

Ruben Antonsen, Nina Pavlova, Sivert Deinboll
Reinertsen og Mohamad Jarbi

Prosjektering av mikronett i avsides strøk

Utvikling av metode for design av mikronett for
GridVille

Bacheloroppgave i Elektroingeniør, Elkraft og bærekraftig energi
Veileder: Steve Vøller

Mai 2024

Ruben Antonsen, Nina Pavlova, Sivert Deinboll
Reinertsen og Mohamad Jarbi

Prosjektering av mikronett i avsides strøk

Utvikling av metode for design av mikronett for
GridVille

Bacheloroppgave i Elektroingeniør, Elkraft og bærekraftig energi
Veileder: Steve Vøller
Mai 2024

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for informasjonsteknologi og elektroteknikk
Institutt for elektrisk energi



Kunnskap for en bedre verden

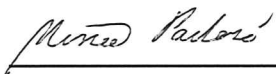
Forord

Denne oppgaven er skrevet ved NTNU og instituttet for elektrisk energi, og er en avslutning på et 3 år langt studieløp. Oppgaven er skrevet på vegne av GridVille NTNU, og arbeidet gjennomført er tilegnet dem. Vi har lyst til å takke vår veileder fra NTNU Steve Vøller, for hans store hjelp med å lede oss i riktig retning gjennom arbeidet med bacheloroppgaven. Steve har gitt stor hjelp med teknisk informasjon nødvendig for arbeidet, samt hjulpet gruppen å komme i kontakt med andre fagpersoner som har hjulpet i arbeidet.

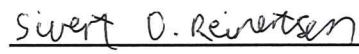
Videre har vi lyst til å takke GridVille NTNU, og spesielt Mathias Kristensen for hans gode hjelp gjennom bacheloroppgaven. God kommunikasjon og godt samarbeid med oppdragsgiver er viktig for at prosjektgruppen kan levere et godt resultat som tilfredsstillende det oppdragsgiver ser for seg.

Målet til prosjektgruppen er at denne oppgaven skal kunne brukes videre av GridVille NTNU når de arbeider med å bygge ut mikronett. Håpet vårt er at arbeidet vi har gjennomført vil gjøre arbeidet til GridVille lettere og mer overkommelig når de skal realisere en utbygging av mikronett.


Trondheim, Mai 2024



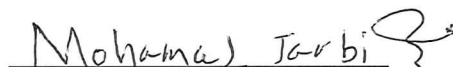
Nina Pavlova



Sivert Deinboll Reinertsen



Ruben Antonsen



Mohamad Jarbi

Sammendrag

Denne bacheloroppgaven er en prosjektering av et mikronett for en avsides landsby i Nepal. Dette arbeidet er utført i samarbeid med GridVille NTNU, en studentorganisasjon som har som mål å kunne levere bærekraftig energi til avsides landsbyer uten tilgang til elektrisitet. Gjennom dette arbeidet ønsker GridVille og prosjektgruppen å jobbe mot FNs bærekraftsmål, spesielt ved å levere bærekraftig energi og forbedre livskvalitet.

Hovedmålet med oppgaven er å utarbeide en metode for å prosjektere mikronett som oppfyller tekniske krav gitt av GridVille. Dette er gjort gjennom å prosjektere et mikronett for landsbyen Thingan i Nepal. Gjennom denne rapporten vil fremgangsmåten brukt i prosjekteringen grundig presenteres, slik at metoden lett kan brukes i Gridvilles videre arbeid.

I rapporten er en nødvendig teoretisk bakgrunn for oppgaven gitt. Dette inkluderer teori rundt elektriske nett, solcellepaneler, og batterilagring. Videre er en introduksjon til programvare brukt i oppgaven gitt, samt en forklaring hvorfor programmene er blitt tatt i bruk i prosjekteringen.

Fremgangsmåten brukt i prosjekteringen er presentert svært detaljert, for å levere en tydelig gjenbrukbar metode til Gridville. Dette inkluderer steg for steg bruk av programvare og detaljerte beskrivelser av utregninger gjort.

Til slutt er resultatene presentert, diskutert, og reflektert rundt. Det er gitt forslag på forbedringer til fremgangsmåten brukt i denne oppgaven, samt diskutert andre problemstillinger som vil kunne møtes når en faktisk utbygging av et mikronett skal gjennomføres.

Oppsummert har denne bacheloroppgaven utarbeidet en metode for prosjektering av mikronett i avsides strøk. Gjennom dette prosjektet vil GridVilles arbeid med å levere elektrisk energi til områder uten tilgang til elektrisitet være nærmere å kunne realiseres. Det er fortsatt behov for å videreutvikle metoden brukt i denne prosjekteringen, men den gir et godt eksempel på hvordan en prosjektering av et mikronett kan se ut.

Abstract

This bachelor's thesis is a design process for a microgrid in a remote village in Nepal. The work is carried out in collaboration with GridVille NTNU, a student organization that aims to deliver sustainable energy to remote villages without prior access to electricity. Through this work, GridVille and the project team want to work towards the UN's Sustainable Development Goals. Especially by providing sustainable energy and improving quality of life.

The main objective of the thesis is to develop a method for designing microgrids that fulfills the technical requirements specified by GridVille. This task has been performed by planning a microgrid for the village of Thingan in Nepal. Throughout this thesis, the procedure used in the design process will be thoroughly presented and explained, such that the approach developed easily can be used in GridVille's further work.

In the thesis, a necessary theoretical background is given. This includes theory surrounding electrical grids, solar panels, and battery storage. Further on an introduction to the software used in the work with the thesis is given, as well as an explanation as to why the programs have been selected for the design process.

The procedure used in the design process is presented in great detail, to clearly deliver a reusable method to GridVille. This includes a step-by-step use of software and detailed descriptions of calculations made.

Finally, the results presented are discussed and reflected upon. Suggestions are given for improvements to the method used in this thesis, as well as highlighting other issues that may be encountered when an actual development of a microgrid is to be carried out.

In summary, this bachelor's thesis has developed a method for designing microgrids in remote areas. Through this project, GridVille's work to deliver electrical energy to areas without access will come closer to being realized. There is still a need to further develop the method used in this thesis, but it provides an example of what the design process of a microgrid can look like.

Innhold

Forord	iii
Sammendrag	iv
Abstract	v
Innhold	vi
Forkortelser	ix
Figurer	x
Tabeller	xiii
Kodelister	xv
1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn	1
1.1.1 Hvordan levere elektrisitet til avsides bebyggelser	2
1.2 GridVille	3
1.3 Motivasjon	4
1.4 Begrensninger satt for prosjektoppgaven	5
1.5 Oppbygning av rapporten	5
2 Uavhengige mikronett i avsides strøk	8
2.1 Hva er et mikronett?	8
2.1.1 Hensikten med mikronett	9
2.2 Hvordan fungerer et mikronett?	9
2.2.1 Kort om DC og Hybrid mikronett	10
2.2.2 Mer om AC mikronett	12
2.2.3 Utfordringer med mikronett i øy-modus	12
2.3 Energilagring	13
2.4 Energiproduksjon med solceller	15
2.4.1 Oppbygging av solceller	15
2.4.2 Silisium som hovedmaterial	15
2.4.3 Valg av solcellepaneler	16
2.5 Kraftelektronikk	19
2.6 Oppbygningen av mikronettet i Thingan Nepal	21
3 Modelleringsverktøy og dimensjonering av distribusjonsnett	23
3.1 RAMP	23
3.1.1 Grunnlag for RAMP	24
3.1.2 Effektforbruk	25
3.1.3 Forventet forbruk	25

3.1.4	Type laster	26
3.1.5	Tre scenarioer	26
3.1.6	Forbruksapparater	27
3.1.7	Bruk av simuleringene fra RAMP	29
3.2	PVsyst	29
3.2.1	Utfordringer med PVsyst	31
3.2.2	PVgis	32
3.3	Febdok	32
3.3.1	Fordeler med Febdok	32
3.3.2	Forskrifter og standarder	33
3.4	Sikkerhet i nettet	34
3.4.1	Valg av vern	34
3.4.2	Antagelser ved dimensjonering	34
3.5	Prosjektering av distribusjonsnett	35
3.5.1	Lavspennnett	35
3.5.2	Høyspennnett	37
3.5.3	Type nettsystemer	39
3.5.4	Tapsberegninger	41
4	Forbruksprofiler med RAMP	43
4.1	Oppsett av RAMP	43
4.1.1	Grunnlag for lastprofilene	44
4.1.2	Nødvendige antagelser	44
4.1.3	Parametere og deres betydning	45
4.1.4	Eksempel med elektrisk vifte	45
4.2	RAMP-verktøyet	47
4.3	Endelige parametere for landsbyen	50
4.3.1	Scenario 1	51
4.3.2	Scenario 2	54
4.3.3	Scenario 3	54
5	Simuleringer med PVsyst	58
5.1	Opprette ny vær- og sol-profil	58
5.2	Orientering av solcellepanel	59
5.3	Midlertidig oppsett av solcellepanel og omformer	59
5.4	Forbruksprofil som dimensjonerende faktor	60
5.5	Hjelp til dimensjonering	61
5.6	Dimensjonering av batteribank	62
5.7	Oppsett av solcellepaneler	63
5.8	Aldringsverktøy	65
6	Prosjektering av distribusjonsnettet	67
6.1	Geografisk plassering av distribusjonsnettet	67
6.2	Dimensjonering av anlegget	68
6.2.1	Levere energi til forbruker	69
6.2.2	Oppsett i Febdok	70
6.2.3	Distribusjon til hus og skole	76

6.2.4	Kontrollsystemer	78
6.2.5	Tapsberegninger	79
6.3	Sikkerhetstiltak i mikronettet	79
6.4	Et lite HMS blikk	82
7	Resultater	84
7.1	Forbruksprofiler fra RAMP	84
7.1.1	Scenario 1	85
7.1.2	10 års-scenario (scenario 3)	87
7.2	Simuleringer i PVsyst	88
7.2.1	Scenario 1	88
7.2.2	Scenario 2	90
7.2.3	Scenario 3	90
7.2.4	Scenario 4	91
7.2.5	Scenario 5	91
7.2.6	10-års scenario	93
7.3	Distribusjonsnettet	94
7.3.1	Lavspent distribusjon	95
7.3.2	Høyspent distribusjon	95
7.3.3	Fellesføring	95
7.3.4	Tapsberegninger	96
7.3.5	Febdok	97
7.3.6	Spenningsfall til forbruker	98
7.3.7	Fordelinger	100
7.4	Økonomisk oversikt	102
7.4.1	Distribusjonsnett	102
7.4.2	Produksjon og lagring	103
8	Diskusjon	105
8.1	RAMP	105
8.2	PVsyst	107
8.2.1	Orienteringen av panelene	108
8.2.2	Sammenligning av orientering	109
8.3	Dimensjonering av distribusjonsnettet	112
8.3.1	Bruk av Febdok	112
8.3.2	Dimensjonering av anlegget	114
8.4	Økonomisk vurdering	116
8.5	Evaluering av mikronettet	116
8.6	Fremtidsperspektiv	117
8.6.1	Aldring av batteri og solcellepaneler	117
8.7	Mulige feilkilder	118
9	Konklusjon	120
	Bibliografi	122
A	Forklaring av kodeelementer	129
B	Populærvitenskapelig artikkel	131

Forkortelser

AC - Alternating Current

BESS - Battery Energy Storage System

CSV - Comma Separated Values

DC - Direct Current

Del - Distance electrical

Dpp - Distance phase to phase

DSB - Direktoratet for samfunnsikkerhet og beredskap

FEL - Forskrift om elektriske lavspenningsanlegg

IUG - Ingeniører uten grenser

IEC - International Electrotechnical Commission

MPP(T) - Multi Power Point (Tracking)

NTNU - Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet

PV - Photovoltaic

RAMP - Remote-Areas Multi-Energy Systems Load Profiles

Wp - Watt peak

Figurer

1.1 - Mennesker uten tilgang til elektrisitet	1
1.2 - Eksempel på mikronett	2
1.3 - GridVille	3
1.4 - Relevante bærekraftsmål	4
1.5 - Landsbyen Thingan med hus markert	4
2.1 - Hvordan et mikronett kan settes opp	9
2.2 - AC mikronett	10
2.3 - DC mikronett	11
2.4 - Hybrid mikronett	11
2.5 - Virkemåte energilagring med batterier	14
2.6 - Eksempel på BESS	14
2.7 - Silisiumsolceller	15
2.8 - Tosidige solceller	16
2.9 - Tilt og azimuth	18
2.10 - Seriekobling	18
2.11 - Parallellkobling	19
2.12 - Kraftelektronikk brukt i et mikronett	20
2.13 - Graf som viser MPP for en solcelle	20
2.14 - Landsbyen Thingan med oversikt over hus	21
2.15 - Konseptuell oversikt over mikronettet	22
3.1 - Oversikt over RAMP verktøyet	24
3.2 - RAMP og faktisk forbruk	24
3.3 - PVsyst meny	29
3.4 - PVsyst valg av komponenter	30
3.5 - PVsyst valg av modellering	31
3.6 - Hierarki for lover og normer	33
3.7 - IT-nett	39
3.8 - TT-nett	40
3.9 - TN-Nett	40
3.10 - Eksempel på tapsdiagram fra PVsyst	41
3.11 - Tomgangstap transformator	42

4.1 - RAMP logo	43
4.2 - Elektrisk vifte	46
4.3 - Bilde av Thingan	50
4.4 - Tidsvinduet for apparat bruk (Scenario 1)	51
4.5 - Tidsvinduet for apparat bruk (Scenario 3)	55
5.1 - Opprette ny profil for vær- og soldata	58
5.2 - PVsyst orientering meny	59
5.3 - PVsyst valg av solcellepanel og omformer	60
5.4 - PVsyst opplasting av forbruksprofil	60
5.5 - CSV-fil lastet opp til PVsyst	61
5.6 - Pre-sizing verktøy	61
5.7 - PVsyst dimensjonering av batteribank	62
5.8 - Near shading	63
5.9 - PVsyst shading scene construction	64
5.10 - Solkurve og fjern-skyggelegging	65
5.11 - Avansert simulering PVsyst	65
6.1 - Mikronett konseptuelt	67
6.2 - Mikronett med linjer	68
6.3 - Forsyning, fordeling og radialnett	70
6.4 - Valg av strømforsyning	70
6.5 - Valg av foranliggende nett	71
6.6 - Foranliggende nett	72
6.7 - Valg av fordeling	72
6.8 - Parametere for fordeling	73
6.9 - Oppsett av radialfordeling	74
6.10 - Fordeling med høyspent del	75
6.11 - ISO klemme/kontaktklemme	76
6.12 - Lavspent luftlinje	76
6.13 - 11 kV mast	77
6.14 - 11 kV luftlinje	77
6.15 - Fellesføring høyspent og lavspent	78
6.16 - Overspenningsvern kobling	80
6.17 - Lynavleder	81
7.1 - Daglig effektforbruk scenario 1	85
7.2 - 30 dagers effektforbruk	86
7.3 - Last-varighetskurve scenario 1	86
7.4 - Forventet gjennomsnittlig daglig effektforbruk om 10 år	87
7.5 - Forventet effektforbruk over 30 dager om 10 år	87
7.6 - Last-varighetskurve om 10 år (scenario 3)	88
7.7 - Oppsett av solcellepaneler og skyggeforhold. Scenario 1 og 2	89
7.8 - Oppsett av solcellepaneler. Scenario 3 og 4	90
7.9 - Oppsett av solcellepaneler scenario 5	92

7.10 - Oppsett av solcellepaneler og skyggeforhold. 10 års-scenario	93
7.11 - Distribusjon fra hovedtavle til forbruker	94
7.12 - Spenningsfall distribusjon husslynge 1 & 2	99
7.13 - Spenningsfall distribusjon husklynge 3 & 4	99
7.14 - Spenningsfall til høyspent 400 V/11 KV	99
7.15 - Spenningsfall fra høyspent 11 KV/400 V	99
7.16 - Fordeling 1	100
7.17 - Fordeling 2	101
8.1 - Tilgjengelig energi vs. energibehov	110
8.2 - Månedlige verdier for scenario 2 PVsyst	111
8.3 - Månedlige verdier for scenario 5 PVsyst	112
8.4 - Aldring av systemet i scenario 2	118

Tabeller

3.1 - Oversikt over utstyr brukt i hus, skole og gårdshus	28
3.2 - Oversikt over brukstid for apparater per dag	28
3.3 - Minsteavstander for lavspenningsluftlinjer i meter	36
3.4 - Verdier for D_{el} og D_{pp} for nominell- og høyeste systemspenning	37
3.5 - Minsteavstander i meter for høyspenningsluftlinjer	38
4.1 - Oversikt og forklaringer til symboler	45
4.2 - Oversikt over apparater og deres parametere (Scenario 1) . . .	53
4.3 - Oversikt over applikasjonenes tidsvinduer og andelen variasjon	54
4.4 - Oversikt for forskjell mellom S1 og S3	57
7.1 - Systemspesifikasjoner scenario 1	89
7.2 - Systemytelse scenario 1	89
7.3 - Systemspesifikasjoner scenario 2	90
7.4 - Systemytelse scenario 2	90
7.5 - Systemspesifikasjoner scenario 3	91
7.6 - Systemytelse scenario 3	91
7.7 - Systemspesifikasjoner scenario 4	91
7.8 - Systemytelse scenario 4	91
7.9 - Systemspesifikasjoner scenario 5	92
7.10 - Systemytelse scenario 5	92
7.11 - Systemspesifikasjoner scenario 10 år	93
7.12 - Systemytelse scenario 10 år	94
7.13 - Lavspent lengde av kabel og antall master	95
7.14 - Høyspent lengde av kabel og antall master	95
7.15 - Antall master fellesføring	95
7.16 - Tap landsby del 1	96
7.17 - Tap landsby del 2	96
7.18 - Totale tap for distribusjonsnett	96
7.19 - Oversikt over vern i mikronettet	97
7.20 - Oversikt over kabler brukt i mikronettet	98
7.21 - Økonomisk oversikt for distribusjonsnett	102
7.22 - Økonomisk oversikt for vern og sikringer	102
7.23 - Økonomisk oversikt for produksjon og lagring - Scenario 1 .	103

7.24 - Økonomisk oversikt for produksjon og lagring - Scenario 2 .	103
7.25 - Økonomisk oversikt for produksjon og lagring - Scenario 3 .	103
7.26 - Økonomisk oversikt for produksjon og lagring - Scenario 4 .	104
7.27 - Økonomisk oversikt for produksjon og lagring - 10 års-scenario	104
A.1 - Forklaringer av de forskjellige elementene i RAMP	130

Kodelister

4.1	Oppsett av en elektrisk vifte i RAMP	45
4.2	Viftens spesifikasjoner i RAMP	46
4.3	Importering av biblioteker og opprettelse av brukerlisten	47
4.4	Modellering av elektriske apparater i husstander	48
4.5	Ekstra apparater for utvalgte hus	48
4.6	Modellering av skolefasiliteter	49
4.7	Modellering av gårdshus	49
4.8	Generering og visualisering av forbruksprofiler	50

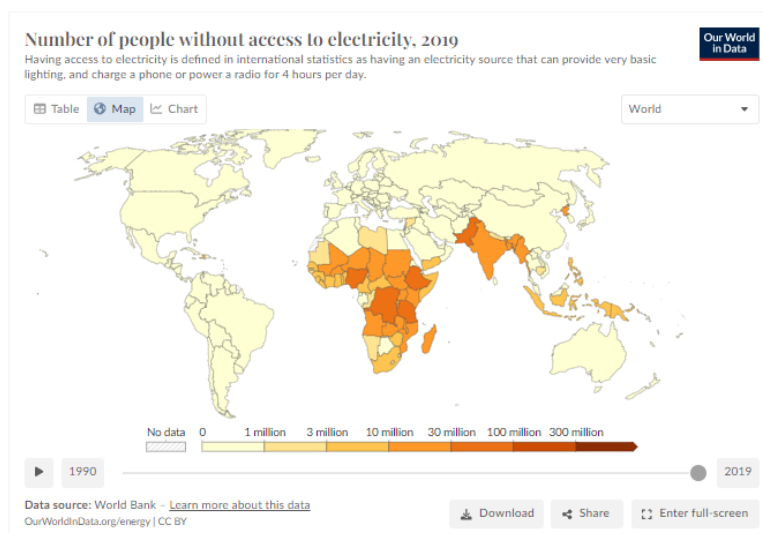
Kapittel 1

Innledning

Det følgende kapittelet vil gi en introduksjon til prosjektoppgaven. Bakgrunnen for oppgaven og målet med den vil bli presentert, samt motivasjonen for arbeidet. Til slutt vil oppbygningen av rapporten kort presenteres.

1.1 Bakgrunn

Tilgang til elektrisitet er en essensiell del av de aller fleste menneskers hverdag, det gjør liv enklere og livskvaliteten bedre. Samtidig skaper tilgangen til elektrisitet mange muligheter, spesielt innenfor områder som utdanning og medisinsk hjelp. Manglende tilgang på elektrisitet gjør da forskjellene desto større mellom mennesker, og blir en viktig forskjell å utbedre. I 2019 var det 761 millioner mennesker som ikke hadde tilgang til elektrisitet, spesielt mange i Afrika og Asia [1].



Figur 1.1 - Mennesker uten tilgang til elektrisitet [1]

Mangelen på elektrisitet vil ikke bare ha en negativ innvirkning på livskvalitet, men også gjøre viktige ting som kommunikasjon svært vanskelig. Dette kan føre til at landsbyer blir isolerte, og at utveksling av informasjon og mennesker blir utfordrene. Over tid vil også mange samfunn som mangler tilgang til elektrisitet bli forlatt, spesielt av de yngre generasjonene, som et resultat av de manglende mulighetene [2].

1.1.1 Hvordan levere elektrisitet til avsides bebyggelser

Utfordringen med å levere elektrisitet er ofte en kombinasjon av økonomiske faktorer og vanskelighet for å bygge ut. Det er dyrt å bygge ut distribusjonsnett, og vanskelig når det er i utfordrene terreng. Spesielt med tanke på land som er markert i figur 1.1 er terrenget en stor utfordring. Utbygging av distribusjonsnett er ekstra dyrt og vanskelig gjennom ørken, jungel, og fjell. Når dette kombineres med at de fleste landene hvor mange mennesker fortsatt mangler elektrisitet mangler den nødvendige infrastrukturen og ressursene til å gjennomføre utbyggingen, blir det utfordrene å kunne levere elektrisitet til de siste 761 millionene mennesker.

Det er både billigere og enklere å levere elektrisitet til mennesker i urbane områder, som ofte fører til at energiproduksjon også blir sentralisert rundt de samme urbane områdene. Hva er da den beste måten å få levert elektrisitet til små bygdesamfunn som befinner seg langt unna det sentrale distribusjonsnettet? Et alternativ er å bygge ut distribusjonsnettet til å dekke alle de små bebyggelsene rundt omkring i landet, men som nevnt over er dette både veldig dyrt og ofte en vanskelig utbygging gjennom utfordrende terreng. Et annet og mer realistisk alternativ er å bygge ut mikronett som forsyner små avgrensede områder.

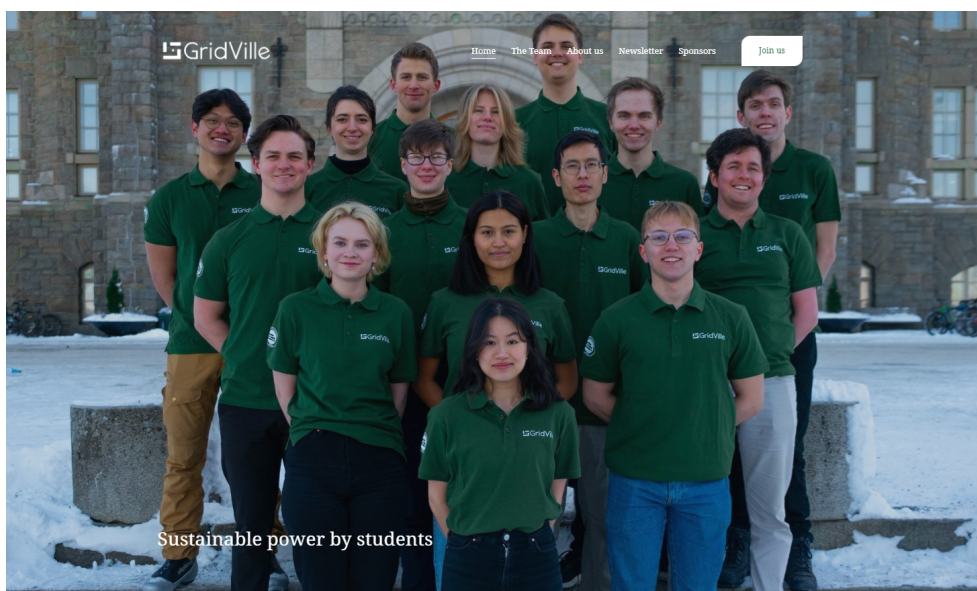


Figur 1.2 - Eksempel på mikronett [3]

Ved bruk av mikronett vil kostnadene bli mye lavere og arbeidet lettere, siden det kun bygges ut det nødvendige nettet nært bebyggelsen. Dette muliggjør utbygging i områder som ellers ikke ville hatt mulighet til å få tilgang til elektrisitet. Samtidig er det en fordel at mikronett typisk drives av fornybare energikilder, f. eks. solcellepaneler. Dette ivaretar miljøhensyn og bidrar til at energiproduksjonen er selvforsynt. Å kunne levere grønn og fornybar energi til mennesker som ikke har tilgang i dag er studentorganisasjonen GridVille sitt mål.

1.2 GridVille

GridVille er en studentorganisasjon som ble startet i 2020 av studenter ved NTNU. Målet til organisasjonen er å kombinere teknologi og humanitær bistand ved å designe og bygge mikronett.



Figur 1.3 - GridVille 2023/2024 [4]

GridVille jobber sammen med Ingeniører Uten Grenser [5] for å designe og bygge mikronett til mennesker som ikke har tilgang til elektrisitet. Gjennom dette arbeidet ønsker GridVille å øke den tekniske kompetansen til medlemmene sine ved å lære de å bygge ut mikronett. Et annet sentralt mål er å levere energien fornybart, med et fokus på solenergi. Gjennom arbeidet ønsker GridVille å bidra til å oppnå FNs bærekraftsmål. Under er de tre bærekraftsmålene GridVille har i fokus. Utover disse tre vil arbeidet også indirekte bidra til andre bærekraftsmål som bedre utdanning, anstendig arbeid, og økonomisk vekst.

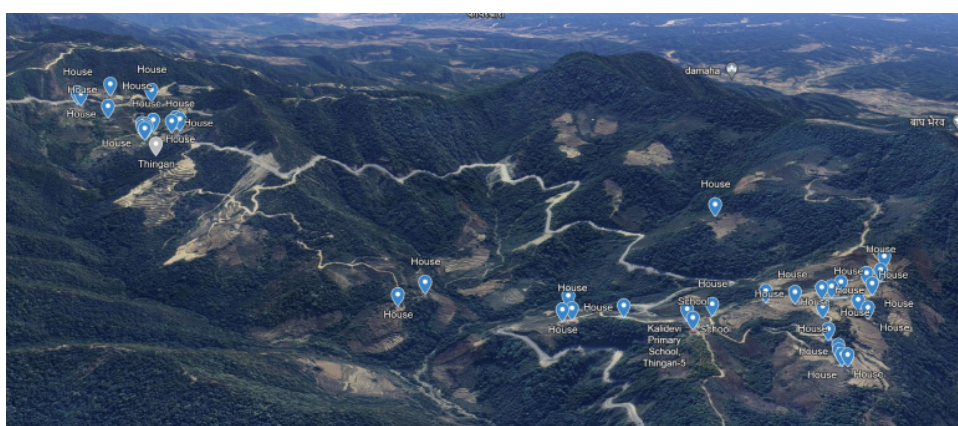


Figur 1.4 - Relevante bærekraftsmål [6]

Planen til GridVille er å først bygge en prototype av mikronettet i Norge ved NTNU, for deretter å installere den for testing i Norge. Videre skal da et mikronett bygges ut i en liten landsby, eller lignende, hvor det ikke allerede er tilgang til elektrisitet. Det samarbeides for tiden med studenter ved Kathmandu University i Nepal, og det første mikronettet planlegges å bygges ut i Nepal i samarbeid med studenter fra Nepal.

1.3 Motivasjon

Denne bacheloroppgaven skrives på vegne av GridVille og har som hovedmål å utarbeide en metode for å designe et mikronett med fornybare energikilder som solcellepanel. Hensikten med dette er å gjøre videre arbeid for GridVille lettere og raskere, ved at de har en konkret fremgangsmåte å følge. Dette er spesielt relevant ettersom som en studentorganisasjon vil medlemmene til GridVille naturlig skiftes ut fra år til år. Dette skal gjøres gjennom å utføre en prosjektering av et mikronett for landsbyen Thingan i Nepal.



