoren.

Selv om det ikke vil påvirke allerede etablert kabel, så vil det være betydelig enklere å sette opp nye kurser og fordelinger med ny nettkonfigurasjon. Dette vises også mer tydelig ifra lastflytanalysen vi har satt opp og simulert i PSS Sincal (*figur 4.3.2, side 60*).

Andre alternativer for å bedre situasjonen på stedet kunne vært å bedre effektfaktoren på stedet (fasekompensering). For øyeblikket er effektfaktoren 0,689 og det er normalt ønskelig at denne effektfaktoren er nærmest mulig 1 som mulig. På denne måten reduserer man strømmen, minker effekttapet og kan tillate seg å bruke mindre kabler. For å fasekompensere kan man installere kondensatorer ved induktive laster eller induktanser ved kapasitive laster. Det mest ideelle er at man kompenserer så nærme lasten som overhodet mulig for å redusere tap i kabler o.l, men fra et økonomisk perspektiv kan det være mest fordelaktig å kompensere for flere laster på et punkt i nettet. [50]

Det vi har kommet fram til, er at det medbringer store kostnader og utfordringer ved å prøve å drifte ladekretser på et 230 V IT nett. Alle steder hvor dette er en løsning som er ønsket å bli tatt i bruk så burde det finnes eller planlegges for å legge opp et 400 V TN nett slik man kan begrense størrelsen på strømmen. Store avstander på en gård

er noe som man kommer til å støte på overalt, så mange av tverrsnittene på kablene kommer til å være lik, siden mange av kablene har stor størrelse pga spenningsfall.

En annen utfordring i hverdagen til bonden vil være lading av de elektriske kjøretøyene. Med kun en tilgjengelig lader vil det ta flere timer å lade opp ett kjøretøy på 43 kW. Dermed må hverdagen planlegges nøye for hvilke kjøretøy som skal bli brukt og det er ikke mulighet for å plutselig å bestemme seg for å bruke et annet kjøretøy når det ikke er ladet opp.

6.6 Kabler og vern

I kapittelet om dimensjonering har vi beregnet kabeldimensjon ut i fra belastningsstrøm og forlegningsmetode. Dette er det minste tverrsnittet som er akseptabelt for den enkelte kursen med tanke på laststrømmen. Her er det ikke tatt hensyn til spenningsfall fram til last. Når vi bruker programmet *FEBDOK* ser vi at spenningsfall er for stort flere steder. Som nevnt tidligere er det maks tillatt en spenningsforskjell på $\pm 3\%$ for belysning, og $\pm 5\%$ for annet bruk i forhold til nominell spenning i følge forskriftene. [5] Derfor har vi valgt å øke dimensjonen på enkelte kabler slik at spenningsfallet ikke overstiger tillatt grense. Andre fordeler med å øke dimensjonen er også at man øker økonomisk levetid. Det vil si at kablene kan driftes lengre uten at de blir slitt og må skiftes ut. En annen viktig faktor til at man ønsker dette er også med tanke på tap i kablene, med større dimensjoner på kabelen er det mye mindre tap av effekt i selve kabelen, og dermed gjør en besparelse i innkjøpt effekt. Ulempen med å øke dimensjonene på kabler er jo i all hovedsak at det blir mer ledermateriale av enten kobber eller aluminium, og dermed dyrere å kjøpe. Mer materiale øker vekten på kabelen og plassen den opptar, men dette er ikke noen diskusjon i dette tilfellet. For de større kablene skal graves ned i jorda og dermed har ikke vekt eller plass så mye og si. Det at vi velger å øke noen kabler fra $3 \times 2,5 \text{ mm}^2$ til $3 \times 4 \text{ mm}^2$, øker ikke vekten så mye at det skal være noe problem for en eventuell kabelbro eller eventuelle monteringsklips på vegg. Det kan derimot forekomme problemer med tilkobling av denne kabelen, når det meste av utstyret der vi ønsker å bruke dette tverrsnittet tradisjonelt er tilpasset for tilkobling av $1,5/2,5 \text{ mm}^2$ kabel. Mye av problematikken i spenningsfallet over kabel kommer av nettkonfigurasjonen, som gir høyeste systemspenning på 240 V, som er gjort ekstra ugunstig med tanke på de lange avstandene som er å finne på en gårdsdrift.

Vern er blitt valgt for å sikre kabler og utstyr. Vi har valgt å holde oss til en leverandør av vern når vi har dimensjonert. Dette er i hovedsak fordi vi ønsker vern som er testet sammen, og dermed har en garanti for at driftsituasjonen som vi dimensjonerer er slik den faktisk blir i virkeligheten. Dette er spesielt viktig med tanke på selektivitet, når dette kun kan garanteres dersom vern har blitt testet med hverandre. Dette skjer ikke på tvers av produsenter. Vi ønsker å ha selektivitet i gårdsdriften, slik at drift kan opprettholdes i de friske delene av strømmettet. I *NEK 400* [5] så står det at en gårdsdrift er en av plassene hvor selektivitet er viktig, og det samsvarer med vår vurdering. Et par

av vernene som er valgt er litt større hva lasten tilsier de burde være, men de oppfyller kravene om å beskytte oppvarming av kabel, og er valgt for at de er fleksible nok til å kunne oppnå en tilfredsstillende grad av selektivitet i anlegget.

6.7 Fremtidsutsikter

Det er i denne oppgaven kun sett på batterielektriske kjøretøy som erstatning for de tradisjonelle kjøretøyene med forbrenningsmotorer. Det kunne også vært aktuelt for andre å se på muligheten for å benytte seg av kjøretøy med hybrid-løsninger. Dette ville ikke vært en fullstendig utslippsfri løsning, men den er fremdeles mer miljøvennlig enn vanlige forbrenningsmotorer og kanskje er den også billigere. En annen løsning som kunne vært interessant å se på er foredling av biogass til drivstoff. Busser og lastebiler som drives av gass finnes allerede på markedet idag, dermed hadde det kanskje vært interessant å finne ut om det lønner seg å foredle biogass til drivstoff i småskala, framfor forbrenning av gass ved bruk av CHP-generator. Av erfaring så kan man si at ny teknologi er dyrt å investere i, så de økte kostnadene tilknyttet batterielektriske kjøretøy kommer sannsynligvis til å synke til et mer gunstig nivå iløpet av noen år. Det er også rimelig å anta at batteriteknologien kommer til å bli bedre i årene som kommer. Dette kan bidra til økt lønnsomhet i batterielektriske kjøretøy bare på grunnlag av potensielt økt brukstid. Økt brukstid vil også gjøre utstyret mer gunstig til flere typer arbeid.

Dersom vi får større utbredelse av lokale biogassanlegg i Norge, oppnår man et større erfaringsgrunnlag. Dette i samarbeid med faggrupper som NORSØK kan hjelpe til med oppstart av nye anlegg. Økt erfaring rundt gassproduksjonen og hva som påvirker gasskvalitet kan bidra til å minske nedetid og muligens øke lønnsomheten.

7 Konklusjon

Det skal være mulig å bruke biogass på gård som et lønnsomt energisupplement på en gårdsdrift. Det kan faktisk fungere som en lønnsom bidragsyter, spesielt på gårder med dyrehold. Men en gård har stort effektbehov, så et anlegg alene er ikke nok til å dekke alt behovet som finnes på gården, når den verken yter stor nok mengde elektrisk energi, ei heller opprettholde dette produksjonsnivået 24 timer i døgnet. Men det kommer til å redusere behovet for innkjøp av elektrisk energi. Det kan utgjøre at det blir mindre belastning på strømmettet, og det reduserer driftskostnaden for bonden. I tillegg for å spare på kostnader på elektriske brukskjøretøy så kan man benytte seg av smart effektstyring, og lade disse når man har tilgjengelig effekt fra egen generator. En løsning på dette er presentert i kapittelet om Dimensjonering og Analyse¹⁹. Igjenom en slik måte kan man få lagret overskuddsenergi, i tillegg til at man produserer sitt eget "drivstoff", som er med på å kutte driftskostnader på aktuelle gårdsmaskiner. Dersom man har strømbrudd, så kan man lage kretsstyring for hva generatoren skal drifte, som igjen sørger for driftssikkerhet for gården. Dette forutsetter selvsagt en godt etablert og sikker biogassproduksjon, og en nøyaktig kretsstyring som ikke overbelaster generator.

Gården på Hoemsneset har en stor utfordring, som mange andre avsidesliggende plasser, den opererer med et 230 V IT nett som utgangspunkt. Dette gir utfordringer i forhold til spenningsfall og strømstørrelser, som gjenspeiler seg i store kabeldimensjoner. Etablering av effektive ladekretser til elektriske gårdskjøretøy og elbil er en utfordring. Dersom man ønsker å bruke nytt elektrisk gårdsutstyr, kablet eller batteridrevet, så er det nødvendig med oppgradering av nettet. Den beste løsningen for en gårdsdrift slik vi ser det hadde vært å lagt om konfigurasjonen på nettet til et 400 V TN nett. På den måten får man utnyttet seg av høyere spenning på overføring, som vil si mindre termisk belastning fra strøm. Da kan man benytte seg av 400 V trefase, som er standarden for større elektrisk utstyr som blir produsert, til lading og der det ellers hadde vært fornuftig. Overføringskablene inne på gården kunne også blitt dimensjonert mindre i et slikt tilfelle og fordelingsskap med hensiktsmessig plassering kan ta seg av enfasefordelinger på 230 V der det er behov for det.

Det er et økende marked når det kommer til elektrisk gårdsutstyr, og det er mulig, og hensiktsmessig å utnytte dette i kombinasjon med egen elektrisk produksjon. Enten ved å utnytte seg av overskuddskraft, eller for å generelt drive mer miljøvennlig. Men vi ser at det er begrensninger med teknologien som den er per dags dato. Det er høye kostnader, både på innkjøp og på vedlikehold, og batteriteknologien som den er nå, holder ikke helt mål. Men vi har likevell kommet fram til noen alternativer som vi mener kan passe inn i en moderne gårdsdrift. Det blir stadig produsert flere og bedre elektriske maskiner som kan tas i bruk til gårdsdrift. Eksempel på slike maskiner kan være *Volvo FE Electric* - helelektrisk lastebil, *Fendt e100 Vario* - helelektrisk traktor og

¹⁹Kapittel 4.8

Cat 320 Z-line - helelektrisk gravemaskin.

Den elektriske gravemaskinen til Pon CAT er så langt ikke truet av noen andre aktører. Derfor var dette eneste alternativet på markedet så langt. Eneste som var mulig å finne var enkelte pionerer som hadde bygd om sin ordinære gravemaskin som var diesel drevet til elektriske eller hybride. Tidligere i oppgaven har gruppa sett på de økonomiske betraktningene knyttet til et innkjøp av en slik elektrisk gravemaskin. Den viser at selv med støtte fra Enova og at man benytter egenprodusert strøm, vil investeringen være langt i fra økonomisk gunstig. Våre antagelser viser at man taper over en millioner kroner ved å kjøpe seg en slik maskin, selv om man skulle bruke egenprodusert strøm. Det er da tatt utgangspunkt i at maskinen vil bli brukt i litt over 700 timer i året, som vi fikk oppgitt fra gårdeier.

Når det kommer til en elektrisk lastebil er ikke Volvo særlig truet av andre aktører som alternativ til en diesel drevet lastebil. Så langt er Tesla, Volvo, Mercedes, DAF og Renault eksempler på leverandører av elektriske lastebiler, men Volvo er den ledende produsenten i dette markedet²⁰. Vi har tidligere i oppgaven sett på de økonomiske forskjellene og de viser at hvis man velger å investere i en Volvo FE-electric vil nåverdien av overskuddet til investeringen være mellom 311.815 kr og 1.024.202 kr i løpet av en 20 års periode, avhengig om man kjøper strøm for å lade den eller bruker kun egenprodusert.²¹

Her er det tatt utgangspunkt i at lastebilen brukes 750 timer i året, en drivstoffkostnad på mellom 180.000kr og 200.000kr samt vedlikeholdskostnader. Her fremgår det tydelig at det lønner seg å investere i en elektrisk lastebil fremfor å ha en dieseldrevet, så fremt man holder seg innenfor de rammene vi har satt.

For å se på elektrisk drevet traktor som realistisk alternativ til diesel drevet traktor, så vi tidligere i oppgaven på de økonomiske forskjellene mellom de to. Her kom det fram at man ved å investere i en Fendt e100 Vario i stedet for en diesel traktor i tilsvarende størrelse, taper et sted mellom 265.000 kr og 355.000 kr.

Dette er tapet man vil få om man antar at traktoren skal brukes i omtrent 300 timer i året over en periode på 20 år. Ut i fra dette vises det tydelig at det i dagens situasjon ikke vil være lønnsomt å velge elektrisk fremfor diesel drevet løsning for traktorer i denne størrelsen og til dette bruket.

Det var også ønskelig fra gårbrukers side å finne ut om det var enkelte av produsentene som var interessert i å teste noen av sine maskiner i samarbeid med Inge, for å redusere den økonomiske kostnaden. Etter flere samtaler over mail, telefon og skype har ikke gruppa lyktes i å finne noen produsenter som hadde maskiner som var tilgjengelige. *Volvotrucks* hadde allerede testet ut sine objekter og hadde ingen lastebiler tilgjengelig for ytterligere testing for øyeblikket. Fra *Fendt* fikk vi ikke noe tydelig svar, men de hadde maskiner som var i test i Tyskland og de anså det som lite aktuelt å sende noen maskiner til Norge. Når vi snakket med *CAT* kunne de fortelle oss at deres elektriske maskiner var mer fokusert mot bruk i urbane strøk, og viste derfor ingen

²⁰Møte med Kjetil Bergflødt

²¹Kapittel 5.4 s.98-99

7.1 Valg av kabler

spesiell interesse av å teste ut en av sine maskiner på et slikt sted som vår case.

Dersom det skal være et relevant alternativ for bønder å benytte seg av helelektriske anleggsmaskiner så kreves det sterk statlig subsidiering av kostnadene som det medbringer. Nå som elektriske anleggsmaskiner først begynner å komme på markedet vil det være kostbart. Dette er relativt ny teknologi og dersom Norge skal være med å stimulere vekst i denne sektoren, og legge til rette ny praksis i landbruket i framtiden må støtteordninger igangsettes. Når prisen på elektrisk begynner å nærme seg prisen på ordinære kjøretøy, så kan staten begynne å senke støtten for da ser vi lønnsomheten i elektrisitet som drivstoff og minsket vedlikehold på motorsystem begynner å betale for seg selv. Dersom innkjøpsprisen på en maskin minker til et akseptabelt nivå, og utskifting av batteri er den kostnaden som spiser av profitten, så kan staten eventuelt endre ordningen til å subsidiere deler av batteriutskiftningen. På den måten sørges det for at merkostnaden for langtidsbruk minker, og at man ikke må kvitte seg med utstyr fordi deler begynner å bli slitt. På den måten kan vi også øke bruks/levetiden på maskinen, og dermed også minke klimaavtrykket.

7.1 Valg av kabler

Det er viktig å velge riktige dimensjonerte kabler til riktig sted. Feil valg av kabel kan føre til ødeleggelser på det elektriske anlegget som brann, kortslutning, og ødelagte elektriske apparater/komponenter og det kan også gi en større økonomisk belastning enn nødvendig. Siden vi har brukt to tilnærminger til å finne tverrsnitt til valg av kabler er argumentasjonen for de forskjellige metodene litt ulik. Vi har valgt å bruke *NEK 400* [5] og beregne selv i tillegg til at vi brukte beregningsprogrammet *FEBDOK*. Årsaken til at vi enkelte steder har valgt å gå for større dimensjoner enn minste termiske tverrsnitt er for å øke levetiden og minske effektapet som oppstår i kabelen. Store avstander på gården gir også økte dimensjoner på kabelen for å unngå for høyt spenningsfall.

7.1.1 Tilførsel kufjøs

Forsyning [V]	Effekt [kW]	Belastningsstrøm [A]	Tverrsnitt [mm ²]	Kabeltype	Pris [kr]	Spenningsfall ΔU [%]
240	49.4	172.5	3x3x240	TXXI	884 520	1,746

Tabell 7.1.1: Anbefalt kabel og kabeldimensjon for tilførsel kufjøs

Kabelen som går til kufjøset har en så stor dimensjon, og dermed pris fordi hovedtavle i kufjøset er tilknyttet både transformator og CHP-generator, noe som gjør at kabelen må tåle stor belastning. Av tabell 7.1.1 ser vi at dimensjonen på kabelen er 3 x 3 x 240 mm² og at den totale prisen på kabelen blir 884.520 kr.

7.1 Valg av kabler

7.1.2 CHP-generator

Forsyning [V]	Effekt [kW]	Belastningsstrøm [A]	Tverrsnitt [mm ²]	Kabeltype	Pris [kr]
230	50	150,4	3x95	TFSP	31.609

Tabell 7.1.2: Anbefalt kabel og kabeldimensjon for CHP-generator

Kabelen til generatoren må tåle en effektoverføring på 50 kW ved maks ytelse, dermed fører kabelen en belastningsstrøm på 182,1 A. Av tabell 7.1.2 ser vi at anbefalt kabel er TFSP med tverrsnitt 3 x 95 mm² [Al] med en total pris på 31.609 kr. Grunnen til at man velger denne og ikke TFSP 3 x 50 mm² [Cu] er fordi kobberkabelen er vesentlig mye dyrere enn aluminiumskabelen, selv om aluminiumskabelen har mye større tverrsnitt.

7.1.3 Melkerobot

Forsyning [V]	Effekt [kW]	Belastningsstrøm [A]	Tverrsnitt [mm ²]	Kabeltype	Pris [kr]	Spenningsfall ΔU [%]
240	7	25,3	3x4	PFSP	1005	0,9

Tabell 7.1.3: Anbefalt kabel og kabeldimensjon for melkerobot

Av tabell 7.1.2 ser vi at nødvendig tverrsnitt til melkeroboten er 3 x 4 mm² med en total pris på 1005 kr. Her anbefaler vi bruk av kobberleder på grunn av lederens dimensjon.

7.1.4 Fôrblender til kyr

Forsyning [V]	Effekt [kW]	Belastningsstrøm [A]	Tverrsnitt [mm ²]	Kabeltype	Pris [kr]	Spenningsfall ΔU [%]
230	30	109,2	3x95	PFSP	10.825	0,547

Tabell 7.1.4: Anbefalt kabel og kabeldimensjon for fôrblender

Tverrsnitt som anbefales til fôrblenderen er 3 x 95 mm² [Al] med en total pris på 10.825 kr. Vi anbefaler aluminiumleder av samme argumentasjon som nevnt tidligere.

7.1 Valg av kabler

7.1.5 Belysning kufjøs

Forsyning [V]	Effekt [kW]	Belastningsstrøm [A]	Tverrsnitt [mm ²]	Kabeltype	Pris [kr]	Spenningfall ΔU [%]
230	6,4	22,3	3x4	TFSI	3350	2,62

Tabell 7.1.5: Anbefalt kabel og kabeldimensjon for belysning kufjøs

Til belysning trenger man ikke de store kablene for å få ført nok strøm til armaturene. I følge beregningene gjort i *kapittel 4.1.3* var minste ledertverrsnitt på trefase med enten en eller to kurser det samme, 3x1,5 mm² [Cu] eller 3 x 2,5 mm² [Al]. Valget falt da på TFSI 3 x 4 mm² [Cu]. Årsaken til at vi må opp til 3 x 4 mm² [Cu] er for å unngå at spenningsfallet blir for høyt.

Kablene og utstyret som er sett på i kufjøset, har også blitt tegnet opp i et tilkoblings-skjema i Autocad slik vi tenker det kan se ut. Dette kan finnes i vedlegg 15.

7.1.6 Tilførsel anleggsgarasje

Forsyning [V]	Effekt [kW]	Belastningsstrøm [A]	Tverrsnitt [mm ²]	Kabeltype	Pris [kr]	Spenningfall ΔU [%]
230	43	156,6	3x240	TFSP	131.040	2,55

Tabell 7.1.6: Anbefalt kabel og kabeldimensjon for tilførsel anleggsgarasje

Anleggsgarasjen blir forsynt fra hovedtavle i kufjøset, som ligger 160 meter fra anleggsgarasjen. Av tabell 7.1.6 ser vi at anbefalt tverrsnitt på kabel er 3 x 240 mm² med total pris på 131.040 kr.

7.1.7 Lading gårdkjøretøy

Forsyning [V]	Effekt [kW]	Belastningsstrøm [A]	Tverrsnitt [mm ²]	Kabeltype	Pris [kr]	Spenningfall ΔU [%]
230	43	156.6	3x95	TFSP	4330	0.33

Tabell 7.1.7: Anbefalt kabel og kabeldimensjon for lading av gårdkjøretøy

Kabelen for lading av gårdkjøretøy vil bli trekt fra tavle i anleggsgarasjen, noe som vil gi oss kort kabellengde. Av tabell 7.1.7 ser vi at anbefalt kabeldimensjon er 3 x 95 mm² med total pris på 4330 kr.

7.1 Valg av kabler

7.1.8 Lading elbil

Forsyning [V]	Effekt [kW]	Belastningsstrøm [A]	Tverrsnitt [mm ²]	Kabeltype	Pris [kr]	Spenningsfall ΔU [%]
230	12	43,7	3x25	TFSP	3450	1,45

Tabell 7.1.8: Anbefalt kabel og kabeldimensjon for lading av elbil

Kabelen for lading av elbil vil bli trekt fra tavle i anleggsgarasjen. Denne befinner seg i nærheten av garasjen der den elektriske bilen vil lades, noe som vil gi oss rimelig kabellengde. Av tabell 7.1.8 ser vi at anbefalt kabeldimensjon er 3 x 25 mm² med total pris på 3450 kr.