Figur 1.5 - Landsbyen Thingan med hus markert. Laget av GridVille med Google Earth [7]

Oppgaven vil gjennomgående gi en steg for steg fremgangsmåte, samt forklaringer bak de valgene som er tatt. Dette inkluderer introduksjoner til relevant teori og programvare, samt utregninger og andre verktøy brukt i oppgaven. Målet med prosjekteringen er at den skal kunne brukes som et eksempel for videre lignende arbeid. Dette hensynet har påvirket både arbeidet gjort og sluttresultatet som er denne rapporten.

1.4 Begrensninger satt for prosjektoppgaven

Denne prosjektoppgaven vil ta for seg den overordnede planleggingen av mikronettet. Det vil bli gått i detalj på bruk av programvarer i oppgaven. Planleggingen av det elektriske nettet vil være detaljert på lavspentsiden. Her vil kabeldimensjoner, spenningsfall, og vern bli presentert i detalj. Prosjekteringen av lavspennetnettet stopper ved husveggen, så installasjonene innad i husene er ikke dekket i denne oppgaven. På høyspentsiden er det ikke gjennomført lignende prosjektering. Dette er på grunn av manglende erfaring i gruppen på dette området, noe som gjør detaljprosjektering vanskelig. I tillegg ser man også at høyspentdelen vil bli kraftig overdimensjonert uansett hvilke dimensjoner som blir valgt. Det vil bli gitt en forenklet plan til høyspentanlegget, men dette vil bli utdypet senere og diskutert.

Når det kommer til selve utbyggingen av av det elektriske nettet vil relevante standarder og normer bli presentert, men en befaring av området er nødvendig for å kunne levere en mer detaljert utbyggingsplan. Det er derfor anbefalt å gjennomføre en befaring og bruke personer med kompetanse innenfor dette, spesielt med tanke på høyspentanlegget.

Resultatene fra prosjekteringen gjennomført i denne prosjektoppgaven vil være et godt estimat på hvordan et mikronett kan se ut dimensjonert for et visst antall mennesker. Det er dog mangler med prosjekteringen. Det har ikke blitt gjennomført en befaring av området mikronettet skal bygges i, og heller ikke blitt gjennomført intervjuer eller analyser for å finne ut hva slags forbruk en kan forvente. Nødvendig informasjon har blitt hentet inn basert på erfaring fra lignende prosjekteringer og fra samtaler med GridVille om deres erfaringer. Resultatene presentert vil derfor være en god pekepinn, men det er nødvendig å gjennomføre mer detaljert planlegging før en faktisk utbygging.

1.5 Oppbygning av rapporten

Denne rapporten er bygget opp med en standard oppbygning i tankene, men teori- og metode-delene har blitt delt opp. Dette er gjort for å skape bedre oversikt i rapporten. Spesielt med tanke på metodedelen er dette gjort for at det skal være lettere å forholde seg til et kapittel og et program om gangen.

Kapittel 1: Innledning

Dette kapitlet presenterer bakgrunnen for prosjektoppgaven. Videre vil det også gi en innledning til GridVille og motivasjonen bak hvorfor oppgaven gjennomføres.

Kapittel 2: Uavhengige mikronett i avsides strøk

I dette kapitlet vil nødvendig teori bak mikronett bli presentert. Det inkluderer teori rundt solcellepanel, batterilagring, kraftelektronikk, og mer.

Kapittel 3: Modelleringsverktøy og dimensjonering av distribusjonsnett

Dette kapitlet gir en introduksjon til de forskjellige modelleringsverktøyene brukt i prosjekteringen, samt hvorfor de konkrete verktøyene er tatt i bruk. Videre blir det presentert en teoretisk bakgrunn prosjektering av distribusjonsnettet og viktige sikkerhetshensyn som blir tatt.

Kapittel 4: Forbruksprofiler med RAMP

Dette kapitlet er det første av metode kapitlene og gir en grundig introduksjon i hvordan en bruker RAMP. Ved hjelp av RAMP lages det flere forbruksprofiler som skal brukes videre i prosjekteringen.

Kapittel 5: Simuleringer med PVsyst

I dette kapitlet blir det gitt en introduksjon i hvordan å bruke PVsyst. Dette er en steg for steg prosess på hvordan programmet har blitt brukt i denne prosjekteringen, og hvordan en kan simulere et solcellesystem med PVsyst.

Kapittel 6: Prosjektering av distribusjonsnettet

Kapitlet gir en introduksjon i bruk av programmet Febdok. Ved hjelp av Febdok har lavspentnettet blitt prosjektert. Videre vil også metoden brukt for å prosjektere høyspentnettet bli presentert, samt valg av vern og andre sikkerhetstiltak.

Kapittel 7: Resultater

I dette kapitlet vil resultatene fra prosjekteringen bli presentert. Dette inkluderer en oversikt over hvilke komponenter som er brukt og antall. Videre er det også blitt presentert en økonomisk oversikt over kostnadene for de forskjellige delene av mikronettet. Dette er delt opp etter de forskjellige scenarioene presentert tidligere i oppgaven.

Kapittel 8: Diskusjon

Her vil resultatene presentert og metoden brukt bli diskutert. Det vil bli gitt forslag til hva som burde vært gjort annerledes, spesielt med tanke på det videre arbeidet GridVille.

Kapittel 9: Konklusjon

Til slutt vil prosjektoppgaven bli oppsummert. Hovedfunn og viktige lærdommer vil bli presentert, og hva som er blitt oppnådd med oppgaven.

Kapittel 2

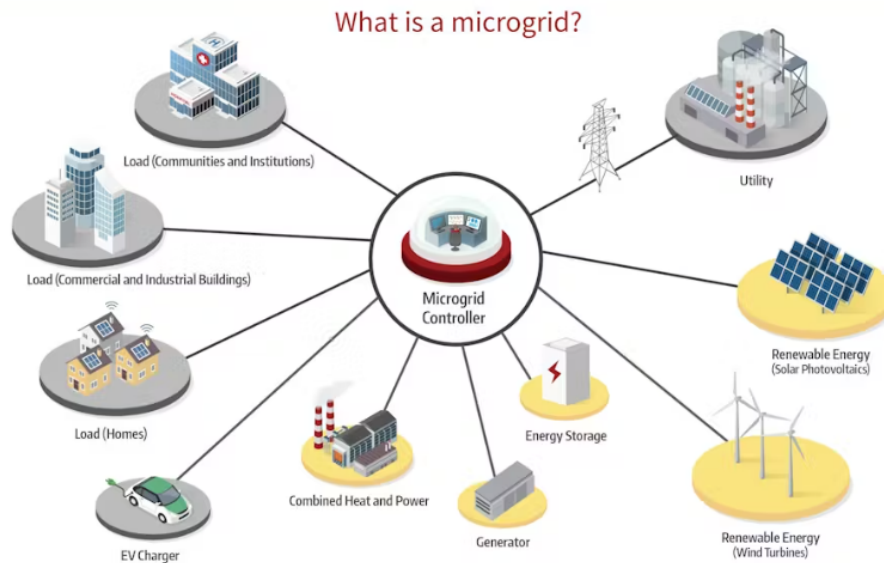
Uavhengige mikronett i avsides strøk

Det følgende kapittelet vil gi en teoretisk introduksjon til mikronett, hva hensikten med de er og hvordan de opererer. Videre vil det også gås i dybden på hvordan energiproduksjon med solcellepaneler og energilagring med batterier opererer.

2.1 Hva er et mikronett?

Det amerikanske departementet for energi definerer et mikronett slik: ”En gruppe av sammenkoblede laster og distribuerte energiresurser innen tydelig definerte elektriske grenser som fungerer som en enkelt, styrt enhet med hensyn til strømmettet. Et mikronett kan koble seg til og fra strømmettet for å tillate at det opererer både i nett-tilkoblet modus eller øy-modus.” [8]. Med andre ord; et mikronett er et lokalt elektrisk nett som skal kunne operere uavhengig fra det overliggende nettet.

Et mikronett har et par sentrale kjennetegn. Det skal være lokal energiproduksjon, typisk er dette gjort med fornybar energi som f. eks. solceller. Elektrisk energi som produseres skal kunne lagres, slik at driftssikkerheten til nettet økes. Typisk blir batterier brukt til lagring av elektrisk energi, med en kapasitet rundt 100-200 Ah. I mikronett brukes det ofte en smart mikrokontroller som styrer produksjon og lagring av elektrisk energi, slik at den elektriske energien lagret balanseres med det som hentes fra det overliggende nettet [9]. Under ligger en skisse av et typisk mikronett koblet som reserve.



Courtesy of Microgrid Knowledge

Figur 2.1 - Hvordan et mikronett kan settes opp [9]

2.1.1 Hensikten med mikronett

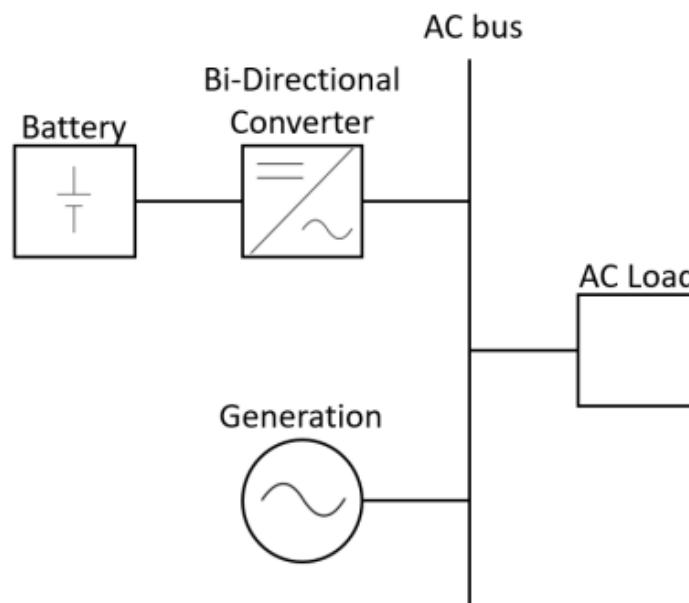
Et mikronett kan settes opp for flere grunner. Et av bruksområdene til mikronett er økt driftssikkerhet. Hvis det ordinære kraftnettet faller ut grunnet naturulykker, eller av andre årsaker ikke kan levere elektrisk energi i en periode, kan mikronettet koble seg inn og levere elektrisk energi. Dette er svært relevant for områder som er utsatt for strømbrydd, og vil bidra til at forsyningen av elektrisk energi blir sikrere.

Et annet bruksområde, som er det mest relevante for denne oppgaven, er å bruke mikronett til å levere elektrisk energi til avsides strøk hvor det i dag ikke er tilgjengelig. Ved å bygge ut et mikronett vil det kunne leveres elektrisk energi til mennesker som ellers ikke ville hatt tilgang. Dette kan gjøres ved en mye lavere kostnad enn å bygge ut det overliggende nettet til å kunne forsyne avsidesliggende landsbyer [10].

2.2 Hvordan fungerer et mikronett?

Et mikronett kan være bygget opp på ulike måter, avhengig av hvilke spenningsforsyning som brukes. De tre hovedtypene er DC, AC, og hybrid. Hvilken spenningsforsyning som er mest fornuftig å bruke avhenger av lasten som skal forsynes, hvordan den elektriske energien produseres, tilgang på kraftelektroniske komponenter, mm.

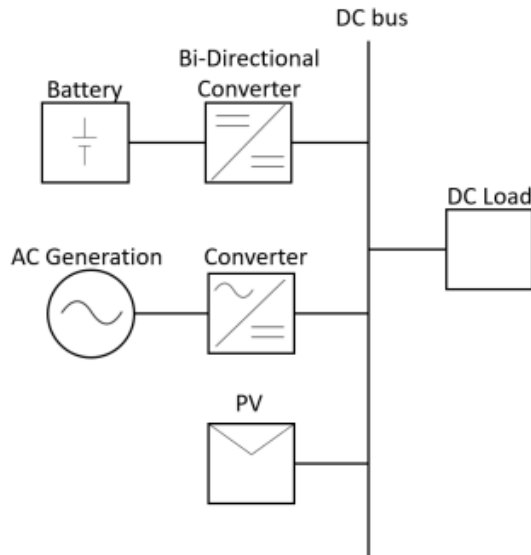
AC-baserte mikronett er i dag den mest utbredte typen av mikronett, og det er flere grunner til dette. AC teknologi er det som blir brukt i alle lands nasjonale elektriske nett, og er derfor en svært kjent teknologi. Dette gjør utbyggingen av AC mikronett mye lettere, siden utbyggingen av mikronettet baserer seg på en teknologi man allerede har mye erfaring med. I kontrast er DC teknologi lite utbredt ettersom det er en teknologi som ikke egner seg til overføring av store mengder elektrisk energi. Det er flere prosjekter som undersøker muligheten rundt bruk av DC teknologi, men dette er teknologi som fortsatt må gå igjennom omfattende testing. Denne oppgaven bruker et AC basert mikronett og vil fokusere på teorien bak denne, under følger et diagram som viser et mulig oppsett av et AC mikronett.



Figur 2.2 - AC mikronett [11]

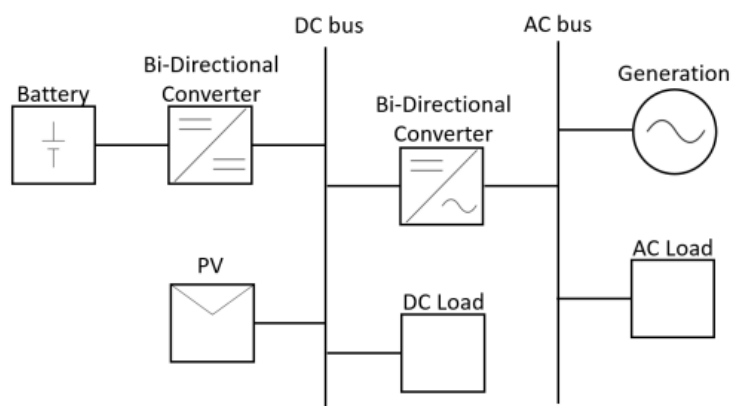
2.2.1 Kort om DC og Hybrid mikronett

Et DC mikronett opereres utelukkende med DC. En av fordelene med bruk av DC mikronett er at en slipper konverteringen mellom DC og AC som trengs ved bruk av solcellepaneler. Videre vil kontrollen av energiflyten være enklere med et DC mikronett, som en følge av at energien flyter i en retning. Ulempen ved bruk av DC mikronett er at det er mer tap knyttet til overføring av elektrisk energi. Samtidig er DC teknologi mindre utbredt, så å finne DC komponenter og apparater blir vanskeligere. Dette er spesielt relevant i avsides strøk hvor det er vanskelig å få tak i slike spesielle komponenter. Under vises et mulig oppsett av et DC mikronett.



Figur 2.3 - DC mikronett [11]

Et hybrid mikronett kombinerer et DC nett og et AC nett. Fordelen er at man da kan koble opp DC-laster mot DC siden og AC-laster mot AC siden. I realiteten er det få DC laster, spesielt i områder hvor mikronett bygges ut for å levere elektrisk energi for første gang. Dermed er det ikke relevant å ha DC nettet med mindre en spesifikt skal ta i bruk en DC komponent. Under vises et mulig oppsett av et hybrid mikronett.



Figur 2.4 - Hybrid mikronett [11]

2.2.2 Mer om AC mikronett

En av utfordringene med AC mikronett er knyttet til produksjon av elektrisk energi. Den vanligste energikilden som brukes i mikronett er solceller, og solceller leverer elektrisk energi med DC spenning. Som en følge av dette må den elektriske energien konverteres fra DC til AC ved hjelp av en DC/AC omformer. Dette medfører tap, ettersom omformingen typisk har en effektivitet på $\pm 95\%$ [12]. Den samme utfordringen følger med lagring av elektrisk energi, ettersom den vanligste lagringsmetoden er DC batterier. Til tross for dette utveier fordelene med AC mikronett ulempene.

AC teknologi egner seg bedre for overføring av elektrisk energi, ettersom det er mindre tap under overføringen sammenlignet med DC. Dette er som en følge av at AC energi enkelt kan bli transformert til en høyere spenning, noe som ikke er tilfellet for DC. En annen viktig fordel med AC teknologi er at de fleste elektriske apparater er laget for å motta AC strøm. Dermed vil det ved bruk av et DC mikronett være et behov for å spesialbestille elektriske apparater for bruk, noe som unngås ved AC mikronett. Det åpnes også for flere muligheter, det er f. eks. mulig å integrere et AC mikronett med et konvensjonelt distribusjonsnettverk, siden de konvensjonelle distribusjonsnettverk utelukkende bruker AC. Dette er svært aktuelt for mikronett som skal bedre energieffektivitet i allerede elektrifiserte samfunn, og mikronettet prosjektert i dette arbeidet er tenkt at en gang i fremtiden skal kunne integreres.

En av de største utfordringene når det kommer til å operere et AC mikronett er å kontrollere flyten av energi. Til dette kreves et kontrollsystem for å sørge at den riktige mengden elektrisk energi blir sluppet inn i mikronettet fra produksjon og lagring. Til dette trengs det en god del kraftelektronikk, noe som vil bli utdypet i et senere kapittel.

2.2.3 Utfordringer med mikronett i øy-modus

Ettersom mikronettet som skal prosjekteres driftes utelukkende i øy-modus, det vil si totalt frakoblet et sentralt nett, er det en del ekstra utfordringer. For å kunne levere elektrisk energi med en svært høy dekningsgrad må det dimensjoneres for de verst mulige forholdene. Typisk vil dette innebære at energiproduksjon og energilagring kan ende opp overdimensjonert med tanke på de normale forholdene. Det kommer da et spørsmål om hvilken pris en er villig til å betale for de siste prosentene opp mot 100 % dekningsgrad. Typisk vil et energilagringssystem være dimensjonert for å kunne levere energi i 1-2 dager uten produksjon [13]. Dette vil være tilstrekkelig for de fleste situasjoner, men vil kunne være sårbart i lengre perioder uten energiproduksjon. En mulig løsning på dette er å ha alternativer for energiproduksjon, f. eks. et aggregat som går på gass eller andre alternative energiresurser.

Det typiske mikronettet i øy-modus vil være drevet av solcellepaneler og batterier. Begge komponentene vil med bruk sakte forringes, som fører til at produksjon- og lagrings-kapasiteten blir lavere. Å drive vedlikehold av komponentene er viktig, men krever kompetanse som gjerne må hentes inn. Uavhengig av om vedlikehold eller ikke blir gjennomført, vil forringelse være uunngåelig. Typisk vil det være en forringelse mellom 0,5-1 % hvert år på solcellepanelene, mens batteriene er noe høyere med 1-2 % [14][15]. Det er veldig mange faktorer som virker inn på dette, og det er svært viktig å gjennomføre regelmessig vedlikehold for å øke levetiden. Uansett vil komponentene måtte byttes ut etter levetiden deres er over. Typisk levetid er 20-30 år på solcellepanel [16] og 5-15 år på batterier [17], avhengig av type og bruk.

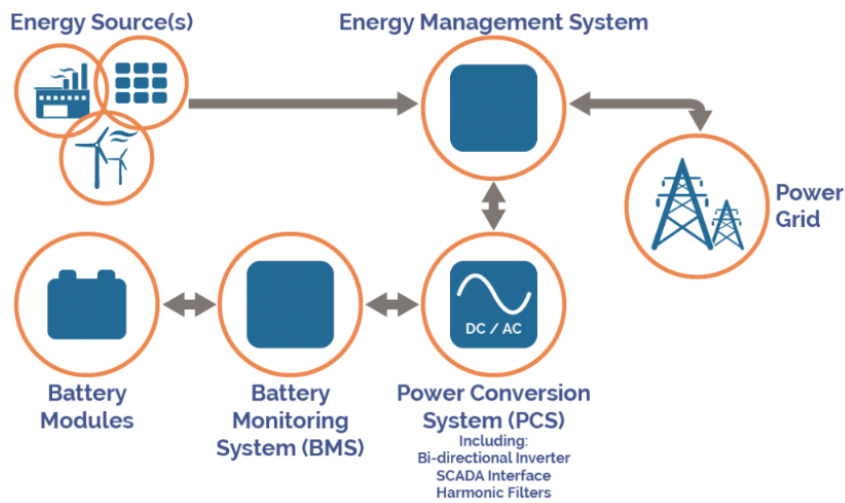
En annen utfordring som er svært viktig er sikkerhet rundt det elektriske nettet. Etersom det installeres i et område hvor det ikke er erfaring med elektrisitet fra før bør det tas hensyn til dette. Hvis det ikke er tilstrekkelige standarder i landet hvor mikronettet skal bygges, bør IEC (International Electrotechnical Commission) sine standarder følges [18]. Dette gjelder spesielt med tanke på krav til installasjon av vern, men også andre krav til spenningsfall, avstander til bebyggelse, osv. Videre vil det også være hensiktsmessig å gjennomføre en opplæring av lokalbefolkningen, slik at sikkerheten deres ivaretas og faren for alvorlige skader minimeres.

2.3 Energilagring

Et sentralt grep for å øke dekningsgraden til mikronettet er å bruke et energilagringssystem. Ved bruk av et slik system kan produsert elektrisk energi lagres i perioder hvor det er større produksjon enn forbruk. Senere kan da den lagrede energien brukes til å dekke perioder hvor forbruket er større enn produksjonen.

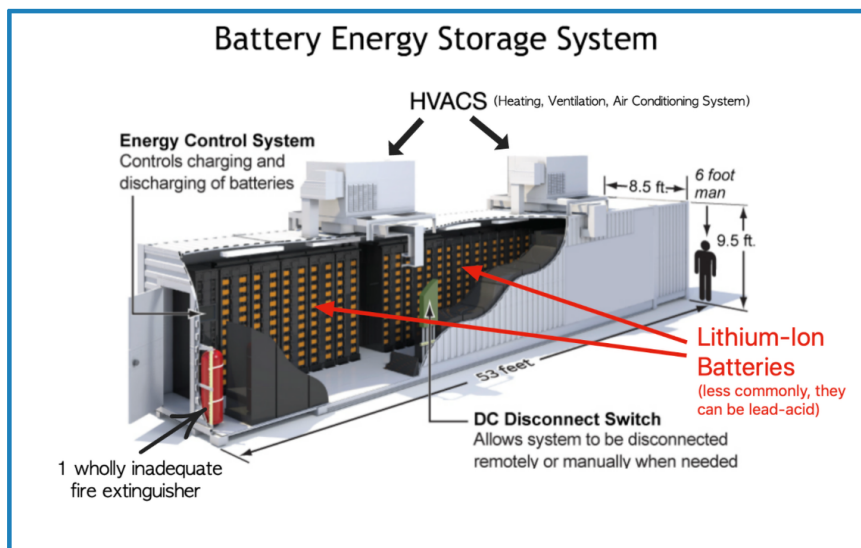
Det finnes en rekke måter å lagre energi på, pumpet vannkraftlager, komprimert luft, termisk energilagring, osv. Den mest vanlige formen for energilagring i mikronett er bruk av ladbare kjemiske batterier. Fordelene ved bruk av ladbare batterier er mange, de er kompakte, billige, og lette å installere. Samtidig er det noen utfordringer, spesielt med tanke på levetiden til batteriene. Det er nødvendig å bruke en laderegulator for å regulere ladingen og utladingen av batteriet [19]. Dette må gjøres for å forhindre overlading og overutlading, som vil ha en negativ innvirkning på batterikvalitet og levetid. Under følger en skisse over virkemåten til energilagring med batterier.

How Energy Storage Works



Figur 2.5 - Virkemåte energilagring med batterier [20]

For å kunne bruke den elektriske energien fra batteriene må det også omformes fra DC til AC, noe som typisk kan gjøres ved å bruke den samme omformeren for både batteriene og energiproduksjon. Det er mulig å kjøpe ferdige batterisystemer, kalt BESS (Battery Energy Storage System), som kommer med laderegulator og annen nødvendig teknologi [21]. Disse ferdige systemene er dyrere, men svært beleilig å ta i bruk.



Figur 2.6 - Eksempel på BESS [20]

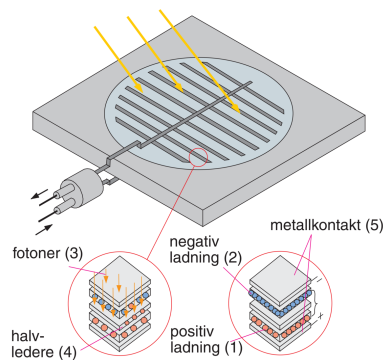
2.4 Energiproduksjon med solceller

”Solceller er lysfølsomme halvlederdiodes som omdanner lys til elektrisk strøm.” [22]. Slik defineres solceller av Knut A. Rosvold. I dette delkapittelet vil dette utdypes. Videre vil forskjellige måter å utvikle solceller på presenteres, hvordan de fungerer og brukes.

2.4.1 Oppbygging av solceller

En halvlederdiode er en elektrisk komponent som baserer seg på et enkelt prinsipp, nemlig at strøm kan kun gå i en bestemt retning. Dette oppnås ved at to halvledere, en p-type og en n-type, settes sammen. I en n-type halvleder er materialet dopet slik at det blir overskudd av frie elektroner, mens i p-typen er det frie hull som dominerer. Denne konstruksjonen vil føre til at det dannes et grenseområdet mellom planene, en såkalt pn-overgang. Elektroner og hull vil her slå seg sammen og danne et elektrisk felt som fungerer som en sperre for elektronstrømmen. Det kobles til en ekstern krets som energien blir tvunget gjennom, og denne kobles til strømmettet. Dette kalles fotovoltaisk effekt, hvor lysfotonene med høy energi eksiterer elektroner og tillater de å bevege seg fritt i materialet. [22].

Det finnes ulike typer material som kan brukes til å bygge solceller. De skiller seg fra hverandre i tilgjengelighet, egenskaper, virkningsgrad og selvfølgelig pris. Krystallisk silisium er det mest utbredte materialet på markedet, og dermed gunstig å bruke når man ønsker å presse prisene og skaffe lokale leverandører i utviklingsland. [23]



Figur 2.7 -Silisiumsolceller [22]

2.4.2 Silisium som hovedmaterial

Mono- og multikrystalliske er to forskjellige typer solcellepaneler som begge kan bruke silisiumkrystaller som hovedmaterial. Deres forskjellige struktur og produksjonsmetode er det som skiller dem. Monokrystalliske, som navnet antyder, består

av en silisium krystall, noe som gir en jevn struktur og høy effektivitet. Altså kan den produsere mer elektrisitet per kvadratmeter. Man kan kjenne igjen monokrystalliske solceller ved at de har et jevnere utseende og en dyp svart farge.

Multikrystallinske silisiumsolceller består av mange mindre krystaller som vokser sammen under produksjonsprosessen. Dette gir et mer uregelmessig mønster på panelene og vanligvis lavere effektivitet sammenlignet med monokrystalliske solcellepaneler, men er ofte mer kostnadseffektive å produsere.

2.4.3 Valg av solcellepaneler

Valg av solcellepanel blir tatt med hensyn på faktorene nevnt over, med fokus på lave kostnader, materialer med god tilgjengelighet, enkel konstruksjon og rekonstruksjon. Panelene som er mest utbredt er monokrystalliske solceller av silisium og er derfor de som brukes i denne prosjekteringen. Panelene vil i tillegg være tosidig, som betyr at panelene kan fange lys og generere energi fra begge sider. På denne måten vil albedostrålingen, lys som reflekteres fra bakken, kunne øke ytelsen med opptil 27 % [24].

Tosidige solceller installeres ideelt på flat mark litt over bakkenivå, med forsiden i optimal vinkel mot solen. På denne måten øker mengden stråling som når baksiden av panelet, og forsiden kan fortsatt ha maksimal produksjon. Panelene må også ha nok avstand mellom hverandre for å unngå at de skygger over bakken hvor lys kan bli reflektert på neste panel.

Overflaten som panelene er plassert på påvirker albedostrålingen i stor grad. Et grønt felt (gress) vil ha en albedo-verdi på 10-25 %, mens snø har en albedo-verdi på 45-95 %, der høy verdi er gunstig da verdien beskriver mengden reflektert stråling fra overflaten [25] [22] [26].

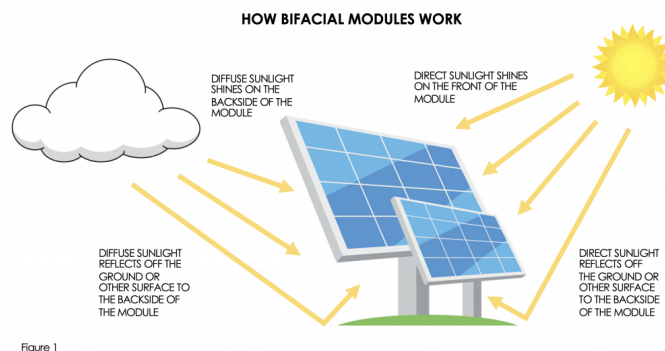


Figure 1

Figur 2.8 Tosidige solceller [27]

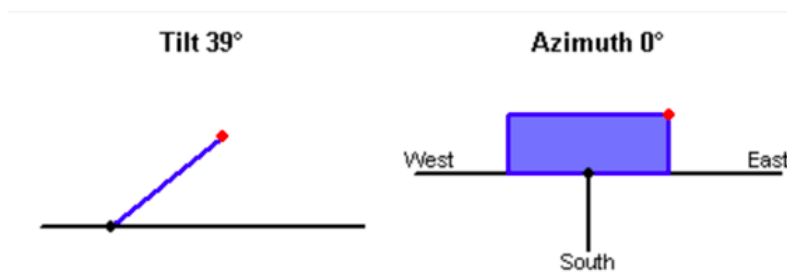
Orientering av panelene

Solcellepaneler fungerer best, produserer mest, når de er vendt direkte mot solstrålenes innfallsvinkel, det er derfor flere faktorer å vurdere når man skal sette de opp.

- **Maksimal produksjon:** Dersom solpanelene er satt mot punktet der sola står høyest mesteparten av tiden, fører det til maksimal produksjon av energi i løpet av dagen. Dermed blir det en energitopp omtrent midt på dagen. Ulempen med dette er at dersom energien ikke blir utnyttet med engang, må den lagres, og midt på dagen er energibehovet generelt lavere enn på morgenen og kvelden[28].
- **Dele opp panelene:** En mulig løsning for dette er å vende panelene litt vekk fra optimal retning, og da forskyve energitoppen enten tidligere eller senere på dagen. På denne måten vil energiproduksjonen være jevnere utover dagen og batteristørrelsen kan minimeres, som også fører til lavere kostnader. Ulempen er at total effekten blir lavere og fører til mer manglende energi[28].
- **Vertikalt stående paneler:** I strøk der energibehovet er konsentrert på kvelden og morgenen, som i Thingan, kunne en løsning være stående paneler som dekker øst-vest stråling. Selv om produksjon i sin helhet ville bli lavere, ville den ligge nærmere tidsrommet med høyest energibehov, noe som gjør at batteristørrelsen kan minskes. Altså paneler som står med 90° i forhold til underlaget og er tosidige. På denne måten ville både morgentoppen og kveldstoppen være bedre dekket av direkte energi fra panelene. Nedsiden med dette er at panelene ikke er like utbredt i verden, og har en noe mer komplisert montering samt høyere pris [29].

Orientering av solcellepaneler er avhengig av bruksmønsteret til lasten som skal forsynes, og det er dermed ingen fasit å følge. Det er derfor svært relevant å undersøke bruksmønsteret til menneskene som skal bli forsynt, for deretter å tilpasse oppsettet av solcellepanel.

Posisjonering av panelene endres av to parametre, **tilt og asimut**. Tilt definerer vinkelen mellom planet som panelene er plassert på og panelene selv. Asimut defineres forskjellig ut ifra om beliggenheten er på den nordlige eller sørlige halvkulen. På den nordlige halvkulen blir den definert som vinkelen mellom sør og kollektorplanet. På den sørlige halvkulen blir asimut definert som vinkelen mellom nord og kollektorplanet. Dette er den grunnleggende orienteringen som bestemmes først og kan deretter endres spesifikt for enkelte paneler om ønsket.

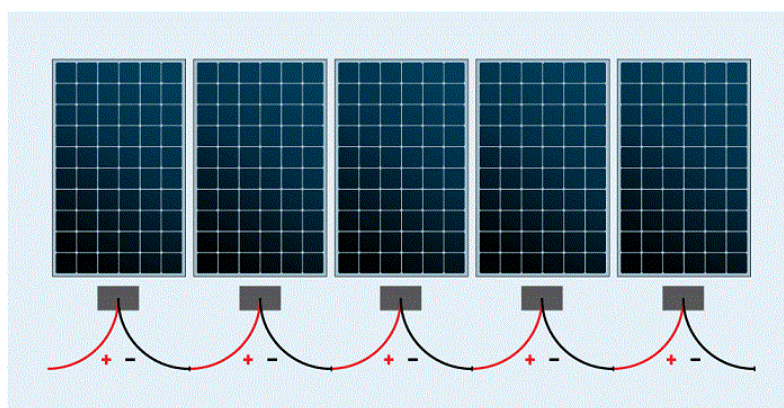


Figur 2.9 - Tilt og azimuth [13]

Sammenkobling av panelene

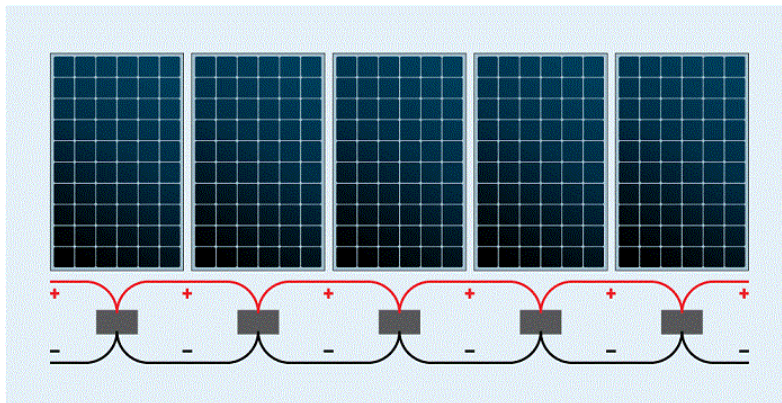
Et solcelleanlegg består av individuelle solcellepaneler som er koblet sammen til å danne grupper av paneler. Det er to grunnleggende metoder for dette, seriekobling og parallellkobling, men også en kombinasjon av disse.

Seriekobling går ut på at plusskoblingen på det ene panelet kobles sammen med minuskoblingen på det neste panelet, som igjen kobles til en plusskobling. Her utnyttes krets-koblingen til å øke spenningen på panelene. Dette gjøres for å møte drifts-spenningsvinduet til omformerer som opererer best ved en viss spenning. Dersom spenningen blir for lav i forhold til operasjonsvinduet og startspenningen til omformerer, kan man risikere ustabilitet og lavere effektivitet i omformerer. Ulempen med å koble panelene slik er at dersom en svikter, svikter alle [30][31].



Figur 2.10 - Seriekobling av solcellepaneler [30]

Parallellkobling benytter begge terminalene på hvert panel. Plusskoblingen kobles med pluss og minuskoblingen med minus på det neste panelet. Her vil resultatet være det motsatte av seriekoblingen, strømmen vil øke, men spenningen forblir den samme. I denne koblingen vil et panel kunne svikte uten at de resterende panelene svikter, og dermed er dette en gunstigere kobling [30][31].



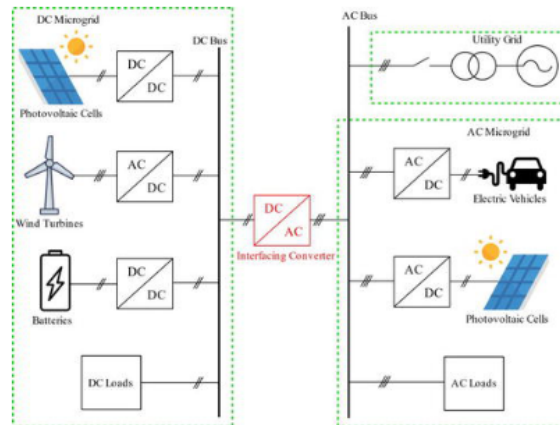
Figur 2.11 - Parallellkobling av solcellepaneler [30]

I praksis vil disse koblingsmåtene ofte kombineres, og fordelene fra begge utnyttes. Seriekoblingen bidrar til å øke spenningen slik at den er på det driftsnivået som er nødvendig. Omformere er designet for en viss spenning som kan nås på denne måten. Parallellkoblingen øker strømmen, men påvirker ikke spenningsnivået, samtidig som den bidrar til en sikkerhet rundt produksjonen dersom et panel skulle svikte.

2.5 Kraftelektronikk

Bjarte Hoff definerer kraftelektronikk slik i SNL: "Kraftelektronikk er et fagområde som omhandler styring og omforming av elektrisk energi" [32]. Med andre ord er kontroll av elektrisk energi som er nøkkelen i kraftelektronikk, noe som er sentralt i driften av et mikronett. Under følger en rekke eksempler på kraftelektroniske komponenter som brukes i mikronett.

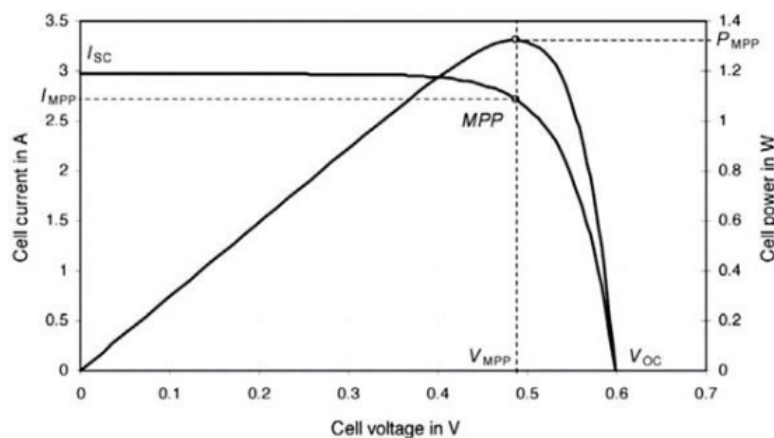
Det trengs kraftelektroniske komponenter til å synkronisere spenning og frekvens mellom de forskjellige delene av mikronettet. Et annet nyttig bruksområde er å bruke en regulator til å kontrollere energiflyten, slik at den riktige mengden med elektrisk energi blir sluppet ut i nettet. Som nevnt tidligere er bruk av en lade-regulator for å holde spenningsnivået i batterier svært lurt med tanke på å øke levetiden til batteriene. Under er en figur som viser noen av de mulige kraftelektroniske komponentene brukt i et mikronett, i dette tilfellet et hybrid mikronett.



Figur 2.12 - Kraftelektronikk brukt i et mikronett [33]

Et svært sentralt bruksområde til kraftelektronikk er å kontrollere spenningen ut av solcellepanelene. Ut i fra forhold som skyer, solforhold, støv, osv., vil spenningen og strømmen produsert av panelene variere. Her trengs det da en DC/DC omformer for å kontrollere at spenningsnivå levert samsvarer med resten av nettet.

En annen type komponent som er svært relevant er MPPT omformere. MPPT står for Maximum Power Point Tracking, og er en regulator bygget inn i omformeren. Hensikten med MPPT omformere er å optimalisere effekten levert av et solcellepanel [34]. Dette skjer ved at regulatoren regulerer omformerens utspenning og strøm for å sørge for at solcellepanelet kan levere effekt ved MPP (Maximum Power Point). Ved bruk av MPPT omformere vil effektiviteten til systemet kunne øke med typisk 10-15 %, og er nærmest alltid brukt ved mikronett av en viss størrelse [34]. Under er en graf som viser MPP mot solcelle spenning og strøm.



Figur 2.13 - Graf som viser MPP for en solcelle [35]

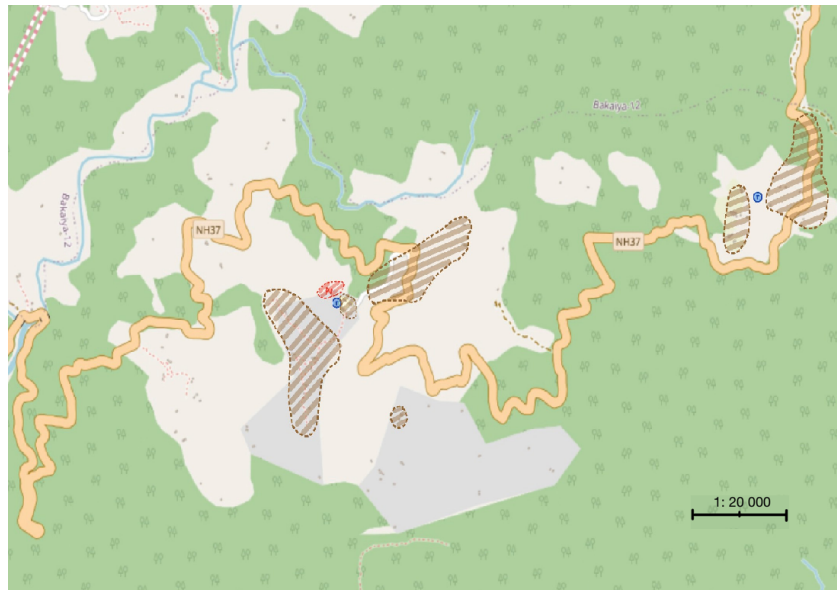
2.6 Oppbygningen av mikronettet i Thingan Nepal

I det følgende kapitlet vil mikronettet som prosjekteres i oppgaven konseptuelt presenteres. Konseptet er bygget på spesifikasjoner gitt av GridVille og samtaler med dem. Spesifikasjoner vil ikke bli gitt her, men mikronettet vil bli overordnet presentert. Figur 2.15 viser et kart over landsbyen med de forskjellige husene og skolen som skal dimensjoneres for, dette er levert av GridVille.



Figur 2.14 - Landsbyen Thingan med oversikt over hus. Laget av GridVille med Google Earth [7]

Mikronettet vil bestå av ett område designert til produksjon og lagring av elektrisk energi, med solcellepanel og batterier for respektive oppgaver. Fra produksjon og lagring vil den elektriske energien bli omformet fra DC til AC og levert inn på nettet. Her vil det bli distribuert elektrisk energi på 400 V til de nærliggende husene. For de fjernliggende husene vil energien bli transformert til 11 kV og gå opp til den andre husklyngen. Her vil det bli transformert ned igjen til 400 V og distribuert ut til husene. Under er det et kart som viser hvor de forskjellige delene av mikronettet er tenkt å ligge. Rødt område er produksjon og lagring, blå er transformatorer, brun er områder som skal forsynes.



Figur 2.15 - Mikronettet konseptuelt. Kart hentet fra nationalgeoportal [36]

I et senere kapittel vil det bli vist et lignede kart som har en oversikt over hvor de ulike linjene i distribusjonsnettet er tenkt skal gå.

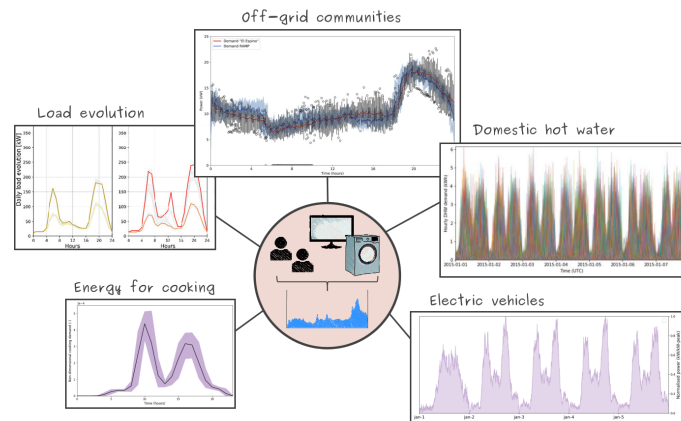
Kapittel 3

Modelleringsverktøy og dimensjonering av distribusjonsnett

I denne delen vil annen relevant teori presenteres. Her vil gruppen først presentere RAMP, som er et verktøy for å simulere/beregne forbruksprofiler. Det er et nyttig verktøy der det ikke er tilgang til konkret informasjon på forbruk av elektrisitet. Videre vil PVSyst presenteres, dette er et verktøy for dimensjonering av solcellebaserte energisystem. Programmet er et simuleringsverktøy som simulerer ytelsen til systemet, og bruker sol- og vær-data fra konkrete lokasjoner. Til slutt vil det snakkes om dimensjonering av nettet, her er programmet Febdok brukt til å prosjektere det elektriske nettet. Det vil også bli presentert standarder som er brukt i dimensjoneringen, og bakgrunnsinformasjon for de valgene som er tatt.

3.1 RAMP

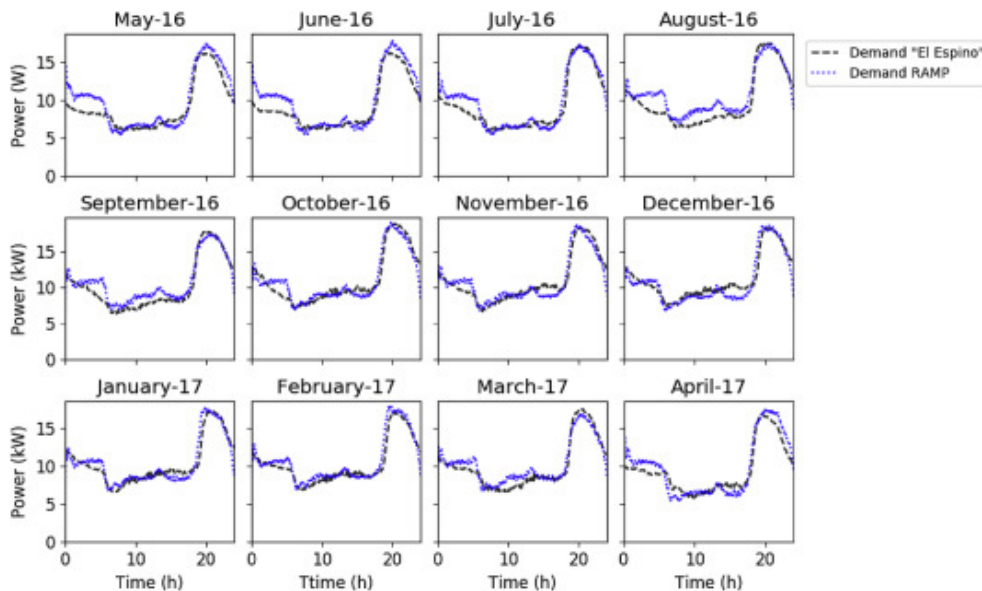
RAMP er et verktøy designet for å skape detaljerte forbruksprofiler for frakoblede energisystemer i avsidesliggende områder. Programmet originalt utviklet av fire studenter, men er siden bygget opp og arbeidet videre med [37]. RAMP er bygget på en stokastisk modell som nøyaktig gjenskaper både den gjennomsnittlige daglige bruksprofilen og dag-til-dag variasjoner. Til forskjell fra eldre simuleringsmetoder som baserte seg på intervjuer og empirisk datainnhenting, gir RAMP muligheten til å simulere forskjellige forbruksapparater og bruksmønster uten behov for omfattende undersøkelser i det aktuelle området. Dette gir et tilpasningsdyktig verktøy for planlegging og dimensjonering av anlegg. Ved å implementere RAMP i Python, er det mulig for ingeniører og konsulenter å utvikle energiløsninger tilpasset de unike behovene i landlige områder. Ved å legge til forskjellige tilfeldighetsfaktorer, flytter RAMP på forbruket til apparater i husstanden slik at man får realistiske simuleringer som gir en god representasjon av det faktiske forbruket [38][37].



Figur 3.1 - Oversikt over RAMP verktøyet [39]

3.1.1 Grunnlag for RAMP

RAMP ble bygget opp ved hjelp av feltarbeid hvor intervjuer og undersøkelser gav grunnlag for utregningene og de forskjellige brukerprofilene benyttet i verktøyet. For å validere modellen, ble programmet målt mot et mikronett i landsbyen El Espino, hvor simulerte verdier og faktiske verdier ble sammenlignet. I figuren under kan man se de faktiske månedlige verdiene presentert med stiplet linje, og simulerte verdier med RAMP er presentert med prikket linje [37].



Figur 3.2 - RAMP og faktisk forbruk [37]

Fra figur 3.2 ser man at RAMP verdiene i stor grad sammenfaller med de faktiske verdiene, selv med små avvik kan man se at simuleringen gir en god representasjon. Dette viser styrken til RAMP som et verktøy. For å lage daglige profiler

og forbruksprofiler, bruker programmet forhåndsdefinerte mønstre basert på hva slags type forbruk det er. Dette kombineres med en tilfeldighetsfaktor, som både flytter tidspunkt for forbruk, og størrelse på maks effekt, slik at man får simultant naturlige variasjoner i bruksmønstrene. Dette gjør at simuleringene RAMP leverer er svært nære virkeligheten, og er et godt verktøy å ta i bruk når en skal prosjektere et mikronett.

3.1.2 Effektforbruk

For beregninger av effektforbruk må man ha kjennskap til forbruksmønsteret og forventet forbruk. I det daglige forbruket er det to faktorer som vanligvis utgjør de største bidragene, det er oppvarming (hus og vann) og matlaging. Energien som går til oppvarming varierer gjennom året, med topper i vintermånedene og lite til ingen bidrag i sommermånedene. Når det kommer til matlaging så innebærer det å bruke energiintense apparater som komfyrtopp, vannkoker, mikrobølgeovn og lignende. Ved simuleringer og et verst tenkelig scenario vil dette gi ekstremt høye energitopper, noe som gjør at anlegget kan bli overdimensjonert i forhold til det mer normale forbruket [40]. For å kompensere for dette, og tilnærme en mer realistisk forbruksprofil er det lagt inn forbehold i RAMP verktøyet som senker disse toppene med omtrent 26 %, noe som gir bedre simuleringer, og et mer nøyaktig dimensjonert anlegg [40][41].

3.1.3 Forventet forbruk

Når energiforbruket i Nepal utforskes, er det avgjørende å ta hensyn til faktorer som klima, levemåter, og kulturelle forskjeller. Disse elementene spiller en nøkkelrolle i å forme energibehovet i regionen. Etter samtaler med GridVille og gjennomgåelse av relevant litteratur, har det blitt etablert et forventet forbruk for landsbyen Thingan. Forbruket som er antatt er et estimat og bør endres hvis et mer nøyaktig bilde av hva det faktiske forbruket vil være kan anskaffes.

Antatt forbruk er beskrevet nøyere i metoddelen, og inneholder en oversikt over aktuelle apparater brukt i landsbyen. Det vil også bli laget en 10-års profil, med et antatt forbruk 10 år etter at mikronettet er blitt etablert. I 10-års profilen legges det opp til at forbruket har økt etter at innbyggerne i Thingan har blitt eksponert til elektrisitet.

Det er blitt gjort en rekke antagelser som bakgrunn for det forbruket som ble presentert. Det er tenkt at oppvarming vil foregå uten bruk av elektrisitet. Denne antagelsen er gjort ettersom elektrisk oppvarming er effektkrevende og alternativ oppvarming allerede er tilgjengelig i landsbyen. Samtidig vil elektrisk oppvarming komplisere forbruket mellom årstider, ettersom det trengs oppvarming i de periodene hvor temperaturen er lavere. Det vil si at produksjonen ville vært overdimensjonert for de periodene hvor oppvarming ikke er nødvendig. Klimaet i Nepal varierer fra hvor i landet man befinner seg. I dalen ved hovedstaden Katmandu

har man sommertemperaturer på 20°C - 35°C og 2°C - 12°C på vinteren, dette er temperaturer man kan forvente noe lengre sør, hvor Thingan befinner seg [42]. Levemåter og kulturelle praksiser, som bruk av tradisjonelle byggematerialer og avhengighet av naturlige lys- og varmekilder, bidrar også til lavere energibehov [43].

En annen antagelse som er blitt gjort er gjeldende helger, ferier og lignende. For oppgaven har det blitt antatt at forbruket er det samme hver dag, uavhengig om det er ukedag eller ferier. Dette har blitt gjort for å gjøre arbeidet med simuleringene enklere, men også ettersom det er tenkt at hver dag vil være relativt lik. Det beregnes og for at skolen skal kunne brukes som et samfunnshus i helgene, med TV og gode matlagingsmuligheter, og at forbruket derfor blir ganske likt gjennom helgen.

3.1.4 Type laster

I prosjektoppgaven er det presentert tre typer hus i landsbyen. Det er vanlige bolighus, et skolebygg og et gårdshus. Ettersom landsbyen i dag ikke har et felles strømmnett, er det lite kunnskap om hvilke forbruksapparater som vil bli brukt, gruppen har derfor utarbeidet en oversikt i samarbeid med GridVille over forventede forbruksapparater for de forskjellige hustypene.

- **Landsbyen inneholder 45 hus:** Her legges det opp til belysning både inne og ute. I tillegg blir det lagt opp til kokemuligheter i husene, som varierer ut fra de forskjellige scenarioene. For hvert hus vil det bli mulighet til et ladeuttak for enkle små apparater.
- **Landsbyen inneholder 1 skole:** Her finnes det 7 skolebygg, med kontorer, læringsareal, kjøkken og toalett. Det legges opp til belysning i innearealene, samt vifter for kjøling i undervisningsrom og kontorområde. Det vil legges opp til et kjøkken, som benyttes på dagtid til å varme mat/lunsj for elever og ansatte.
- **Landsbyen inneholder 1 gårdshus:** Her vil det bli belysning inne og ute.

3.1.5 Tre scenarioer

For prosjektet er det et ønske om å ta høyde for forskjellig forbruk, gruppen har derfor kommet frem til at det er nødvendig å utvikle tre forskjellige scenarioer for energiforbruk, med utgangspunkt i forskjellige driftsscenarioer. For dimensjonering er det ikke realistisk å forvente at landsbyen vil få ubegrenset tilgang til elektrisitet for alle ønskede formål, og det er derfor lagt opp til et balansert forbruk.

- **Scenario 1:** Dette scenarioet er beregnet for dagens situasjon, hvor mye av aktivitetene vil fortsette som i dag. Det er et hovedfokus på å forsyne hus og skole med strøm til lys og enkelte forbruksapparater, men hovedlast til oppvarming og matlaging vil fortsatt skje med gass/ved som i dag. For skolen vil det legges opp til tv/projektor, belysning samt vifter. For hus vil det legges opp til at 25 % av landsbyen vil gå over til elektrisk matlaging, og at resten vil fortsette som i dag.
- **Scenario 2:** Dette scenarioet tar for seg en sesongjustert versjon av scenario 1 og skal representere forbruket i vinterhalvåret. Her tas det høyde for noe lengre mørketid og kaldere temperaturer.
- **Scenario 3:** Dette scenarioet er ment for å ta høyde for et økt forbruk i et 10 års perspektiv, hvor forbruket er mer tilpasset en elektrisk hverdag. Her er det lagt opp til at alle hus både bruker elektrisitet i matlaging, og at skolen har installert både AC og ekstra utstyr som printer.

3.1.6 Forbruksapparater

Basert på de tre scenarioene er det utarbeidet en tabell som illustrerer hvilke forbruksapparater som benyttes og hvor mange enheter av hvert apparat som er brukt under hvert scenario. Tabellen under presenterer en oversikt over forbruksapparater som er brukt for å dimensjonere lastprofilene i anlegget. I tabellen blir det presentert 3 scenarioer, som tar høyde for forskjellige variasjoner i simuleringene. Scenarioene vil bli presentert nøyere senere i rapporten.

Apparat	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
Hus			
Lys inne	6	6	6
Utelys	2	2	2
Ladeuttak	2	2	2
Kjøleskap	0.25	0.25	1
Komfyr	0.25	0.25	1
Vifte	0	0	1
Skole			
Skole innelys	45	45	45
Skole utelys	7	7	7
Skole TV/prosjektor	1	1	1
Skole vifte	16	0	16
Skole komfyr	1	1	1
Skole fryseboks	1	1	1
Skole kjøleskap	1	1	1
Skole klimaanlegg/AC	0	0	1
Gårdshus			
Gårdshus innelys	2	2	2
Gårdshus utelys	2	2	2

Tabell 3.1 - Oversikt over utstyr brukt i hus, skole og gårdshus

Tabell 3.2 viser bruken av apparater i minutter per dag for hver av de tre scenarioene, som gir en detaljert oversikt over hvor lenge hvert apparat brukes daglig.

Apparat	Scenario 1 (min)	Scenario 2 (min)	Scenario 3 (min)
Hus			
Innelys	180	180	180
Utelys	480	480	600
Lader	120	120	200
Kjøleskap	1440	1440	1440
Fryser	-	-	1440
Komfyr	60	60	90
Vifte	180	-	240
Skole			
Innelys	420	420	420
Utelys	240	240	240
TV	120	120	120
Vifte	420	420	420
Komfyr	60	90	60
Kjøleskap	1440	1440	1440
Fryser	1440	1440	1440
AC	-	-	600
Skriver	60	60	60
Gårdshus			
Innelys	180	180	180
Utelys	600	600	600

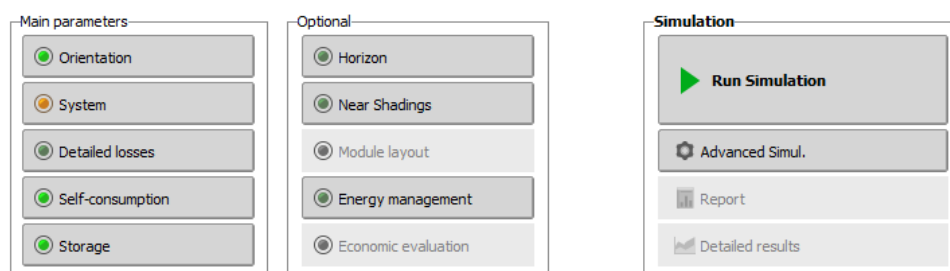
Tabell 3.2 - Oversikt over brukstid for apparater per dag

3.1.7 Bruk av simuleringene fra RAMP

Med Ramp er det mulig å hente ut ulike typer data, som gjennomsnittlig effektforbruk per år, per dag, eller det som er interessant for denne oppgaven: forbruket time for time over et spesifikt antall dager. Denne time for time-oversikten blir deretter eksportert til en CSV-fil. Denne filen kan så åpnes i PVsyst for videre analyse og bruk.