Det ble også tegnet et eksempel på tilkoblingsskjema for de to garasjene på samme måte som for kufjøsset. Dette kan bli funnet i vedlegg 13.

7.1.9 Tilførsel grisefjøs

Forsyning [V]	Effekt [kW]	Belastningsstrøm [A]	Tverrsnitt [mm ²]	Kabeltype	Pris [kr]	Spenningsfall ΔU [%]
230	43	208,3	3x3x240	TXXI	466.830	1,38

Tabell 7.1.9: Anbefalt kabel og kabeldimensjon for tilførsel grisefjøs

Tavle i grisefjøsset har en direkte tilknytting til transformator, og er en fordelingspunkt for tre forskjellige laster, noe som gir oss en stor kabeldimensjon. Av tabell 7.1.9 ser vi at anbefalt kabeldimensjon er 3 x 3 x 240 mm² med total pris på 466.830 kr.

7.1.10 Fôringsanlegg til gris

Forsyning [V]	Effekt [kW]	Belastningsstrøm [A]	Tverrsnitt [mm ²]	Kabeltype	Pris [kr]	Spenningsfall ΔU [%]
230	35	127,5	3x95	PFSP	21.650	1,29

Tabell 7.1.10: Anbefalt kabel og kabeldimensjon for fôringsanlegg

Av tabell 7.1.4 ser vi at fôrblenderen til grisene trenger kabel i samme størrelse som til fôrblenderen til kyrne. Anbefalt tverrsnitt blir 3 x 95 mm² [A] med total pris på 21.650 kr.

7.2 Lastflytanalyse

7.1.11 Ventilasjonsanlegg til gris

Forsyning [V]	Effekt [kW]	Belastningsstrøm [A]	Tverrsnitt [mm ²]	Kabeltype	Pris [kr]	Spenningsfall ΔU [%]
230	1,4	5,1	3x1,5	PFSP	320	0,31

Tabell 7.1.11: Anbefalt kabel og kabeldimensjon for ventilasjonsanlegg

På grunn av den lave effekten ventilasjonsanlegget trekker, anbefaler vi en kobberleder med dimensjon 3 x 1,5 mm² og total pris på 320 kr.

7.1.12 Belysning i grisefjøs

Forsyning [V]	Effekt [kW]	Belastningsstrøm [A]	Tverrsnitt [mm ²]	Kabeltype	Pris [kr]	Spenningsfall ΔU [%]
230	4	14,5	3x2,5	PFSP	3760	4,32

Tabell 7.1.12: Anbefalt kabel og kabeldimensjon for belysning grisefjøs

Når det gjelder belysning i grisefjøset kan man trekke mange likheter til belysning i kufjøset. Det er fullt mulig å bruke de samme kablene i grisefjøset som i kufjøset, men her er ikke spenningsfallet like kritisk så vi kan tillate oss å gå ned på tverrsnitt og vi velger derfor å bruke PFSP 3 x 2,5 mm² [Cu].

Kablene og utstyret som er sett på i grisefjøset, har også blitt tegnet opp i et tilkoblings skjema i Autocad slik vi tenker det kan se ut. Dette kan finnes i vedlegg 14.

7.2 Lastflytanalyse

I kapittel 3 - Dimensjonerings og Analyse, gjennomførte vi lastflytanalyse slik at det var mulig å se effektflyten, spenningsfall og kritiske punkter. Figur 4.3.1 på side 59 viser at spenningsfall enkelte plasser i anlegget nærmer seg 10 %, noe som kan defineres som kritiske punkter. Spenningsfall i PSS Sincal avviker med våre håndberegninger og FEBDOK beregninger. Grunnen for dette er at PSS Sincal bruker transformortavle som referanse, og spenning ved de forskjellige lastene sammenlignes med spenningen i det punktet.

Hvis vi ser på figur 4.3.2 på side 60, som viser lastflytanalyse av 400 V-nett, ser vi at spenningsfallet i kufjøset og anleggsgarasjen forbedres betraktelig. Selv om det er transformortavle som er referanse, kan vi se at kufjøset ikke lenger ligger i faresone, mens spenningsfallet i anleggsgarasjen minker med 4 %. Denne figuren begrunner vår anbefaling for oppgradering fra 230 V-nett til 400 V-nett. Hvor man da har både tilgang på 230 V med bruk av nøytralleder og 400 V fasespenning.

7.3 Valg av vern

I *kapittel 4* - Dimensjoneringer, brukte vi beregninger for å bestemme den nominelle strømmen vern måtte ha. I *kapittel 5* - Økonomiske beregninger brukte vi den nominelle strømmen for å finne riktig vern fra to forskjellige produsenter slik at vi kunne sammenligne prisdifferansen. Det som ble kommet fram til var at ved å velge produkter fra ABB, sparer man omtrent 4000 kr. Dette er grunnen til hvorfor vi har brukt ABB-vern til dimensjoneringer i FEBDOK, og det er disse produktene vi anbefaler å bruke dersom nye vern skal installeres.

	Tavle	Sikring [A]	Karakteristikk	Type sikring	Pris [kr]
	Kufjøs	250	A	3VA2225-5HL32-0AA0	9330
Kursnummer	Navn på kurs	Sikring [A]	Karakteristikk	Type sikring	Pris [kr]
1	Forblander kyr	160	B	3VA1116-3EE36-0AA0	5181
2	Belysning kufjøs	25	B	5SL4325-6	770
3	Melkerobot	32	B	5SY4332-6	884
4	CHP levering	160	B	3VA1116-3EE36-0AA0	5181
5	CHP driftsbehov	4	D	FAZ-D4/3-NA	1239
	Tavle	Sikring [A]	Karakteristikk	Type sikring	Pris [kr]
	Grisfjøs	250	A	3VA2225-5HL32-0AA0	9330
Kursnummer	Navn på kurs	Sikring [A]	Karakteristikk	Type sikring	Pris [kr]
7	føringsanlegg grisefjøs	160	B	3VA1116-3EE36-0AA0	5181
8	Ventilasjon grisefjøs	6	D	5SL4306-6	707
9	Belysning grisefjøs	16	B	5SY4316-6	599
	Tavle	Sikring [A]	Karakteristikk	Type sikring	Pris [kr]
	Anleggsgar.	200	A	3VA1225-4EF32-0AA0	9137
Kursnummer	Navn på kurs	Sikring [A]	Karakteristikk	Type sikring	Pris [kr]
11	føringsanlegg grisefjøs	160	B	3VA1116-3EE36-0AA0	5181
12	Ventilasjon grisefjøs	50	Z	3VA1150-4EE36-0AA0	2782

Tabell 7.3.1: Oversikt over vern til de forskjellige kursene og pris

Ved valg av samme sikringsstørrelser og karakteristikk som oppgitt i tabell 7.3.1, vil man kunne oppnå total selektivitet i anlegget. Dette har blitt testet i FEBDOK.

7.4 Valg av kjøretøy

Det ble i starten av prosjektet undersøkt hvilke alternativer som kunne være aktuelle for de tre maskinene. Klima østfold har utviklet en svært god oversikt over fossilfrie arbeidsmaskiner og kjøretøy. [51] Under er en presentasjon av alternativene vi kom fram til for de ulike maskinene.

Produsent	Konsept	Drivstoff
John Deere	SESAM	Batterielektrisk
Fendt	X Concept	Diesel/elektrisk
Arvaker	SolarFarm	Batterielektrisk
Rigtrack		Batterielektrisk
Farmtrac		Batterielektrisk

Tabell 7.4.1: Oversikt over alternative traktorer

Disse traktorene ble vurdert som aktuelle, men ble valgt bort til fordel for Fendt e100 Vario som vi anså som best egnet til vår case siden noen av traktorene var altfor små mens andre var det vanskelig å finne spesifikasjoner på.

Vi fant også disse alternativer for gravemaskin:

Produsent	Konsept/modell	Drivstoff
Suncar	TB1140E	Batterielektrisk
Komatsu	HB215LC-2	Hybrid
Komatsu	HB365LC-3	Hybrid
Hitachi	Nasta AS	Elektrisk (kablet)

Tabell 7.4.2: Oversikt over alternative gravemaskiner

Flere av disse var gode alternativer som kunne gi interessante resultater, men valget falt på Cat 320 Z-line siden noen av disse er hybride mens den siste er elektrisk kablet. Og vi anså den elektriske kablede gravemaskinen som utfordrende å jobbe med til hverdags.

Elektriske lastebiler til vårt formål var det et svært magert utvalg av, men vi fant et alternativ:

Produsent	Konsept/modell	Drivstoff
Renault	D Wide Z.E.	Batterielektrisk

Tabell 7.4.3: Oversikt over alternative lastebiler

Dette er en svært tilsvarende modell til lastebilen vi valgte for vår oppgave. Men grunnet Volvos sterke tilknytning til Skandinavia, anså vi det som et bedre valg å gå for Volvo FE electric, siden Volvo har mer erfaring med det skandinaviske klimaet i tillegg til at de har produsert elektriske busser fra før av.

8 VEDLEGG

- Vedlegg 1: Pon Equipment katalog om Cat 307,5 og 310 Z-line
- Vedlegg 2: Pon Equipment katalog om Cat 320 Z-line
- Vedlegg 3: Pon Equipment katalog om Cat 323F Z-line
- Vedlegg 4: Møtereferat fra befaring på gården
- Vedlegg 5: Møtereferat fra møte med Volvo
- Vedlegg 6: Møtereferat fra møte med Fendt
- Vedlegg 7: Strømkart over gården
- Vedlegg 8: Oversikt over trafospesifikasjoner fra møre trafo
- Vedlegg 9: Kraftpriser hentet fra Statistisk Sentralbyrå
- Vedlegg 10: Mail fra Pon Equipment
- Vedlegg 11: Mail fra Pon Equipment
- Vedlegg 12: Kursoversikt fra FEBDOK
- Vedlegg 13: Tilkoblings skjema Garasjer
- Vedlegg 14: Tilkoblings skjema Grisefjøs
- Vedlegg 15: Tilkoblings skjema Kufjøs
- Vedlegg 16: Tabelloversikt over dimensjonerende temperatur ulike steder i Norge
- Vedlegg 17: Øving 7 fra faget TELE2005
- Vedlegg 18: Dimensjonering anleggsgarasje
- Vedlegg 19: Dimensjonering i kufjøset
- Vedlegg 20: Dimensjonering i grisefjøset
- Vedlegg 21: Dimensjonering i hovedhuset
- Vedlegg 22: Trepolt kortslutning i grisefjøset
- Vedlegg 23: Trepolt kortslutning i anleggsgarasjen
- Vedlegg 24: Trepolt kortslutning i hovedhuset
- Vedlegg 25: Topolt kortslutning i grisefjøset
- Vedlegg 26: Topolt kortslutning i anleggsgarasjen

- Vedlegg 27: Topolt kortslutning i hovedhuset
- Vedlegg 28: Spenningsfall fra transformator
- Vedlegg 29: Spenningsfall i kufjøset
- Vedlegg 30: Spenningsfall for ladekurs
- Vedlegg 31: Spenningsfall i grisefjøs
- Vedlegg 32: Vitenskapelig artikkel



Cat®

307,5/310 Z-line

Battery electric hydraulic excavator



Features:

The Cat 307,5/310 Z-line battery electric hydraulic excavator delivers maximum performance with zero emissions.

ALL DAY COMFORT

- ❑ Fully electric drivetrain, ensures low vibration and noise levels. Improving the operator experience beyond the already brilliant “Next generation” Cab.
- ❑ Preheat functionality ensures conditioned machine at startup in cold weather.

EASY TO OPERATE

- ❑ The only difference from an original Diesel fueled excavator, is an extra display informing the operator on the status of battery and drive train. Identical operation of the machine in all modes.

CHARGE INTERFACE COMMONALITY

- ❑ The Z-line excavators is utilizing the standardized CCS2 quick charging interface to ensure accessibility and versatility of charging equipment on site.**
- ❑ Z-line excavators can also be charged during night on a standard utility grid CEE connection with the charging cable supplied with the machine

SAFETY

- ❑ Your safety is our top priority. The Z-line excavators is designed to keep you safe on the job. Monitoring devices ensure safe operation in all conditions.

LOWER OPERATING COSTS

- ❑ Less moving parts, less fluids, less filters, lower energy consumption and longer service intervals boosts your TCO in the right direction.

DEALER SUPPORT

- ❑ Cat Z-line dealers offering the battery electric lineup is trained and certified to help you to reach your goals. From providing counseling in energy management on site to operator training, service needs and beyond.

Specifications

Electric drivetrain

Motor type Permanent magnet
 Power **50kW/280Nm**

DCDC Converter (12V) 4000W/278A

On board charger 22kW/43kW
 43kW Charging time 0-100% 7hours*
 66kW Charging time 0-100% 4,5 hours*
CCS Charging max 75kW
 Charging time 0-100% <2hours**

Runtime between charging

Heavy excavation 5-6hours
 (Heavy soil, rock, bank mass. Moving mass from low level to high level. High boom utilization)

Fine grading, landscaping 6-8 hours
 (Lighter excavation, loose mass. Medium to low boom utilization)

*Estimated charging times are based on optimal temperature conditions

** CCS2 Quick charger is not provided with excavator, and is a extra device that needs to be rented or purchased by supplier of these



Cat®

320 Z-line

Battery electric hydraulic excavator



Features:

The Cat 320 Z-line battery electric hydraulic excavator delivers maximum performance with zero emissions.

ALL DAY COMFORT

- ❑ Fully electric drivetrain, ensures low vibration and noise levels. Improving the operator experience beyond the already brilliant “Next generation” Cab.
- ❑ Preheat functionality ensures conditioned machine at startup in cold weather.

EASY TO OPERATE

- ❑ The only difference from an original Diesel fueled excavator, is an extra display informing the operator on the status of battery and drive train. Identical operation of the machine in all modes.

CHARGE INTERFACE COMMONALITY

- ❑ The Z-line excavators is utilizing the standardized CCS2 quick charging interface to ensure accessibility and versatility of charging equipment on site.**
- ❑ Z-line excavators can also be charged during night on a standard utility grid CEE connection with the charging cable supplied with the machine

SAFETY

- ❑ Your safety is our top priority. The Z-line excavators is designed to keep you safe on the job. Monitoring devices ensure safe operation in all conditions.

LOWER OPERATING COSTS

- ❑ Less moving parts, less fluids, less filters, lower energy consumption and longer service intervals boosts your TCO in the right direction.

DEALER SUPPORT

- ❑ Cat Z-line dealers offering the battery electric lineup is trained and certified to help you to reach your goals. From providing counseling in energy management on site to operator training, service needs and beyond.

Specifications

Electric drivetrain

Motor type Permanent magnet
Power 120kW/750Nm

DCDC Converter (24V) 4000W/150A

On board charger 43kW/66kW
 43kW Charging time 0-100% 7hours*
 66kW Charging time 0-100% 4,5 hours*
CCS Charging max 150kW
 Charging time 0-100% <2hours**

Runtime between charging

Heavy excavation 5-6hours
 (Heavy soil, rock, bank mass. Moving mass from low level to high level. High boom utilization)

Fine grading, landscaping 6-8 hours
 (Lighter excavation, loose mass. Medium to low boom utilization)

*Estimated charging times are based on optimal temperature conditions

** CCS2 Quick charger is not provided with excavator, and is a extra device that needs to be rented or purchased by supplier of these



Cat®

323F Z-line

Battery electric hydraulic excavator

Features:

The Cat 323F Z-line battery electric hydraulic excavator delivers maximum performance with zero emissions.

ALL DAY COMFORT

- ☐ Fully electric drivetrain, ensures low vibration and noise levels. Improving the operator experience.
- ☐ Preheat functionality ensures conditioned machine at startup in cold weather.

EASY TO OPERATE

- ☐ The only difference from an original Diesel fueled excavator, is an extra display informing the operator on the status of battery and drive train. Identical operation of the machine in all modes.

CHARGE INTERFACE VERSATILITY

- ☐ The 323F Z-line utilize a proprietary charging cabinet connected to the utility grid, and able to deliver up to 150kW charging power from the on board charger.**
- ☐ 323F Z-line need only a standard connection to a 400V utility grid for charging. Available charging powers can be set in machine display to ensure maximum versatility at the construction site.

SAFETY

- ☐ Your safety is our top priority. The Z-line excavators is designed to keep you safe on the job. Monitoring devices ensure safe operation in all conditions.

LOWER OPERATING COSTS

- ☐ Less moving parts, less fluids, less filters, lower energy consumption and longer service intervals boosts your TCO in the right direction.

DEALER SUPPORT

- ☐ Cat Z-line dealers offering the battery electric lineup is trained and certified to help you to reach your goals. From providing counseling in energy management on site to operator training, service needs and beyond.

Specifications

Electric drivetrain

Motor type	Permanent magnet
Power	120kW/750Nm
DCDC Converter (24V)	4000W/150A

Runtime between charging

Heavy excavation (Heavy soil, rock, bank mass. Moving mass from low level to high level. High boom utilization, Hammer operation)	4-6hours
Fine grading, landscaping (Lighter excavation, loose mass. Medium to low boom utilization)	6-8 hours

On board charger	32-150kW adjustable
22kW Charging time 0-100% (32A)	14 hours*
43kW Charging time 0-100% (64A)	7hours*
88kW Charging time 0-100% (125A)	4,5 hours*
150kW Charging time 0-100% (250A)	<2 hours*

*Estimated charging times are based on optimal temperature conditions

** Max 150kW charging only available if grid connection allows it.

Vedlegg 4

Bacheloroppgave: E2008 Elektrifisering av landbruk

Møtereferat – MR 4

Gjelder: **Gjennomgang av spørsmål om gården**

<p>Møtedato: 09.03.2020</p> <p>Kl: 12:00 til 14:00</p> <p>Sted: Gården til Inge</p>	<p>Tilstede:</p> <p><i>Prosjektgruppe:</i> Ole M. Rangul (OR) email: ole_rangul@hotmail.com Ole E. Sandvik (OS) email: oleesa@stud.ntnu.no Håvard Willoch (HW) email: hawilloch@gmail.com Pål Wagner (PW) email: paalwagner@gmail.com</p> <p><i>Oppdragsgiver:</i> Ingvar Kvande (IK) tlf. 93015157 email: ingvar.kvande@norsok.no</p> <p><i>Gårdeier:</i> Inge Hoemsnes (IH) email: inge@hoemsnes.no</p> <p><i>Veileder:</i> Steve Vøller (SV) email: steve.voller@ntnu.no</p>
<p>Møteleder: Ole E. Sandvik (OS)</p> <p>Referent: Pål Wagner (PW)</p>	<p>Går til: Møtedeltakerne</p> <p>Kopi til:</p>
<p>Dato: 10.03.2020</p>	

Sak nr.	Emne	Ansvarlig	Tidsfrist
16/20	Forbruksmønster på anleggsmaskiner <ul style="list-style-type: none"> • Traktor: 700-800 timer/året. 200/300 timer i året. • Lastebil: 4-5 timer/dag • Gravemaskin: 5-6 timer/dag. <p>Ble også avtalt at gruppa skulle ta kontakt med Volvo og Fendt for å undersøke om disse selskapene er villig til å være med på en «test» som kan resultere i billigere elektriske anleggsmaskiner. For kontakt med Volvo sender vi mail direkte til Volvo. For kontakt med Fendt, skal vi prate med <u>John Magne Sæter</u></p>	OR HW	
08/12	Avstand fra gården til transformator <ul style="list-style-type: none"> • 170m 	-	
09/12	Antall dyr <ul style="list-style-type: none"> • Ku: 50 melkekyr, 130 annen storfe • Gris: 700 til enhver tid. 	-	
10/12	Generatorspesifikasjoner <ul style="list-style-type: none"> • Mer info kommer. <p>Det ble antatt at vi allerede hadde fått tilgang til denne informasjonen.</p>	IH	Så snart som mulig
11/12	Kostnad på anlegget <ul style="list-style-type: none"> • 5.5 millioner 	-	
12/12	Mer informasjon om hva som bruker strøm <ul style="list-style-type: none"> • Forblander: 30kW • Melkerobot: 6kW • Foringsanlegg gris: 35kW motor • Forbruket i gris- og kufjøs er omtrent det samme. <p>Det ble avtalt at mer informasjon om strømforbruket/effekttrekk skulle sendes på mail.</p>	IH	Så snart som mulig
13/12	Hva som begrenser produksjonen <ul style="list-style-type: none"> • Skumming • Innjustering av programvare • Forandringer i hva som går inn i anlegget. • Fôr som gis til kuer/gris. 	-	
14/12	Belysning og varmebehov <ul style="list-style-type: none"> • Oppvarming av drikkevann til 15 grader (melkekyr) • 50 grader varmtvannstank • Bruker varmen til gulvvarme (grisfjøs) • Kufjøs – høyde:8m, 16 armaturer, 400W • Grisfjøs – 3,5m, snitt på 3. • 10-12 grader i kufjøs, 15 grader grisfjøs. • Gris- 10 cm vegg, 10 cm isolasjon, 30cm i taket. Isolasjon av typen Rockwool A-klasse <p>Skal beregne varmebehov/belysningsbehov og dimensjonere ledertverrsnitt til ku- og grisfjøs.</p>	PW	

Vedlegg 5

Bacheloroppgave: E2008 Elektrifisering av landbruk

Møtereferat – MR 5

Gjelder: Møte med Volvo	
Møtedato: 31.03.2020 Kl: 12:00 til 14:00 Sted: Trondheim	Tilstede: <i>Prosjektgruppe:</i> Ole M. Rangul (OR) email: ole_rangul@hotmail.com Håvard Willoch (HW) email: hawilloch@gmail.com <i>Product Managerr:</i> Kjetil Bergflødt (KB) email: kjetil.bergflodt@volvo.com
Møteleder: Kjetil Bergflødt (KB) Referent: Ole M. Rangul (OR)	Går til: Prosjektgruppe Kopi til: Legges inn i Teams
Dato: 31.03.2020	