3.2 PVsyst

For arbeidet som skal gjøres i dette prosjektet er det sentralt å ha et verktøy for simulering av produksjon av elektrisk energi. Ettersom det utelukkende skal brukes solcellepanel er programmet PVsyst et naturlig valg [13]. PVsyst er et program laget for å hjelpe i den innledende fasen av design av et solcelleanlegg. I programmet kan det endres på komponenter, orientering av solcellepanel, energilagring, mm.. Under er et bilde av menyen i PVsyst.



Figur 3.3 - PVsyst meny

Som det kan sees i bilde over er det mange forskjellige parametere som kan justeres i PVsyst. Programmet vil foreslå endringer for å forbedre simuleringsresultatene. Til simuleringen bruker programmet data hentet fra Metenorm 8.1 [44]. Dette er vær- og soldata som er basert på data hentet inn i perioden 2000-2019. Databasen ble ferdigstilt i 2021.

En annen sentral funksjon PVsyst har er å kunne simulere forbruk. Det er en innebygd funksjon hvor PVsyst hjelpe deg med å lage en forbruksprofil, men det er også mulig å laste opp en forbruksprofil. Dette er brukt i prosjektet, hvor det har blitt laget en forbruksprofil med RAMP som da har blitt lastet opp i PVsyst. Ved å ha en forbruksprofil kan PVsyst simulere hvor stor dekningsgrad solcellesystemet som er designet har. Dette muliggjør en bedre forståelse av hvordan systemet faktisk vil operere.

I designprosessen kan det brukes flere dimensjonerende faktorer, eller/og en kombinasjon av de forskjellige faktorene. Her er noen av de dimensjonerende faktorene som kan brukes [45]:

- Høyeste lastforbruk
- Tilgjengelige solcellepanel
- Tilgjengelig areal
- Økonomiske faktorer
- Energiforbruk over tid

Hvilke dimensjonerende faktorer som brukes er avhengig av mikronettet som skal prosjekteres. I dette prosjektet vil energiforbruk over tid og høyeste lastforbruk brukes som de dimensjonerende faktorene.

PVsyst lar også brukeren velge mellom ulike produsenter av komponenter, det kan altså velges en konkret produsent og komponent eller bruke en standard komponent. Dette kan gjøres for solcellepaneler, omformere og batterier. Under vises menyen hvor en kan velge solcellepanel og omformer.

Sub-array ?

Sub-array name and Orientation

Name: Tilt:
 Orient.: **Fixed Tilted Plane** Azimuth:

Pre-sizing Help

No sizing Enter planned power kWp ?
 ... or available area(modules) m²

Select the PV module

Available Now: Filter: **Bifacial module** Bifacial system

Use optimizer

Sizing voltages : Vmpp (60°C) **33.0 V**
 Voc (-10°C) **52.0 V**

Select the inverter

Available Now: Output voltage: 50 Hz 60 Hz

Nb of MPPT inputs: Operating voltage: Inverter power used:
 Use multi-MPPT feature Input maximum voltage: **inverter with 2 MPPT** **No power sharing between MPPTs**

Design the array

Number of modules and strings

Mod. in series: between 11 and 15 ?
 Nb. strings:

Overload loss: ?
 Pnom ratio:

Nb. modules 36 **Area** 81 m²

Operating conditions

Vmpp (60°C)	396 V
Vmpp (20°C)	468 V
Voc (-10°C)	624 V
Plane irradiance	1000 W/m ²
Impp (STC)	31.2 A
Isc (STC)	33.3 A
Isc (at STC)	33.3 A

Max. in data STC

Max. operating power (at 1084 W/m² and 50°C) **14.1 kW**

Array nom. Power (STC) 14.4 kWp

The inverter power is slightly oversized.

Figur 3.4 - PVsyst valg av komponenter

En sentral parameter som brukes for å avgjøre hvor bra et system vil operere er ”Performance Ratio”.

$$PR = \frac{E_{\text{Grid}}}{G_{\text{oblnc}} \cdot P_{\text{nomPV}}} \quad (3.1)$$

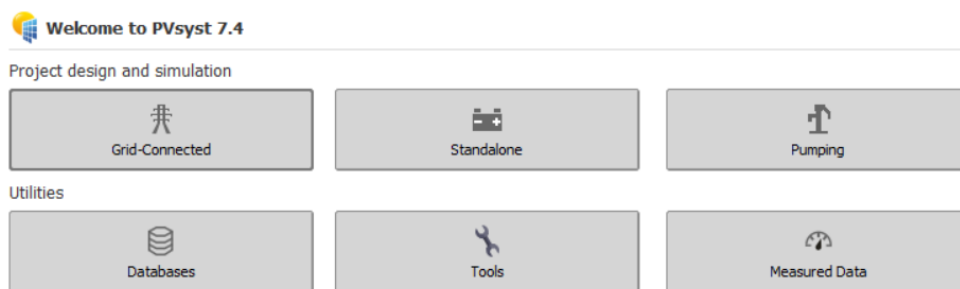
- E_{Grid} : Energi levert til nettet
- G_{oblnc} : Innfallende solstråling i kollektorplanet
- P_{nomPV} : Nominell effekt fra solcellepanel

PR er vanligvis en verdi mellom 0 og 100 %, og gir en indikasjon på hvor bra systemet opererer, hvor 100 % tilsvarer en 100 % dekningsgrad. Dette er en sentral verdi i sammenligning mellom ulike scenarioer senere i oppgaven. Et unntak er når panelene står vertikalt, og bidraget fra baksiden kan teoretisk øke PR over 100 %.

Med alle mulighetene til detaljstyring i PVsyst er programmet godt egnet til å kunne gi et godt anslag på hva som trengs til mikronettet som prosjekteres.

3.2.1 utfordringer med PVsyst

I PVsyst kan en velge mellom å modellere systemet som tilknyttet et distribusjonsnett eller i øy-modus. Det naturlige valget for dette prosjektet hadde vært å modellere systemet i øy-modus, men da tvinges programmet til å bruke utelukkende DC. Ettersom mikronettet skal prosjekteres med AC, er det ikke mulig å bruke øy-modus modelleringen. Dette løses med å modellere systemet som tilknyttet til et svært svakt distribusjonsnett. All effekt levert av distribusjonsnettet vil da bli regnet som effekt ikke levert.



Figur 3.5 - PVsyst valg av modellering

En annen utfordring med PVsyst er at programmet krever en lisens for å brukes. En full lisens koster 600 sveitsiske franc (7200 kr) for et år, men en student lisens kan kjøpes for 25 sveitsiske franc. Et krav for å bruke denne lisensen er at bruksområdet er veldedighetsarbeid eller skolearbeid, noe som passer arbeidet GridVille gjør.

3.2.2 PVgis

PVgis står for ”Photovoltaic Geographical Information System” og er en nettside som gir informasjon om solstråling og ytelse til fotovoltaiske systemer utifra posisjoneringen man velger [46]. Det dekker alle lokasjoner i verden, med unntak av nord- og sørpolene. Programmet kan brukes til å komplimentere PVsyst ved å optimalisere vinkelen av panelene.

3.3 Febdok

Febdok er et beregnings- og dokumentasjons-program som brukes for å dimensjonere kabler og vern i anlegget. Programmet er utviklet for installatører, rådgivere, ingeniører, mm.. I Febdok legger man inn parametre som kortslutningsverdier, last og effektbehov, dette brukes videre for å beregne nødvendig kabeltversnitt og vernstørrelser. Programvaren er utviklet av de nordiske landene/Skandinavia, og bygger på forskrifter og standarder utarbeidet i de forskjellige landene. I Norge er det forskriften FEL og normen NEK400 som ligger i bunn for utregningene.

Ved dimensjonering av anlegget i Thingan har gruppen valgt å ta utgangspunkt i norske standarder, ettersom anlegget vil settes opp av GridVille og Ingeniører uten grenser (IUG). Dette er både siden det finnes lite eller ingen informasjon om lokale standarder, og at man erfaringsvis vet at Norske standarder stiller høye krav, og derfor trolig vil stille like eller strengere krav til anleggets utførelse enn lokale standarder [47].

3.3.1 Fordeler med Febdok

Febdok som et verktøy er spesielt nyttig når det kommer til prosjektering av større og mer komplekse systemer. Her får man samlet beregningene fra hele systemet i ett, og man kan enkelt justere forbruk og ønskede dimensjoner i anlegget uten å manuelt måtte gjøre utregningene på nytt.

Hovedfunksjonene i Febdok er:

- Dimensjonering av ledninger, skinner og vern
- Beregne kortslutningsstrømmer, berøringsspenninger og spenningsfall
- Kontrollere selektivitet
- Kontrollere vernets utkoblingstid og bryteevne

Hovedfordeler er:

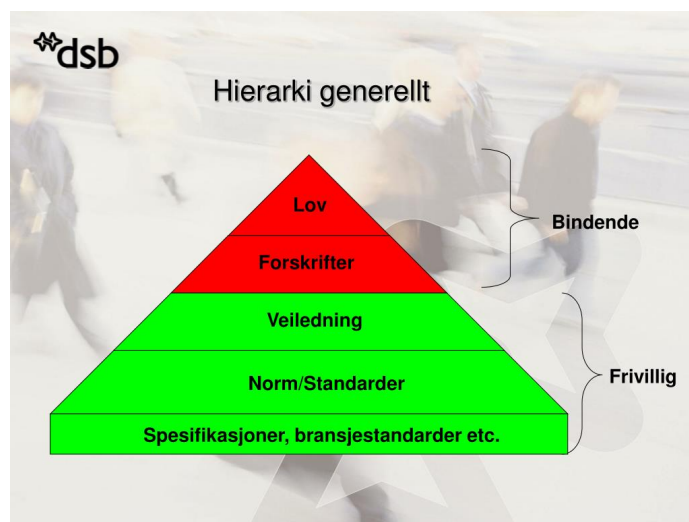
- Økt effektivitet, går raskere å utvide anlegget
- Forbedret sikkerhet, luker ut menneskelige feil, får advarsler om man går utenfor egne satte terskler
- Bedre dokumentasjon

- Økt fleksibilitet

3.3.2 Forskrifter og standarder

For arbeid på elektriske anlegg og med elektrisk utstyr gjelder en rekke forskrifter og standarder. Dette er både nasjonale, lokale og verdensomspennende standarder, som er dannet for å gi forutsigbarhet i arbeidet, slik at man vet at materiell og utstyr leverer opp til et vist nivå. Disse standardene deles ofte opp i forskjellige spenningsnivåer, hvor det er vanlig å for eksempel ha en standard for lavspent, opp til 1000 V, og en standard for høyspent, over 1000 V. I tillegg kan det være forskjellige standarder for on-shore/off-shore anlegg, båter, helseinstallasjoner og annet [48].

Som vist i hierarkioversikten under, er det lovene som veier tyngst og teller mest, videre er det laget forskrifter som oppfyller disse lovene og til slutt har man normer og standarder som er en måte å oppfylle disse lovene på. Dette vil si at i arbeid med elektriske anlegg, er det mulig utføre arbeidet på en annen måte enn det som er beskrevet i standardene, men da ligger dokumentasjon og beviskravene på den som dimensjonerer og utfører arbeidet på å bevise at dette tilfredsstiller lovkravene. Det vanligste er å arbeide etter normer og standarder som NEK400 for lavspantanlegg og NEK445 for høyspent, for å tilfredstille de kravene som stilles i forskriftene. Ved arbeid på lavspentnettet er det NEK400 som gjelder. Denne normen beskriver hvordan man kan dimensjonere anlegg på en trygg og forsvarlig måte. I normen er det beskrevet nødvendige tiltak som vernstørrelser, type kabel og tverrsnitt, nødvendige overspenningsbeskyttelser mm. [49].



Figur 3.6 - Hierarki for lover og normer [50]

3.4 Sikkerhet i nettet

Når man dimensjonerer nettet må en ta høyde for funksjonalitet og at man faktisk greier å levere den effekten som er nødvendig i nettet. I tillegg er det viktig at man kan levere denne energien på en trygg og forsvarlig måte som ikke er til fare for liv eller materielle verdier [51]. For å forsikre oss om at anlegget kan brukes på en sikker måte, er den letteste fremgangsmåten å ta utgangspunkt i NEK400.

3.4.1 Valg av vern

Ved valg av vern i et anlegg er det spesielt fire elementer som er viktig å ta hensyn til. Vernet skal koble ut om det kommer en overbelastning, vernet skal koble ut om det er en feilstrøm, vernet skal tåle de forventede maksimale kortslutningsstrømmene og vernet skal kunne koble ut ved de minimale kortslutningsstrømmene som kan forventes i anlegget. Etersom anlegget i dette prosjektet forsynes av solcellepaneler og ikke fra et regionalt nett eller en større generator, vil de maksimale kortslutningsverdiene være begrenset, og ikke utgjøre et problem. I dette anleggets utførelse er lave kortslutningsstrømmer det største problemet.

Ved feil på nettet ønsker man at vern kobler ut, slik at feil ikke blir stående. Her er lave kortslutningsverdier et problem, ettersom man kan risikere at feilen ikke blir stor nok til at vernet løser ut, samtidig som feilstrømmene kan skape skader på anlegget og mennesker som benytter det. Ved et 10 A - klasse B vern fra Schneider, må man ha en $I_n \cdot 4 = 40$ A feilstrøm ($I_n =$ Nominell strøm) for å garantere momentant utløsning ved elektromagnetisk utkobling [52]. Etersom flere av de aktuelle omformerene gruppen har sett på leverer en maksstrøm på omtrent 40 A, ligger man helt på grensen på akseptable kortslutningstrømmer. Dette i kombinasjon med store lengder i distribusjonsnettet gjør at denne verdien ved forbrukerpunkt blir enda lavere. Faren med å la slike feilstrømmer bli stående, er at det ikke er noen garanti for at det mekaniske vil holde. Kabler og utstyr som blir stående med feil lenge, vil kunne skape brann og personskader på grunn av varmgang og støt.

3.4.2 Antagelser ved dimensjonering

Ved dimensjonering av anlegget er det flere lokale parametere som må bestemmes. Man må vite omgivelsestemperatur for å vite hvilke strømføringsvegne man kan dimensjonere på kablene. Man må vite om de som betjener anlegget er instruert eller ikke, her faller valget på uinstruert personell, ettersom man kan anta at brukerne har lite erfaring med kompliserte tekniske løsninger fra før av.

I distribusjonsnettet er det vanlig å ha krav til maks spenningsfall i anlegget fra distribusjon til kunde. Her praktiseres det forskjellige krav, gjerne fra 5-10 %. I Norge er det lange avstander noe som gir større spenningsfall i linjene, her praktiseres derfor et krav om maks 10 % spenningsfall til kunde. Etersom Nepal har

utfordrende topografi, og at man kan forvente at det blir lange avstander til kunder, velger gruppen derfor å basere seg på det samme kravet til spenningsfall ved dimensjonering av anlegget i Thingan [53].

Til husene velges det å legge opp til en 10 A hovedsikring, noe som gir potensialet til å hente ut 2300W. Ettersom distribusjonsnettet utføres som et TN nett, er det og mulig å hente ut 3 fase 400V ved hver enkelt husstand om ønskelig. Ettersom kravet fra GridVille er en forsyningsspenning på 230 V, vil det derfor hovedsakelig leveres Fase-N til husene, noe som vil resultere i en spenning på $\frac{400V}{\sqrt{3}} = 230V$.

3.5 Prosjektering av distribusjonsnett

I Nepal er standarden for distribusjonsnett 11 kV, for så å bli transformert ned til 230 V til forbruker. Det følgende delkapittelet vil presentere standardene som er gjeldende for luftnett ved 11 kV og 230 V i Norge. Dette er standarder som skal overholdes ved utbygging for å sikre trygg drift av nettet, samt minimere risiko for skader på mennesker og omgivelser.

3.5.1 Lavspentnett

I prosjekteringen skal det leveres 230 V til husstanden. Dette gjøres ved en forsyningsspenning på 400 V. TN-nettsystemet, som vil utdypes senere, vil levere 230 V ved bruk av en nøytralleder. Fordelen med dette systemet er at 400 V gir mindre spenningsfall og tap, samt at det er et sikkert nettsystem å bruke. I Norge i dag er TN som er det rådende systemet, og foretrukket utbyggingsløsningen.

400 V er definert som lavspent, og som en følge av det er det mindre krav til sikkerhet enn ved høyspent fordeling. En full oversikt over kraft finnes hos DSB, direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, sine nettsider [54]. Noen viktige krav som stilles til lavspenningsluftlinjer er:

- Bruddstyrke på minimum 4 kN. Dette er den maksimale påkjenningen linjen skal kunne tåle under oppheng.
- Luftlinjer skal kun festest til master/stolper og bygninger, ikke trær/vegetasjon
- Det skal brukes isolatorer eller andre festeordninger til linjene

Under følger avstandstabell for lavspenningsluftlinjer.

	Blank line i m	Belagt line i m	Kabel i m
Høyde over terreng	4,0	4,0	4,0
Høyde over vei	6,0	6,0	6,0
Vertikal avstand ved kryss i fritt spenn med lavspenningsluftlinje	Betryggende	Betryggende	Betryggende
Vertikal avstand ved kryss på felles mast med lavspenningsluftlinje, spenningsforskjeller < 500 V	0,1	0,1	Betryggende
Vertikal avstand ved kryss på felles mast med lavspenningsluftlinje, spenningsforskjeller > 500 V	0,3	0,3	Betryggende
Vertikal avstand ved kryss i fritt spenn med blank teleluftlinje	Ikke tillatt	1,0	Betryggende
Vertikal avstand ved kryss i fritt spenn med belagt teleluftlinje/kabel	1,0	1,0	Betryggende
Vertikal avstand ved kryss på felles mast med teleluftkabel	1,0	0,5	Betryggende
Vertikal over jernbaner, sporveier, t-baner og lignende uten kontaktledning	7,0	7,0	7,0
Direkte avstand til bygninger og andre gjenstander	1,5	0,1	0,1
Høyde over hustak og lignende	4,0	2,5	Betryggende
Høyde over balkonger, stillaser og lignende	4,0	2,5	2,5
Høyde over sterkt beferdede plasser	Ikke tillatt	6,0	6,0
Direkte avstand til isolerte trådformede antenner	Ikke tillatt	1,0	0,1
Direkte avstand til stive antenner	2,0	2,0	0,1
Høyde ved kryssing av farvann	Fri seilingshøyde + 2,0	Fri seilingshøyde + 2,0	Fri seilingshøyde + 2,0
Høyde ved kryssing av farbare innsjøer, elver m.v.	6,0	6,0	6,0

Tabell 3.3 - Minsteavstander for lavspenningsluftlinjer i meter [54]

3.5.2 Høyspentnett

Høyspent overføring brukes for å minske tap under overføring av elektrisk energi over lengre avstander. Dette kan gjøres ettersom ved en høyere spenning vil strømmen være mindre, og som et resultat vil tapene også være mindre. Ved bruk av høyspent overføring fører det med utfordringer knyttet til sikkerhets- og utbyggingsskrav.

Ved et spenningsnivå på 11 kV er det høyere krav til sikkerhet ettersom det er definert som høyspent. I prosjekteringen av mikronettet er det et konkret ønske fra GridVille at det brukes 11 kV. Årsaken til dette er at GridVille ønsker at mikronettet en dag skal kunne integreres i det sentrale distribusjonsnettet i Nepal, og at dette skal kunne skje uten store ekstra kostnader. Derfor vil det bli brukt 11 kV overføring mellom de to husklyngene i landsbyen. Det er flere og strengere krav til høyspenningsslutlinjer, her er noen viktige krav:

- Bruddstyrke på minimum 14 kN
- Forsterket oppheng ved enkelte tilfeller
- Krav om overspenningsvern

Igjen vil en full oversikt finnes hos DSB [54]. Ved utbygging av høyspent er det svært viktig å gjøre det skikkelig, ettersom dette er et spenningsnivå som innebærer stor fare for mennesker og omgivelser. Under følger to tabeller som omhandler minsteavstander for høyspenningsslutlinjer.

Nominell systemspenning kV	Høyeste systemspenning kV	D_{el} meter	D_{pp} meter
10	12	0,12	0,15
20	24	0,22	0,25
30	36	0,35	0,40
45	52	0,60	0,70
66	72,5	0,70	0,80
110	123	1,00	1,15
132	145	1,20	1,40
220	245	1,70	2,00
275	300	2,10	2,40
380	420	2,80	3,20

Tabell 3.4 - Verdier for D_{el} og D_{pp} for nominell- og høyeste systemspenning [54]

De følgende definisjonene er hentet fra DSB sine sider [54].

- D_{el} : Distance electrical, minste luftavstand nødvendig for å unngå overslag mellom blanke ledere og gjenstander med jordpotensial ved lyn- eller koplingsoverspenninger. D_{el} kan være enten avstand fra leder til mast eller avstand fra leder til andre ledende gjenstander.
- D_{pp} : Distance phase to phase, minste luftavstand nødvendig for å unngå overslag mellom blanke faseledere ved lyn- eller koplingsoverspenninger.

D_{el} og D_{pp} er viktige verdier som må brukes i oppsettet av høyspentnettet. Ettersom mikronettet bruker spenningsnivået 11 kV, vil det brukes D_{el} 0,12 m og D_{pp} 0,15 m.

	Spenning over 1 kV til og med 45 kV				Spenninger over 1 kV	
	Belagt line		Luftkabel		Blank line	
	Faser	Jord	Faser	Jord	Faser	Jord
Høyde over terreng						
Ved spesifisert ledertemperatur	6,0	4,0	5,0	4,0	$5,5 + D_{el}$ men > 6,0	4,0
Ved spesifisert islast	4,0	3,0	4,0	3,0	$3,5 + D_{el}$ men > 4,0	3,0
Ved spesifisert vindlast	6,0	4,0	5,0	4,0	$5,5 + D_{el}$ men > 6,0	4,0
Direkte avstand til stråterreng						
Ved spesifisert ledertemperatur	4,0	3,0	3,0	3,0	$4,0 + D_{el}$ men > 4,5	3,0
Ved spesifisert islast	4,0	3,0	3,0	3,0	$4,0 + D_{el}$ men > 4,5	3,0
Ved spesifisert vindlast	3,0	2,0	2,0	2,0	$2,5 + D_{el}$ men > 3,0	2,0
Direkte avstand til trær/vegetasjon						
Ved spesifisert ledertemperatur	1,5	1,5	0,5	0,5	$2,0 + D_{el}$ men > 3,0	1,5
Ved spesifisert islast	1,5	1,5	0,5	0,5	$2,0 + D_{el}$ men > 3,0	1,5
Ved spesifisert vindlast	1,5	1,5	0,5	0,5	$2,0 + D_{el}$ men > 3,0	1,5

Tabell 3.5 - Minsteavstander i meter for høyspenningsluftlinjer [54]

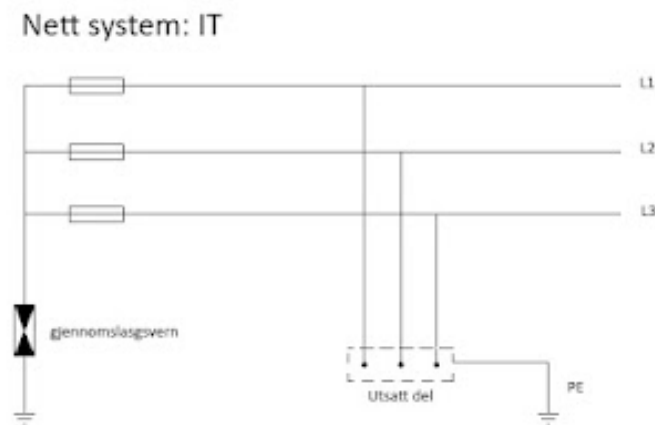
Tabellen over er utvalgte avstander, den fulle tabellen kan finnes hos DSB [54].

3.5.3 Type nettsystemer

Ved oppbygging av distribusjonssystemer er det i hovedsak tre nettsystem som benyttes. Det er IT, TT og TN nett. Disse tre typene defineres ut fra typen jording det er i anlegget, og om nullpunktet fra trafo føres frem til kunde eller ikke [55].

IT-nett

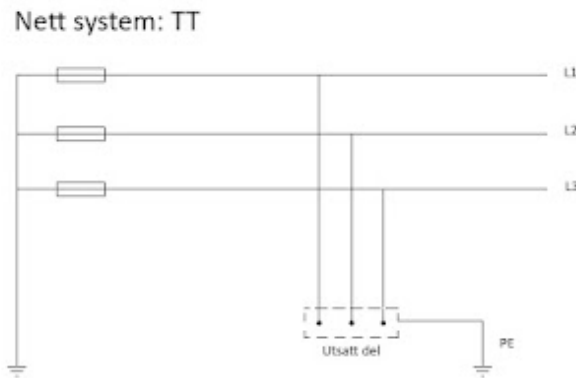
Ved et IT nett er nullpunktet isolert fra jord ved hjelp av et overspenningsvern. Her står den første bokstaven "I" for isolert, altså at trafo er isolert fra jord, samtidig som den andre bokstaven "T" beskriver at anlegget jordes lokalt hos forbruker. Dette anlegget brukes i stor grad i medisinske sammenhenger, ettersom det har en bedre driftssikkerhet med at det kan operere selv om det finnes feil i nettet [56].



Figur 3.7 - IT nett [55]

TT-nett

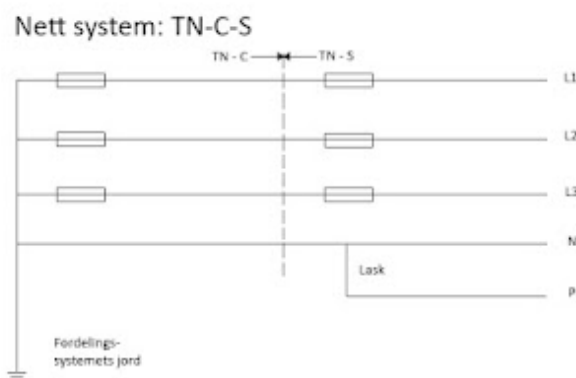
Ved TT nett er nullpunktet jordet. Dette systemet har en høyere feilstrøm enn i et IT nett, har få fordeler, og brukes derfor lite i nybyggede nett.



Figur 3.8 - TT-nett [55]

TN-nett

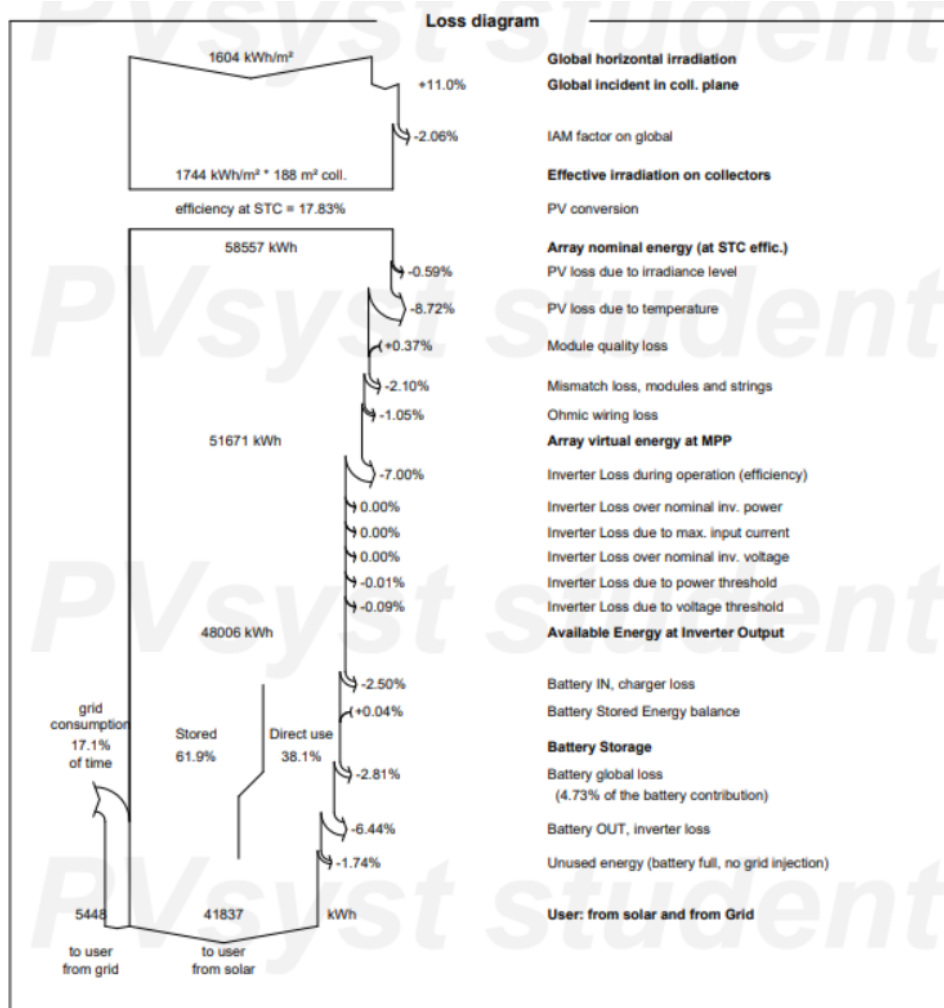
Ved TN nett kobles nullpunktet til jord, samtidig som en nøytralleder, herfra kalt N-leder ut i anlegget. Fordelen med dette er at anlegget da kan driftes med en 400 V linjespenning, hvor forbrukere henter ut 230 V mellom fase og N-leder. Dette gir fordeler som mindre tap i fordelingsnettet, og tillater et mindre ledertversnitt, noe som er både miljømessig og økonomisk lønnsomt. Ved å føre ut 400 V til forbruker har man muligheten til å drive utstyr og motorer på en høyere spenning, noe som gir bedre virkningsgrad og effektutnyttelse. TN-nettet kommer i flere forskjellige versjoner, hvor forskjellen ligger i om N leder, og jordingsleder (PE) føres sammen eller hver for seg. Her ligger det spesifikke føringer før de forskjellige versjonene, men dette prosjektet vil operere med et TN-S anlegg, noe som betyr at PE leder og N leder føres som to separate ledere frem til forbruker [55][56].



Figur 3.9 - TN-Nett [55]

3.5.4 Tapsberegninger

Ingen elektriske nett er ideelle, og det vil være tap i overføringen av elektrisk energi som resultat av motstand i ledere og induktive og kapasitive reaksjoner i linjer og til naturen rundt. For å sørge for at riktig effekt blir levert må det beregnes tap i systemet. PVsystem vil simulere tapene som er tilknyttet produksjon og lagring av den elektriske energien, dette inkluderer også omformingen fra DC til AC. Under er et eksempel på et tapsdiagram levert fra PVsystem.



Figur 3.10 - Eksempel på tapsdiagram fra PVsystem

I tapsberegningene i dette prosjektet er det da transformertap og tap i distribusjonsnettet som vil bli beregnet. Transformatorer vil typisk ligge rundt 95-99 % effektivitet [57]. Ettersom mikronettet skal ha to transformatorer som transformerer fra 400 V til 11 kV og ned igjen til 400 V, vil det være en del tap knyttet til dette. I tillegg vil hver transformator ha tomgangstap, tap som kommer med av at de kontinuerlig er i drift. Hvor stort tomgangstapet er avhenger av kapasiteten til transformatoren, men for mikronettet her vil det gjerne være rundt 100 W. Under er en tabell som viser tomgangstap (No-Load Loss) mot kapasiteten til en 3-fase transformator med kobberkjerne og oljekjølt.

Rated Capacity (KVA)	Voltage Combination			Connection Group Symbol	No-load Loss R(W)
	High Voltage (KV)	Tapping Range of High Voltage	Low Voltage (KV)		
30	6 6.3			Dyn11 Yzn11 Yyn0	100
50					130
63					150
80					180
100					200
125					240
160					280
200					340
250					400
315					10
400	10.5	±2x2.5%			570
	11				

Figur 3.11 - Tomgangstap transformator [58]

I distribusjonsnettet vil det være tap i lavspenningsnettet, noe som vil beregnet av Febdok. Høyspenningsnettet vil ha et neglisjerbart tap, ettersom det er såpass overdimensjonert. Dette vil bli utdypet i et senere kapittel. Et annet tapsområde er spenningsfall, som er mest relevant på lavspenningsnettet. Det er viktig at riktig spenning blir levert, spesielt til de lastene som er lengst vekk fra produksjonsnettet. Dette blir også beregnet med Febdok. Under følger formelen for spenningsfall.

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I \cdot l \cdot \rho \cdot \cos \phi}{A} \quad (3.2)$$

- I: Strøm i Ampere
- l: lengde i meter
- ρ : resistans i ohm per meter
- ϕ : faseforskyvningsgrad
- A: ledertverrsnitt i mm^2

Kapittel 4

Forbruksprofiler med RAMP

I det følgende kapittelet vil RAMP programvaren bli presentert sammen med nødvendig bakgrunnsinformasjon for å kunne ta i bruk RAMP. Dette inkluderer hvordan programmet settes opp, forklaringer av parametere, og nødvendige antagelser som må gjøres for å bruke programmet. Videre vil kapittelet dekke hvordan koden må organiseres og hvilke spesifikke parametere som er nødvendige for å skape en forbruksprofil.

4.1 Oppsett av RAMP

For å sette opp RAMP, må man først gå til hjemmesiden til programmet for å laste ned de nødvendige filene [59]. Videre følger man fremgangsmåten som er beskrevet på nettsiden, og installere de ekstra modulene som er nødvendig for programvaren. Ettersom RAMP koden baserer seg på kodespråket Python, har gruppen tatt i bruk utviklingsmiljøet Spyder, men et hvilket som helst Python basert utviklingsmiljø kan benyttes. Med installasjonsfilen følger det en rekke eksempelkoder, disse er tidligere simuleringer utført i RAMP. Det er svært nyttig å bruke eksempelkodene som et grunnlag for eget arbeid og det anbefales å sette seg inn i en av disse kodene. En nøyere beskrivelse av hvordan å bruke programmet kommer senere i kapittelet.



Figur 4.1 - RAMP logo [59]

4.1.1 Grunnlag for lastprofilene

For å utvikle nøyaktige forbruksprofiler for landsbyen, måtte gruppen definere det forventede forbruket i landsbyen. Dette var en utfordrende prosess ettersom gruppen verken har hatt muligheten til å besøke landsbyen eller gjøre intervjuer med lokalbefolkningen. Derfor har estimater av forventet forbruk hovedsakelig blitt fastsatt gjennom samtaler med organisasjonen GridVille. For å ta høyde for forskjellige forbruksmønstre har gruppen valgt å sette opp 3 scenarioer for å analysere forskjellige forbruk som kan forventes, og deretter dimensjonere anlegget ut fra det som blir mest realistisk.

- **Scenario 1 og 2:** Disse baserer seg på et begrenset forbruksnivå, hvor man forventer at elektrifiseringen vil skje gradvis, og at omfanget av elektrisitet i hverdagen blir noe begrenset. Det blir blant annet tatt høyde for at noe av matlaging vil skje med elektrisk energi, at hus vil installere belysning, og at vifter vil benyttes til kjøling på skolen.
- **Scenario 3:** Ser fremover mot et 10-års perspektiv og tar høyde for et økt forbruk og en større elektrifisering av landsbyen. Her vil matlaging baseres på elektrisk energi, kjøling av skolen vil skje i en kombinasjon av aircondition og vifter.
- **Sessongtilpasninger** Scenario 1 og 3 er spesielt tilpasset sommermånedene med økt behov for kjøling, mens scenario 2 fokuserer på vintermånedene når kjølebehovet er mindre. Ettersom oppvarming med elektrisitet er en stor effektdriver, taes det ikke høyde for elektrisk oppvarming av hus.

4.1.2 Nødvendige antagelser

I utarbeidelsen av forbruksprofiler for landsbyen, er det tatt hensyn til at innbyggerne i dag ikke bruker elektrisitet for oppvarming, matlaging eller andre daglige gjøremål. Det antas at bruken av tradisjonelle energikilder som ved og gass til oppvarming vil vedvare, uten større endringer i nærmeste fremtid. For matlaging forventes det at elektriske apparater vil bli tatt i bruk i en begrenset grad. Derfor har gruppen beregnet en variabel andel av elektrisk matlaging, avhengig av de ulike scenarioene som er utformet.

Når det gjelder dimensjoneringen av anlegget, er det nødvendig å planlegge for det høyeste gjennomsnittlige forbruket som oppstår i løpet av en uke. Det er besluttet å ikke inkludere hensyn til skoleferier i beregningene, siden forbruket under ferier vanligvis er lavere. I helgene kan skolen fungere som et samfunnshus, og det vil derfor fortsatt være et visst forbruk. Dette medfører at beregningene ikke tar hensyn til et eventuelt redusert forbruk fra skolebygningen i helgene, for

å sikre at anlegget er tilstrekkelig dimensjonert for å møte energibehovet.

4.1.3 Parametere og deres betydning

Når man skal sette opp RAMP-koden legger man inn ett og ett forbruks-aparat. Som vist i kodeliste 4.1. Her legges verdier for effekt, antatt lengde på forbruk og tidsvindu mm.. For å tilpasse RAMP-koden til det aktuelle forbruket finnes det en rekke forskjellige parametere som kan justeres i RAMP. For å lage en reell forbruksprofil, er det viktig å forstå disse parameterene og hvordan de påvirker simuleringen. Nedenfor er en tabell som forklarer parameterne og funksjonen.

```
house_fan= house.Appliance(number , p,num_windows , func_time, r-t, C)
house_fan=(Window[fra,til],[fra,til],r-w )
```

Kodeliste 4.1: Oppsett av en elektrisk vifte i RAMP

Parameter	Forklaring
number	Antall enheter i bruk
P	Effekt per enhet når enheten er i drift, målt i watt
num_windows	Antall fungerende tidsvinduer som skal vurderes
func_time	Total tid apparatet er på i løpet av dagen, målt i minutter
r_t	Variasjon i total brukstid (0-1)
C	Den korteste tiden apparatet er i bruk etter å ha blitt aktivert
fixed	Angir om alle "n" apparater slås på samtidig; dersom ikke spesifisert, er parameteren ikke i bruk
occasional_use	Sannsynlighet for at apparatet brukes i løpet av dagen (0-1) dersom ikke spesifisert, er parameteren ikke i bruk
r_w	Prosentandel av variabilitet i start- og sluttider av et tidsvindu
window	Definerer en eller flere tidsvinduer i løpet av et døgn, oppgitt i minutter

Tabell 4.1 - Oversikt og forklaringer til symboler [45]

4.1.4 Eksempel med elektrisk vifte

For å vise oppsettet av et forbruks-apparat, vil nå oppsettet av en vifte presenteres. Her er det tatt utgangspunkt i at en husvifte har en effekt på 50 W, at den vil bli brukt tidvis på dagen når man er hjemme og ikke på jobb. Det er lagt inn tilfeldighetsfaktorer på hvor mange minutter apparatet er i bruk, og når på dagen det blir aktivert.



Figur 4.2 - Elektrisk vifte [60]

```
fan = common_fan.Appliance(1, 50, 2, 180, 0.2, 30)
fan.windows([480, 900], [870, 1440], 0.35)
```

Kodeliste 4.2: Viftens spesifikasjoner i RAMP**Viftens spesifikasjoner:**

- **Antall enheter:** (number = 1): Dette tallet angir at det er en vifte i husstanden.
- **Effekt vifte:** (p = 50 W): Dette er effekten som enheten bruker når den er i drift, målt i watt.
- **Antall fungerende tidsvinduer:** (num_windows = 2): Dette angir at det er to distinkte tidsvinduer i løpet av dagen når viften potensielt kan brukes.
- **Total på tid:** (func_time = 180 minutter): Dette er den totale tiden man forventer at viften blir brukt iløpet av en dag. I dette eksempelet 180 minutter = 3 timer.
- **Variasjon i total brukstid (0-1):** (r-t = 0.2): Dette angir en viss fleksibilitet eller variabilitet i hvor lenge enheten faktisk brukes.
- **Min brukstid:** (C = 30): Dette er den korteste tiden apparatet er i bruk etter å ha blitt aktivert. I dette eksempelet 30 minutter. Dette er valgt ettersom det er sannsynlig at viften brukes en liten stund, om den først startes.
- **Tidsvinduer for bruk:** (Window = [480, 900], [870, 1140]): Definerer to separate tidsvinduer, og er oppgitt i minutter i døgnet:
 - **Fra 480 til 900 minutter:** (08:00 til 15:00, ved å anta at 0 minutter er 00:00). Dette tidsvinduet har ikke noe startvariasjon.

- **Fra 870 til 1440 minutter:** (14:30 til 24:00). Dette tidsvinduet har heller ikke noen startvariasjon.
- **Andelen variasjon i start- og sluttidspunktene:** ($r-w=0,35$): Variasjon i start- og sluttidspunktene for et tidsvindu. Dette indikerer at det er en 35 prosent variasjon i både start- og sluttidspunktene for tidsvinduene. Dette betyr at det kan være en viss fleksibilitet eller tilfeldighet i nøyaktig når innenfor de angitte tidsintervallene apparatet kan bli aktivert.

4.2 RAMP-verktøyet

I den følgende delen vil RAMP-koden brytes ned og forklares i deler. Her vil det presenteres hvilke datapakker som er nødvendig, og hvordan koden er tilpasset prosjektet i Thingan. Koden som er brukt for base i dette prosjektet er hentet fra Github og eksempelkoder som ligger tilgjengelig der [61]. Denne eksempelkoden er igjen tilpasset Thingan, og gruppen har igjennom samtaler med Gridville satt opp et forslag til forbruks-apparater for hver type bruker/bygg. Koden er tilpasset for å reflektere realistisk brukeradferd og energiforbruk, tilpasningene inkluderer bruksvinduer, apparater, og andre forventninger. I oppgaven er det oppgitt at det er tre typer brukere i landsbyen; det er skolen, 45 vanlige hus og et gårdshus. Senere er det beskrevet hva disse tre brukerne innebærer.

Importere nødvendige biblioteker

- **numpy** og **pandas** er populære biblioteker for henholdsvis numerisk beregning og databehandling.
- **matplotlib.pyplot** brukes for å lage figurer og grafer.
- Fra et bibliotek laget av RAMP-teamet, **ramp.core.core**, importeres **User**, som representerer en modell av en bruker eller et husstand med spesifikke elektriske apparater.
- Oppretter en liste for brukere: **(User,list) = []**: En tom liste opprettes for å holde på objekter av typen **User**, som representerer enten individuelle husstander, fellesfasiliteter, eller institusjoner som en skole.

```
import numpy as np
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
from ramp.core.core import User
User_list = []
```

Kodeliste 4.3: Importering av biblioteker og opprettelse av brukerlisten

Husstander: Først lages det en modell for husstander som vises i kodeliste 4.4, hvor det i scenario 1 og 2 legges opp til at alle hus skal ha belysning og et tilgjengelig ladeuttak, og hvert 4. hus har et utvidet elektrisk bruk med komfyr, kjøleskap og vifte.

- Modellering av elektriske apparater i husstander for 45 husstander opprettes en User-instans for hvert hus. Dette inkluderer informasjon om både innendørs og utendørs belysning, samt en stikkontakt for lading.
- For hvert hus vil det bli lagt til tre typer apparater: innendørs belysning, utendørs belysning, og en lader. Disse apparatene spesifiseres med antall enheter, effekt målt i watt, brukstid, og sannsynligheten for at de er i bruk.

```
for _ in range(45):  
house = User("house", 1, 6)  
house_indoor_light  
house_outdoor_light  
house_charger
```

Kodeliste 4.4: Modellering av elektriske apparater i husstander

Ekstra for hvert 4 hus:

- Koden tar høyde for at deler av landsbyen skaffer seg kjøleskap, komfyr og vifte som vises i kodeliste 4.5. Det er beregnet at hver 4. husstand har dette, som gir 12 enheter av hver.
- Hvert av disse apparatene har egne spesifikasjoner for bruk, liknende de individuelle husstandenes apparater.

```
for _ in range(12):  
common_fridge = User("common_fridge", 1, 4)  
User_list.append(common_fridge)  
common_stove = User("common_stove", 1, 4)  
User_list.append(common_stove)  
common_fan = User("common_fan", 1, 4)  
User_list.append(common_fan)
```

Kodeliste 4.5: Ekstra apparater for utvalgte hus

Skolefasiliteter: For skolen legges det opp til elektrisk matlaging og vifter i klasserommet og kontorene som vises i kodeliste 4.6. Det planlegges og for lys innendørs samt noen utelys. For klasserommet vil det dimensjoneres for at man kan bruke en tv for undervisning.

- En User-instans opprettes for en skole, og denne inkluderer flere typer apparater som lys, TV, vifter, komfyr, kjøleskap, og fryser, hver med sine egne

bruksmønstre og spesifikasjoner.

```
school = User("school", 1)
school_indoor_light
school_outdoor_light
school_tv
school_fan
school_stove
school_fridge
school_freezer
User_list.append(school)
```

Kodeliste 4.6: Modellering av skolefasiliteter

Gårdshus: For gårdshuset har man tatt utgangspunkt i at mye av arbeidet vil gjøres med maskiner som det gjøres i dag, og den største lasten blir derfor elektrisk belysning.

- Gårdshuset representeres også av en User-instans og har sitt eget sett av innendørs og utendørs lys som vises i kodeliste 4.7.

```
farmhouse = User("farmhouse", 1)
farmhouse_indoor_light
farmhouse_outdoor_light
User_list.append(farmhouse)
```

Kodeliste 4.7: Modellering av gårdshus

Hoveddelen av koden: Når man har satt opp de forskjellige forbrukerene/byggene, brukes RAMP-programmet til å analysere og presentere resultatet over forventet effektforbruk.

- Generering av brukssaker og profiler I hoveddelen av koden (if name == "main:"), opprettes en brukssak ved hjelp av klassen UseCase, som tar listen over brukere og genererer daglige lastprofiler for disse.
- Disse profilene som vises i kodeliste 4.8 gjennomgår deretter postprosessering for å formatere dataene og generere grafer for å visualisere forbruket.

```
if __name__ == "__main__":
    from ramp.core.core import UseCase
    uc = UseCase(
        users=User_list,
        parallel_processing=False,
    )
    uc.initialize(peak_enlarge=0.15)
    Profiles_list = uc.generate_daily_load_profiles(flat=False)
    # Postprosessering
    from ramp.post_process import post_process as pp
    Profiles_avg, Profiles_list_kw, Profiles_series = pp.Profile_formatting(Profiles_list)
    pp.Profile_series_plot(Profiles_series)
    if len(Profiles_list) > 1:
        pp.Profile_cloud_plot(Profiles_list, Profiles_avg)
```

Kodeliste 4.8: Generering og visualisering av forbruksprofiler

4.3 Endelige parametere for landsbyen

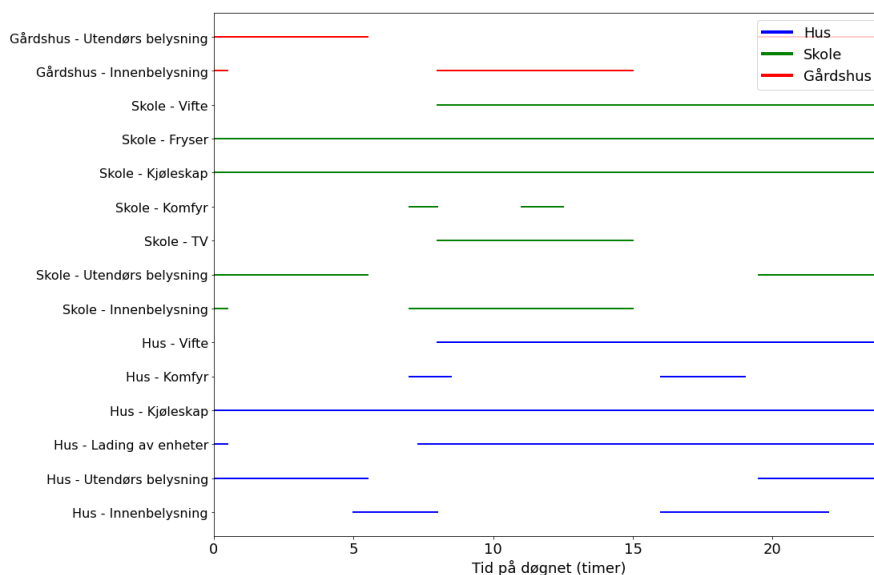
Etter egne vurderinger og møter med GridVille, kom gruppen frem til følgende parametere for landsbyen i Thingan som er presentert i tabellene under. Beslutninger om tidsvinduer og variasjoner i bruk av elektriske apparater er basert på nøyte vurderinger av det lokale klimaet, samfunnslivet og lysforholdene i Nepal. Her er det tatt høyde for at landsbyen har en stor grad av jordbruk, og at lokale arbeids- og bruksmønstre i stor grad vil påvirkes av dette [43][42].



Figur 4.3 - Bilde av Thingan, hentet fra Google Earth [7]

4.3.1 Scenario 1

Dette er vurdert til å være det scenarioet som ligger nærmest forventningene for dagens forbruk. Videre vil parameterene for de tre forskjellige forbrukertypene presenteres. Figur 4.4 viser tidsvinduet for apparat bruk over en periode på 24 timer i scenario 1.



Figur 4.4 - Tidsvinduet for apparat bruk (Scenario 1)

Hus:

- Innendørs belysning:** Det brukes hovedsakelig tidlig om morgenen og om kvelden, i tidsvindu fra kl. 06:00 til 08:00 og fra kl. 16:00 til 22:00, for å hjelpe til med morgenrutiner og kveldsaktiviteter. Thingans geografiske plassering og årstidsvariasjoner gjenspeiles i dette tidsvinduet. Brukstiden er satt til 3 timer tilfeldig plassert innenfor tidsvinduene.
- Utendørs belysning:** Aktiv om morgenen og etter solnedgang i tidsvindu fra 00:00 kl. til 05:30 og fra kl. 19:30 til kl. 24:00 for å øke sikkerheten og sosial samvær etter mørkets frembrudd, med en andel variasjon i tidsvinduet for når lysene aktiveres på 0,35. Brukstid er satt til 8 timer.
- Lading av enheter:** Anslått til to timer daglig, i tidsvindu fra 07:30 til 24:00, for å dekke behovene for mobiltelefoner, nettbrett, og andre små elektroniske enheter med (Occasional Use (OC)) = 0,5.
- Kjøleskap og komfyr:** Det beregnes at 25 % av husstandene skaffer seg kjøleskap og komfyr. Kjøleskap brukes kontinuerlig gjennom dagen, tilsvarende (24 timer). Komfyren brukes hovedsakelig under måltidene med bruks-

tiden satt til 1 time, i tidsvindu fra klokken 7:00 til 8:30 og fra 16:00 til 19:00, med en variasjon på tidsvinduet på 0,35.

- **Vifte:** Det beregnes at 25 % av husstandene skaffer seg vifte. Viften er i bruk i tidsvindu fra kl. 08:00 til 15:00 og fra kl. 14:30 til midnatt for å sikre avkjøling med en variasjon på 0,35. Vifte er beregnet brukt 3 timer hver dag.

Skole: For skolen er det et særskilt fokus på å danne et bra læringsmiljø, dette er spesielt viktig i forhold til FNs bærekraftsmål nummer 4 med et ønske om god utdanning for landsbyens innbyggere.

- **Innendørs og Utendørs belysning:** Sammenlignet med en husholdning, krever en skole mye mer belysning både innendørs og utendørs for å skape et læringsmiljø som fremmer fokus og velvære, samt for å holde skoleområdet trygt etter solnedgang.. Innendørs belysning beregnes for 7 timer daglig i tidsvindu fra kl. 08:00 til 15:00, med med en variasjon på 0,35. Utendørs belysning er i bruk 4 timer i vinduet fra 00:00 til 05:30 og fra 19:30 til 24:00 for å forbedre sikkerheten, også med en variasjon på 0,35.
- **TV:** Det beregnes at det vil bli tatt i bruk en TV for undervisning som en pedagogisk ressurs som tilbyr visuell tilnærming til læringsmaterialet. Dette beriker læringsopplevelsene og bidrar til en dypere forståelse av lærestoffet. TV har en brukstid på 2 timer, i tidsvindu fra kl. 08:00 til 15:00.
- **Komfyr, kjøleskap, og fryser:** For matlaging legges det opp til elektrisk tilberedning. Med komfyr, kjøleskap og fryser vil skolen få gode fasiliteter for å lage trygg og næringsrik mat til elevene. Komfyren er tenkt brukt halvannen time hver dag i tidsvindu fra 07:00 til 08:00 og fra 11:00 til 12:30 , med en variabilitet på 0,35. Kjøleskapet og fryseren er i bruk kontinuerlig gjennom dagen 24 timer for å bevare matens ferskhets og næringsinnhold.
- **Vifte:** Viften er avgjørende for å sikre et rolig og behagelig læringsmiljø, som er essensielt for både elevens og lærerens komfort og velvære. Den er i bruk 7 timer hver dag i tidsvindu fra kl. 08:00 til 13:10 og fra kl. 14:30 til 24:00 for å tilby effektiv avkjøling. Bruken varierer med en faktor på 0,35, som muliggjør tilpasning til ulike værforhold og behov gjennom dagen. Det er beregnet 16 vifter for skolebyggene.

Gårdshus

- **Innendørs belysning:** I gårdsbygget er innendørs belysning avgjørende for å forlenge arbeidsdagen utover de naturlige dagslystidene, spesielt i travle tider som plantesesongen og innhøstingen. Innendørs belysning er tilpasset for å støtte dette behovet og er satt til å være aktiv 3 timer hver dag i tids-

vindu fra kl. 08:00 til 15:00 og fra 00:00 til 00:30, med en variabilitet på 0,35.

- **Utendørs belysning:** Utendørs belysning spiller en avgjørende rolle for sikkerheten og navigeringen rundt gårdshusene og tilhørende områder i mørket. Belysningen er i bruk 10 timer hver dag fra i tidsvindu 00:00 til 05:30 og fra 19:30 til 24:00 for å øke sikkerheten, med en variabilitet på 0,35.

Tabell 4.2 nedenfor viser de utvalgte parameterne for landsbyen i scenario 1, som tidligere ble presentert i tabell 4.1. Tabell 4.3 presenterer de valgte tidsintervallene for apparatene brukt i landsbyen. Her anbefales det å tilpasse dette mer konkret etter samtaler og befaring av landsbyen.

Bruker	Apparat	(N)	(P)	(W)	(T)	(R-T)	(C)	Fixed	(oc)
Husstand									
Hus	Innendørs lys	6	10	2	180	20%	10	Nei	-
Hus	Utendørs lys	2	10	2	480	20%	10	Nei	-
Hus	Lader	1	200	2	120	20%	60	Nei	0.5
1 per 4. hus	Kjøleskap	1	150	1	1440	0%	30	Ja	-
1 per 4. hus	Komfyr	1	1500	2	60	20%	60	Nei	-
1 per 4. hus	Vifte	1	50	2	180	20%	30	Nei	-
Skole									
Skole	Innendørs lys	45	10	1	420	20%	10	Nei	-
Skole	Utendørs lys	7	15	2	240	20%	10	Nei	-
Skole	TV	1	60	1	120	20%	30	Nei	-
Skole	Vifte	16	50	1	420	20%	60	Nei	-
Skole	Komfyr	1	1500	2	90	20%	60	Nei	-
Skole	Kjøleskap	1	150	1	1440	0%	30	Ja	-
Skole	Fryser	1	200	1	1440	0%	30	Ja	-
Gårdshus									
Gårdshus	Innendørs lys	2	10	2	180	20%	10	Nei	-
Gårdshus	Utendørs lys	2	10	2	600	20%	10	Nei	-

Tabell 4.2 - Oversikt over apparater og deres parametere (scenario 1)

Bruker	Applikasjon	Tidsvindu 1 (min)	Tidsvindu 2 (min)	r-w
Husstand				
Hus	Innelys	300 til 480	960 til 1320	0.35
Hus	Utelys	0 til 330	1170 til 1440	0.35
Hus	Lader	440 til 1440	0 til 30	0.35
1 per 4 hus	Kjøleskap	0 til 1440	-	-
1 per 4 hus	Komfyr	420 til 510	960 til 1140	0.35
Skole				
Skole	Innelys	420 til 900	0 til 30	0.35
Skole	Utelys	0 til 330	1170 til 1440	0.35
Skole	TV	480 til 900	0 til 60	0.35
Skole	Komfyr	420 til 480	660 til 750	0.35
Skole	Kjøleskap	0 til 1440	-	-
Skole	Fryser	0 til 1440	-	-
Gårdshus				
Gårdshus	Innelys	480 til 900	0 til 30	0.35
Gårdshus	Utelys	0 til 330	1170 til 1440	0.35

Tabell 4.3 - Oversikt over brukers tidsvinduer og andelen variasjon

4.3.2 Scenario 2

Dette scenarioet ligner mye på Scenario 1, men med små justeringer for det forbrukte som forventes gjennom vinteren. Dette betyr i hovedsak at det blir mindre behov for kjøling, mens lysbruken kanskje øker litt. Med tanke på de spesielle miljømessige og klimatiske forholdene i Thingan i Nepal [42], ble det tydelig at det forventete forbruket i vintermånedene faktisk ble lavere enn om sommeren. Dette skyldes hovedsakelig at oppvarming ikke baseres på elektrisk energi. Thingan ligger i en mildere del av Nepal, og vil derfor ikke ha de samme utfordringene med lave temperaturer som mennesker i de mer høytliggende delene av Nepal opplever [43].