Sak nr.	Emne	Ansvarlig	Tidsfrist
17/20	Spesifikasjoner på Volvo FE electric <ul style="list-style-type: none"> • 2 elektromotorer på max 400kW • Vekt batteri: 550kg, levetid 8-10år, 35kWh anvendbart • Lades på 400V 3-fase • Bilen kan lades på 230V (Utfordring med høye strømmer) • Tillatt totalvekt på 27t (nyttelast: ca 14t) • Rekkevidde: 50-200km 		
18/20	Kostnader <ul style="list-style-type: none"> • Vedlikehold 30% dyrere enn ved en dieseldrevet • 1 batteri koster i dag 200 000kr (antagelig billigere om 8-10år, når batteriet må skiftes) • Lademodul: 200 000-300 000kr • Pris på Volvo FE m/tipp: 1 270 000kr • Pris på Volvo FE electric m/tipp: 4 110 000kr • Prisene inkluderer klargjøring og montering pluss tippkasse 		
19/20	Annet <ul style="list-style-type: none"> • Kan gjøre egne endringer på lastebilen (velge tipp, krok osv), for å optimalisere lastebilen til flere funksjoner og eventuelt spare egenvekt • Forbruk ligger på 1,4-2kWh/km (elektrisk tippbil) • Forbruk ligger på 5L/10km (diesel tippbil) 		

Bacheloroppgave:
15 - NORSØK - Elektrifisering av landbruket
Møtereferat – MR7

Gjelder: Møte med Fendt	
Møtedato: 10.03.2020 Kl: 12:07 til 12:15 Sted: Trondheim (hjemme)	Tilstede: <i>Prosjektgruppe:</i> Håvard Willoch (HW) email: hawiloch@gmail.com <i>Eiksenteret</i> John Magne Sæter (JMS) email: jon.magne.sater@eiksenteret.com
Møteleder: Håvard Willoch Referent: Håvard Willoch	Går til: Møtedeltakerne Kopi til: Legges inn i PA-mappa på Teams
Dato: 08.04.2020	

Sak nr.	Emne	Ansvarlig	Tidsfrist
25/20	Spesifikasjoner om Fendt e100 Vario: <ul style="list-style-type: none">Lavere vedlikeholdskostnaderEn del lavere pris på maskinen enn vi først antok (2,3 mill var alt for høyt)	HW	
26/20	Annet: <ul style="list-style-type: none">John Magne skulle videresende mail til en person med mer kunnskap om maskinen.	JMS	

Vedlegg 7



Vedlegg 8

10.06.2013

100613-Tekn Data PORS-22000-240VOLT.123



MØRE TRAFØ AS
 HOVEDKONTOR
 N-6230 SYKKYLVEN
 TLF.: 47 -70 24 61 00
 FAX : 47 -70 24 61 01

22000 / **240 Volt**
 + -- 2 x 2,5 % Kobl. Yyn0
 3 -fase 50 Hz ONAN
 2 - viklingstransformator Kjøling
 Overflate EP 96056 E =EPOXY
 Fargekode NCS 6010 G 60 Y Tiln. RAL6013 V=Vfz (zink)
 Kjerneblikk Step-lap Laser
 Godkjent olje : Type : **NYTRO 10XN Mineralolje**

more.trafo@moretrafo.no

Hermetisk tett
 Skal ikke åpnes ved vedlikehold !

IEC60076-1-2011

315>>>

Type :		OTK	OTW	OTW	OTW	OTW	OTW	OTW	OTW	OTW	OTW	OTW	OTW	OTW
EI.data		2528	3625	3640	4640	4650	51160	51170	6960	6970	8570	81078	81078	81078
Viklinger HS		22000 Volt	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI
Ref. el.		29090	51406	51441	50899	50900	46354	54186	44108	44348	28408	52836	53154	
Ref. int.		VD26818	VD26669	VD26607	VD26609	VD26611	T104495 P01	VD27428	T102438 P01	T105480 P01	VD25007	VD27071	VD27072	
Viklinger LS		240 Volt	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI
Kurs		7,60												
Tomg.tap Po:		1,02	W	61,1	120	150	210	380	470	590	650	900	960	1100
Tomg.strøm Io:			%		2,18	0,50	0,47	0,35	0,24	0,13	0,11	0,18	0,16	0,12
Bel.tap Pk:			W	14,5	920	860	1470	2070	3340	4350	5790	6740	9160	12270
(ek ,uk ,uz,Ucc ,Vcc) :			zt % :		4,13	3,66	3,81	3,74	4,33	4,32	5,01	5,58	6,23	6,06
			rt % :		3,05	1,71	1,47	1,03	1,06	0,87	0,92	0,84	0,92	0,98
			xt % :		2,79	3,24	3,52	3,59	4,20	4,24	4,93	5,52	6,17	5,98
Reaktive tg. Qo:			kVAr		0,65	0,21	0,42	0,60	0,61	0,30	0,32	1,19	1,25	1,07
Reaktive bel.Qk:			kVAr		0,84	1,62	3,52	7,18	13,21	21,18	31,03	44,14	61,65	74,76
Komp.full last			kVAr		1,48	1,83	3,93	7,78	13,83	21,49	31,36	45,33	62,90	75,83
Ro mOhm					58,56	19,699	8,461	2,976	1,937	1,003	0,84	0,606	0,528	0,452
Xo mOhm					651,686	270,213	227,059	100,08	90,322	67,554	67,554	50,44	50,44	39,198

Spenn.fall dU %															
Belastn.faktor	1,0	cosØ:	1,0	3,09	1,71	1,47	1,03	1,15	0,96	1,04	0,99	1,11	1,16	1,01	1,26
Belastn.faktor	1,0	cosØ:	0,8	4,11	3,31	3,28	2,98	3,4	3,28	3,75	4,06	4,53	4,46	4,16	5,47

Virkn.grad % :															
Belastn.faktor	1,0	cosØ:	1,0	96,68	98,04	98,35	98,79	98,81	99,02	98,99	99,06	99,00	98,94	99,06	98,97
Belastn.faktor	1,0	cosØ:	0,8	95,87	97,57	97,94	98,50	98,52	98,78	98,74	98,82	98,75	98,68	98,83	98,71
Belastn.faktor	0,75	cosØ:	0,8	96,60	97,97	98,30	98,74	98,78	99,00	98,98	99,04	98,99	98,95	99,06	98,98
Belastn.faktor	0,5	cosØ:	1,0	97,73	98,60	98,86	99,12	99,18	99,34	99,35	99,36	99,36	99,34	99,40	99,38
Design omg.	20	°C													
Belastn.faktor	1,0	cosØ:	1,0												
Oljetrykk dP		bar		0,20	0,20	0,18	0,14	0,26	0,22	0,20	0,20	0,16	0,06	0,09	0,09

Lydeff. Lwa														
Lydr. LpA		dB(A)	37	37	39	44	49	51	53	54	56	57	58	58
Lydr. LpA		dB(A)	27	27	28	35	40	42	43	45	45	46	46	46
Lydr. LpA		dB(A)												
Flukstetthet kjerne		Tesla	1,79	1,53	1,66	1,64	1,72	1,58	1,58	1,69	1,69	1,59	1,55	1,38
Ref. sec. max Ik		kA	1,7	3,3	6,3	12,9	17,5	27,8	30,2	34,5	38,6	49,6	67,2	50,5
Overflate	E=Epoxy, V=Vfz	V	V	V	V	E	E	E	E	E	E	E	E	E
GJENVINNING		Vekt %	92,7	94,8	94,5	96,2	86,2	97,5	97,4	97,7	97,7	97,9	98,4	98,5

Dim.:		Ref. dim.	V26556	V50476	V49478	V50307	V50308	V46206	V54168	V43291	V44345	V28148	V90022	V90022
Total		kVA	30	50	100	200	315	500	630	800	1000	1250	1600	1600
Olje		kg	336	511	572	888	1 232	1 774	1 980	2 292	2 551	3 317	4 430	4 474
Kjerne & viki.		kg	132	172	155	188	238	335	360	448	493	670	825	810
Olje	0,876	Liter	145	263	341	591	835	1 155	1 318	1 503	1 666	2 064	2 924	2 983
Total Lengde L =		mm	151	196	177	215	272	382	411	511	563	765	942	925
Total Bredde B =		mm	810	940	940	1 120	1 110	1 280	1 280	1 500	1 600	1 730	1 890	1 890
Total Høgd H =		mm	580	670	670	730	790	830	900	900	900	1 050	1 120	1 120
Målskisse			1 070	1 070	1 070	1 090	1 400	1 570	1 670	1 590	1 690	1 900	1 880	1 880
Gjennomf. HS			T88402c	T109469c	T109469c	T111433a	T111434c	T105456a	T120466	T101441b	T102496b	T93402c	T117410	T117410
Gjennomf. LS	Mxx	mm	Porselen	Porselen	Porselen	Porselen	Porselen	Porselen	Porselen	Porselen	Porselen	Porselen	Plug-in	Plug-in
		mm	12	12	12	20	30	30	42	42	48	48	2 x 42	2 x 42
		mm	n	12	12	12	20	12	12	12	12	20	20	20

T92458

H2	mm	700	700	700	720	870	1 040	1 140	1 060	1 160	1 320	1 590	1 590
a1	mm	670	670	670	670	670	670	670	670	670	820	820	820
c1	mm	380	450	450	510	510	540	540	540	540	600	690	690
c2	mm	420	490	490	550	550	600	600	600	600	650	860	860
a	mm	698	828	828	978	978	1 150	1 150	1 350	1 350	1 500	1 660	1 660
c	mm	358	428	428	488	488	520	520	570	570	580	686	686
f1	mm	135	157	157	190	190	188	188	205	205	205	248	248
f2	mm	130	115	115	140	140	144	144	178	178	170	175	175
g	mm	80	250	250	300	150	175	175	210	210	235	260	260
i	mm	60	250	250	300	75	83	83	105	105	118	130	130

Vedlegg 9

09387: Kraftpris, nettleie og avgifter for husholdninger, etter statistikkvariabel og kvartal

Kraftpris inkl. mva (øre/kWh)	2017K1	2017K2	2017K3	2017K4	2018K1	2018K2
	41,9	40,4	40,6	43,8	51,8	54,4

						Nettleie inkl. avgifter (øre/kWh)
2018K3	2018K4	2019K1	2019K2	2019K3	2019K4	2017K1
67,5	66,9	67,4	55,7	51,9	57,2	54,6

2017K2	2017K3	2017K4	2018K1	2018K2	2018K3	2018K4	2019K1	2019K2
54,6	54,6	54,6	54,6	55,9	55,9	56,5	56,9	56,9

					Kraft og nett i alt inkl. avgifter (øre/kWh)	
2019K3	2019K4	2017K1			2017K2	2017K3
56,9	55,1	96,5			95,0	95,2

2017K4	2018K1	2018K2	2018K3	2018K4	2019K1	2019K2	2019K3	2019K4
98,4	106,4	110,3	123,4	123,4	124,3	112,6	108,8	112,3

Forbruksavgift på elektrisk kraft (øre/kWh)								
2017K1			2017K2	2017K3	2017K4	2018K1	2018K2	2018K3
16,3			16,3	16,3	16,3	16,6	16,6	16,6

2018K4	2019K1	2019K2	2019K3	2019K4
16,6	15,8	15,8	15,8	15,8

Kilde: Norges vassdrags- og energidirektorat.

F.o.m. 4.kvartal 2019 omfatter nettleie ekskl. avgifter ikke enova-avgift. F.o.m samme periode har også en dobbeltføring av enova-avgiften på 1 øre/kWh knyttet til nettleie inkl. avgifter blitt korrigert.

statistikkvariabel:

Kraftpris inkl. mva (øre/kWh):

Fra 1. januar 2004 kreves forbruksavgift på elektrisk kraft inn av netteier og er fra det tidspunktet en del av nettleia inklusive avgifter, mens den tidligere var en del av kraftprisen. Forbruksavgiften kreves ikke inn for Finnmark og noen kommuner i Nord-Troms. I Nordland, Troms og Finnmark er det fritak for mva. Prisen i denne tabellen er gjennomsnitt for hele landet.

statistikkvariabel:

Nettleie inkl. avgifter (øre/kWh):

Fra 1. januar 2004 kreves forbruksavgift på elektrisk kraft inn av netteier og er fra det tidspunktet en del av nettleia inklusive avgifter, mens den tidligere var en del av kraftprisen. Forbruksavgiften kreves ikke inn for Finnmark og noen kommuner i Nord-Troms. I Nordland, Troms og Finnmark er det fritak for mva. Prisen i denne tabellen er gjennomsnitt for hele landet.

statistikkvariabel:

Kraft og nett i alt inkl. avgifter (øre/kWh):

Fra 1. januar 2004 kreves forbruksavgift på elektrisk kraft inn av netteier og er fra det tidspunktet en del av nettleia inklusive avgifter, mens den tidligere var en del av kraftprisen. Forbruksavgiften kreves ikke inn for Finnmark og noen kommuner i Nord-Troms. I Nordland, Troms og Finnmark er det fritak for mva. Prisen i denne tabellen er gjennomsnitt for hele landet.

Siste oppdatering:

Kraftpris inkl. mva (øre/kWh):

20200213 08:00

Nettleie inkl. avgifter (øre/kWh):

20200213 08:00

Kraft og nett i alt inkl. avgifter (øre/kWh):

20200213 08:00

Forbruksavgift på elektrisk kraft (øre/kWh):

20200213 08:00

Kilde:

Statistisk sentralbyrå

Kontakt:

Kraftpris inkl. mva (øre/kWh):

Thomas Aanensen, Statistisk sentralbyrå

+47 40 90 23 48

tre@ssb.no

Magne Holstad, Statistisk sentralbyrå

+47 409 02 342

gnh@ssb.no

Copyright

Måleenhet:

Kraftpris inkl. mva (øre/kWh):

øre/kWh

Nettleie inkl. avgifter (øre/kWh):

øre/kWh

Kraft og nett i alt inkl. avgifter (øre/kWh):

øre/kWh

Forbruksavgift på elektrisk kraft (øre/kWh):

øre/kWh

Målemetode:

Kraftpris inkl. mva (øre/kWh):

Gjennomsnitt

Nettleie inkl. avgifter (øre/kWh):

Gjennomsnitt

Kraft og nett i alt inkl. avgifter (øre/kWh):

Gjennomsnitt

Forbruksavgift på elektrisk kraft (øre/kWh):

Gjennomsnitt

Referansetid:

Kraftpris inkl. mva (øre/kWh)

Hele kvartalet

Nettleie inkl. avgifter (øre/kWh)

Hele kvartalet

Kraft og nett i alt inkl. avgifter (øre/kWh)

Hele kvartalet

Forbruksavgift på elektrisk kraft (øre/kWh)

Hele kvartalet

Database:

Ekstern PRODUKSJON

Intern referansekode:

KraftprisIA

Vedlegg 10

Hei!

323F Z-line er en batterielektrisk 25 tonn gravemaskin. Denne har et batteri på 300kWh hvorav 276kWh er anvendbart, og en lader på maskinen som kan levere en ladestyrke på 150kW dersom det er nok strøm tilgjengelig.

Vekt på maskinen ferdig montert med rototilt og skuff er ca. 26tonn.

Ved tilslutning til en 400V/250A kurs kan maskinen lades med 150kW, og lades fra 0-100% på ca. 1t45minutter.

Maskinen koster 5.700 000 kroner før evt. Enovastøtte.

323F Z-line er sluttet solgt, og vi vil utover sommeren begynne å levere 307,5 Z-line, 310 Z-line og 320 Z-line.

Se vedlagte produktdatablad.

Best regards

Eivind Hafslund

Prosjektleder Spesialprodukter

Pon Equipment AS

Bølervegen 60 | 2020 | Skedsmokorset | Norway |

M +47 936 92 037 |

E Eivind.Hafslund@pon.com |



Vedlegg 11

- Pris på maskinen 5.700.000
- Batterikapasitet 275kWh anvendbar
- Kostnad på CCS laderen Denne selger ikke vi. Men ca. 700.000kr for en 150kW
- vekt på maskinen 25tonn ca.
- Er on board ladingen tilsvarende som i 323 maskinen med tanke på ampere? Nei, onboard variantene på 320NGH er 22/43/66kW. Altså maksimalt 125A/400V.
-

Best regards

Eivind Hafslund

Prosjektleder Spesialprodukter

Pon Equipment AS

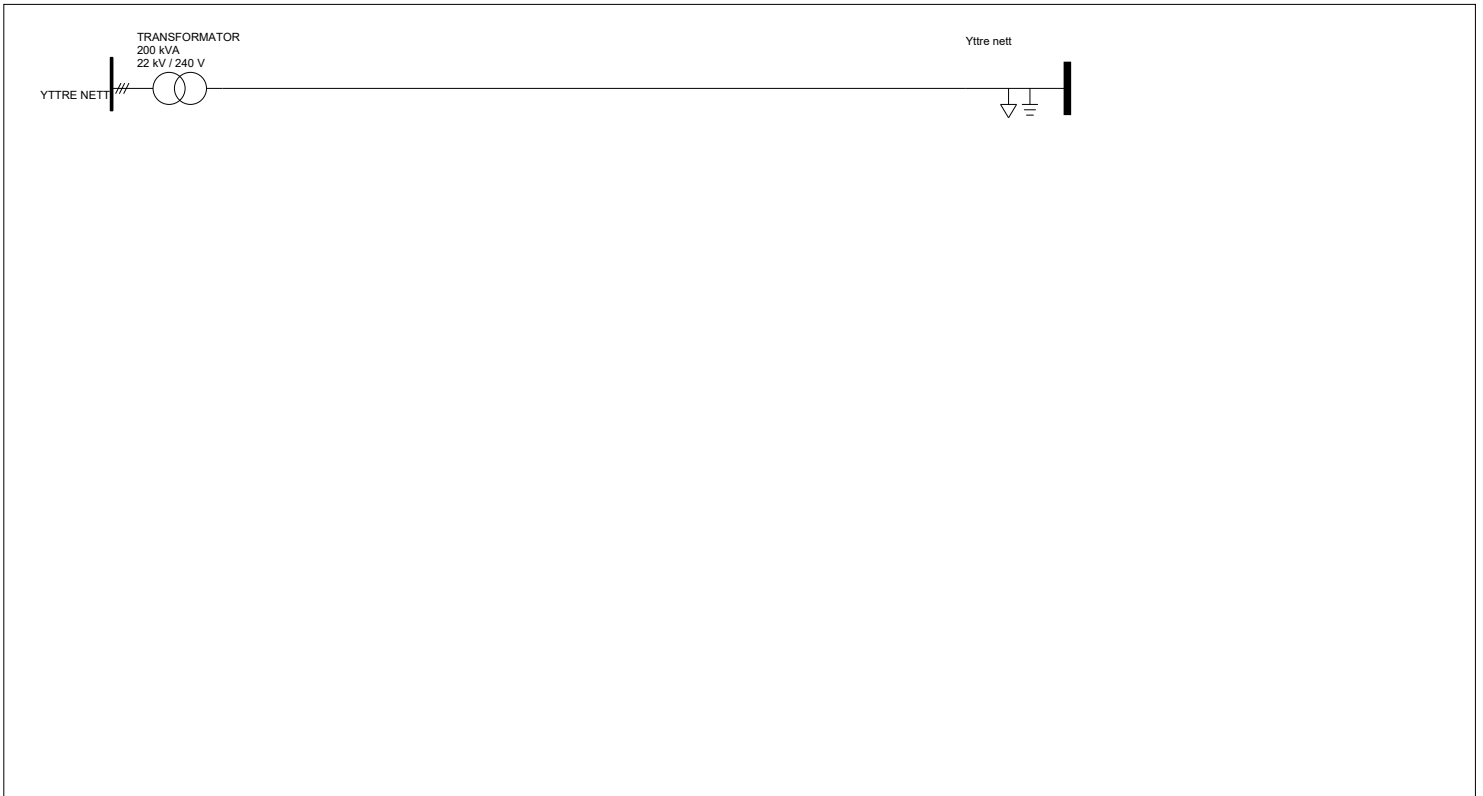
Bølervegen 60 | 2020 | Skedsmokorset | Norway |


M +47 936 92 037 |

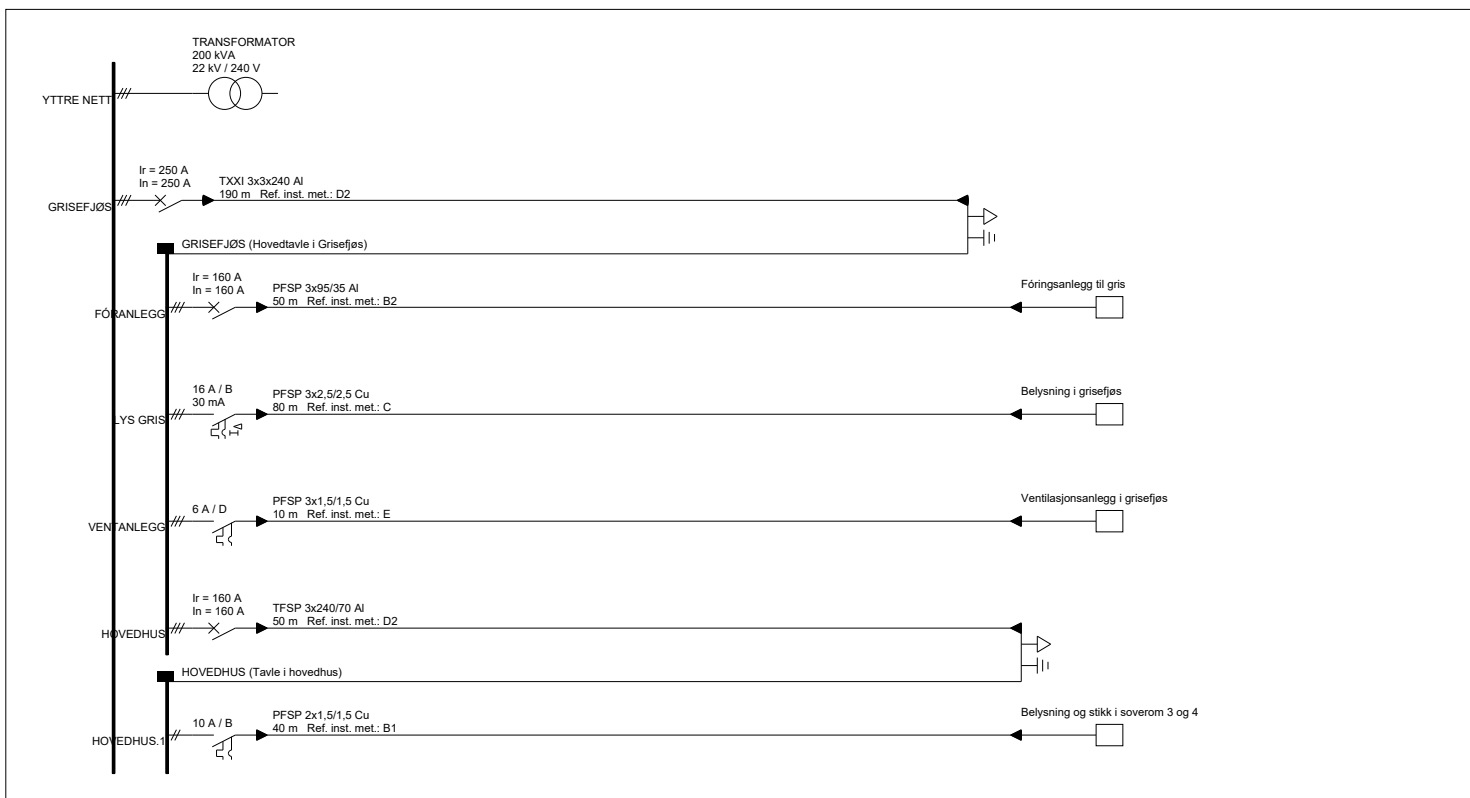
E Eivind.Hafslund@pon.com |



Vedlegg 12



Institutt for Elkraftteknikk 7491 TRONDHEIM Tel: 73 59 42 10	Anleggets adresse:	Anlegg: Gård V3	Dato: 21.04.2020 11.24.46
	Kunde, eier:	Fordeling: HVNET	NEK400_2018 22000 V IT
		 Vs. 6.0.193 Dato. 07.01.2020	Side 1 (1) av 5



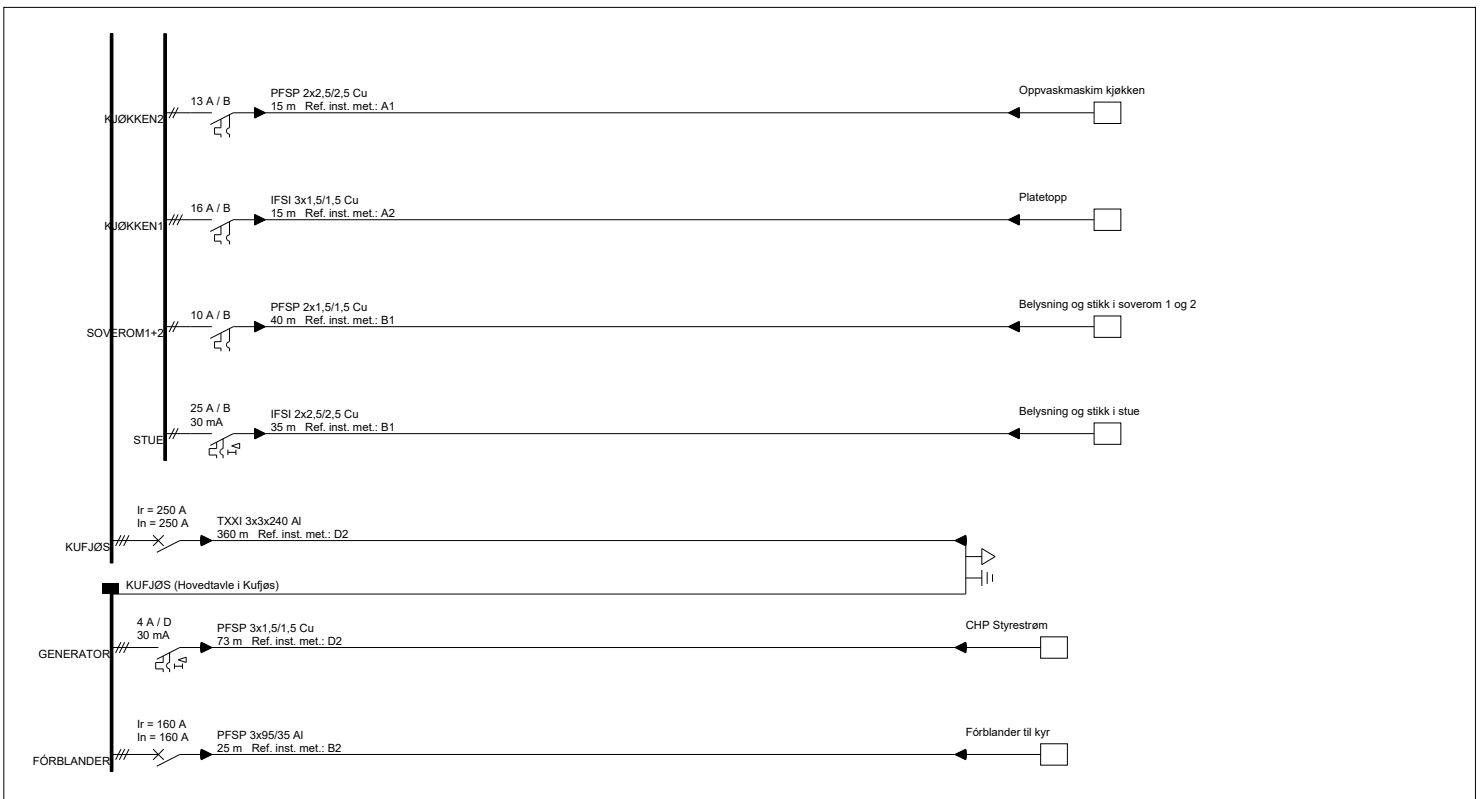
Institutt for Elkraftteknikk 7491 TRONDHEIM Tel: 73 59 42 10	Anleggets adresse:	Anlegg: Gård V3	Dato: 21.04.2020 11.24.46
	Kunde, eier:	Fordeling TRAFOTAVLE	NEK400_2018 240 V IT
		Vs. 6.0.193 Dato. 07.01.2020	Side 2 (2) av 5





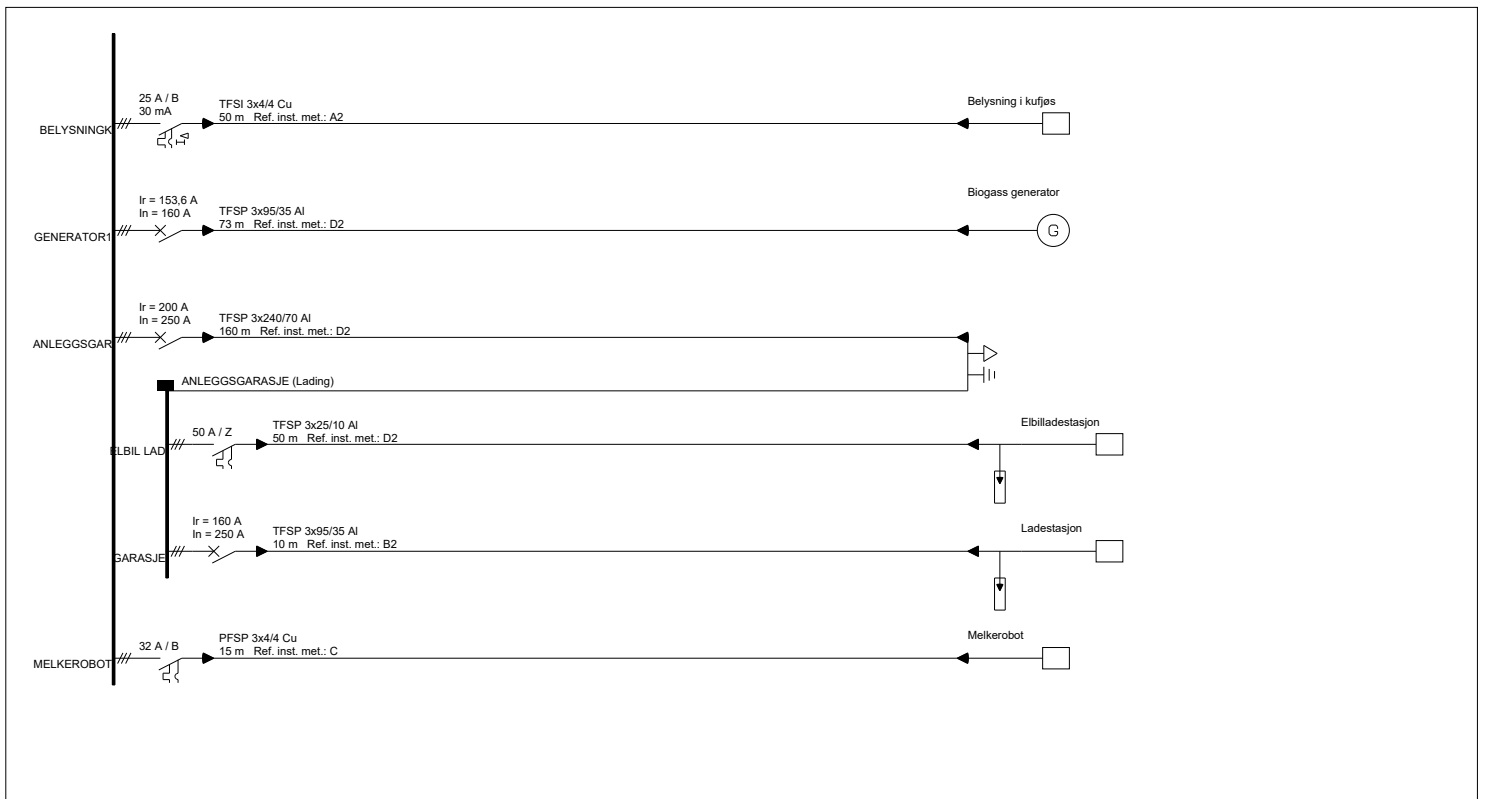
Institutt for Elkraftteknikk 7491 TRONDHEIM Tel: 73 59 42 10	Anleggets adresse:	Anlegg: Gård V3	Dato: 21.04.2020 11.24.46
	Kunde, eier:	Fordeling TRAFOTAVLE	NEK400_2018 240 V IT
		Vs. 6.0.193 Dato. 07.01.2020	Side 3 (3) av 5





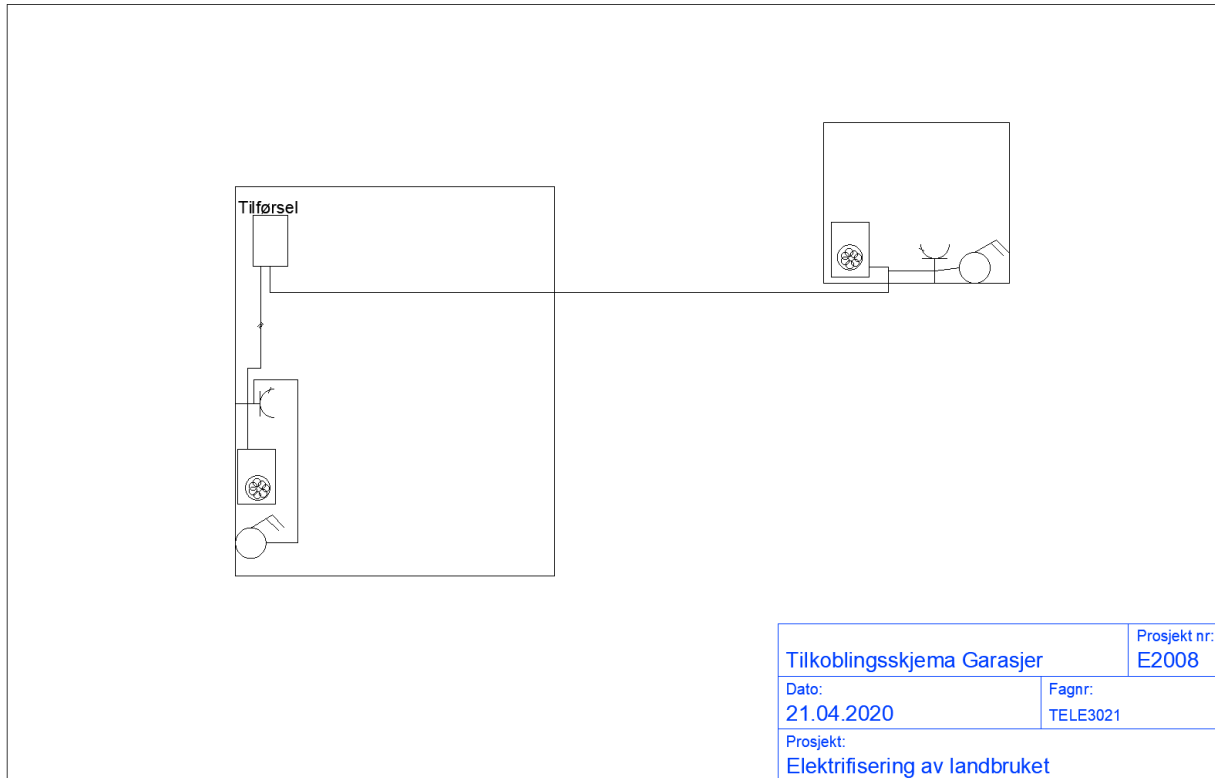
Institutt for Elkraftteknikk 7491 TRONDHEIM Tel: 73 59 42 10	Anleggets adresse:	Anlegg: Gård V3	Dato: 21.04.2020 11.24.46
	Kunde, eier:	Fordeling TRAFOTAVLE	NEK400_2018 240 V IT
		Vs. 6.0.193 Dato. 07.01.2020	Side 4 (4) av 5



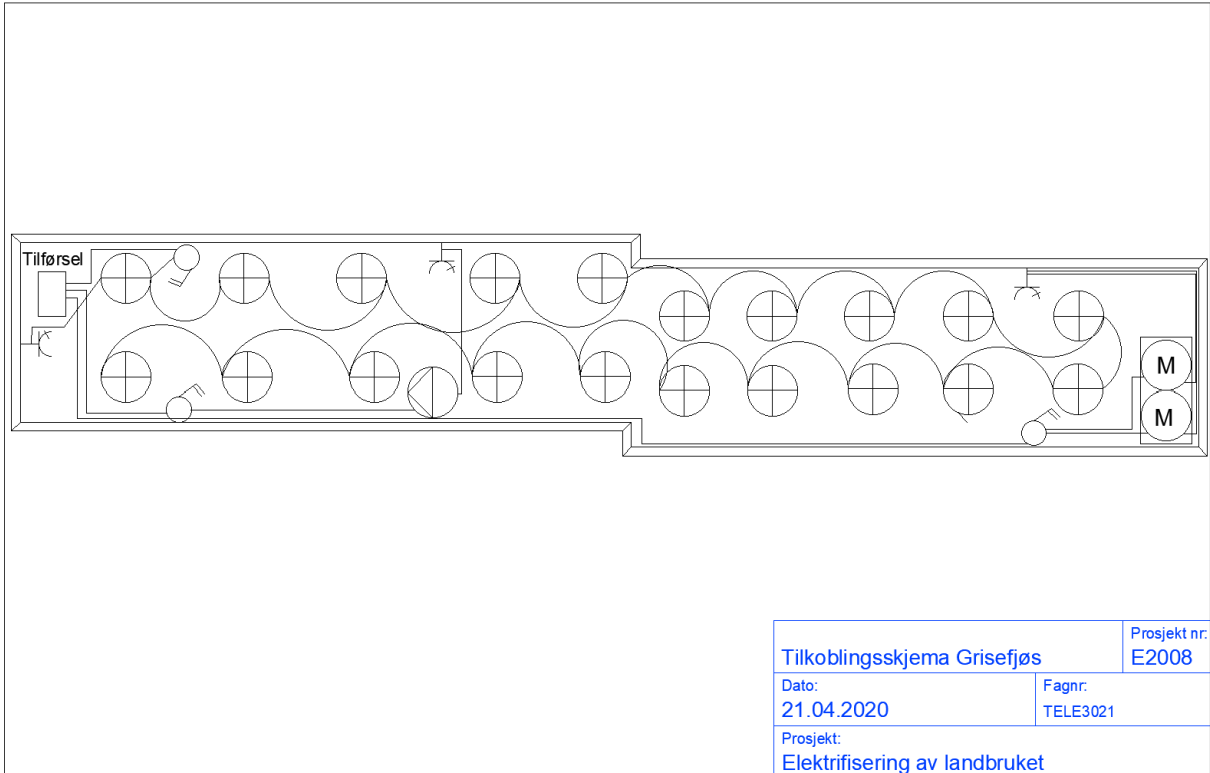


Institutt for Elkraftteknikk 7491 TRONDHEIM Tel: 73 59 42 10	Anleggets adresse:	Anlegg: Gård V3	Dato: 21.04.2020 11.24.46
	Kunde, eier:	Fordeling TRAFOTAVLE	NEK400_2018 240 V IT
		Vs. 6.0.193 Dato. 07.01.2020	Side 5 (5) av 5

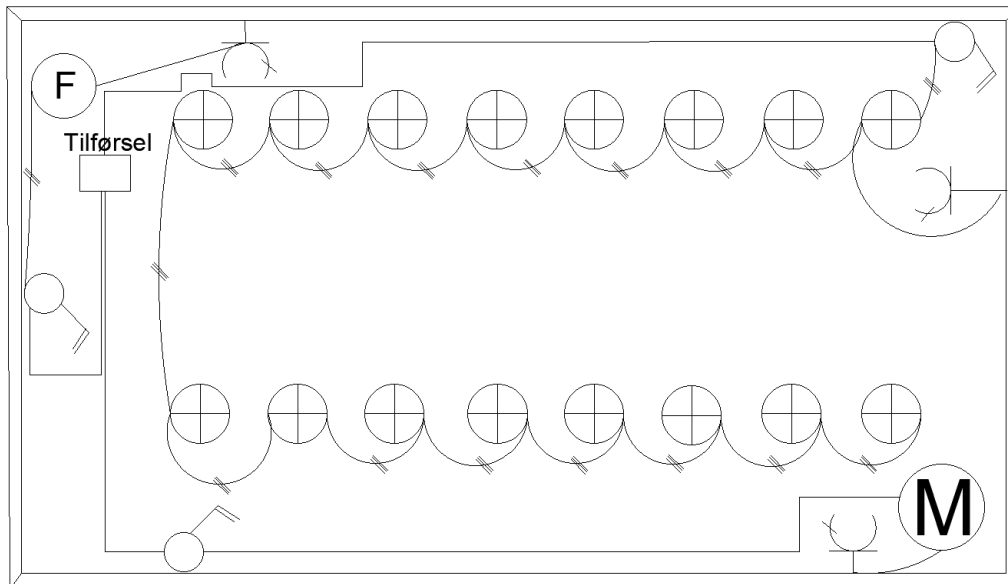
Vedlegg 13



Vedlegg 14



Vedlegg 15




Tilkoblingsskjema Kufjøs		Prosjekt nr. E2008
Dato: 21.04.2020	Fagnr: TELE3021	
Prosjekt: Elektrifisering av landbruket		

16 **1.0 Varmeteknikk****1.4 Dimensjonerende temperaturer og tallverdier**

Sted	GD v/20°C	DUT	Sone	Temp.
Karmøy	2833	-11	C	7.8
Kinn i S & F	2899	-9	B	7.6
Klepp	3026	-15	C	7.4
Kongsberg	4132	-23	B	4.8
Kongsmo V. Agder	3776	-14	C	5.4
Koppang-Øyest	5034	-29	A	2.1
Kragørø	3287	-19	C	7.2
Kristiansand	3232	-20	C	7.2
Kristiansund	3210	-9	B	6.8
Kirkenes	5506	-30	A	0.9
Kamskogen i Kavm	4152	-15	B	4.4
Leikanger	3270	-14	B	7.0
Lillehammer	4647	-25	B	3.3
Lista Fyr	2962	-18	C	7.6
Luster	4348	-18	C	4.0
Lyngda i Nummedal	4408	-22	B	3.9
Lærdal	3558	-16	C	6.1
Mandal	3266	-19	C	6.9
Mehamn i Finnmark	5482	-21	A	2.0
Meløy i Nordland	3875	-14	A	5.2
Meråker	4362	-22	A	3.9
Modum	4120	-24	B	4.8
Modalen i Hordaland	3704	-14	B	5.7
Mo i Rana	4579	-20	B	3.4
Molde	3478	-18	C	6.1
Nyken i Nordland	3599	-9	B	5.9
Målselv	5474	-23	A	1.2
Narvik	4439	-27	A	3.8
Namsos	3904	-20	B	5.2
Nesbyen i Buskerud	4767	-28	B	2.9
Nordfjordeid	3516	-13	B	6.1
Nordli N.Trøndelag	5404	-33	A	1.1
Nordøyen Fyr N.Trønd.	3511	-13	B	6.0

Vedlegg 17

 Norges teknisk- naturvitenskapelige universitet NTNU	TET4170 Elektroinstallasjoner & TELE2005 Elektriske lavspenninginstallasjoner
	Øving 7
INST. FOR ELKRAFTTEKNIKK Faggruppe: Elkraftteknologi Adresse: 7491 Trondheim Telefon: 735 94231 Telefax: 735 94279	
Mål: <ul style="list-style-type: none">- Repetere lysberegning- Gi trening i dimensjonering av ledertverrsnitt og vern- Litt mer trening i beregning av feilstrømmer og -spenninger	

Oppgave 1

Et butikklokale skal ha belysningsstyrke 400 lux i høyde 1 meter over gulvet.