Siden Scenario 2 endte opp med å bli lavere enn Scenario 1, og det er ønskelig å ta høyde for det høyeste forventede effektforbruket for landsbyen i dimensjoneringen, presenteres bare parameterne for Scenario 1. Dette sikrer at anlegget dimensjoneres for det mest krevende scenarioet, og dermed oppfyller energibehovene til landsbyen året rundt.

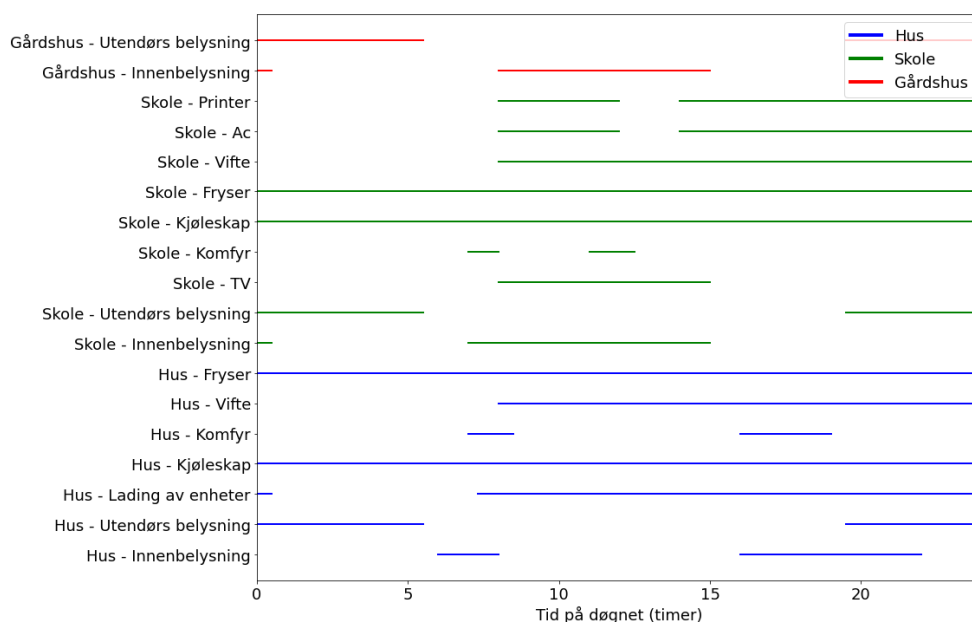
4.3.3 Scenario 3

Etter samtaler med GridVille ble det presentert et ønske om å lage et scenario med økt elektrifisering i fremtiden. Flere av dagens oppgaver vil i dette scenarioet bli løst ved hjelp av elektrisk energi, og brukstiden for apparatene vil være utvidet. Dette sikrer at anlegget som dimensjoneres vil være tilstrekkelig for fremtidens

økte forbruk.

I scenario 3 har gruppen valgt å fokusere på bruk av parameteren (Occasional Use (OC)) i større grad enn i scenario 1. Hensikten med dette er å vise forskjellen mellom et scenario der apparater brukes hyppigere (scenario 3) sammenlignet med et scenario der apparatene kun brukes en gang (scenario 1). Occasional use beskriver apparater som ikke nødvendigvis er i drift hele tiden. Ved å justere denne parameteren mellom 0 og 1, kan man ta høyde for at apparater ikke brukes hver dag. Figur 4.5 viser tidsvinduet for apparat bruk over en periode på 24 timer i scenario 3.

Denne tilnærmingen gir en mer nøyaktig dimensjonering av anlegget ved å ta hensyn til både kontinuerlig bruk og sporadisk bruk av elektriske apparater.



Figur 4.5 - Tidsvinduet for apparat bruk (Scenario 3)

Husstand

- **Nye apparater:** som vifter, fryser, komfyrer og kjøleskap er nå standard i hvert hjem.
- **Utendørs lys:** Brukstiden har økt fra 480 til 600 minutter, noe som reflekterer utvidet bruk.
- **Lader:** Brukstiden har økt fra 120 til 200 minutter, med en introduksjon av (Occasional use) på 50 %.

- **Fryser:** Dette apparatet, som tidligere kun var i én av fire husstander, er nå standard i alle hjem.
- **Komfyrer:** Brukstiden har økt fra 60 til 90 minutter, og (Occasional use) har økt til 80 %.
- **Vifte:** Brukstiden er økt fra 180 til 240 minutter med en (Occasional use) på 80 %.

Skole

- **Endringer:** Betydelige utvidelser har blitt gjennomført, inkludert installasjon av klimaanlegg og skrivere, for å støtte et forbedret læringsmiljø og utvidet bruk av fasilitetene.
- **AC og Skriver:** Nye apparater som støtter en mer intensiv og variert bruk av skolens fasiliteter.

Gårdshus

- **Som før:** Ingen signifikante endringer er gjort i denne oppdateringen.

Tabellen under viser forskjellene i apparatbrukstider mellom Scenario 1 (S1) og Scenario 3 (S3) for husholdninger, skoler og gårdshus.

Bruker	Apparat	S1 Tid (min)	S1 Info	S3 Tid (min)	S3 Info	S1 Occ. Bruk (%)	S3 Occ. Bruk (%)
Husstand							
Hus	Innendørs lys	180	Per hus	180	Per hus	-	-
Hus	Utendørs lys	480	Per hus	600	Per hus	-	-
Hus	Lader	120	Per hus	200	Per hus	50	50
Hus	Kjøleskap	1440	1/4 hus	1440	Alle hus	-	-
Hus	Fryser	1440	1/4 hus	1440	Alle hus	-	-
Hus	Komfyr	60	1/4 hus	90	Alle hus	-	80
Hus	Vifte	180	1/4 hus	240	Alle hus	-	80
Skole							
Skole	Innendørs lys	420	Standard	420	Standard	-	-
Skole	Utendørs lys	240	Standard	240	Standard	-	-
Skole	TV	120	Standard	120	Standard	-	-
Skole	Vifte	420	Standard	420	Standard	-	-
Skole	AC	-	-	600	Ny	-	-
Skole	Komfyr	90	Standard	90	Standard	-	90
Skole	Kjøleskap	1440	Standard	1440	Standard	-	-
Skole	Fryser	1440	Standard	1440	Standard	-	-
Skole	Skriver	-	-	60	Ny	-	-
Gårdshus							
Gårdshus	Innendørs lys	180	Standard	180	Standard	-	-
Gårdshus	Utendørs lys	600	Standard	600	Standard	-	-

Tabell 4.4 - Oversikt for forskjell mellom S1 og S3

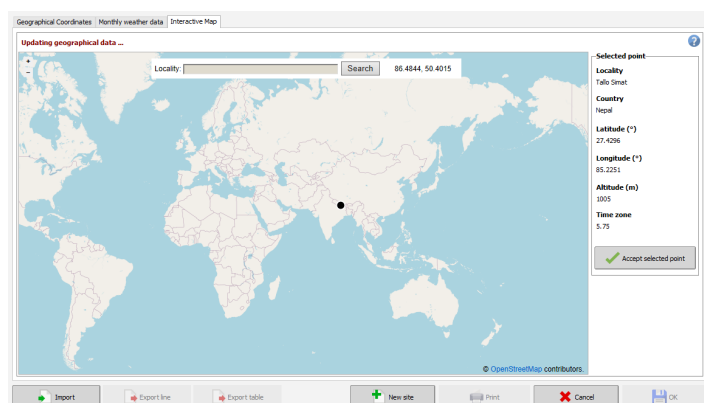
Kapittel 5

Simuleringer med PVsyst

I det følgende kapittelet vil metoden brukt for å komme frem til simuleringsresultatene i PVsyst bli presentert. Som nevnt tidligere er energiforbruket over tid og høyeste lastforbruk bli brukt som dimensjonerende faktorer. PVsyst som et program kan bli lastet ned fra nettsiden til programmet, og er klar til bruk etter nedlasting og kjøp av lisens [13]. Versjonen brukt i denne prosjekteringen er PVsyst 7.4 med student lisens.

5.1 Opprette ny vær- og sol-profil

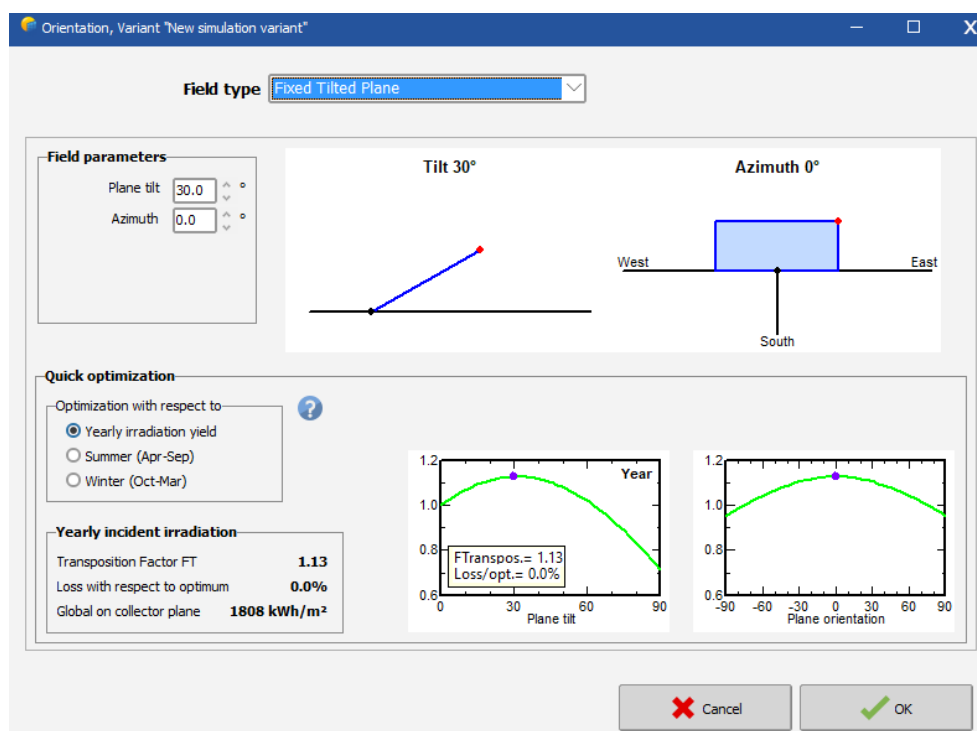
Det første steget i prosessen er å velge hvordan systemet skal modelleres. Ettersom mikronettet som prosjekteres skal bruke AC må det modelleres som tilknyttet til et distribusjonsnett. Etter at dette har blitt valgt vil PVsyst be deg om å velge en database å hente vær- og soldata fra. I programmet er databasen Meteonorm [44] bygget inn, den lar deg velge mellom ferdige profiler eller opprette en ny profil. Ettersom mikronettet som skal prosjekteres er avsides eksisterer det ikke en profil fra før av, så det må opprettes en ny profil. Dette gjøres enkelt ved å åpne et kart og velge lokasjon på kartet.



Figur 5.1 - Opprette ny profil for vær- og soldata [62]

5.2 Orientering av solcellepanel

Etter at en profil har blitt opprettet er det neste designet av systemet. Det første steget en må gjennomføre er et valg av orienteringen til solcellepanelene. PVsyst har verktøy som hjelper med å gjøre prosessen enklere.

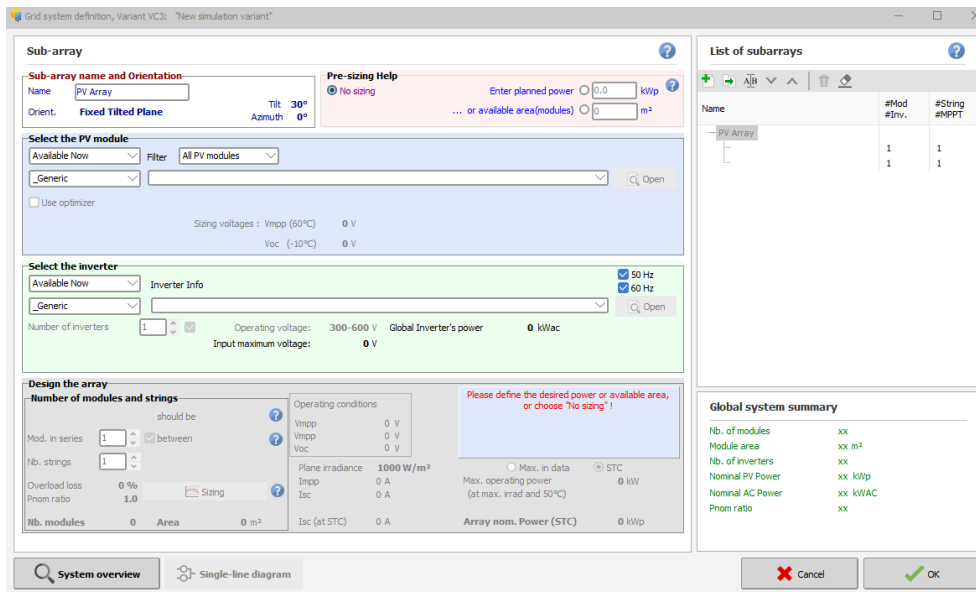


Figur 5.2 - PVsyst orientering meny [62]

Det er flere faktorer som må tenkes på når det kommer til orienteringen av solcellepanelene. Helningen på panelene har mye å si på når på dagen eller når i året produksjonen er på sitt høyeste. Dette kan endres ut i fra når man tenker energibruket vil være på sitt høyeste. Orienteringen må også tenkes på, og siden mikronettet er på den nordlige halvkulen bør panelene være rettet mot sør. Et verktøy som kan brukes til å finne optimal orientering for solcellepanelene er PV-GIS, et program utviklet av Europakommisjonen [46]. I denne prosjekteringen har panelene som en basis blitt orientert nord mot sør med en helning på 30°, men det vil bli presentert hva som skjer hvis orienteringen endres.

5.3 Midlertidig oppsett av solcellepanel og omformer

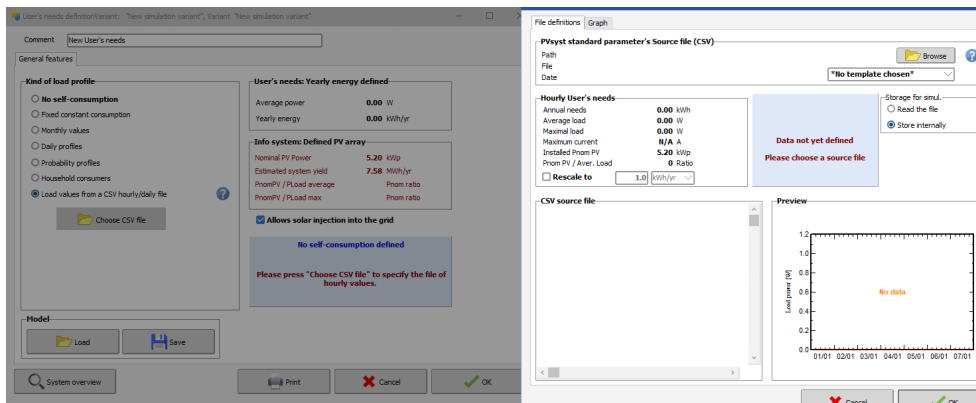
Etter at det er tatt et valg på orienteringen til solcellepanelene er det neste steget å velge hvilke solcellepanel som skal brukes, og deretter omformer. Det er ikke viktig at dette blir gjort nøyaktig ettersom det vil endres senere.



Figur 5.3 - PVsyst valg av solcellepanel og omformer [62]

5.4 Forbruksprofil som dimensjonerende faktor

Det neste steget blir typisk valgt ut ifra hvilken dimensjonerende faktor som ønskes å bruke i prosjekteringen. I dette prosjektet er det energiforbruk over tid og høyeste lastforbruk som brukes. Derfor blir det neste steget å definere en forbruksprofil. Dette kan gjøres direkte i PVsyst, men kan bli gjort mer nøyaktig ved å laste opp en CSV-fil, se figur 5.5. Dette har blitt gjort ved å bruke RAMP til å danne en detaljert forbruksprofil.



Figur 5.4 - PVsyst opplasting av forbruksprofil [62]

Date	Load
	[W]
01.01.2024 00:00	95.138
01.01.2024 00:01	125.136
01.01.2024 00:02	140.137
01.01.2024 00:03	170.135
01.01.2024 00:04	220.132

Figur 5.5 - CSV-fil lastet opp til PVsyst

Etter at forbruksprofilen er blitt lastet opp vil PVsyst gi deg en verdi på det høyeste lastforbruket. Denne verdien vil bli brukt senere for å gjøre dimensjoneringen av solcellepanelene lettere. Det vil også bli presentert en grafisk fremstilling av forbruksprofilen lastet opp. En annen verdi som også er relevant å ta med videre er hvor stort det gjennomsnittlige effektforbruket er gjennom en dag, dette vil bli brukt til å dimensjonere størrelsen på batteribanken.

5.5 Hjelp til dimensjonering

Ettersom forbruksprofilen har gitt de nødvendige verdiene som trengs for å dimensjonere solcellepanelene, omformerer og batteribanken kan dette nå gjøres. Ved å bruke pre-sizing verktøyet bygget inn i PVsyst vil programmet foreslå en passende omformer, antall solcellepanel og hvordan å sette de opp.

Pre-sizing Help

No sizing

Enter planned power kWp

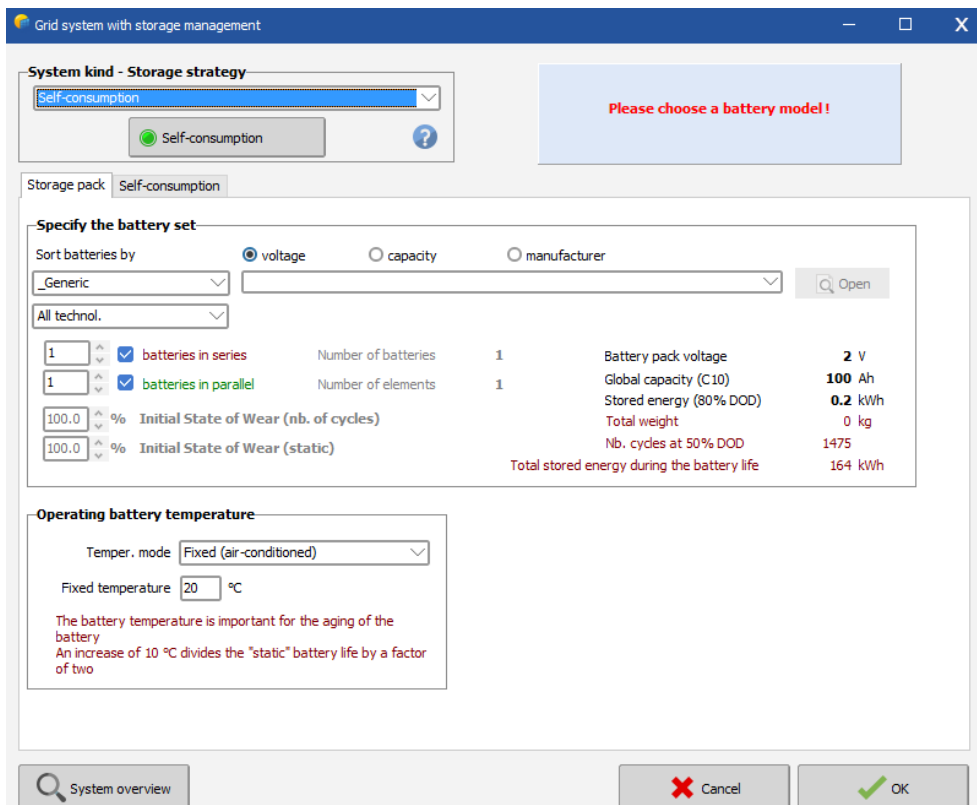
... or available area(modules) m²

Figur 5.6 - Pre-sizing verktøy [62]

Her vil det være relevant å velge konkrete komponenter hvis det har blitt etablert kontakt med leverandører for et mer nøyaktig simuleringsresultat. Hvis ikke kan det brukes generisk komponenter som en midlertidig løsning. Panelene som er brukt i denne prosjekteringen er 400 Wp tosidige paneler, av den generiske typen. PVsyst vil også foreslå en omformer ut i fra hvor mye effekt som blir levert av solcellepanelene. Denne bør velges opp mot effekten som blir levert fra solcellepanelene og batteribanken.

5.6 Dimensjonering av batteribank

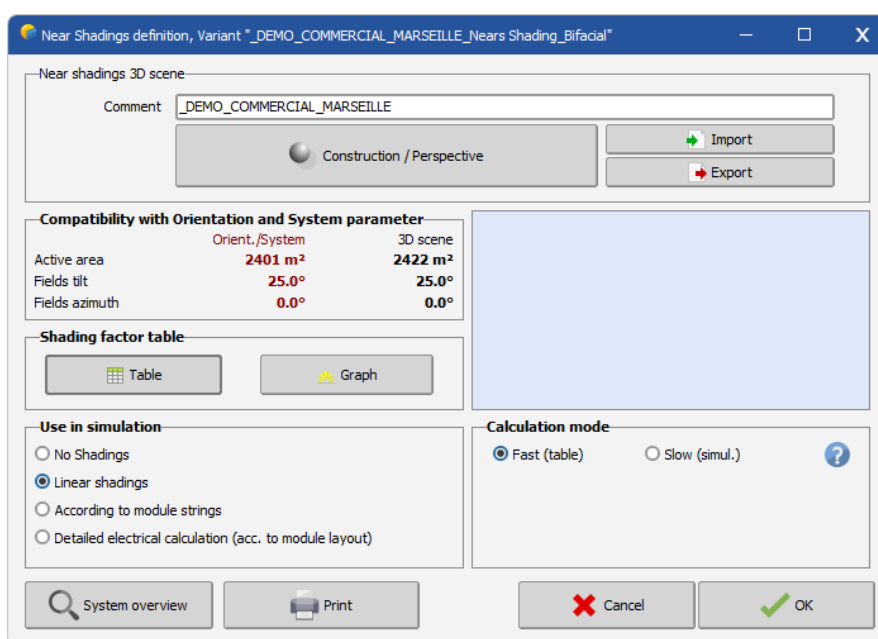
Når en skal velge størrelse på batteribanken bør det tenkes på hvor lenge systemet skal kunne fungere uten produksjon. Typisk vil det være 1-2 dager, ut i fra budsjett og krav til dekningsgrad for systemet. Hensikten med batteribanken er å kunne levere energi utover det solcellepanelene kan levere ved høyt forbruk, og så lagre energi når forbruket er lavere enn produksjonen. Det må derfor gjøres et bevvist valg på hvor stor batteribanken skal dimensjoneres, ettersom energilagring er kostbart.



Figur 5.7 - PVsyst dimensjonering av batteribank [62]

5.7 Oppsett av solcellepaneler

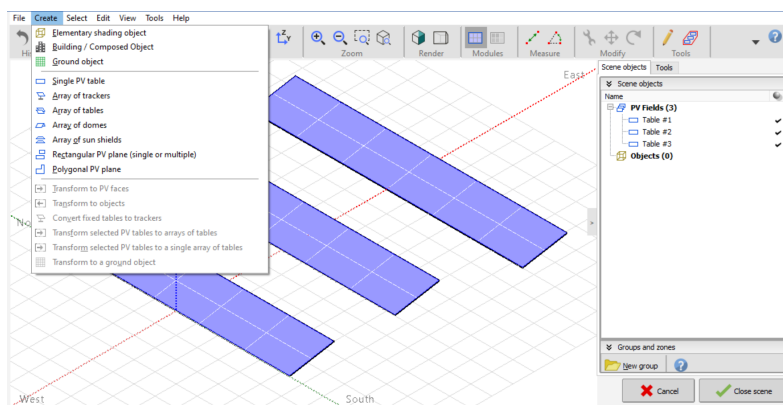
Til slutt kan en modell av anlegget settes opp i "near shading", altså en platform hvor panelene blir lagt inn helt konkret slik man ønsker med plassering og størrelse. Dersom det er andre elementer til stedet, hus, trær, eller andre objekter som bidrar til skygge, kan disse også dimensjoneres og settes inn. Figur 5.8 viser et eksempel på hvordan instrumentpanelet ser ut når det åpnes. Videre kan man enten trykke på "Construction/Perspective" som tar brukeren videre til konstruksjons-scenen som vist i figur 5.9, eller importere orienteringen om man har den fra et annet program.



Figur 5.8 - "Near shading" instrumentpanel [62]

3D-scene

Om man velger å gå veien via konstruksjonsscenen velger man først type og antall paneler, eller andre objekter i "tools" vinduet, og kan deretter flytte og endre størrelsen på de. Når man er ferdig med konstruksjonen, kan man trykke på "shading animation" og få en kort simulering av skyggen som objektene vil skape i løpet av feks. en dag. Når man er fornøyd, havner man igjen i det første instrumentpanelet. Her er det spesielt viktig å legge merke til vinduet som beskriver størrelsen på systemet slik det har blitt definert i dimensjoneringen, og slik det har blitt satt opp i 3D scenen. Verdiene på det aktive arealet bør være så like i størrelse som mulig, som indikerer at konstruksjonen passer til anlegget man har dimensjonert. PVsyst vil utføre en simulering i forhold til solens bevegelse, og gi et bilde av skyggeleggingen fra alle objektene i løpet av dagen.



Figur 5.9 - Shading scene construction [62]

Tosidige paneler

Ønsker man å bruke tosidige paneler, åpner man "System" blant hovedparameteren i menyen og trykker på knappen "Bifacial system" øverst i høyre hjørne i området der panelene velges. Deretter er det nødvendig å definere hvilke paneler PVsyst skal forholde seg til. Dette må gjøres for at simuleringen skal beregne effekten fra begge sidene av panelet. Dersom det er gjort riktig vil det være et bidrag med navnet "Bifacial" i tapsdiagrammet.¹ Det mest vanlige her er å velge "Use unlimited sheds 2D model" som er stasjonære paneler. Det andre alternativet er "trackers"². Her kan også albedo verdien for underlaget endres. Denne verdien kan finnes basert på hva underlaget under solcellepanelene består av, i denne oppgaven er en verdi på 30 % brukt.

Oppkobling til omformere

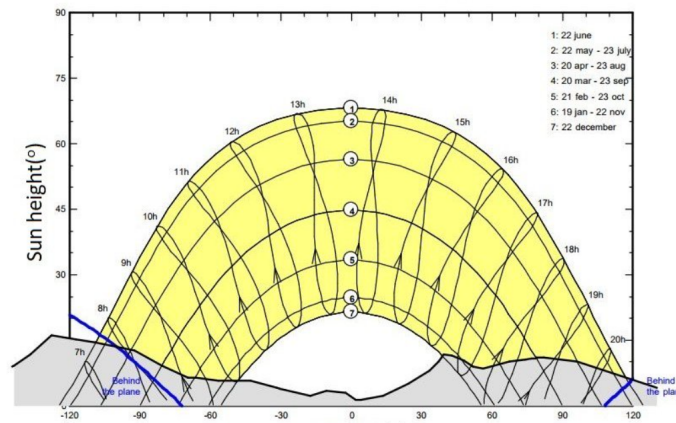
Når solcellepanelene er satt opp, kobles de opp mot omformere. Dette gjøres i "Module layout", der man enten kan la PVsyst velge fordelingen av omformere til panelene, eller tegne de slik man ønsker hver for seg. Det man bør være oppmerksom på her er hvordan koblingen skal distribueres. Antall strenger (på panel) bør passe til antall utganger på omformere.

Dersom noen paneler ligger dårligere til, for eksempel med mer skygge eller snø, bør disse fordeles på samme omformer for å unngå at panelene med dårligere produksjon trekker ned effektiviteten til panelene med høy produksjon. I tilfeller der omformeren som har blitt valgt har flere MPPT innganger, vil det i "system" dukke opp en knapp med navn "Use Multi-MPPT feature" som automatisk er valgt. Dette betyr at en omformer med to MPPT innganger vil oppføre seg som to identiske omformere med halvparten av den nominelle effekten hver. En faktisk omformer vil derimot ha en naturlig fordeling av effektflyt mellom inngangene, som man kan oppnå i simuleringen ved å ikke huke av denne knappen [13].

¹Tapsdiagram viser tap og bidrag i hele systemet, figur 3.10 viser et eksempel.

²Paneler som følger solas bevegelse.