Butikken er kvadratisk, med dimensjonene

- Lengde 15 meter
- Bredde 15 meter
- Høyde 4 meter

Reflektansene i rommet kan regnes lik 0,5 på vegger og tak, og 0,2 på arbeidsplanet.

Belysningen skal være LED-armaturer, med lysfluks 5200 lm pr. armatur. Armaturene monteres direkte i taket.

Det regnes med en vedlikeholdsfaktor lik 0,75.

Virkningsfaktortabell for armaturene:

	Reflektanser								
Tak/hulrom	0,7	0,7	0,7	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0
Vegger	0,5	0,3	0,1	0,5	0,3	0,1	0,3	0,1	0
Arbeidsplan	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0
Romfaktor	Virkningsfaktor i %								
k = 0,60	30	25	22	29	25	22	25	22	21
0,80	37	33	29	36	32	29	32	29	28
1,00	43	38	35	42	38	35	37	34	33
1,25	47	43	40	46	43	40	42	39	38
1,50	51	47	44	49	46	43	45	43	42
2,00	55	52	49	53	51	48	49	47	45
2,50	58	55	53	56	54	51	52	50	48
3,00	60	57	55	58	56	54	54	52	50
4,00	62	60	58	60	58	57	56	55	52
5,00	64	62	61	61	60	59	58	57	54

Vedlegg 18

4.1.2 Ladestasjon i anleggsgarasje

Tilførsel til anleggsgarasje:

Anleggsgarasjen er tenkt til tre maskiner - gravemaskin, traktor og lastebil. Alle disse skal lades med tre forskjellige ladere som kan trekke forskjellig effekt. Gravemaskinen og traktor bruker en lader på 22 kW, mens lastebilen kan bruke 22 kW og 43 kW. Ved å benytte oss av ligning 3.10.1, kan vi beregne belastningsstrømmen. Ved tre ladere på 22 kW får vi at belastningsstrømmen blir:

$$I_{b,230V} = \frac{(22 + 22 + 22)kW}{\sqrt{3} \times 230V \times 0,689} = 240A \quad (4.1.5)$$

$$I_{b,400V} = \frac{(22 + 22 + 22)kW}{\sqrt{3} \times 400V \times 0,689} = 138,3A \quad (4.1.6)$$

Benytter oss av *NEK 400*, tabell 52B-1 og velger installasjonsmetode D2 - kabel direkte i jord. Ettersom dette er en tilførselsleder, ligger denne alene. Reduksjonsfaktor, k, for forlegning av kabel blir k = 1. *NEK 400*, tabell 52B-15 gir korreksjonsfaktor for temperatur k = 1,10. Benytter oss av ligning 3.10.2 og finner nødvendig strømføringsevne:

$$I_{z,230V} = \frac{240A}{1,10} = 218,2A \quad (4.1.7)$$

$$I_{z,400V} = \frac{138,3A}{1,10} = 125,7A \quad (4.1.8)$$

Benytter oss av *NEK 400*, tabell 52B-4 og velger riktig kabeldimensjon ut fra nødvendig strømføringsevne:

- 230 V [Cu]: PVC isolert, tre belastede ledere 3 x 120 mm² med strømføringsevne 220 A.
- 400 V [Cu]: PVC isolert, tre belastede ledere 3 x 50 mm² med strømføringsevne 130 A.

For å finne tverrsnitt på aluminiumledere, benytter vi oss av *NEK 400*, tabell 52B-5:

- 230 V [Al]: PEX eller EPR isolert, tre belastede ledere: 3 x 150 mm², med strømføringsevne 220 A.
- 400 V [Al]: PEX eller EPR isolert, tre belastede ledere: 3 x 50 mm², med strømføringsevne 117 A.

Benytter oss av ligning 3.10.3 og finner korrigert strømføringsevne:

• 230 V [Cu]:
$$I_{z,korrigert} = 220 \times 1,10 = 242A \quad (4.1.9)$$

• 230 V [Al]:
$$I_{z,korrigert} = 220 \times 1,10 = 242A \quad (4.1.10)$$

• 400 V [Cu]:
$$I_{z,korrigert} = 130 \times 1,10 = 143A \quad (4.1.11)$$

• 400 V [Al]:
$$I_{z,korrigert} = 117 \times 1,10 = 128,7A \quad (4.1.12)$$

Ut ifra denne informasjonen ser vi at med dagens nettkonfigurasjon så må det tilrettelegges for veldig store strømmer dersom det skal settes opp tre ladestasjoner i anleggsgarasjen. Det er også ikke aktuelt at alle kjøretøy skal lade samtidig med tanke på at lading av kjøretøy skal være for å utnytte seg av overskuddsstrøm fra generator. Videre har vi derfor gått bort ifra flere ladestasjoner og dimensjonert for lading av ét enkelt kjøretøy.

Ladestasjon:

Ved dimensjonering av tverrsnitt til ladestasjoner, brukes effektene 22 kW og 43 kW som utgangspunkt, fordi det er disse effektene ladere trekker. Først ser vi på tilfelle med kun en lader i anleggsgarasjen. Benytter oss av ligning 3.10.1 for å finne belastningsstrømmen:

Belastningsstrøm ved 22 kW og ved 43 kW, 230 V:

$$I_b, 22kW = \frac{22kW}{\sqrt{3} \times 230V \times 0,689} = 80A \quad (4.1.13)$$

$$I_b, 43kW = \frac{43kW}{\sqrt{3} \times 230V \times 0,689} = 156,6A \quad (4.1.14)$$

Belastningsstrøm ved 22 kW og ved 43 kW, 400 V:

$$I_b, 22kW = \frac{22kW}{\sqrt{3} \times 400V \times 0,689} = 46A \quad (4.1.15)$$

$$I_b, 43kW = \frac{43kW}{\sqrt{3} \times 400V \times 0,689} = 90A \quad (4.1.16)$$

For å finne strømføringsevnen kablen må ha, må vi først bestemme oss for referanseinstallasjonsmetode og hvor mange kabler som skal ligge sammen. Den beste måten å utføre denne installasjon på er å legge kablene direkte i jord. Ved bruk av *NEK 400*,

tabell 52B-1 og finner referanseinstallasjonsmetode D2. Videre finner vi reduksjonsfaktor ut i fra hvor mange kabler som skal ligge sammen. En ladestasjon tilsvarer en kabel, noe som gir reduksjonsfaktor, $k = 1$. Ettersom kabelen skal ligge direkte i jord, må vi korrigere for temperatur. Benytter oss av tabell 52B-15 og finner korreksjonsfaktor, $k_t = 1,1$ for ledere med PVC isolasjon, og $k_t = 1,07$ for ledere med PEX eller EPR isolasjon. Siden differansen mellom PVC og PEX/EPR er 0.03, regner vi med $k_t = 1,1$. Ved å benytte oss av ligning 3.10.2 finner vi den minste strømføringsevnen lederen må ha:

Strømføringsevne 22 kW og 43 kW, 230 V:

$$I_z, 22kW = \frac{80A}{1,1} = 72,7A \quad (4.1.17)$$

$$I_z, 43kW = \frac{156,6A}{1,1} = 142,4A \quad (4.1.18)$$

Strømføringsevne 22 kW og 43 kW, 400 V:

$$I_z, 22kW = \frac{46A}{1,1} = 41,8A \quad (4.1.19)$$

$$I_z, 43kW = \frac{90A}{1,1} = 81,8A \quad (4.1.20)$$

Benytter oss av tabell 52B-4, kolonne åtte, referanseinstallasjonsmetode D2 og velger riktig strømføringsevne ut fra ligningene 4.1.17, 4.1.18, 4.1.19 og 4.1.20:

Nødvendig tverrsnitt for 22 kW-kurs med 230 V / 400 V forsyning:

- 230 V [Cu]: PVC isolert, tre belastede ledere 3 x 25 mm² med strømføringsevne 90 A.
- 400 V [Cu]: PVC isolert, tre belastede ledere 3 x 10 mm² med strømføringsevne 54 A.

Aluminiumledere med PEX eller EPR isolasjon gir mindre dimensjon enn med PVC. Benytter oss av tabell 52B-5 og finner minste ledertverrsnitt:

- 230 V [Al]: PEX eller EPR isolert, tre belastede ledere 3 x 25 mm² med strømføringsevne 82 A.
- 400 V [Al]: PEX eller EPR isolert, tre belastede ledere 3 x 16 mm² med strømføringsevne 64 A.

Nødvendig tverrsnitt for 43 kW-kurs med 230 V / 400 V forsyning:

- 230 V [Cu]: PVC isolert, tre belastede ledere 3 x 70 mm² med strømføringsevne 162 A.
- 400 V [Cu]: PVC isolert, tre belastede ledere 3 x 25 mm² med strømføringsevne 92 A.

Aluminiumledere med PEX eller EPR isolasjon gir mindre dimensjon enn med PVC. Benytter oss av tabell 52B-5 og finner minste ledertverrsnitt:

- 230 V [Al]: PEX eller EPR isolert, tre belastede ledere 3 x 70 mm² med strømføringsevne 144 A.
- 400 V [Al]: PEX eller EPR isolert, tre belastede ledere 3 x 25 mm² med strømføringsevne 82 A.

Ved å benytte oss av ligning 3.10.3 finner vi korrigert strømføringsevne:

Korrigert strømføringsevne 22 kW kurs med 230 V / 400 V forsyning:

$$\bullet \text{ 230 V [Cu]:} \quad 90A \times 1,1 = 99A \quad (4.1.21)$$

$$\bullet \text{ 230 V [Al]:} \quad 82A \times 1,1 = 90,2A \quad (4.1.22)$$

$$\bullet \text{ 400 V [Cu]:} \quad 54A \times 1,1 = 59,4A \quad (4.1.23)$$

$$\bullet \text{ 400 V [Al]:} \quad 64A \times 1,1 = 70,4A \quad (4.1.24)$$

Korrigert strømføringsevne 43 kW kurs med 230 V / 400 V forsyning:

$$\bullet \text{ 230 V [Cu]:} \quad 162A \times 1,1 = 178,2A \quad (4.1.25)$$

$$\bullet \text{ 230 V [Al]:} \quad 144A \times 1,1 = 158,4A \quad (4.1.26)$$

$$\bullet \text{ 400 V [Cu]:} \quad 92A \times 1,1 = 101,2A \quad (4.1.27)$$

$$\bullet \text{ 400 V [Al]:} \quad 82A \times 1,1 = 90,2A \quad (4.1.28)$$

Videre ser vi på et alternativ med tre ladestasjoner. Det brukes en tilførselskabel med dimensjon 3 x 150 mm² [Al] fram til anleggsgarasjen, også fordeles det på tre kurser - en for hver ladestasjon. Bruker *NEK 400, tabell 52B-1* og velger referanseinstallasjonsmetode B2 - flerlederkabel i installasjonsrør på en trevegg. Videre benytter vi oss av tabell 52B-17, kolonne 2, rad 3 - og finner korreksjonsfaktor for forlegning av kabel k = 0,79. Bruker ligning 3.10.2 for å finne strømføringsevnen lederen må ha:

Strømføringsevne 22 kW og 43 kW, 230 V:

$$I_{z, 22kW} = \frac{80A}{0,79} = 101,26A \quad (4.1.29)$$

$$I_{z, 43kW} = \frac{156,6A}{0,79} = 198,3A \quad (4.1.30)$$

Strømføringsevne 22 kW og 43 kW, 400 V:

$$I_z, 22kW = \frac{46A}{0,79} = 58,2A \quad (4.1.31)$$

$$I_z, 43kW = \frac{90A}{0,79} = 114A \quad (4.1.32)$$

For å finne riktig ledertverrsnitt brukes *NEK 400, tabell 52B-4*. Ser på rad fem - referanseinstallasjonsmetode B2 og velger riktig strømføringsevne ut i fra ligningene 4.1.29, 4.1.30, 4.1.31 og 4.1.32.

Nødvendig tverrsnitt for 22 kW-kurs med 230 V / 400 V forsyning:

- 230 V [Cu]: PVC isolert, tre belastede ledere 3 x 50 mm² med strømføringsevne 118 A.
- 400 V [Cu]: PVC isolert, tre belastede ledere 3 x 16 mm², med strømføringsevne 62 A.

Aluminiumledere med PEX eller PER isolasjon gir mindre dimensjon enn med PVC. Benytter oss av tabell 52B-5 og finner minste ledertverrsnitt:

- 230 V [Al]: PVC isolert, tre belastede ledere 3 x 25 mm², med strømføringsevne 105 A.
- 400 V [Al]: PVC isolert, tre belastede ledere 3 x 10 mm², med strømføringsevne 60 A.

Nødvendig tverrsnitt for 43 kW- kurs med 230 V / 400 V forsyning:

- 230 V [Cu]: PEX eller EPR isolert, tre belastede ledere 3 x 120 mm², med strømføringsevne 206 A.
- 400 V [Cu]: PEX eller EPR isolert, tre belastede ledere 3 x 50 mm², med strømføringsevne 118 A.

Aluminiumledere med PEX eller PER isolasjon gir mindre dimensjon enn med PVC. Benytter oss av tabell 52B-5 og finner minste ledertverrsnitt:

- 230 V [Al]: PEX eller EPR isolert, tre belastede ledere 3 x 95 mm², med strømføringsevne 233 A.
- 400 V [Al]: PEX eller EPR isolert, tre belastede ledere 3 x 35 mm², med strømføringsevne 128 A.

Til slutt bruker vi ligning 3.10.3 for å finne den korrigerte strømføringsevnen for lederen:

Korrigert strømføringsevne 22 kW kurs med 230 V / 400 V forsyning:

- 230 V [Cu]: $118A \times 0,79 = 93,2A$ (4.1.33)

- 230 V [Al]: $105A \times 0,79 = 92,9A$ (4.1.34)

- 400 V [Cu]: $62A \times 0,79 = 49A$ (4.1.35)

- 400 V [Al]: $60A \times 0,79 = 47,4A$ (4.1.36)

Korrigert strømføringsevne 43 kW kurs med 230 V / 400 V forsyning:

- 230 V [Cu]: $206A \times 0,79 = 162,7A$ (4.1.37)

- 230 V [Al]: $233A \times 0,79 = 184,1A$ (4.1.38)

- 400 V [Cu]: $118A \times 0,79 = 93,2A$ (4.1.39)

- 400 V [Al]: $128A \times 0,79 = 101A$ (4.1.40)

Vedlegg 19

4.1.3 Kufjøs

Tilførsel til kufjøs: Det totale effektbehovet i kufjøset er summen av de apparatene som vil stå på samtidig, som gir høyest effekttrekk. Det vil si 43kW lading i anleggsgarasjen og belysning i kufjøset. De andre apparatene (fôrblander, melkerobot og elbilladeren) vil ikke stå på samtidig, siden ladingen i anleggsgarasjen er tilltenkt slik at det er kun mulig å lade når de andre apparatene, utenom belysning, er avslått. Benytter oss av ligning 3.10.1 og finner belastningsstrømmen:

- 230 V

$$I_{b,kufjøs} = \frac{43kW + 6,4kW}{\sqrt{3} \times 230V \times 0,689} = 179,9A \quad (4.1.41)$$

- 400 V

$$I_{b,kufjøs} = \frac{43kW + 6,4kW}{\sqrt{3} \times 400V \times 0,689} = 103,5A \quad (4.1.42)$$

Når vi har funnet belastningsstrømmen, må vi bestemme oss for referanseinstallasjonsmetode. Går inn i *NEK 400, tabell 52B-1* og bestemmer oss for *installasjonsmetode D2*. Siden denne kablen skal ligge alene kan vi anta at reduksjonsfaktor, k , er lik 1 som beskrevet i *NEK 400 tabell 52B-16* og temperaturkorreksjonsfaktor $kk_t = 1,1$ som i *NEK 400, tabell 52B-15*. Bruker da ligning 3.10.2 for å finne strømføringsevnen lederen må ha:

- Strømføringsevne kufjøs 230 V:

$$I_{z,kufjøs} = \frac{179,9A}{1,1} = 163,5A \quad (4.1.43)$$

- Strømføringsevne kufjøs 400 V:

$$I_{z,kufjøs} = \frac{103,5A}{1,1} = 94,1A \quad (4.1.44)$$

Dermed kan vi finne riktig ledertverrsnitt for kablen til kufjøset. Bruker da *Nek 400, tabell 52B-4*, kolonne åtte, referanseinstallasjonsmetode D2 for kobberleder og velger riktig strøm- føringsevne ut i fra ligning 4.1.43 og 4.1.44:

Nødvendig tverrsnitt for kablen til kufjøset med 230 V /400 V forsyning:

- 230 V [Cu]: PVC isolert, tre belastede ledere 3 x 95 mm² med strømføringsevne 193 A.
- 400 V [Cu]: PVC isolert, tre belastede ledere 3 x 35 mm² med strømføringsevne 110 A.

For aluminiumleder benytter vi oss av tabell 52B-5

- 230 V [Al]: PEX eller EPR isolert, tre belastede ledere 3 x 95 mm² med strømførings- evne 172 A.
- 400 V [Al]: PEX eller EPR isolert, tre belastede ledere 3 x 53 mm² med strømførings- evne 98 A.

Til slutt bruker vi ligning 3.10.3 for å finne korrigert strømføringsevne for lederen. Korrigert strømføringsevne for kufjøset ved 230 V / 400 V forsyning:

- 230 V[Cu]:
$$193A \times 1,1 = 212,3A \quad (4.1.45)$$

- 230 V[Al]:
$$172A \times 1,1 = 189,2A \quad (4.1.46)$$

- 400 V [Cu]:
$$110A \times 1,1 = 121A \quad (4.1.47)$$

- 400 V[Al]:
$$98A \times 1,1 = 107,8A \quad (4.1.48)$$

Melkerobot:

Når vi skal dimensjonere tverrsnitt til melkeroboten går vi ut i fra at den trekker 7 kW. I følge gårdbruker er det så mye effekt roboten hans bruker. Benytter oss av ligning 3.10.1 for å finne belastningsstrømmen:

Belastningsstrøm ved 7 kW, 230 V:

$$I_{b,7kW} = \frac{7kW}{\sqrt{3} \times 230V \times 0,689} = 25,5A \quad (4.1.49)$$

Belastningsstrøm ved 7 kW, 400 V:

$$I_{b,7kW} = \frac{7kW}{\sqrt{3} \times 400V \times 0,689} = 14,7A \quad (4.1.50)$$

For å finne strømføringsevnen kablen må ha, må vi først bestemme oss for referanseinstallasjonsmetode og hvor mange kabler som skal ligge sammen. Den beste måten å utføre denne installasjonen på er å legge kablene direkte i jord. Ved bruk av *NEK 400, tabell 52B-1* og finner *referanseinstallasjonsmetode D2*. Videre finner vi reduksjonsfaktor ut i fra hvor mange kabler som ligger sammen. Ettersom det er bare en melkerobot, velges det en kurs alene. *NEK 400, tabell 52B-16* gir en reduksjonsfaktor, $k = 1$. Korreksjonsfaktor for temperatur blir da $k_t = 1,1$ i følge *NEK 400, tabell 52B-15*. Bruker ligning 3.10.2 for å finne strømføringsevnen lederen må ha:

Strømføringsevne 7 kW, 230 V:

$$I_z = \frac{25,5A}{1,1} = 23,2A \quad (4.1.51)$$

Strømføringsevne 7 kW, 400 V:

$$I_z = \frac{14,7A}{1,1} = 13,3A \quad (4.1.52)$$

For å finne riktig ledertverrsnitt benytter man *NEK 400, tabell 52B-4* og kolonne åtte og velger riktig strømføringsevne ut i fra ligning 4.1.51 og 4.1.52.

Tverrsnitt for 7 kW-kurs med 230 V 3-fase forsyning:

- 230 V [Cu]: PVC isolert, tre belastede ledere 3 x 4 mm² med strømføringsevne 33 A (går opp en dimensjon for å være sikker).

Tverrsnitt for 7 kW-kurs med 400 V 3-fase forsyning:

- 400 V [Cu]: PVC isolert, tre belastede ledere 3 x 1,5 mm² med strømføringsevne 19 A.

Til slutt må vi bruke ligning 3.10.3 for å finne korrigert strømføringsevne for lederen.

Korrigert strømføringsevne for 7 kW kurs med 230 V / 400 V forsyning:

- 230 V [Cu]:
$$33A \times 1,1 = 36,3A \quad (4.1.53)$$

- 400 V [Cu]:
$$19A \times 1,1 = 20,9A \quad (4.1.54)$$

Fôrblander:

I følge bonden var fôrblanderen en av de største maskinene han hadde på gården. Den brukte 30 kW effekt når den ble brukt. Fôrblanderen blir brukt to ganger i døgnet når kyrne skal ha fôring, morgen og kveld. Belastningsstrøm for 30 kW fôrblander blir da, med ligning 3.10.1:

230 V:

$$I_{b,30kW} = \frac{30kW}{\sqrt{3} \times 230V \times 0,689} = 109,3A \quad (4.1.55)$$

400 V:

$$I_{b,30kW} = \frac{30kW}{\sqrt{3} \times 400V \times 0,689} = 62,8A \quad (4.1.56)$$

Bestemmer oss for referanseinnstallasjonsmetode D2 i følge *NEK 400, tabell 52B-1* og legger da kabelen direkte i jord. Siden dette er en kabel som ligger alene kan vi bruke reduksjonsfaktor, $k = 1$ i følge *NEK 400, tabell 52B-16* og korreksjonsfaktor for temperatur, $k_t = 1,1$. Bruker ligning 3.10.2 for å finne strømføringsevnen lederen må ha:

Strømføringsevne 30 kW, 230 V:

$$I_z = \frac{109,3A}{1,1} = 99,4A \quad (4.1.57)$$

Strømføringsevne 30 kW, 400 V:

$$I_z = \frac{62,8A}{1,1} = 57,1A \quad (4.1.58)$$

For å finne riktig ledertverrsnitt brukes *NEK 400, tabell 52B-4* kolonne åtte og velger riktig tverrsnitt ut i fra strømføringsevnen i ligning 4.1.57 og 4.1.58.

Nødvendig ledertverrsnitt for 30 kW kurs med 230 V / 400 V forsyning:

- 230 V [Cu]: PVC isolert, tre belastede ledere 3 x 35mm² med strømføringsevne 110 A.
- 230 V [Al]: PVC isolert, tre belastede ledere 3 x 70mm² med strømføringsevne 122 A.
- 400 V [Cu]: PVC isolert, tre belastede ledere 3 x 16mm² med strømføringsevne 70 A.
- 400 V [Al]: PVC isolert, tre belastede ledere 3 x 25mm² med strømføringsevne 69 A.

Til slutt bruker vi ligning 3.10.3 for å finne korrigert strømføringsevne for lederen.

Korrigert strømføringsevne for 30 kW kurs ved 230 V / 400 V forsyning:

$$\bullet \text{ 230 V[Cu]:} \quad 110A \times 1,1 = 121A \quad (4.1.59)$$

$$\bullet \text{ 230 V[Al]:} \quad 122A \times 1,1 = 134,2A \quad (4.1.60)$$

$$\bullet \text{ 400 V[Cu]:} \quad 70A \times 1,1 = 77A \quad (4.1.61)$$

$$\bullet \text{ 400 V[Al]:} \quad 69A \times 1,1 = 75,9A \quad (4.1.62)$$

Belysning:

Vi antar vi at lysarmaturene trekker 20 % 3. harmoniske, dette tilsvarer $\cos\phi = 0,9$. Bruker ligning 3.14.4 og 3.14.5 for å finne belastningsstrøm ved enfase og trefase:

$$I_{b,enfase} = \frac{6,4kW}{230V \times 0,9} = 30,9A \quad (4.1.66)$$

$$I_{b,trefase} = \frac{6,4kW}{\sqrt{3} \times 230V \times 0,9} = 17,85A \quad (4.1.67)$$

Nå som vi har funnet belastningsstrømmer, må vi vurdere hvor mange kurser strømmen skal fordeles på, og hvordan disse skal legges. Vi har følgende alternativer for enfase:

- En kurs 32 A.
- To kurser 16 A.
- Tre kurser 12 A.

Alternativer for trefase:

- En kurs 20 A.
- To kurser 10 A.

Videre bestemmer vi oss for minste ledertverrsnitt. Først ser vi på enfase. Her benyttes det *NEK 400 - Elektriske lavspenningsinstallasjoner*.

- Tabell 52A-2 gir installasjonsmetode 21 med referanseinstallasjonsmetode C.
- Tabell 52B-14 gir korreksjonsfaktor for temperatur på 10 grader, $k = 1,22$.
- Tabell 52B-17 gir reduksjonsfaktor for mer enn en kurs eller for mer enn en flerled-erkabel. Finner av tabellen at reduksjonsfaktor for en kurs med forlegning mot tak blir $k = 0,95$, to kurser $k = 0,81$ og tre kurser $k = 0,72$.

For å finne strømføringsevnen lederen må ha bruker vi ligning 3.10.2.

Enfase med en kurs:

$$I_z = \frac{32}{1,22 \times 0,95} = 27,6A \quad (4.1.68)$$

Enfase med to kurser:

$$I_z = \frac{16}{1,22 \times 0,81} = 16,2A \quad (4.1.69)$$

Enfase med tre kurser:

$$I_z = 121,22 \times 0,72 = 13,66A \quad (4.1.70)$$

Bruker tabell 52B-4 for å finne minste ledertverrsnitt:

- Enfase med en kurs: $3 \times 4 \text{ mm}^2$ [Cu] eller $3 \times 6 \text{ mm}^2$ [Al].
- Ledertverrsnittet for to og tre kurser blir samme: $3 \times 1,5 \text{ mm}^2$ [Cu] eller $3 \times 2,5 \text{ mm}^2$ [Al].

For trefase bruker vi samme korreksjonsfaktorer for å finne lederens strømføringsevne:

Trefase med en kurs:

$$I_z = \frac{20}{1,22 \times 0,95} = 17,25A \quad (4.1.71)$$

Trefase med to kurser:

$$I_z = \frac{10}{1,22 \times 0,81} = 10,12A \quad (4.1.72)$$

Bruker tabell 52B-4 for å finne minste ledertverrsnitt:

- Blir samme ledertverrsnitt for både en kurs og to kurser: $3 \times 1,5 \text{ mm}^2$ [Cu] eller $3 \times 2,5 \text{ mm}^2$ [Al].

Vedlegg 20

4.1.4 Grisefjøs

Tilførsel til grisefjøs:

Det totale effektbehovet i grisefjøset er summen av alle lastene i fjøset. Ettersom boligen forsynes fra grisefjøset, må vi også legge til boligens effektforbruk. Belastningsstrømmen til grisefjøset blir da, med ligning 3.10.1:

- 230 V

$$I_{b,grisefjøs} = \frac{35kW + 1,4kW + 4kW + 19,3kW}{\sqrt{3} \times 230V \times 0,689} = 217,5A \quad (4.1.73)$$

- 400 V

$$I_{b,grisefjøs} = \frac{35kW + 1,4kW + 4kW + 19,3kW}{\sqrt{3} \times 400V \times 0,689} = 125A \quad (4.1.74)$$

Når vi har funnet belastningsstrømmen, må vi bestemme oss for referanseinstallasjonsmetode. Går inn i *NEK 400, tabell 52B-1* og bestemmer oss for *installasjonsmetode D2*. Siden denne kablet skal ligge alene kan vi anta at reduksjonsfaktor, k er lik 1 som beskrevet i *NEK 400, tabell 52B-16* og temperaturkorreksjonsfaktor, $kk_t = 1,1$ som i *NEK 400, tabell 52B-15*. Bruker da ligning 3.10.2 for å finne strømføringsevnen lederen må ha:

- Strømføringsevne grisefjøs 230 V:

$$I_{z,grisefjøs} = \frac{217,5A}{1,1} = 197,7A \quad (4.1.75)$$

- Strømføringsevne grisefjøs 400 V:

$$I_{z,grisefjøs} = \frac{125A}{1,1} = 113,6A \quad (4.1.76)$$

Dermed kan vi finne riktig ledertverrsnitt for kablet til grisefjøset. Bruker da *Nek 400, tabell 52B-4*, kolonne åtte, referanseinstallasjonsmetode D2 for kobberleder og velger riktig strøm- føringsevne ut i fra ligning 4.1.75 og 4.1.76.

Nødvendig tverrsnitt for kablet til grisefjøset med 230 V / 400 V forsyning:

- 230 V [Cu]: PVC isolert, tre belastede ledere 3 x 120 mm² med strømføringsevne 220 A.
- 400 V [Cu]: PVC isolert, tre belastede ledere 3 x 50 mm² med strømføringsevne 130 A.

For aluminiumleder benytter vi oss av tabell 52B-5

- 230 V [Al]: PEX eller EPR isolert, tre belastede ledere 3 x 150 mm² med strømføringsevne 220 A.
- 400 V [Al]: PEX eller EPR isolert, tre belastede ledere 3 x 50 mm² med strømføringsevne 117 A.

Til slutt bruker vi ligning 3.10.3 for å finne korrigert strømføringsevne for lederen. Korrigert strømføringsevne for grise fjøset ved 230 V / 400 V forsyning:

- 230 V [Cu]:
$$220A \times 1,1 = 242A \quad (4.1.77)$$

- 230 V [Al]:
$$220A \times 1,1 = 242A \quad (4.1.78)$$

- 400 V [Cu]:
$$130A \times 1,1 = 143A \quad (4.1.79)$$

- 400 V [Al]:
$$117A \times 1,1 = 128,7A \quad (4.1.80)$$

Føringsanlegg:

I følge bonden trakk føringsanlegget til gris 35 kW. Vi benytter oss av samme fremgangsmåte her som i kapitlene over og ligning 3.10.1 for å finne belastningsstrømmen:

230 V:

$$I_{b,35kW} = \frac{35kW}{\sqrt{3} \times 230V \times 0,689} = 127,5A \quad (4.1.81)$$

400 V:

$$I_{b,35kW} = \frac{35kW}{\sqrt{3} \times 400V \times 0,689} = 73,3A \quad (4.1.82)$$

Når vi har funnet belastningsstrømmen, må vi bestemme oss for referanseinstallasjonsmetode. Da går vi inn i *NEK 400, tabell 52B-1* og bestemmer oss for *installasjonsmetode D2*. Siden denne kablet skal ligge alene kan vi anta at reduksjonsfaktor, k , er lik 1 som beskrevet i *NEK 400, tabell 52B-16* og temperaturkorreksjonsfaktor, $k_t = 1,10$ som i *NEK 400, tabell 52B-15*. Bruker da ligning 3.10.2 for å finne strømføringsevnen lederen må ha:

Strømføringsevne 35 kW, 230 V:

$$I_z = \frac{127,5A}{1,1} = 115,9A \quad (4.1.83)$$

Strømføringsevne 35 kW, 400 V:

$$I_z = \frac{73,3A}{1,10} = 66,6A \quad (4.1.84)$$

Dermed kan vi finne riktig ledertverrsnitt for kablet til føringsanlegget til grisene. Bruker da *NEK 400, tabell 52B-4*, kolonne åtte, referanseinstallasjonsmetode D2 og velger riktig strømføringsevne ut i fra ligning 4.1.83 og 4.1.84.

Nødvendig tverrsnitt for 35 kW-kurs med 230 V / 400 V forsyning:

- 230 V [Cu]: PVC isolert, tre belastede ledere 3 x 50 mm² med strømføringsevne 130 A.
- 230 V [Al]: PVC isolert, tre belastede ledere 3 x 70 mm² med strømføringsevne 122 A.
- 400 V [Cu]: PVC isolert, tre belastede ledere 3 x 16 mm² med strømføringsevne 70 A.
- 400 V [Al]: PVC isolert, tre belastede ledere 3 x 25 mm² med strømføringsevne 69 A.

Til slutt bruker vi ligning 3.10.3 for å finne korrigert strømføringsevne for lederen.

Korrigert strømføringsevne for 35 kW kurs ved 230 V / 400 V forsyning:

$$\begin{aligned} \bullet \text{ 230 V [Cu]:} & & 130A \times 1,1 = 143A & (4.1.85) \end{aligned}$$

$$\bullet \text{ 230 V [Al]:} & & 122A \times 1,1 = 134,2A & (4.1.86)$$

$$\bullet \text{ 400 V [Cu]:} & & 70A \times 1,1 = 77A & (4.1.87)$$

$$\bullet \text{ 400 V [Al]:} & & 69A \times 1,1 = 75,9A & (4.1.88)$$

Ventilasjon:

Ut i fra våre beregninger bruker ventilasjonen i grise fjøset ca 1,4 kW med varmegjenvinning. Vi bruker ligning 3.10.1 for å finne belastningsstrømmen:

230 V:

$$I_{b,1,4kW} = \frac{1,4kW}{\sqrt{3} \times 230V \times 0,689} = 5,1A \quad (4.1.93)$$

400 V:

$$I_{b,1,4kW} = \frac{1,4kW}{\sqrt{3} \times 400V \times 0,689} = 2,9A \quad (4.1.94)$$

Belastningsstrømmen er funnet og vi bestemmer oss for referanseinstallasjonsmetode. Går inn i *NEK 400, tabell 53B-1* og bestemmer oss for *installasjonsmetode C*. Denne kabelen ligger alene og med omgivelsestemperatur på 15 grader kan vi da anta at temperaturkorreksjonsfaktor, $k_t = 1,17$ som i *NEK 400, tabell 52B-14*.

For å finne strømføringsevnen lederen må ha bruker vi ligning 3.10.2.

Strømføringsevne 1,4 kW, 230 V:

$$I_z = \frac{5,1}{1,17} = 4,4A \quad (4.1.95)$$

Strømføringsevne 1,4 kW, 400 V:

$$I_z = \frac{2,9}{1,17} = 2,5A \quad (4.1.96)$$

Dermed kan vi finne riktig tverrsnitt for kabelen til ventilasjonsanlegget til grisene. Bruker da *NEK 400, tabell 52B-4*, kolonne seks, referanseinstallasjonsmetode C og velger riktig strømføringssevne ut i fra ligning 4.1.95 og 4.1.96.

Nødvendig tverrsnitt for 1,4 kW-kurs med 230 V / 400 V forsyning:

- 230 V [Cu]: PVC isolert, tre belastede ledere 3 x 1,5 mm² med strømføringssevne 17,5 A.
- 400 V [Cu]: PVC isolert, tre belastede ledere 3 x 1,5 mm² med strømføringssevne 17,5 A.

Til slutt bruker vi ligning 3.10.3 for å finne korrigert strømføringssevne for lederen.

Korrigert strømføringssevne for 1,4 kW kurs med 230 V / 400 V forsyning:

- 230 V [Cu]:
$$17,5A \times 1,17 = 20,5A \quad (4.1.97)$$

- 400 V [Cu]:
$$17,5A \times 1,17 = 20,5A \quad (4.1.98)$$

Belysning:

Bruker samme antagelse om 3. harmoniske strømmer som i *kapittel 3.1.4 - Belysning*, og bruker ligning 3.14.4 og 3.14.5 for å finne belastningsstrømmer ved enfase og trefase:

$$I_{b,enfase} = \frac{4kW}{230V \times 0,9} = 19,3A \quad (4.1.102)$$

$$I_{b,trefase} = \frac{4kW}{\sqrt{3} \times 230V \times 0,9} = 11,1A \quad (4.1.103)$$

Av belastningsstrømmer ser vi at ved enfase kan vi legge 1 kurs på 20 A eller 2 kurser på 10 A. Ved trefase vil en kurs på 12 A være nok. Bruker *NEK 400 - Elektriske lavspenningsinstallasjoner* til å finne samme installasjonsmetode og referanseinstallasjonsmetode som i *kapittel 4.1.3*. Ettersom ønsket temperaturen i kufjøset er 15 grader, brukes tabell 52B-14 for å finne korreksjonsfaktor, k, for temperatur. Finner at $k_{temp} = 1,17$. Forlegning av kabel blir samme som i *kapittel 4.1.3*, dermed blir også korreksjonsfaktorer samme - $k = 0,95$ for en kurs og $k = 0,81$ for to kurser.

Ettersom belastningsstrømmene er lave, får vi samme ledertverrsnitt for enfase med to kurser og ved trefase. Bruker ligning 3.10.2 for å bestemme strømføringssevnen lederen må ha.

Enfase med en kurs:

$$I_z = \frac{20A}{1,17 \times 0,95} = 18A \quad (4.1.104)$$

Enfase med to kurser:

$$I_z = \frac{10A}{1,17 \times 0,81} = 10,5A \quad (4.1.105)$$

Trefase med en kurs:

$$I_z = 12A \cdot 1,17 \times 0,95 = 10,8A \quad (4.1.106)$$

Bruker *NEK 400 tabell 52B-4* for å finne minste ledertverrsnitt:

- *Enfase en kurs*: $3 \times 2,5 \text{ mm}^2$ [Cu] eller $3 \times 2,5 \text{ mm}^2$ [Al].
- *Enfase to kurser*: $3 \times 1,5 \text{ mm}^2$ [Cu] eller $3 \times 2,5 \text{ mm}^2$ [Al].
- *Trefase en kurs*: $3 \times 1,5 \text{ mm}^2$ [Cu] eller $3 \times 2,5 \text{ mm}^2$ [Al],

Vedlegg 21

4.1.5 Hovedhuset

Huset på gården ligger like ved innkjøringen og dermed ett av de byggene som ligger lengst unna hovedfordelingen i kufjøset. Belastningen i huset er satt til 31 kW med en samtidighetsfaktor på 0,6. Benytter oss av ligning 3.10.1 og beregner belastningsstrømmen:

$$I_{b,230V} = \frac{31kW}{\sqrt{3} \times 230V \times 0,689} = 112,9A \quad (4.1.107)$$

$$I_{b,400V} = \frac{31kW}{\sqrt{3} \times 400V \times 0,689} = 64,9A \quad (4.1.108)$$

Benytter oss av *NEK 400, tabell 52B-1* og velger installasjonsmetode D2, kabel direkte i jord. Siden kablen til huset ligger alene kan vi anta en reduksjonsfaktor, $k = 1$, og en temperaturkorreksjonsfaktor for PVC, $k_t = 1,1$ og $k_t = 1,07$ for PEX i følge *NEK 400, tabell 52B-15*. Benytter oss av ligning 3.10.2 og finner strømføringssevne:

$$I_{z,230VPVC} = \frac{112,9A}{1,1} = 102,6A \quad (4.1.109)$$

$$I_{z,400VPVC} = \frac{64,9A}{1,1} = 59A \quad (4.1.110)$$

$$I_{z,230VPEX} = \frac{112,9A}{1,07} = 105,5A \quad (4.1.111)$$

$$I_{z,400VPEX} = \frac{64,9A}{1,07} = 60,7A \quad (4.1.112)$$

Benytter oss av *NEK 400, tabell 52B-4 og 52B-5* og velger riktig kabeldimensjon ut i fra strømføringssevnen. PVC isolerte ledere:

- 230 V[Cu]: PVC isolert, tre belastede ledere $3 \times 35 \text{ mm}^2$ og med strømføringssevne 110 A.
- 230 V[Al]: PVC isolert, tre belastede ledere $3 \times 70 \text{ mm}^2$ og med strømføringssevne 122 A.
- 400 V[Cu]: PVC isolert, tre belastede ledere $3 \times 16 \text{ mm}^2$ og med strømføringssevne 70 A.
- 400 V[Al]: PVC isolert, tre belastede ledere $3 \times 25 \text{ mm}^2$ og med strømføringssevne 69 A.

PEX eller EPR isolerte ledere:

- 230 V [Cu]: PEX eller EPR isolert, tre belastede ledere 3 x 25 mm² med strømføringsevne 107 A.
- 230 V [Al]: PEX eller EPR isolert, tre belastede ledere 3 x 50 mm² med strømføringsevne 117 A.
- 400 V [Cu]: PEX eller EPR isolert, tre belastede ledere 3 x 10 mm² med strømføringsevne 65 A.
- 400 V [Al]: PEX eller EPR isolert, tre belastede ledere 3 x 16 mm² med strømføringsevne 64 A.