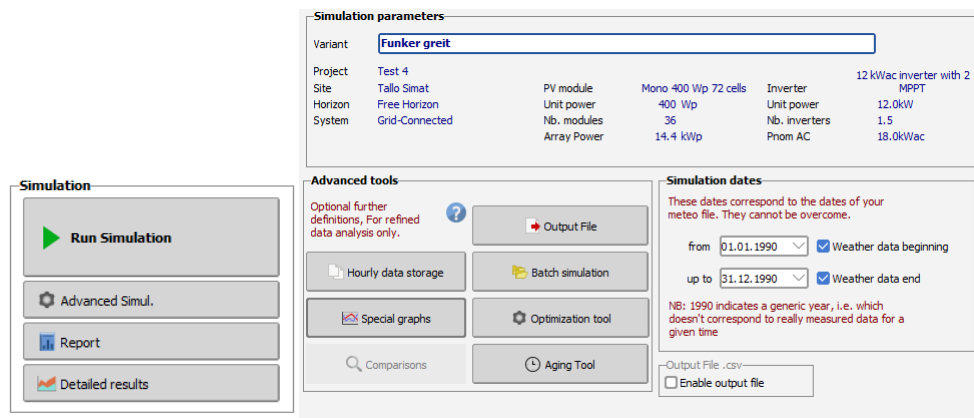
Figur 5.10 viser en typisk solkurve som representerer skyggelegging fra horisonten og fra fjerne objekter, samt solas bane representert av høyde og azimuth. Mer spesifikt, regnes fjerne objekter som objekter med distanse lenger enn 10 ganger anleggstørrelsen.



Figur 5.10 - Solkurve og fjern-skyggelegging [63]

5.8 Aldringsverktøy

Etter at en simulering er gjennomført kan PVsyst gjennomføre videre simuleringer og optimalisering gjennom "Advanced simulation".



Figur 5.11 - Avansert simulering PVsyst [62]

Ved hjelp av dette verktøyet kan simuleringen optimaliseres videre og mer data kan hentes ut. I dette prosjektet er hovedsaklig aldringsverktøyet brukt. Dette er et

verktøy som kan brukes for å estimere hvordan mikronettet vil prestere etterhvert som det eldes. Det er brukt standard parameterene i denne oppgaven, og som standard byttes batteriene ut etter 10 år i bruk. Simuleringen avsluttes etter 25 år, som er den typiske levetiden for solcellepanel.

Kapittel 6

Prosjektering av distribusjonsnett

I det følgende kapittelet vil metoden brukt for å dimensjonere distribusjonsnett bli presentert. Det er delt opp i to deler, en del som går over den geografiske plasseringen av de ulike komponentene i nettet og en del som tar for seg selve dimensjoneringen av anlegget. Dimensjoneringen er gjort med hjelp av verktøyet Febdok, og arbeidet har tatt utgangspunkt i standarder og normer for lavspent og høyspent anlegg.

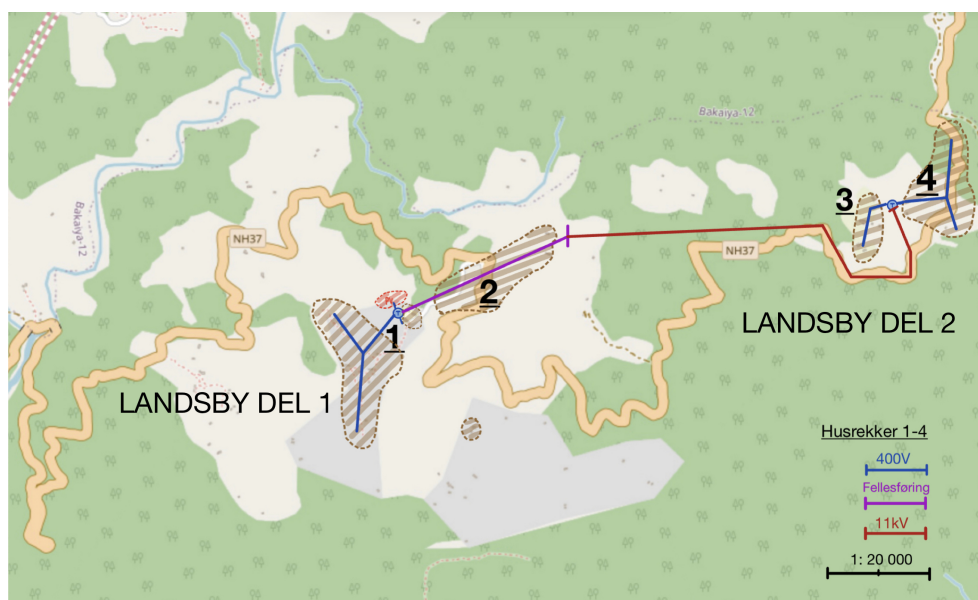
6.1 Geografisk plassering av distribusjonsnett

Under er mikronettet presentert konseptuelt. Skraverte felter er områder med bebyggelse. Det røde feltet viser hvor solcelleanlegget er plassert, og de blå prikkene viser plassering av trafo for høyspentforbindelse.



Figur 6.1 - Mikronettet konseptuelt. Kart hentet fra nationalgeoportal [36]

Plasseringen av produksjon og lagring er blitt lagt nær skolen. Området er valgt etter analyse av satellittbilder og topografiske kart, som antyder at dette er et egnet område for solcellepaneler uten fjell og andre elementer som kaster skygge. Dette er også nyttig ettersom skolen ansees som landsbyens midtpunkt, og at dette blir området med de største lastene. I området vil også transformator for å transformere opp til 11 kV befinne seg, før strømmen blir sendt via en 11 kV høyspentlinje til transformator to, som transformerer spenningen ned igjen til 400 V. Ved å bruke samme strømstolper for 11 kV luftlinjen og 400 V luftlinjen som skal til høyre fra produksjonsområdet vil det kunne spares ressurser. Til slutt skal det gå en 400 V luftlinje ut til de resterende bebyggelsene ikke nevnt tidligere. Under følger en oversikt over distribusjonsnett. Her vises linjene og de forskjellige fordelingene mikronettet har blitt delt opp i. En kommentar er at huset lengst unna har blitt utelatt, dette ble avgjort etter samtaler med GridVille og ble gjort på bakgrunn av praktikalitet og kostnader.



Figur 6.2 - Mikronettet med linjer. Kart hentet fra nationalgeoportal [36]

6.2 Dimensjonering av anlegget

For å dimensjonere et fremtidsrettet og bærekraftig anlegg, velges det å ta utgangspunkt i RAMP beregningene med et 10 års - perspektiv, hvor det tas høyde for et økt forbruk. Dette gjøres siden distribusjonsnett er en vesentlig del av investeringskostnadene, og at vanlig praksis er å dimensjonere slike anlegg for langsiktig bruk. Der hvor man ser at solcelleanlegg har en typisk levetid på rundt 25 år, forventer man en levetid på distribusjonsnett på 30 år og gjerne lengre.

Når man og har sett flere tilfeller hvor anlegget holder fra 40 til 80 år, ser man at det er riktig med et langsiktig perspektiv ved dimensjonering av distribusjon [64].

For å finne kortslutningsverdier og maksimal effektlevering, har gruppen hentet tall fra forskjellige steder. For transformator er det funnet en aktuell trafo fra Alibaba, dette er for å få aktuelle verdier ved videre beregning [58]. For dette prosjektet er det ikke relevant å velge en konkret transformator, og dermed har verdier blitt hentet fra denne. For omformer og batteribank har gruppen tatt utgangspunkt i en omformer presentert i PVsyst for å regne ut kortslutningsverdier i anlegget.

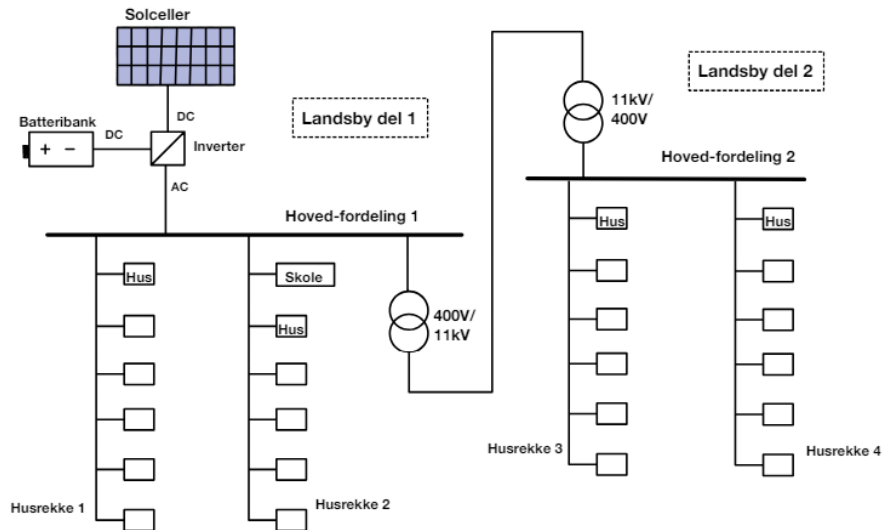
For å dimensjonere anlegget er det nødvendig å gjøre en del antagelser. Gruppen mangler informasjon om lokale normer, og baserer seg derfor på norske standarder i planleggingen. For utstyr og materiell så ønsker GridVille å benytte lokale produsenter og leverandører, dette gjør leveranser og lokale tilpasninger lettere. I tillegg er det mer miljøvennlig i forhold til frakt, og en mer økonomisk løsning. Et stort ankerpunkt her er de andre miljømessige vurderingene, ettersom lokale produsenter trolig ikke følger like strenge standarder som de europeiske leverandørene. Videre vil fremgangsmåten for å prosjektere distribusjonsnett presenteres. Her tar man utgangspunkt i beregninger fra Febdok og forbruksprofiler fra RAMP, i tillegg til å implementere høyspentsystem og overføringslinjer.

Anlegget som skal bygges ut planlegges i en TN-S konfigurasjon, dette tillater at man kan kjøre en 400 V distribusjon, noe som senker spenningsfallet, samtidig som husstandene mottar 230 V som ønsket av GridVille. Ved å velge en slik løsning kan man også benytte et mindre tversnitt på kablene.

6.2.1 Leverer energi til forbruker

For å dimensjonere anlegget har man tatt utgangspunkt i det utregnede effektbehovet fra RAMP. Fra dette er det valgt at hus og gårdsbruk skal ha en inntaksikring på $2 \cdot 10$ A, noe som tilsvarer 2300 W, og at skolen vil få en inntaksikring på $3 \cdot 20$ A. Distribusjon til husene vil gå i et radialnett, hvor en felles kabel føres ut, og hvert hus trekker en tilførsel fra denne kabelen til en hovedsikring plassert på hvert hus. Det vil settes opp flere radialnett som dekker hver sin gruppe av hus.

Ved å legge opp til en 10 A inntaksikring for hvert hus, vil det potensielle effektforbruket bli mye høyere enn det anlegget er dimensjonert for. Dette blir trolig ikke et problem da samtidighetsfaktoren antas å bli ganske lav, og RAMP beregningene tyder på at viser et godt bilde av hvilke effektforbruk man kan forvente, samtidig som en 10 A sikring gir den enkelte husstand fleksibilitet slik at anlegget fortsatt er bra dimensjonert om noen hus bruker mer eller mindre effekt enn de andre.



Figur 6.3 - Forsyning, fordeling og radialnett

6.2.2 Oppsett i Febdok

I denne oppgaven er Febdok versjon 7.6 brukt, og alle bilder er representativ for denne versjonen. For å opprette et prosjekt i Febdok begynner man med å logge inn med sin bruker, før man blir presentert med 3 valg, lavspent strømforsyning, generatorforsyning eller høyspent strømforsyning. Her må man velge den korrekte forsyningskilden, og deretter fylle ut den nødvendige informasjonen. I prosjektet blir det valgt lavspent strømforsyning for å føre inn verdiene fra PV-anlegg, dette gjøres siden alternativet for generatorforsyning krever en minste effekt på 50 kVAR, noe som er en del over de 35 KW prosjektet dimensjoneres for.



Figur 6.4 - Valg av strømforsyning

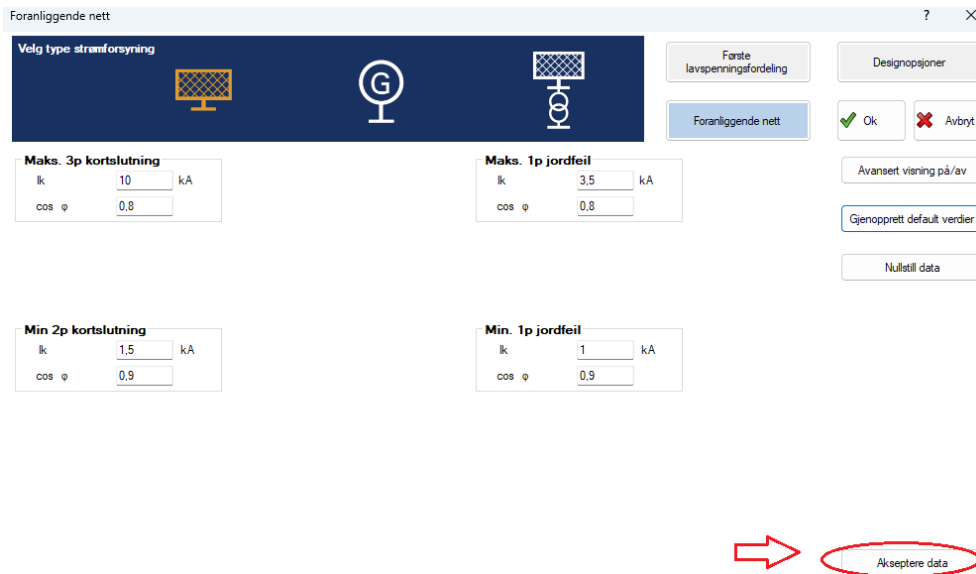
Når man har valgt forsyning, blir man sendt videre til en side hvor anleggets egenskaper defineres. Her brukes verdiene fra RAMP og PVsyst, og maksimal beregnet

effekt i et fremtidsperspektiv. De kommende kulepunktene beskriver de nødvendige innstillingene som må gjøres i figur 6.5 under.

- **Oransje sirkel:** Her skrives effektbehov/laststrøm
- **Lilla sirkel:** Ettersom anlegget vil betjenes av ufaglært personell, er det viktig å justere til "ikke-sakkyndig betjening". Dette er for å ta hensyn til strengere krav som stilles til bryteregenskaper ved ufaglært betjening. Under kan temperatur i fordeling settes. Denne er som standard 30 grader, men velges som 40 grader for gjeldende anlegg, ettersom klimaet i Nepal er noe varmere på sommertid enn i Norge.
- **Grønn sirkel:** Her kan man endre varslingsgrense for spenningsfall. Ettersom anlegget dimensjoneres ut fra et krav på $\pm 10\%$, derfor justeres varslingsgrensene opp til dette nivået.
- **Gul sirkel:** Under Foranliggende nettkan man legge inn oppgitte eller beregnede kortslutningsverdier. Her er det viktig å trykke "aksepter datafør man forlater siden, ellers oppstår det en feilmelding.

Figur 6.5 - Valg av foranliggende nett, og innføring av parametere

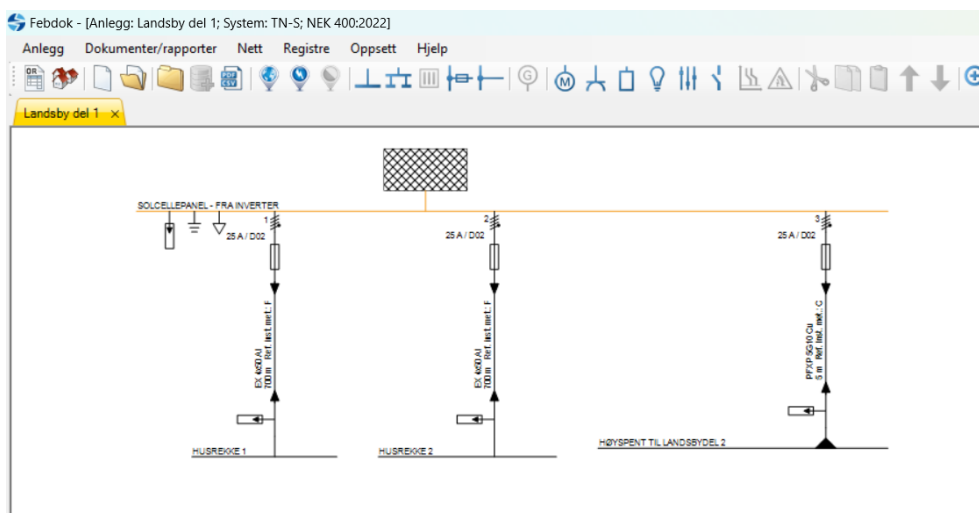
- **Rød sirkel:** I figur 6.6 under må man trykke den markerte knappen. Ved å akseptere data, er man ferdig med det innledende oppsettet, og kan nå begynne å sette opp fordelinger.



Figur 6.6 - Foranliggende nett

Fordelinger

Når parametere for forsyningsiden er lagt inn, blir man ført videre, og kan nå begynne å bygge opp anlegget. Her får man muligheten til å legge til flere fordelinger, underfordelinger, faste laster mm. ved å trykke på symbolene i menyen øverst. For det gjeldende prosjektet er det valgt å legge opp 2 underfordelinger, som representerer husrekke 1 og husrekke 2. Det siste elementet er en avgang som forsyner transformator for å sende strøm til landsby del 2.



Figur 6.7 - Valg av fordeling

For å bygge opp underfordelingene må man fylle inn en rekke parametere. Her må det bestemmes last for den spesifikke fordelingen, lengde på kabel, og det er og her man må gjøre valg for kabler, vern og forlegningsmåte. Punktene under beskriver de markerte områdene i figur 6.8.

- **Rød sirkel:** Her kan man justere om man skal korrigere for høyere driftstemperatur, lengde eller andre tilfeller som krever spesiell tilpasning. For anlegget er lengden på kabel til fordeling beregnet til 700 m for husklynge 1 og 2, og 450 m for husklynge 3 og 4.
- **Grønn sirkel:** Her gjøres valg for kabel. Den øverste sirkelen sier noe om hvordan kabel er forlagt og om den ligger i nærheten av andre kabler. I den nederste sirkelen har man mulighet til å velge kabel, og da velge fra en mengde forskjellige type kabler. For lufthengt distribusjon er det vanlig og bruke EX kabler, og det er derfor valgt å bruke EX kabler med passende strømføringsvegne for gjeldende fordeling.
- **Rosa og svart sirkel:** Her kan man se aktuelt spenningsfall som forventets ved ytterste punkt på fordeling ved valgt korreksjonsfaktor og kabel. Her vises også tap i kabel med maksimal laststrøm. I den svarte sirkelen ser man da hva forventet leveringsspenning blir.

Fordeling: SOLCELLEPANEL - FRA INVERTER Kurs til: Fordeling Kurs nr.: 1

25 A / D02 EX 4x50 Al 700 m Ref. inst. met.: F

Utforming og beskyttelse

Ok Avbryt

Identifikasjon

Referanseinstallasjonsmetode

F - Entledere i luft, tett

Ingen parallelle kurser

Trekant forlegning

Horisontal perforert bro

1 bro (stige)

Omgivelsestemperatur 40 °C

Annen korreksjonsfaktor 1

Lengde 700 m

Strømføringsvegne, Iz 110,9 A

Laststrøm, Ib 20 A

Aktuell ledertemperatur 40,9 °C

Spenningsfall

Til belastning 4,07 %

Til siste fordeling 0 %

Langs kabel/skinne 4,26 %

Maksimal kabel/skinne lengde 1206,1 m

Un for belastningen 400 V

Tap i kabel/skinner 0,647 kW

Fabrikat Standard

Kabeltype/ledeløsning EX 4x50 Al

Valg av kabel

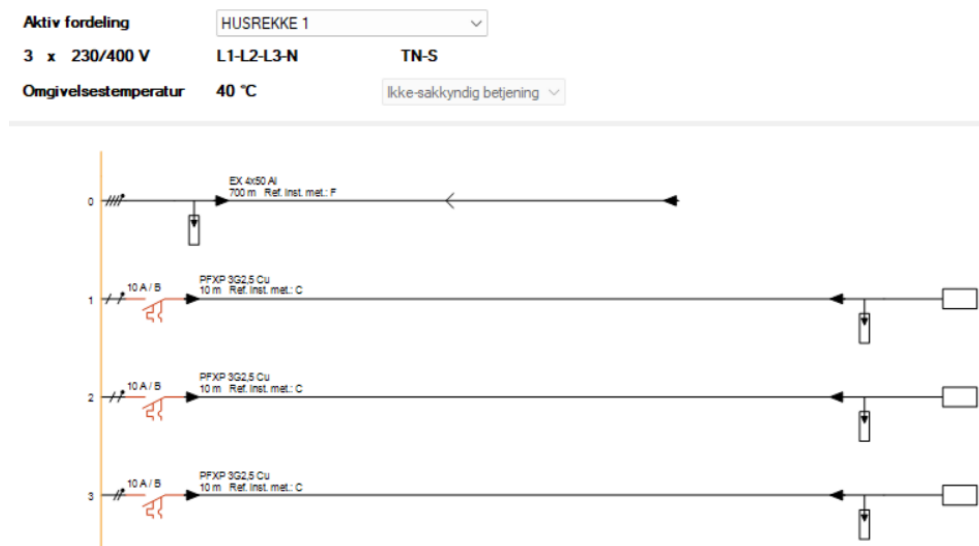
Data

Spenninger [V]	
L1-N	221,54
L2-N	221,54
L3-N	221,54
L1-L2	383,72
L1-L3	383,72
L2-L3	383,72

Figur 6.8 - Parametere for fordeling

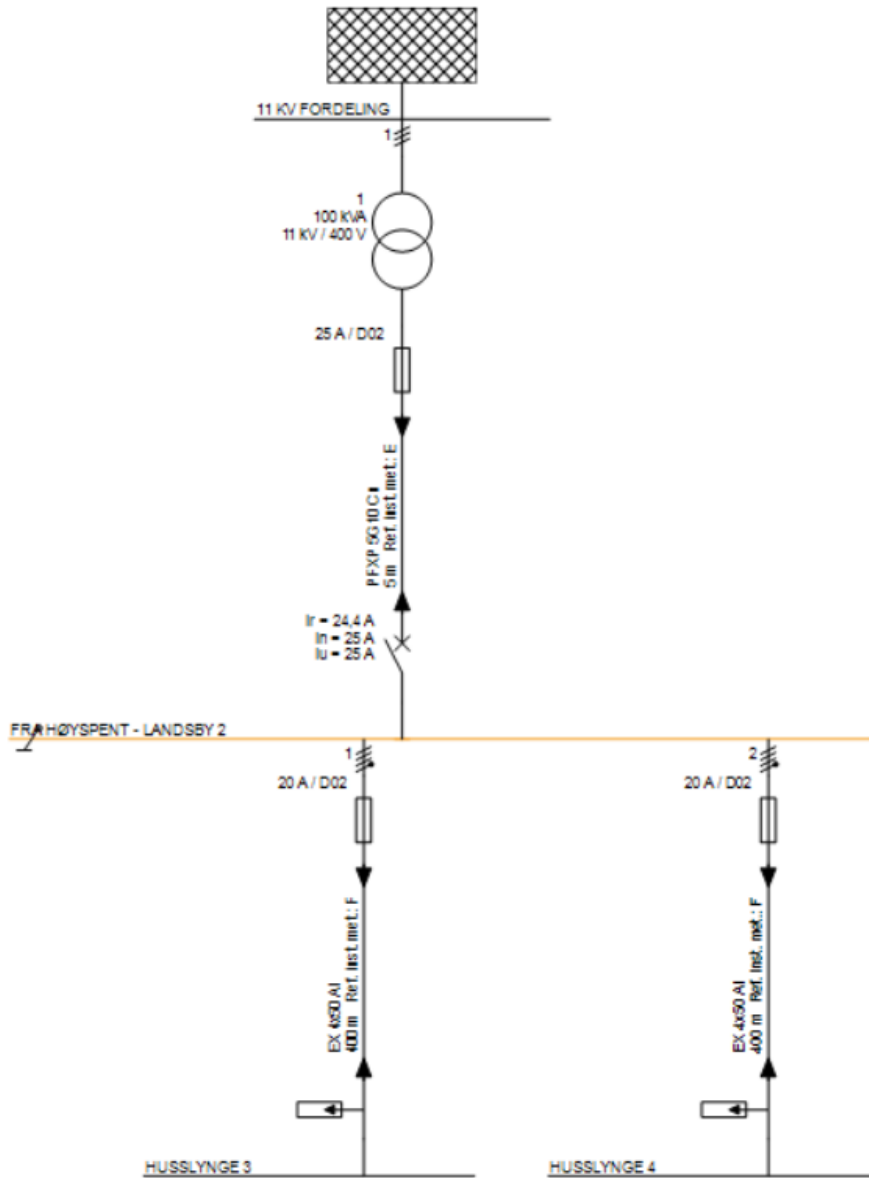
Ettersom lengden fra produksjon av kraft til forbruk er ganske lang, vil en vesentlig dimensjoneringsfaktor være spenningsfall. Ut fra dette ser man at valgt kabel ofte må overdimensjoneres kraftig i forhold til last i kabel, med formål om å oppnå lavt spenningsfall lengre ut på kabelen.

Når man har satt opp underfordelingen, kan man begynne å sette opp avgangene fra denne kabelen. For å bygge opp en fordeling, legges hus til som "faste laster". Disse settes til 10 A, og fordeles mellom L1-N, L2-N og L3-N, slik at alle 3 fasene i anlegget belastes like mye.



Figur 6.9 - Oppsett av radialfordeling

Dette oppsettet gjentas for landsby del 2, hvor tilførsel settes opp som en høyspent strømforsyning. Videre bygges det opp ledd for ledd med underforsyninger og hus koblet på her.



Figur 6.10 - Fordeling med høyspent del

6.2.3 Distribusjon til hus og skole

Distribusjon til hus og skole vil gå som et radialnett, hvor en felles kabel vil gå til hver del av landsbyen. Hus og skole vil så kobles på kabel med kontaktklemmer og føres til husvegg, hvor det settes opp en inntakssikring og et overspenningsvern. Dette blir grensesnittet levert fra nettet, og kunde får selv ansvar for installasjonen på andre siden. Det vil si at prosjekteringen stopper ved husveggen, og den elektriske installasjonen innad i bygningene er utenfor rammen til denne oppgaven.



Figur 6.11 - ISO klemme/kontaktklemme

Lavspentanlegg

Dimensjonering av lavspentanlegget vil ta for seg lengde med kabel og antall master som trengs. Det er viktig å sørge for at anlegget blir satt opp i samsvar med standarder og normer, det anbefales å bruke fagkyndig personell til å gjennomføre utbyggingen. Under er et bilde av hvordan en stolpe med kabel kan se ut.

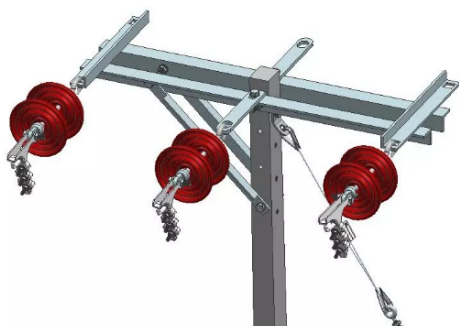


Figur 6.12 - Lavspent luftlinje [65]

I arbeidet med å finne antall master er huskeregelen for lavspent 30-60 m ved flatt terreng, det brukes 45 m i denne oppgaven. Lengde på kabel vil finnes ved å estimere lengde fra satellittbilder og hus markert av GridVille. Det er brukt et estimat på 4.000 m i denne oppgaven. Kabeldimensjonene beregnes ved bruk av Febdok.

Høyspentanlegg

I dimensjonering av høyspentanlegget er det svært viktig å sørge for at arbeidet blir gjort i samsvar med standarder og normer presentert i tidligere kapitler. Arbeidet med høyspent innebærer en svært høy risiko, og det anbefales å bruke spesielt sertifisert personell til å gjennomføre dette arbeidet. Selve monteringen vil ikke bli dekket i prosjekteringen, og det vil bli fokusert på antall master og lengde med kabel. Under er bilde av en 11 kV mast og hvordan luftlinjen ville kunne se ut.



Figur 6.13 - 11 kV mast [66]



Figur 6.14 - 11 kV luftlinje [67]

I arbeidet med å finne antall master er huskeregelen for 11 kV 70-100 m ved flatt terreng, det brukes 85 m i denne oppgaven. For lengden med kabel er det viktig å huske at det skal være 3 ledere ved høyspent, så kabellengden må ganges opp med 3. Ettersom høyspent og lavspent skal fellesføres det første stykket, er det ca. 1.900 m hvor høyspeningsluftlinjen skal gå alene, av totalt ca. 2.700 m fra transformator til transformator.

Når det kommer til størrelse på kabelen i 11 kV luftlinjen vil det være opp til ønske fra GridVille, uansett hvilke størrelse som blir valgt på kabelen vil det være kraftig overdimensjonert i forhold til mengden med elektrisk energi som skal overføres.

Anbefaling fra prosjekteringen er å velge en kabel med minst mulig tverrsnitt for å minske kostnader, eller å velge et tverrsnitt som vil sammensvare med det som er standard for 11 kV distribusjonsnett i Nepal.