Benytter oss av ligning 3.10.3 og finner korrigert strømføringsevne. PVC isolerte ledere:

- 230 V [Cu]:
 $110A \times 1,1 = 121A$ (4.1.113)
- 230 V [Al]:
 $122A \times 1,1 = 134,2A$ (4.1.114)
- 400 V [Cu]:
 $70A \times 1,1 = 77A$ (4.1.115)
- 400 V [Al]:
 $69A \times 1,1 = 75,9A$ (4.1.116)

PEX eller EPR isolerte ledere:

- 230 V [Cu]:
 $107A \times 1,07 = 114,5A$ (4.1.117)
- 230 V [Al]:
 $117A \times 1,07 = 125,2A$ (4.1.118)
- 400 V [Cu]:
 $65A \times 1,07 = 69,6A$ (4.1.119)
- 400 V [Al]:
 $64A \times 1,07 = 68,5A$ (4.1.120)

Vedlegg 22

Kortslutning på tavla i grisekjøset:

Regner ut impedansene i kabelen mellom transformatoren og grisekjøset:

$$R_{L2} = r_2 \times l_2 = 0,125m\Omega/m \times 190m = 23,75m\Omega \quad (4.7.20)$$

$$X_{L2} = x_2 + l_2 = 0,08105m\Omega/m \times 190m = 15,39m\Omega \quad (4.7.21)$$

$$Z_{L2} = \sqrt{R_{L2}^2 + X_{L2}^2} = \sqrt{(23,75m\Omega)^2 + (15,39m\Omega)^2} = 28,30m\Omega \quad (4.7.22)$$

Siden kabelen fra transformatoren er en 3 x 3-lederkabel kan vi se på disse tre kablene som parallelle. Rekker da ut kabelens impedans:

$$Z_{\text{parallell}} = \frac{1}{\frac{1}{28,3m\Omega} + \frac{1}{28,3m\Omega} + \frac{1}{28,3m\Omega}} = 9,43m\Omega \quad (4.7.23)$$

Den totale impedansen fra transformatoren og frem til tavla i grisekjøset blir da:

$$Z_2 = Z_{\text{parallell}} + Z_{k,1} = 9,43, \Omega + 9,83m\Omega = 19,27m\Omega \quad (4.7.24)$$

Trepolt kortslutningsstrøm:

$$I_{k3\text{pol}} = \frac{U_N}{\sqrt{3} \times Z_2} = \frac{240V}{\sqrt{3} \times 19,27m\Omega} = 7,2kA \quad (4.7.25)$$

Støtstrøm:

$$I_s = 2,0 \times I_{k3\text{pol}} = 2,0 \times 7,2kA = 14,4kA \quad (4.7.26)$$

Vedlegg 23

Kortslutning på tavla i anleggsgarasjen:

Regner ut impedansene i kabelen mellom transformatoren og tavla i anleggsgarasjen:

$$R_{L3} = r_3 \times l_3 = 0,125m\Omega/m \times 160m = 20,0m\Omega \quad (4.7.27)$$

$$X_{L3} = x_3 \times l_3 = 0,07199m\Omega/m \times 160m = 11,52m\Omega \quad (4.7.28)$$

$$Z_{L3} = \sqrt{R_{L3}^2 + X_{L3}^2} = \sqrt{(20,0m\Omega)^2 + (11,52m\Omega)^2} = 23,08m\Omega \quad (4.7.29)$$

Den totale impedansen mellom trafoen og tavla i anleggsgarasjen blir da:

$$Z_3 = Z_{L3} + Z_{parallel} + Z_{k,1} = 23,08m\Omega + 17,88m\Omega + 9,83m\Omega = 50,79m\Omega \quad (4.7.30)$$

Trepolt kortslutningsstrøm:

$$I_{k3pol} = \frac{U_N}{\sqrt{3} \times Z_3} = \frac{240V}{\sqrt{3} \times 50,79m\Omega} = 2,7kA \quad (4.7.31)$$

Støtstrøm:

$$I_s = 2,0 \times I_{k3pol} = 2,0 \times 2,7kA = 5,4kA \quad (4.7.32)$$

Vedlegg 24

Kortslutning på tavle i hovedhus:

Regner ut impedansene i kabelen mellom transformatoren og tavla i hovedhuset:

$$R_{LA} = r_4 \times l_4 = 0,125m\Omega/m \times 50m = 6,25m\Omega \quad (4.7.33)$$

$$X_{LA} = x_4 \times l_4 = 0,07199m\Omega/m \times 50m = 3,60m\Omega \quad (4.7.34)$$

$$Z_{LA} = \sqrt{R_{LA}^2 + X_{LA}^2} = \sqrt{(6,25m\Omega)^2 + (3,60m\Omega)^2} = 7,21m\Omega \quad (4.7.35)$$

Den totale impedansen mellom trafoen og tavla i hovedhuset blir da:

$$Z_4 = Z_{LA} + Z_{parallel} + Z_{k,1} = 7,21m\Omega + 9,44m\Omega + 9,83m\Omega = 26,48m\Omega \quad (4.7.36)$$

Trepolt kortslutningsstrøm:

$$I_{k3pol} = \frac{U_N}{\sqrt{3} \times Z_4} = \frac{240V}{\sqrt{3} \times 26,48m\Omega} = 5,3kA \quad (4.7.37)$$

Støtstrøm:

$$I_s = 2,0 \times I_{k3pol} = 2,0 \times 5,3kA = 10,6kA \quad (4.7.38)$$

Vedlegg 25

Kortslutning på tavla i grisekjøset:

Impedansene i kabelen, med korreksjonsfaktor for temperaturøkning av resistansen, C_{min} :

$$R_{L2} = r_2 \times l_2 \times C_{min} = 0,125m\Omega/m \times 190m \times 1,25 = 29,69m\Omega \quad (4.7.56)$$

$$X_{L2} = x_2 \times l_2 = 0,08105m\Omega/m \times 190m = 15,39m\Omega \quad (4.7.57)$$

$$Z_{L2} = \sqrt{R_{L2}^2 + X_{L2}^2} = 33,44m\Omega \quad (4.7.58)$$

Betrakt denne kabelen som et parallelt system siden den består av en 3x3-lederkabel:

$$Z_{parallel} = \frac{1}{\frac{1}{33,44m\Omega} + \frac{1}{33,44m\Omega} + \frac{1}{33,44m\Omega}} = 11,15m\Omega \quad (4.7.59)$$

Den totale impedansen frem til feilstedet blir dermed:

$$Z_2 = Z_{parallel} + Z_{k,2} = 11,15m\Omega + 9,86m\Omega = 21,01m\Omega \quad (4.7.60)$$

Topolt kortslutningsstrøm:

$$I_{k2pol} = \frac{0,95 \times 240V}{2 \times 21,01m\Omega} = 5,4kA \quad (4.7.61)$$

Vedlegg 26

Kortslutning på tavla i anleggsgarasjen:

Impedansene i kabelen, med korreksjonsfaktor for temperaturøkning, C_{min} :

$$R_{L3} = r_3 \times l_3 \times C_{min} = 0,125m\Omega/m \times 160m \times 1,25 = 25,0m\Omega \quad (4.7.62)$$

$$X_{L3} = x_3 \times l_3 = 0,07199m\Omega/m \times 160m = 11,52m\Omega \quad (4.7.63)$$

$$Z_{L3} = \sqrt{R_{L3}^2 + X_{L3}^2} = 27,52m\Omega \quad (4.7.64)$$

Den totale impedansen frem til feilstedet blir dermed:

$$Z_3 = Z_1 + Z_{L3} = 30,98m\Omega + 27,52m\Omega = 58,5m\Omega \quad (4.7.65)$$

Topolt kortslutningsstrøm:

$$I_{k2pot} = \frac{0,95 \times 240V}{2 \times 58,5m\Omega} = 1,9kA \quad (4.7.66)$$

Vedlegg 27

Kortslutning på tavla i hovedhuset:

Impedansene i kabelen, med korreksjonsfaktor for temperaturøkning, C_{min} :

$$R_{LA} = r_4 \times l_4 \times C_{min} = 0,125m\Omega/m \times 50m \times 1,25 = 7,81m\Omega \quad (4.7.67)$$

$$X_{LA} = x_4 \times l_4 = 0,07199m\Omega/m \times 50m = 3,60m\Omega \quad (4.7.68)$$

$$Z_{LA} = \sqrt{R_{LA}^2 + X_{LA}^2} = 8,60m\Omega \quad (4.7.69)$$

Den totale impedansen frem til feilstedet blir dermed:

$$Z_4 = Z_2 + Z_{LA} = 21,01m\Omega + 8,60m\Omega = 29,61m\Omega \quad (4.7.70)$$

Topolt kortslutningsstrøm:

$$I_{k2pol} = \frac{0,95 \times 240V}{2 \times 29,61m\Omega} = 3,9kA \quad (4.7.71)$$

1 Transformator til hovedtavlene

Benytter oss av ligningene 3.15.1, 3.15.2, 3.15.3 og 3.15.4 for å regne ut spenningfall i hovedtavle i kufjøset. Av ligning 4.2.3 og 4.2.4 har vi at $R = 15 \text{ m}\Omega/\text{m}$ og $X = 5,13 \text{ m}\Omega/\text{m}$. Får at spenningfall i tavle i kufjøset er:

$$R \times I = 15 \text{ m}\Omega \times 10^{-3} \times 172,5 \text{ A} = 2,58 \text{ V} \quad (1)$$

$$X \times I = j5,13 \text{ m}\Omega \times 10^{-3} \times 172,5 \text{ A} = j0,88 \text{ V} \quad (2)$$

$$U_{f2} = \frac{240}{\sqrt{3}} - (2,58 + j0,88) \times (\cos(-46,49^\circ) + j\sin(-46,49^\circ)) = 136,15 + j1,26 \quad (3)$$

$$U_{f2} = \sqrt{136,15^2 + 1,26^2} = 136,15 \quad (4)$$

$$U_2 = \sqrt{3} \times 136,15 \text{ V} = 235,81 \quad (5)$$

$$\Delta U_{\%} = \left(1 - \frac{235,81}{240}\right) \times 100\% = 1,746\% \quad (6)$$

Av ligningene 4.2.5 og 4.2.6 har vi at resistans og reaktans i kabelen til grisejøset er $R=7,91 \text{ m}\Omega/\text{m}$ og $X=5,13 \text{ m}\Omega/\text{m}$. Får at spenningsfall i grisejøset er:

$$R \times I = 7.19 \text{ m}\Omega \times 208,3 \text{ A} = 1,5 \text{ V} \quad (7)$$

$$X \times I = j5,13 \text{ m}\Omega \times 208,3 \text{ A} = j1,06 \text{ V} \quad (8)$$

$$U_{f2} = \frac{240}{\sqrt{3}} - (1,5 + j1,06) \times (\cos(-46,49^\circ) + j\sin(-46,49^\circ)) = 136,76 + j0,36 \quad (9)$$

$$U_{f2} = \sqrt{136,76^2 + 0,36^2} = 136,76 \text{ V} \quad (10)$$

$$U_2 = \sqrt{3} \times 136,76 \text{ V} = 236,87 \text{ V} \quad (11)$$

$$\Delta U_{\%} = \left(1 - \frac{236,87}{240}\right) \times 100\% = 1,38\% \quad (12)$$

2 Kufjøs

Av ligning 5 ser vi at spenning i tavle i kufjøset er 235,81 V. Det er denne spenningen som brukes som referansespenning for beregning av spenningsfall på de forskjellige lastene i kufjøset.

2.1 Belysning

Av tabell 4.5.1 ser vi at kabelens resistans og reaktans er $R=4,61 \text{ m}\Omega/\text{m}$ og $X=0,1 \text{ m}\Omega/\text{m}$. Kabelens lengde er 50 m, noe som gir oss total resistans og reaktans:

$$R = 4,61 \text{ m}\Omega \times 50 = 0,23\Omega \quad (13)$$

$$x = 0,1 \text{ m}\Omega \times 50 = 0,005\Omega \quad (14)$$

Dette gir oss spenningsfall:

$$R \times I = 0,23\Omega \times 22,3\text{A} = 5,13\text{V} \quad (15)$$

$$X \times I = j0,005\text{m}\Omega \times 22,3\text{A} = j0,11\text{V} \quad (16)$$

$$U_{f2} = \frac{235,81}{\sqrt{3}} - (5,12 + j0,11) \times (\cos(-46,49^\circ) + j\sin(-46,49^\circ)) = 132,53 + j3,64 \quad (17)$$

$$U_{f2} = \sqrt{133,53^2 + 3,64^2} = 132,58\text{V} \quad (18)$$

$$U_2 = \sqrt{3} \times 132,58\text{V} = 229,63\text{V} \quad (19)$$

$$\Delta U\% = \left(1 - \frac{229,63}{235,81}\right) \times 100\% = 2,62\% \quad (20)$$

2.2 Melkerobot

Av tabell 4.5.1 ser vi at kabelens resistans og reaktans er $R=4,61 \text{ m}\Omega/\text{m}$ og $X=0,1 \text{ m}\Omega/\text{m}$. Kabelens lengde er 15 m, noe som gir oss total resistans og reaktans:

$$R = 4,61 \text{ m}\Omega \times 15 = 0,069\Omega \quad (21)$$

$$x = 0,1 \text{ m}\Omega \times 15 = 0,0015\Omega \quad (22)$$

Dette gir oss spenningsfall:

$$R \times I = 0,069\Omega \times 25,3\text{A} = 1,75\text{V} \quad (23)$$

$$X \times I = j0,0015\text{m}\Omega \times 25,3\text{A} = j0,038\text{V} \quad (24)$$

$$U_{f2} = \frac{235,81\text{V}}{\sqrt{3}} - (1,75\text{V} + j0,038\text{V}) \times (\cos(-46,49^\circ) + j\sin(-46,49^\circ)) = 134,91 + j1,24\text{V} \quad (25)$$

$$U_{f2} = \sqrt{134,91^2 + 1,24^2} = 134,91\text{V} \quad (26)$$

$$U_2 = \sqrt{3} \times 134,91\text{V} = 233,67\text{V} \quad (27)$$

$$\Delta U\% = \left(1 - \frac{233,67}{235,81}\right) \times 100\% = 0,9\% \quad (28)$$

2.3 Fôrblander

Av tabell 4.5.1 ser vi at kabelens resistans og reaktans er $R=0,32 \text{ m}\Omega/\text{m}$ og $X=0,075 \text{ m}\Omega/\text{m}$. Kabelens lengde er 25 m, noe som gir oss total resistans og reaktans:

$$R = 0,32\text{m}\Omega \times 25 = 8\text{m}\Omega \quad (29)$$

$$x = 0,075\text{m}\Omega \times 25 = 1,875\text{m}\Omega \quad (30)$$

Dette gir oss spenningsfall:

$$R \times I = 8\text{m}\Omega \times 109,2\text{A} = 0,87\text{V} \quad (31)$$

$$X \times I = j1,875\text{m}\Omega \times 109,2\text{A} = j0,2\text{V} \quad (32)$$

$$U_{f2} = \frac{235,81\text{V}}{\sqrt{3}} - (0,87\text{V} + j0,2\text{V}) \times (\cos(-46,49^\circ) + j\sin(-46,49^\circ)) = 135,4 + j0,49\text{V} \quad (33)$$

$$U_{f2} = \sqrt{135,4^2 + 0,49^2} = 135,4\text{V} \quad (34)$$

$$U_2 = \sqrt{3} \times 135,4\text{V} = 234,52\text{V} \quad (35)$$

$$\Delta U_{\%} = \left(1 - \frac{234,52}{235,81}\right) \times 100\% = 0,547\% \quad (36)$$

3 Ladekurs

Anleggsgarasjen forsynes fra kufjøset, noe som betyr at spenningen er 235,81V. Ettersom anleggsgarasjen har en tilførselskabel, vil det oppstå et spenningsfall mellom kufjøset og anleggsgarasjen. For å finne referansespenning i anleggsgarasjen, må vi først finne spenningsfallet på tilførselskabelen.

3.1 Tilførsel til anleggsgarasje

Av tabell 4.5.1 ser vi at kabelens resistans og reaktans er $R=0,125 \text{ m}\Omega/\text{m}$ og $X=0,072 \text{ m}\Omega/\text{m}$. Kabelens lengde er 160 m, noe som gir oss total resistans og reaktans:

$$R = 0,125 \text{ m}\Omega \times 160 \text{ m} = 0,02\Omega \quad (37)$$

$$x = 0,072 \text{ m}\Omega \times 160 \text{ m} = 0,0115\Omega \quad (38)$$

Dette gir oss spenningsfall:

$$R \times I = 0,02\Omega \times 156,6 \text{ A} = 3,13 \text{ V} \quad (39)$$

$$X \times I = j0,0115\Omega \times 156,6 \text{ A} = j1,8 \text{ V} \quad (40)$$

$$U_{f2} = \frac{235,81 \text{ V}}{\sqrt{3}} - (3,13 \text{ V} + j1,8 \text{ V}) \times (\cos(-46,49^\circ) + j\sin(-46,49^\circ)) = 132,68 + j1,03 \text{ V} \quad (41)$$

$$U_{f2} = \sqrt{132,68^2 + 1,03^2} = 132,68 \text{ V} \quad (42)$$

$$U_2 = \sqrt{3} \times 132,68 \text{ V} = 229,8 \text{ V} \quad (43)$$

$$\Delta U\% = \left(1 - \frac{229,8}{235,81}\right) \times 100\% = 2,55\% \quad (44)$$

Det er 229,8 V som er referansespenning for ladestasjoner, og det er denne spenningen som brukes i de to neste kapitlene.

3.2 Lading gårdkjøretøy

Av tabell 4.5.1 ser vi at kabelens resistans og reaktans er $R=0,32 \text{ m}\Omega/\text{m}$ og $x=0,075 \text{ m}\Omega/\text{m}$. Kabelens lengde er 10 m, noe som gir oss total resistans og reaktans:

$$R = 0,32 \text{ m}\Omega \times 10 \text{ m} = 3,2 \text{ m}\Omega \quad (45)$$

$$x = 0,075 \text{ m}\Omega \times 10 \text{ m} = 0,75 \text{ m}\Omega \quad (46)$$

Dette gir oss spenningfall:

$$R \times I = 3,2 \text{ m}\Omega \times 156,6 \text{ A} = 0,5 \text{ V} \quad (47)$$

$$X \times I = j0,75 \text{ m}\Omega \times 156,6 \text{ A} = j0,117 \text{ V} \quad (48)$$

$$U_{f2} = \frac{229,8 \text{ V}}{\sqrt{3}} - (0,5 \text{ V} + j0,117 \text{ V}) \times (\cos(-46,49^\circ) + j\sin(-46,49^\circ)) = 132,24 + j0,28 \text{ V} \quad (49)$$

$$U_{f2} = \sqrt{132,24^2 + 0,28^2} = 132,24V \quad (50)$$

$$U_2 = \sqrt{3} \times 132,24V = 229,04V \quad (51)$$

$$\Delta U_{\%} = \left(1 - \frac{229,04}{229,8}\right) \times 100\% = 0,33\% \quad (52)$$

3.3 Lading elektrisk bil

Av tabell 4.5.1 ser vi at kabelens resistans og reaktans er $R=1,2m\Omega/m$ og $X=0,079m\Omega/m$. Kabelens lengde er 50 m, noe som gir oss total resistans og reaktans:

$$R = 1,2m\Omega \times 50m = 0,06\Omega \quad (53)$$

$$x = 0,079m\Omega \times 50m = 3,95m\Omega \quad (54)$$

Dette gir oss spenningsfall:

$$R \times I = 0,06\Omega \times 43,7A = 2,62V \quad (55)$$

$$X \times I = j3,95m\Omega \times 43,7A = j0,173V \quad (56)$$

$$U_{f2} = \frac{229,8V}{\sqrt{3}} - (2,62V + j0,173V) \times (\cos(-46,49^\circ) + j\sin(-46,49^\circ)) = 130,74 + j1,78V \quad (57)$$

$$U_{f2} = \sqrt{130,74^2 + 1,78^2} = 130,75V \quad (58)$$

$$U_2 = \sqrt{3} \times 130,75V = 226,46V \quad (59)$$

$$\Delta U_{\%} = \left(1 - \frac{226,46}{229,8}\right) \times 100\% = 1,45\% \quad (60)$$

4 Grisefjøs

Av ligning 11 ser vi at spenning i grisefjøset er 236,87 V. Det er denne spenningen som brukes som referanse for beregning av spenningsfall på de forskjellige lastene i kufjøset.

4.1 Belysning

Av tabell 4.5.1 ser vi at kabelens resistans og reaktans er $R=7,41 \text{ m}\Omega/\text{m}$ og $X=0,11025 \text{ m}\Omega/\text{m}$. Kabelens lengde er 80 m, noe som gir oss total resistans og reaktans:

$$R = 7,41 \text{ m}\Omega \times 80 \text{ m} = 0,59 \Omega \quad (61)$$

$$x = 0,11025 \text{ m}\Omega \times 80 \text{ m} = 0,882 \text{ m}\Omega \quad (62)$$

Dette gir oss spenningsfall:

$$R \times I = 0,59 \Omega \times 14,5 \text{ A} = 8,55 \text{ V} \quad (63)$$

$$X \times I = j0,882 \text{ m}\Omega \times 14,5 \text{ A} = j0,0128 \text{ V} \quad (64)$$

$$U_{f2} = \frac{236,87 \text{ V}}{\sqrt{3}} - (8,55 \text{ V} + j0,0128 \text{ V}) \times (\cos(-46,49^\circ) + j\sin(-46,49^\circ)) = 130,86 + j6,49 \quad (65)$$

$$U_{f2} = \sqrt{130,86^2 + 6,49^2} = 131,02 \text{ V} \quad (66)$$

$$U_2 = \sqrt{3} \times 131,02 \text{ V} = 226,93 \text{ V} \quad (67)$$

$$\Delta U_{\%} = \left(1 - \frac{226,93}{236,87}\right) \times 100\% = 4,19\% \quad (68)$$

4.2 Ventilasjon

Av tabell 4.5.1 ser vi at kabelens resistans og reaktans er $R=12,1 \text{ m}\Omega/\text{m}$ og $X=0,106 \text{ m}\Omega/\text{m}$. Kabelens lengde er 10 m, noe som gir oss total resistans og reaktans:

$$R = 12,1 \text{ m}\Omega \times 10 \text{ m} = 0,121 \Omega \quad (69)$$

$$x = 0,106 \text{ m}\Omega \times 10 \text{ m} = 1,06 \text{ m}\Omega \quad (70)$$

Detter gir oss spenningsfall:

$$R \times I = 0,121 \Omega \times 5,1 \text{ A} = 0,617 \text{ V} \quad (71)$$

$$X \times I = j1,06 \text{ m}\Omega \times 5,1 \text{ A} = j5,4 \text{ mV} \quad (72)$$

$$U_{f2} = \frac{236,87 \text{ V}}{\sqrt{3}} - (0,617 \text{ V} + j5,4 \text{ mV}) \times (\cos(-46,49^\circ) + j\sin(-46,49^\circ)) = 136,32 + j0,46 \quad (73)$$

$$U_{f2} = \sqrt{136,32^2 + 0,46^2} = 136,32 \text{ V} \quad (74)$$

$$U_2 = \sqrt{3} \times 136,32 \text{ V} = 236,11 \text{ V} \quad (75)$$

$$\Delta U_{\%} = \left(1 - \frac{236,11}{236,87}\right) \times 100\% = 0,32\% \quad (76)$$

4.3 Fôringsanlegg

Av tabell 4.5.1 ser vi at kabelens resistans og reaktans er $R=0,32 \text{ m}\Omega/\text{m}$ og $X=0,075 \text{ m}\Omega/\text{m}$. Kabelens lengde er 50, noe som gir oss total resistans og reaktans:

$$R = 0,32\text{m}\Omega \times 50\text{m} = 0,016\Omega \quad (77)$$

$$x = 0,075\text{m}\Omega \times 50\text{m} = 3,75\text{m}\Omega \quad (78)$$

Dette gir oss spenningsfall:

$$R \times I = 0,016\Omega \times 127,5\text{A} = 2,04\text{V} \quad (79)$$

$$X \times I = j3,75\text{m}\Omega \times 127,5\text{A} = j0,478\text{V} \quad (80)$$

$$U_{f2} = \frac{236,87\text{V}}{\sqrt{3}} - (2,04\text{V} + j0,478\text{V}) \times (\cos(-46,49^\circ) + j\sin(-46,49^\circ)) = 135 + j1,15 \quad (81)$$

$$U_{f2} = \sqrt{135^2 + 1,15^2} = 135\text{V} \quad (82)$$

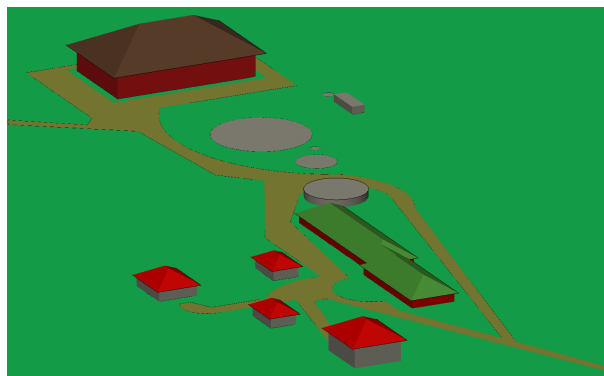
$$U_2 = \sqrt{3} \times 135\text{V} = 233,83\text{V} \quad (83)$$

$$\Delta U_{\%} = \left(1 - \frac{233,83}{236,87}\right) \times 100\% = 1,29\% \quad (84)$$

Elektrifisering av landbruket

Introduksjon

I samarbeid med NORSØK har en gruppe studenter ved NTNU fått i oppgave å se på løsninger til hvordan man kan elektrifisere landbruket. Aspektene som har vært i fokus har vært småskala energiproduksjon via biogassanlegg, utskifting av maskinparken til elektrisk maskineri og utfordringer tilknyttet dette. Studentgruppen har brukt gården til Inge Hoemsnes, som ligger utenfor Molde og har et eksisterende biogassanlegg, som case-studie for å produsere konkrete løsninger. Mikro-biogassanlegg er relativt nytt i Norge. Sammen med batterielektriske kjøretøy er det interessant å finne ut hvordan bruken av disse miljøvennlige tiltakene kan implementeres og om de er lønnsomme.