Fellesføring høyspenning og lavspenning

Det er ca. 800 m hvor høyspenning- og lavspennings-luftlinjene skal fellesføres. Her er det svært viktig at avstanden mellom linjene overholdes over hele spennet. Standarden er at minste avstand mellom de er $2.0 \text{ m} + D_{el}$, så i prosjekteringen her minimum 2.12 m. Dette bør økes til rundt 2.5-3.0 m for å være på den sikre siden. Standarden sier også at høyspenningsluftlinjen skal ligge øverst. Som et resultat av dette vil strømstolpene som brukes i fellesføringen måtte være av større dimensjoner, typisk en 3 m lengre. Avstanden mellom strømstolpene vil være som for lavspenning. Under er et eksempel på hvordan fellesføring av høyspent og lavspenning kan se ut.



Figur 6.15 - Fellesføring høyspent og lavspenning [68]

6.2.4 Kontrollsystemer

For å drive mikronettet effektivt er det viktig å kunne kontrollere flere parametere. Til dette trengs det en rekke kontrollsystemer. Under er to av de tidligere nevnte kontrollkomponentene og hva de brukes til.

- **Laderegulator:** Kontrollere ladenivået i batteriene.

- **MPPT omformere:** Kontrollerer omformerens utspenning og strøm.

Dette er relativt enkle komponenter, og kan finnes som ferdige produkter. Utover dette trengs det et større kontrollsystem som kontrollerer flyten av elektrisk energi. Systemet må sørge for at riktig mengde energi blir levert til den tiden det trengs og vil være sentralt for en effektiv operering av mikronettet [69]. Et slikt system vil involvere en god del programvare og maskinvare, og er utenfor det dette prosjektet vil ta for seg. Allikevel er det viktig å nevne at et slikt system må utvikles for at mikronettet skal kunne operere.

6.2.5 Tapsberegninger

Som nevnt tidligere vil lavspent tapsberegninger bli utført av Febdok. Febdok bruker motstandsverdier fra kablene valgt i programmet og gir en verdi for effekttap. En utfordring med denne verdien er at det er det høyest mulige tapet. Dvs. at all lasten er ytterste ende av lavspentlinjen, noe som ikke er realiteten. Den faktiske tapsverdien vil være lavere, men er vanskelig å finne nøyaktig og derfor er høyeste verdi brukt.

Høyspent tapsberegninger er funnet ved å ta høyeste forbruk i husklyngen som blir forsynt gjennom 11 kV luftlinjen og så trekke fra tap fra transformatorer. Under er formel brukt vist. Samt forklaringer på de forskjellige verdiene og hvilke verdier brukt i prosjekteringen.

$$Tap = \left(\frac{HE + TL + TnT}{TEn * TEo} - ToT \right) - HE \quad (6.1)$$

- HE: Høyeste effektforbruk
- TL: Tap lavspent
- TnT: Tomgangstap ned-transformator
- TEn: Transformatoreffektivitet ned
- TEo: Transformatoreffektivitet opp
- ToT: Tomgangstap opp-transformator

6.3 Sikkerhetstiltak i mikronettet

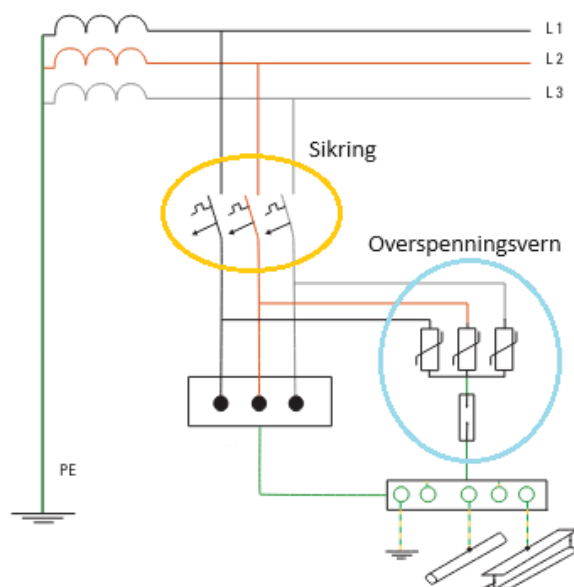
For å sikre at mikronettet kan drives uten å være til fare for mennesker og dyr er det svært viktig å ta i bruk en rekke sikkerhetstiltak for å opprettholde sikkerheten i nettet.

Valg av overspenningsvern

Ved lufthengt distribusjon er det viktig å ta hensyn til overspenninger som oppstår som resultat av lynnedslag. Ved lynnedslag følger strømmen den enkleste veien og vil ofte følge det elektriske nettet ettersom det er den beste lederen. For å beskytte installasjonene er det viktig å installere overspenningsvern. Vernet slipper igjennom strøm til jord om det skulle skje en overspenning og hindrer dermed at installasjonen blir utsatt for skadelig høye spenninger.

Det anbefales å installere type 1 overspenningsvern i bebyggelse ved lange luftstrekke [56], og det anbefales derfor at type 1 installeres på hus som ligger mer isolert. Type 2 kan brukes ved mer samlet bebyggelse. For trafo, bør det installeres overspenningsvern i begge ender, disse må være av en type tilpasset høyspentanlegg.

For oppkobling av overspenningsvern er det viktig at dette kobles etter kortslutningsbeskyttelse/vern, slik at overspenninger faktisk kobles ut i tillegg til å bli ledet bort fra installasjonen. Om overspenningsvernet ikke kobles etter annet vern, kan man risikere at overspenningsvernet brenner opp, og at feil blir stående. Se figur 6.16 for korrekt koblingsmåte. Hvor gul sirkel er sikring, blå er overspenningsvern, og dette kobles mot jording i anlegget.



Figur 6.16 - Kobling av overspenningsvern [70]

Ved høyspentanlegg brukes en passiv lynavleder, som leder overspenning til jord. Dette gjøres med at et gnistgap er montert, og det er da egenskapene til isolasjonen mellom faseledere og jordleder som bestemmer hvor stor en overspenning må være før man får overslag og overspenning ledes bort. Ettersom det på jorden er over 100 lynnedslag hvert sekund, er dette en viktig komponent i et høyspentanlegg. Gruppen har lite kunnskap om de lokale forholdene i området, men et lynnedslag kan ha store ødeleggende konsekvenser, og bør derfor beregnes for [71].



Figur 6.17 - lynavleder [71]

Jording

Et viktig sikkerhetselement i et elektrisk anlegg er jording. Jording settes opp slik at eventuelle feilstrømmer ledes ut mot jord, istedenfor å skade mennesker og dyr. For at overspenningsvernet skal fungere, er det kritisk at det etableres jording i hus og skole. Dette gjør at små og store feilstrømmer blir ledet bort. For å sette opp et jordingsanlegg er det mulig å både legge en kobberleder med et ”ok” tversnitt ned i bakken, eller sette ned et jordspyd i bakken som deretter kobles til installasjonen.

Kortslutningsverdier

I en installasjon er det viktig å ta hensyn til kortslutningsverdier i anlegget. Ved en feil i anlegget der man får en kortslutning mellom fase-fase, fase-N eller fase-jord, vil det oppstå store feilstrømmer. Dette er et problem da det vil oppstå en stor varmeutvikling som kan gi termiske skader på kabler og annet materiell. Om en slik feil blir stående, kan isolasjonen på kabler smelte, og antenne nærliggende materialer. I sikringer er det en elektromagnetisk del, og en termisk del, som skal sørge for at slike feilstrømmer blir koblet ut. Utfordringen i dette prosjektet er at kortslutningsverdiene fra omformer er ganske lave, dette sammen med lange distribusjonsavstander gjør at det forventes svært lave kortslutningsverdier ute hos forbruker. Dette betyr at sikringer som normalt trenger 5-10 ganger sikringsstørrelse, ikke får en høy nok strøm igjennom seg til å kunne å bryte feilen, og feil kan

bli stående lenge før vern løser ut. Dette kan bli et problem, og må tas hensyn til i dimensjonering og utbygging.

$$\text{Korslutningsberegninger : } \frac{P}{U} = I \quad (6.2)$$

Det man ser er at et lite nett kan slite med å tilføre den energien som skal til for å oppnå momentant utkobling av slike feil. Det kan tenkes at de relativt små strømmene som leveres i anlegget resulterer i en mindre sannsynlighet for kritiske termiske skader, samt at de alle fleste omformere har en innebygd overstrømsbeskyttelse. Ved en utbygging bør en ekstra risikoanalyse gjøres på dette området, hvor man ser på om omformer har den nødvendige beskyttelsen innebygget, eller om ekstra tiltak må innføres for å levere et trygt anlegg.

6.4 Et lite HMS blikk

Når det kommer til den praktiske utførelsen av prosjektet anbefales det å sette ekstra fokus på HMS delen av utførelsen. Arbeid på elektriske anlegg innebærer en stor risiko, da det er mye energi som overføres. Det anbefales at det utføres en grundig risikoanalyse før påbegynt arbeid, når de faktiske forholdene lokalt er kartlagt. Under er noen viktige sikkerhetstiltak som bør følges presentert.

- **Arbeide spenningsløst:** Det er viktig at alt arbeid utføres på spenningsløst anlegg. Omformer og solcelledel må ikke tilkobles distribusjonsanlegg før alt arbeid der er fullført. Før spenningssetting må alle involverte parter advares, slik at uønsket berøring av spenningsatte deler unngås.
- **Arbeid i høyde:** En stor del av arbeidet vil gjennomføres i høyden i strømmaster eller ved tilkobling av hus. Her er det viktig å benytte stiger/stilas som gir en tilstrekkelig stabilitet til at det er forsvarlig å klatre i det. Underlaget må og være stabilt, og tiltak må tas, som å lage ett bedre underlag under stigen, om det er ujevnt underlag.
- **Verktøy:** Det vil arbeides med mye verktøy og større maskineri i en slik prosess. Det anbefales at man gjør seg kjent med utstyr i forkant, slik at man kan operere materiell og verktøy på en god måte.
- **Nødvendig avstand fra annen bebyggelse:** Ved oppheng av EX-luftledning og ved arbeid på høyspentanlegg må nødvendig avstand fra vegetasjon og bebyggelse opprettholdes.

- **Nødvendig kapsling/utilgjengelig for mennesker og dyr:** Ved utførelse av anlegget må det elektriske arbeidet utføres på en slik måte at det ikke blir mulig å berøre spenningsførende deler. Alle koblinger må opprettholde betryggende kapslingsgrad, slik at det ikke er mulig for mennesker og dyr å berøre. Hovedfordeling og trafo bør stå i et avlåst/avsperrret område, slik at bare de som trenger tilgang kan komme seg inn.
- **Plassering av batteri:** Ved plassering av batterier er det viktig at disse står i et eget avsperrret område. Det er også kritisk at batteripoler er tilstrekkelig tildekket, ettersom en kortslutning mellom disse kan bli kritisk.
- **Nødvendig opplæring av anlegg:** Ved betjening av batterier og strømførende utstyr er det en betydelig risiko for støt og kortslutningsskader. Her er det viktig at personer som blir satt som ansvarlig for anlegget, får nødvendig opplæring slik at de trygt kan betjene anlegget i ettertid, og utføre nødvendig vedlikehold og utbedringer.
- **Nødvendig opplæring av bruker:** Ettersom dette er en landsby som tidligere ikke har tilgang til elektrisk energi, har innbyggerne lite erfaring med farene det innebærer å benytte strøm. Derfor bør det gjøres grundig opplæring i farer med strøm, og nødvendige tiltak for å unngå strømskader. Her bør man legge vekt på faren med å koble på det elektriske anlegget, benytte utstyr med dårlig/ingen isolasjon, og brannfare ved for eksempel elektrisk matlaging.

Kapittel 7

Resultater

I det følgende kapittelet vil resultatene fra prosjekteringen bli presentert. Dette innebærer at simuleringsresultatene vil bli gjennomgått, sammen med forslag til antall og type komponenter som bør benyttes. Deretter vil distribusjonsnettet bli presentert før det avsluttes med en økonomisk oversikt over prosjektets antatte kostnader. Kun utvalgte resultater er presentert i denne oppgaven, full dokumentasjon er overlevert til GridVille.

7.1 Forbruksprofiler fra RAMP

I denne delen vil forbruksprofilene som ble generert med RAMP-simuleringsverktøyet presenteres. Disse profilene presenterer effektforbruket som forventes i landsbyen Thingan, nå og i et 10-års perspektiv. I arbeidet er det gjort tre forskjellige simuleringer. I tillegg viser det seg at scenario 2, som tar for seg forbruk et vinterscenario, ligger et stykke under resultatet fra scenario 1. Ettersom gruppen ønsker å dimensjonere ut fra det høyeste forventede scenarioet, vil gruppen derfor bruke scenario 1 og 3 til dimensjonering av anlegget. Derfor vil kun scenario 1 og 3 presenteres under, her vises tre grafer for hvert scenario.

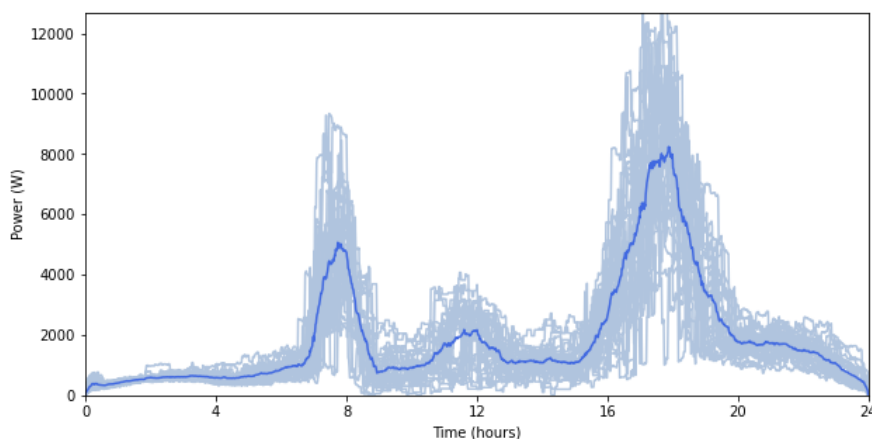
- **Den første grafen** viser snittbelastningen beregnet gjennom et helt år. Grafen viser forventet forbruk på en timesbasis, hvor 0 tilsvarer klokken 00.00, og 24 tilsvarer 24.00.
- **Den andre grafen** presenterer dag for dag forbruket for en måned, 30 dager. Denne viser at det er små variasjoner i forventet forbruk for de enkelte dagene. Den lyseblå fargen viser verdier fra hver enkelt dag, og består av varierende verdier. Den kraftige blå linjen viser snittet av alle simuleringene, og blir den dimensjonerende faktoren i prosjektet.
- **Den tredje grafen** er en lastvarighets kurve. Denne visualiserer hvor mye av tiden anlegget krevet maksimal last. Med denne kurven kan man se om

en vesentlig del av forbruk skjer kun i korte perioder. Dette er nyttig for å få et bilde av hva slags forbruk anlegget bør dimensjoneres for, og om det er noen ekstremverdier som påvirker dimensjoneringen ekstra mye.

7.1.1 Scenario 1

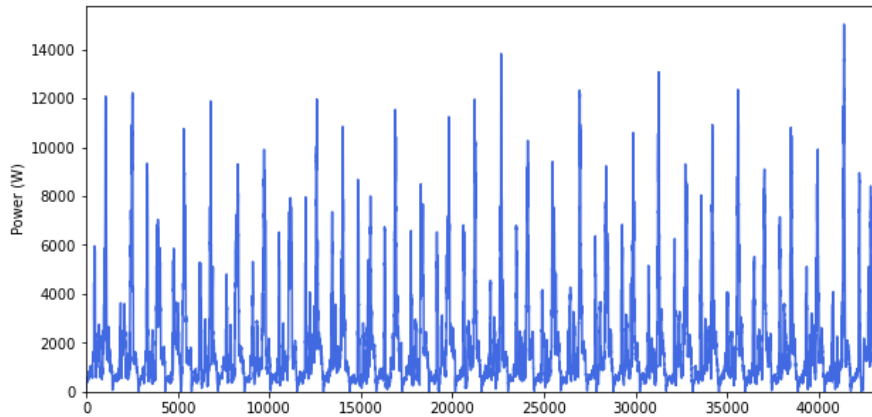
Figur 7.1 viser effektforbruket i watt (W) over en 24-timers periode simulert for et år. De lyseblå linjene representerer enkelte dager, mens den mørkeblå linjen viser gjennomsnittet for hele året. Scenario 1 fremstiller det forbruket man kan forvente ut fra dagens situasjon med et mer begrenset bruksmønster.

To markante forbrukstopper er synlige rundt kl. 08:00 og mellom kl. 18:00 og 19:00, disse sammenfaller med forventet tidspunkt for matlaging, og tydeliggjør hvor stor del av belastningen elektrisk matlaging står for. De skyggelagte områdene indikerer variasjonen i dataene, og gir innsikt i minimums- og maksimumsverdier for forbruket.



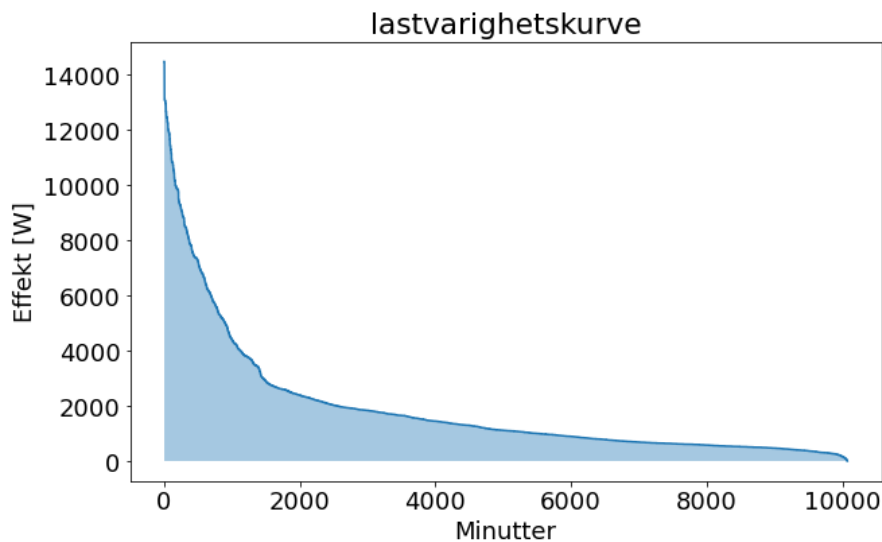
Figur 7.1 - Daglig effektforbruk scenario 1

Figur 7.2 presenterer en detaljert visualisering av effektforbruket over en 30-dagers periode, hvor hver enkeltstående stolpe representerer det daglige forbruket målt i watt. Dataene viser betydelige svingninger i effektforbruket fra dag til dag, som illustrerer hvordan forbruket kan endre seg.



Figur 7.2 - 30 dagers effektforbruk

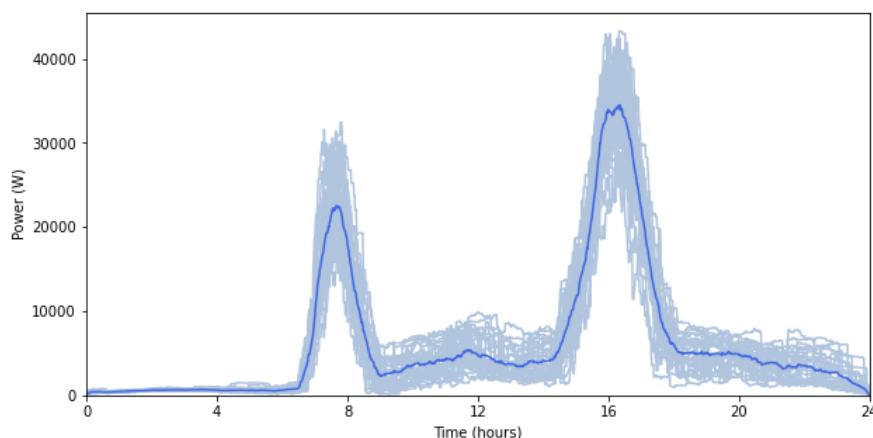
En lastvarighetskurve viser i figur 7.3 sorterte effektverdier (i kilowatt) over en uke (i minutter), og illustrerer variasjoner i forbruket. Fra figuren kan det sees at de høyeste effektverdiene, opp mot 14 kW, oppstår sjelden og representerer en liten del av det totale tidsrommet. De lavere effektverdiene, ned mot 0 kW, oppstår oftere og varer lengre. Dette vises ved den bratte nedgangen i begynnelsen av kurven og den gradvise nedgangen mot slutten. Kurven fremhever betydelige variasjoner i effektbehovet, med kortvarige perioder av høyt forbruk og lengre perioder med lavere forbruk. For å håndtere disse toppene er bruk av batterier nødvendig for å kunne levere tilstrekkelig effekt. Batterier kan lagre energi ved lavt forbruk og levere under topper, og dermed sørge for produksjonskapasiteten ikke må overdimensjoneres.



Figur 7.3 - Lastvarighetskurve scenario 1. Laget med chatGPT

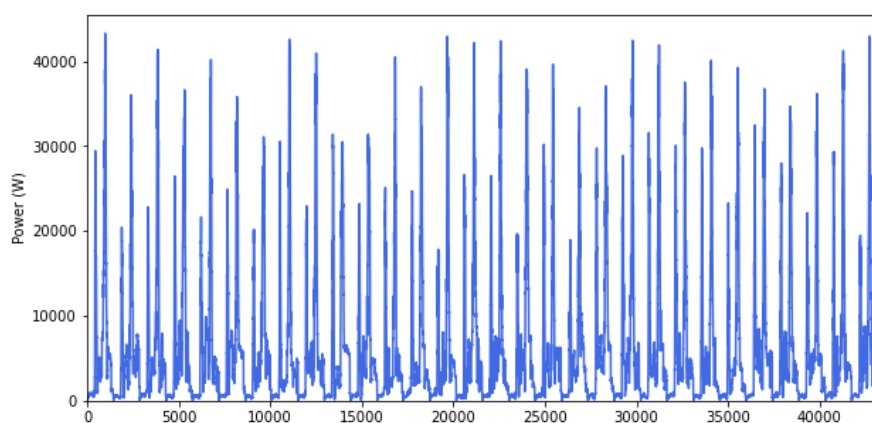
7.1.2 10 års-scenario (scenario 3)

Figur 7.4 presenterer et antatt gjennomsnittlig daglig effektforbruk ti år i fremtiden. Diagrammet angir forbruket av elektrisk kraft i watt mot klokkeslettet over en 24-timers periode. På samme måte som i forrige scenario observeres det topper forbundet med matlaging rundt kl. 8 og 16.



Figur 7.4 - Forventet gjennomsnittlig daglig effektforbruk om 10 år

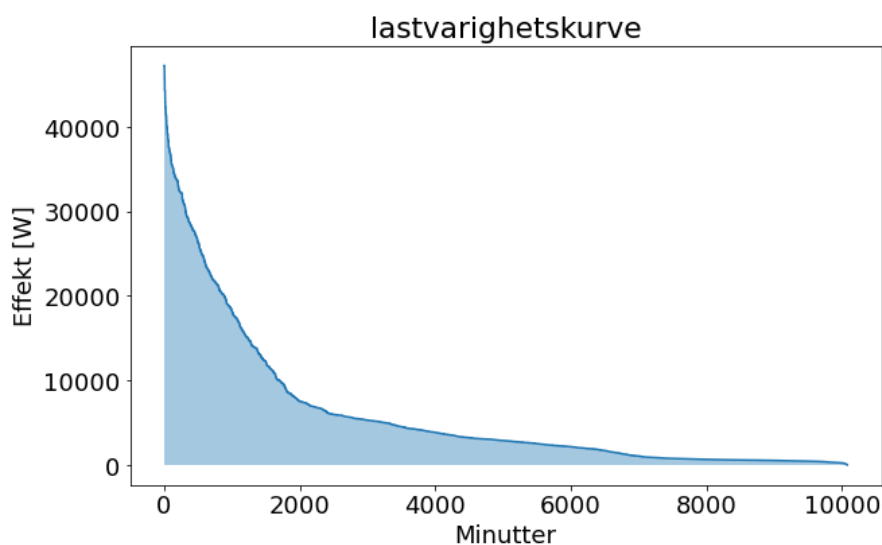
Det månedlige effektforbruket på timebasis etter ti år vises i figur 7.5. Den klare og gjentatte opptreden av tidslinjens topper indikerer perioder med høyt forbruk. Toppverdier over 40 kW indikerer en sterk økning i forbruket.



Figur 7.5 - Forventet effektforbruk over 30 dager om 10 år

Figur 7.6 viser en simulert last-varighetskurve for en uke om 10 år (scenario 3), som kartlegger effektforbruk mot forbrukets varighet. De høyeste effektnivåene starter ved omtrent 43 kW og avtar raskt innen de første 2000 minuttene, som

indikerer kortvarige perioder med intensivt forbruk. Deretter følger en jevnere nedgang som representerer lengre perioder med moderat til lavt forbruk. Denne kurven reflekterer vanlige effektforbruksmønstre, med toppforbruk etterfulgt av lavere belastning over tid. Arealet under kurven representerer det totale effektforbruket over perioden. Kurven illustrerer også at høye kraftbehov oppstår sjeldnere enn lave kraftbehov, som er typisk for mange energisystemer.



Figur 7.6 - Lastvarighetskurve om 10 år (scenario 3). Laget med chatGPT

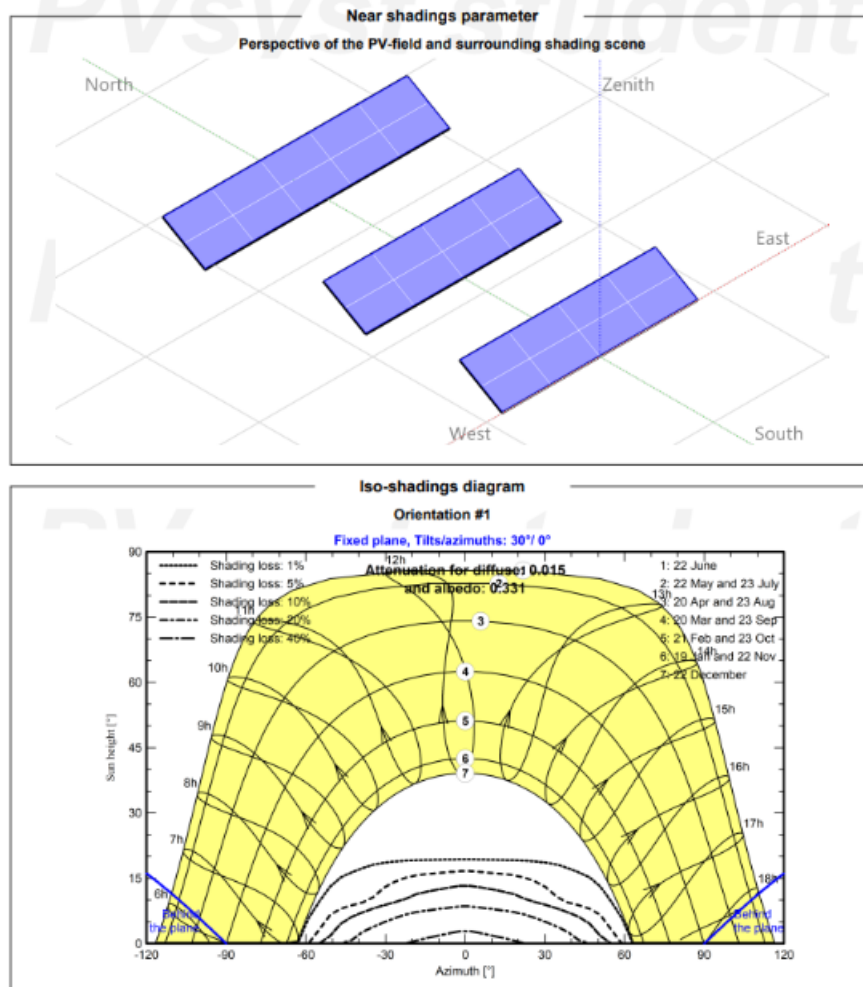
7.2 Simuleringer i PVsyst

For å gi et bedre innblikk i hva resultatene i PVsyst er basert på, blir det her lagt frem fem forskjellige scenarier.

Systemet i scenario en og to er bygget opp av 26 moduler, som har en nominell effekt (P_{nom}) på 10,40 kWp. Det brukes en omformer med nominell effekt på 9,00 kWac. Valget her er basert på ønske om minimale kostnader og god drift av systemet. Batteriene som blir brukt i alle scenarioene er litium-ion batterier med spenning på 25,6 V og kapasitet på 180 Ah. Solcellepanelene er 400 Wp tosidige paneler.

7.2.1 Scenario 1

Dette anlegget har minimal produksjon for å dekke en dag med forbruk, og har kun batterilagring for en dag. Batterienheten her består av 13 enheter i serie, som resulterer i samme utgangsspenning (26 V), men en totalkapasitet på 2340 Ah.



Figur 7.7 - Oppsett av solcellepaneler og skyggeforhold. Scenario 1 og 2 [62]

Komponent	Spesifikasjoner	Antall
Solcellepanel	400 Wp bifacial paneler	26
Batteri	26 V 180 Ah	13
Omformer	9 kWac	1

Tabell 7.1 - Systemspesifikasjoner scenario 1

	Produsert effekt	Manglende effekt	