Bilde 1: Oversikt over case-gården

Lønnsomheten i et slikt anlegg er viktig for at landbrukere skal ha interesse av å ta det i bruk. Dette i kombinasjon med batterielektriske kjøretøy kan skape et synergisk forhold som kan brukes til å øke lønnsomheten i begge. Det finnes derimot utfordringer tilknyttet nettkapasitet og nettkonfigurasjoner som kan være med å minske lønnsomheten i slik småskala produksjon. Arkaiske norske IT-nett tilrettelegger ikke for 400 V trefase sammen med ordinær 230 V bruksspenning. Dette er med på å gjøre det vanskelig å legge til grunne effektive ladeløsninger, øker kostnader i konstruksjon og effekttap i kabel.

Biogassanlegg

Et biogassanlegg kan være en metode å benytte seg av avfall og på samme tid produsere gass som kan benyttes i forskjellige former. Potensiell gassmengde i et slikt anlegg er avhengig av hvor mye substrat som finnes, og hvilken type substrat som benyttes. Her er det blitt valgt å basere seg på dyregjødsel som substrat, gassmengde vil da være avhengig av antall dyr som finnes på gården. I et mikro-biogassanlegg, tilsvarende det som ligger på gården til Inge Hoemsnes, er det mest nyttig å bruke en CHP generator som sluttstasjon i prosessen.



Bilde 2: CHP generator

En CHP generator har omtrent 80 % effektivitet og forbrenner biogassen som er produsert for å skape varmeenergi

og strøm som kan benyttes lokalt. 60 % av energien produsert igjennom en slik generator er varme, og kan potensielt erstatte det meste av varmebehovet som finnes på gården. De resterende 40 % av energien som produseres kan erstatte deler av effektbehovet på gården, flate ut forbrukstopper og potensielt lade batterielektrisk maskineri.

Lønnsomheten i et slikt anlegg er avhengig av hvor mye gass man kan produsere og om man kan utnytte energien produsert til eget bruk, både varmeenergi og elektrisk energi. Dersom en gård har nok substrat tilgjengelig, og energien produsert blir godt utnyttet så er det absolutt mulig å sikre tilfredsstillende lønnsomhet med dagens støtteordninger.

Kjøretøy

Det finnes et beskjedent utvalg av elektriske maskiner som traktor, lastebil og gravemaskin på markedet i dag. Dette er prosjekter som er helt i startfasen av sin utbredelse, men kommer til å bli bedre og billigere i framtiden. Gruppen har kun valgt å se på batterielektriske maskiner slik at bonden kan utnytte seg av energien han produserer på gården til lading av disse. Nedenfor finner man informasjon på de elektriske maskinene som ble undersøkt.

Traktor

Fendt e100 Vario er en av de første batterielektriske traktorene og har en batteripakke på 100 kWh, samt en motor på 50 kW (150 kW i korte perioder). Den kan drives i opp til 5 timer under normale forhold og bør lades på 400 V, 22 kW. Men kan også lades med en CCS2-kontakt som lader opp 80 % av batteriet på 40 min. Investeringskostnaden for denne traktoren er ansett til å ligge på ca. 1.600.000 kr og nåverdien etter 20 år er ifølge våre beregninger rundt -300.000 kr. Traktoren har en PTO-tilkobling og hydraulisk forsyning som vil si at bonden kan benytte seg av redskapene han har fra før.



Bilde 3: Fendt e100 Vario

Lastebil

Volvo FE electric er en batterielektrisk lastebil som koster rundt 4.100.000 kr. Siden den er elektrisk er den betydelig mer stillegående enn en tradisjonell lastebil. Lastebilen kan leveres med ulike typer påbygg, slik at den kan modifiseres til ønsket formål. Den har en elektrisk motor som leverer toppeffekt på 400 kW, kontinuerlig 330 kW og dreiemoment på 850 Nm. Rekkevidden på lastebilen ligger på rundt 120 km, avhengig av forbruksmønster. Batteriene kan lades med en on-board lader 22 kW, som bruker 8 timer på å lade opp batteriene fra 0-100 %. Eller man kan lade med en standard CCS2-kontakt på 150 kW på 1,5 time.



Bilde 4: Volvo FE electric

Gravemaskin

CAT 320 Z-line er den beste batterielektriske gravemaskinen tilgjengelig på markedet. Gravemaskinen har en motor som leverer 120 kW og har et dreiemoment på 750 Nm. Maskinen har en anvendbar batterikapasitet på 275 kWh, og kan lades med enten en hurtiglader på 150 kW eller on-board-lader på 44/66 kW. Ladetiden vil være avhengig av hvilken ladeløsning som benyttes – hurtiglader vil kunne lade maskinen fra 0-100 % på under 2 timer, mens standard lader vil bruke mellom 4,5 og 7 timer, avhengig av effekttrekk.

Pris på en slik maskin ligger på 5.700.000 kr. Ved bruk av kjøpt strøm, har gruppen beregnet et tap på ca. 3400 kr per år, mens ved bruk av egenprodusert strøm vil den årlige besparelsen ligge på omtrent 67.000 kr. På grunn av en svært negativ nåverdi, vil investering i en slik maskin være økonomisk ugunstig, selv ved bruk av egenprodusert strøm.



Bilde 5: *Cat 320 Z-line*

Implementering

Dersom man ønsker hurtig lading av eventuelle elektriske kjøretøy så er det ikke fornuftig å ha mer enn en ladestasjon til anleggskjøretøy. Dette er fordi hurtig lading av anleggskjøretøy krever høy elektrisk effekt. For å utnytte mest mulig av egenprodusert strøm fra biogassanlegget er det da ønskelig å lade med overskuddsenergi. Det vil si at når effektbruken ellers på gården er på lavt nok nivå, vil overskuddsenergien gå til batterilading.

Ved plassering av rogowskispoler over kablene til hovedhuset, grisekjøset og kablene internt i kufjøset kan man samle nok informasjon til å styre effektflyten mellom de to hovedtavlene som finnes på gården og ladekretsen til kjøretøyene. På den måten får man utnyttet seg best mulig av den egenproduserte strømmen fremfor å selge dette tilbake til nettet med redusert fortjeneste.

Det anbefales å oppgradere til en ny transformator med TN konfigurasjon fremfor nåværende transformator som har IT konfigurasjon. Fordelen med å investere i en ny transformator som kan levere 400 V TN er at man får betraktelig lavere strømmen i kablene og dermed kan man eventuelt bruke mindre kabelverrsnitt som gjør investeringen billigere. Et høyere spenningsnivå vil også føre til lavere spenningsfall langs eksisterende kabler. Spenningsfall er en utfordring over lange avstander (som på en gård), derfor er det fordelaktig å redusere strømmen i kablene for å sikre stabil spenning hos forbrukeren. Med 400 V TN-nett fører man også en nøytralleder og har dermed tilgang på 230 V for elektriske komponenter som skulle trenge dette. Eksisterende anlegg kan tilpasses relativt enkelt ved å legge separat nøytralleder fra transformator til fordelingskap og deretter gjøre nødvendige omkoblinger inne i skapet.

Referanser

- [1] Miljødirektoratet, *Klimagassutslipp fra jordbruk*, Miljødirektoratet, (2019), (Hentet: 02.03.20). [Online]. Available: <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/klima/norske-utslipp-av-klimagasser/klimagassutslipp-fra-jordbruk/>
- [2] Ukjent, *Anbefaler mer biogass av husdyrgjødsel*, Landbruksdirektoratet, (2020), (Hentet: 14.04.20). [Online]. Available: <https://www.landbruksdirektoratet.no/no/miljo-og-okologisk/jordbruk-og-miljo/husdyrgjodsel-til-biogass/anbefaler-mer-biogass-av-husdyrgj%C3%B8dsel>
- [3] K. M. Hovland, *Regnet ut "bensinpriser" for elbiler:- 3,92 kroner*, e24, (2018), (Hentet: 14.04.20). [Online]. Available: <https://e24.no/teknologi/i/WLGxwK/regnet-ut-bensinprisen-for-elbiler-392-kroner>
- [4] Intergovernmental Panel on Climate Change, *Climate Change 2007 - The Physical Science Basis*. Canada: Cambridge University Press, 2007.
- [5] Norsk Elektronisk Komite, *Elektriske lavspenningsinstallasjoner*, ser. 6. utgave. Norge: Norsk Elektronisk Komite, 2018, opplag 2.
- [6] E. H. Hansen, *Elektroinstallasjoner*. Trondheim, Norge: Classica, 2010.
- [7] Elektroimportøren, *Elektroimportøren.no*, Elektroimportøren, (2020), (Hentet: 10.03.20). [Online]. Available: <https://www.elektroimportoren.no/>
- [8] Mattilsynet, *Veileder til forskrift om hold av storfe*, Mattilsynet, (2020), (Hentet: 05.03.20). [Online]. Available: https://www.mattilsynet.no/om_mattilsynet/gjeldende_regelverk/veiledere/veileder_om_hold_av_storfe.1853/binary/Veileder%20om%20hold%20av%20storfe?fbclid=IwAR0IzF5BIB0Tu5C6Rzrhe17vBWNIVsPP--jEt5Y7JhzYGW_nNrcxqe9UQ9Q
- [9] Landbruks- og matdepartementet, *Forskrift om hold av svin*, Lovdata, (2003), (Hentet: 05.03.20). [Online]. Available: https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2003-02-18-175?fbclid=IwAR1mdUQIDKY7_5nHMo1DHI84B7tQTmil61PQns3GUfJuCWb8_VYuh-SoVQw
- [10] Fjøsssystemer, *Agrilight belysning for kyr*, Fjøsssystemer, (2020), (Hentet: 02.03.20). [Online]. Available: <https://www.fjossystemer.no/storfe/agrilight-belysning/?fbclid=IwAR3fnZuMw96pslePKaBFvbQTGterYt8mAkSHc4jdtZRVBWM4YeXYAwxt7uE>
- [11] S. S. og Jan H. Sebergesen, *Energiproduksjon og energidistribusjon 1*. Vilnius, Litauen: Gyldendal, 2018.
- [12] —, *Energiproduksjon og energidistribusjon 2*. Oslo, Norge: Gyldendal, 2018.

- [13] ABB, *Automatsikringer og modulære produkter*, ABB, (2012), (Hentet: 10.03.20). [Online]. Available: <https://library.e.abb.com/public/2aa105e4db4546ecbb1da450d6b3cd50/Automatsikringer%202012%20low%20res%20SEC400002P2101.pdf>
- [14] Elfa Distrelec, *Elfa distrelec*, Elfa Distrelec, (2020), (Hentet: 10.03.20). [Online]. Available: <https://www.elfadistrelec.no/>
- [15] B. A. Laila Aass, *Mulige tiltak for reduksjon av klimagassutslipp fra husdyrsektoren*, NMBU, (2018), (Hentet: 05.03.20). [Online]. Available: <https://www.nmbu.no/download/file/fid/35442>
- [16] M. Kane, *John Deere Reveals Electric Farm Tractor - (w/video)*, InsideEVs, (2016), (Hentet: 27.02.20). [Online]. Available: <https://insideevs.com/news/330589/john-deere-reveals-electric-farm-tractor-w-video/>
- [17] WniF editors, *Fendt: e100 Vario battery-powered compact tractor*, What's new in farming, (2017), (Hentet: 10.03.20). [Online]. Available: <https://www.wnif.co.uk/2017/11/fendt-e100-vario-battery-powered-compact-tractor/>
- [18] AGCO, *Fendt - A Brand of the AGCO Corporation*, AGCO, (ukjent), (Hentet: 27.02.20). [Online]. Available: <https://www.fendt.com/int/11431>
- [19] Fendt, *Fendt e100 Vario: The battery-powered compact tractor*, AGCO, (2017), (Hentet: 28.02.20). [Online]. Available: <https://www.fendt.com/int/fendt-e100-vario>
- [20] F. Saugstad, *Verdens første Cat323 på batteridrift*, Anleggsmagasinet, (2018), (Hentet: 18.03.20). [Online]. Available: <https://www.tungt.no/anleggsmagasinet/pon-equipment-slipper-elektrisk-bombe---lanserer-cat323-z-line-3737948>
- [21] Ukjent, *Energi- og klimatiltak i landtransport*, Enova, (Ukjent), (Hentet: 05.03.20). [Online]. Available: <https://www.enova.no/bedrift/landtransport/energi--og-klimatiltak-i-landtransport/>
- [22] H. Ådne, *Tidenes smarteste Cat-maskin skal hjelpe entreprenørene til bedre lønnsomhet*, Byggindustrien, (2018), (Hentet: 05.03.20). [Online]. Available: <https://www.bygg.no/article/1352592?image=dp-image108894-1352610>
- [23] C. Hampel, *Volvo electric heavy-duty and regional use trucks*, Electrive, (2019), (Hentet: 16.03.20). [Online]. Available: <https://www.electrive.com/2019/12/11/volvo-trucks-concepts-electric-heavy-duty-and-regional-use/>
- [24] Volvo, *Electromobility made easy*, Volvo, (2019), (Hentet: 09.03.20). [Online]. Available: <https://brochures.volvotrucks.com/hq/product-guides/electromobility-en-en/?page=1>
- [25] —, *Din elektriske lastebil for bytransport Volvo FE Electric*, Volvo, (2020), (Hentet: 09.03.20). [Online]. Available: <https://www.volvotrucks.no/no-no/trucks/trucks/volvo-fe/volvo-fe-electric.html>

- [26] I. S. Modahl, K.-A. Lyng, A. Stensgård, S. A. Saxegård, O. J. Hanssen, H. Møller, S. Arnøy, J. Morken, T. Briseid, and I. Sørby, *Biogassproduksjon fra matavfall og gjødsel fra ku, gris og fjørfe. Status 2016 (fase IV) for miljønytte for den norske biogassmodellen BioValueChain.*, Østfoldforskning, (2016), (Hentet: 02.03.20). [Online]. Available: <https://www.ostfoldforskning.no/media/1703/or-3416-bc-biogassmodell-fase-iv-2016-versjon-3-aapen.pdf>
- [27] Mel science, *Interaction of methane with oxygen – combustion reaction*, Mel science, (Ukjent), (Hentet: 04.03.20). [Online]. Available: <https://melscience.com/US-en/articles/interaction-methane-oxygen-combustion-reaction/>
- [28] Landbruks- og matdepartementet, *Forskrift om tilskudd for levering av husdyrgjødsel til biogassanlegg*, lovdata, (2019), (Hentet: 28.02.20). [Online]. Available: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2014-12-19-1815>
- [29] Ukjent, *IT-nett*, Wikipedia, (2019), (Hentet: 12.03.20). [Online]. Available: <https://no.wikipedia.org/wiki/IT-nett>
- [30] A. Gylseth, *Fordelingssystemer - IT og TN anlegg*, Elektrofag, (ukjent), (Hentet: 12.03.20). [Online]. Available: <http://w3.elektrofag.info/elektroteknikk/fordelingssystemer>
- [31] R. E. Grundt, *Effektkrevende elektrisk utstyr, utfordring for nettet*, Byggebolig, (2015), (Hentet: 05.03.20). [Online]. Available: <http://byggebolig.no/imageoriginals/1a827c29469943be872ec5be2eba3c91.pdf>
- [32]
- [33] K. Saugstad and K. A. Rosvold, *sikring - elektrisk*, Store norske leksikon, (2019), (Hentet: 17.03.20). [Online]. Available: https://snl.no/sikring_-_elektrisk
- [34] Justis- og beredskapsdepartementet, *Forskrift om elektriske lavspenningsanlegg*, Lovdata, (2018), (Hentet: 08.04.20). [Online]. Available: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/1998-11-06-1060>
- [35] Ukjent, *Rogowski coil*, Wikipedia, (2019), (Hentet: 27.03.20). [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Rogowski_coil#citenote-:0-1
- [36] Hafslund Nett, *Hva er jordfeil?*, Hafslund Nett, (Ukjent), (Hentet: 05.03.20). [Online]. Available: <https://www.hafslundnett.no/artikkel/Hva-er-jordfeil>
- [37] Holte Industri, *Dimensjonering av varmeeffekt*, Holte Industri, (Ukjent), (Hentet: 05.03.20). [Online]. Available: <https://holteindustri.no/dimensjonering-av-varmeeffekt>
- [38] Ukjent, *50kW CHP system for biogas generator*, Alibaba, (Ukjent), (Hentet: 05.03.20). [Online]. Available: https://www.alibaba.com/product-detail/Factory-outlet-10kw-20kw-50kw-100kw_60720128119.html

- [39] Enova, *Graddagstall*, Enova, (2019), (Hentet: 05.03.20). [Online]. Available: <https://www.enova.no/om-enova/drift/graddagstall/>
- [40] Enøk, *Energiforbruk*, Enøk, (Ukjent), (Hentet: 05.03.20). [Online]. Available: https://www.enok.no/enokguiden/09_1.html
- [41] (Ukjent), *Forskrifter for elektriske anlegg, forsyningsanlegg*, Elektrisitetstilsynet, (Hentet: 13.05.2020). [Online]. Available: <https://www.ren.no/doc/api/rest/download/open/5577adfe-a6f2-43f8-8310-e22dde92915c>
- [42] Innovasjon Norge, *Fornybar energi i landbruket*, Innovasjon Norge, (2020), (Hentet: 13.02.20). [Online]. Available: <https://www.innovasjonnorge.no/no/tjenester/landbruk/finansiering-for-landbruket/fornybar-energi-i-landbruket/>
- [43] Nebraska tractor test laboratory, *Test Reports*, UNIVERSITY of NEBRASKA–LINCOLN, (Ukjent), (Hentet: 12.03.20). [Online]. Available: <https://tractortestlab.unl.edu/testreports>
- [44] Ukjent, circle K, (2020), (Hentet: 03.03.20). [Online]. Available: https://m.circlek.no/cs/Satellite?c=Page&childpagename=NO1%2FLayout&cid=1334077141831&p=1334077141831&packedargs=lang%3Dno_NO%26site%3DNO1&pagename=NO1Wrapper
- [45] Nordea, *Priser landbrukskunde*, Nordea, (2020), (06.03.20). [Online]. Available: <https://www.direct.nordea.no/direct/priser/priser-landbruk.html#tab=Landbrukslan>
- [46] K. D. J. J. P. Øivind Hagen, Christine Hung, *Forutsetninger for biogassproduksjon i Norge - En flerfaglig case-studie av Ørland og Frosta*, SINTEF, (2011), (Hentet: 07.05.20). [Online]. Available: https://www.sintef.no/globalassets/upload/teknologi_samfunn/605511-arbeidsforskning/sintef-a18274-forutsetninger-for-biogassproduksjon-i-norge-mvedlegg.pdf
- [47] Landbruksdirektoratet, *Graddagstall*, Landbruksdirektoratet, (2018), (Hentet: 05.03.20). [Online]. Available: <https://www.landbruksdirektoratet.no/no/produksjon-og-marked/produksjonstilskudd/om-produksjonstilskudd/8-9-milliarder-kr-ut-til-norske-b\OT1\onder>
- [48] Viken fylkeskommune, *Test av fossilfrie maskiner og kjøretøy*, Viken Fylkeskommune, (2020), (Hentet: 05.03.20). [Online]. Available: <https://viken.no/tjenester/klima-miljo-og-natur/satsingsomrader-og-nettverk/test-av-fossilfrie-maskiner-og-kjoretoy/>
- [49] G. Røed, *Så mye koster de verste elbilskadene*, Motor, (2019), (Hentet: 10.04.20). [Online]. Available: <https://www.motor.no/artikler/2019/juli/sa-mye-koster-de-verste-elbilskadene/>

- [50] K. A. Rosvold, *Fasekompensering*, Store norske leksikon, (2019), (Hentet: 23.04.20). [Online]. Available: <https://snl.no/fasekompensering>
- [51] Ukjent, *Fossilfrie arbeidsmaskiner og kjøretøy*, Klima Østfold, (2019), (Hentet: 03.03.20). [Online]. Available: <https://klimaostfold.no/fossilfrie-arbeidsmaskiner-og-kjoretoy/>

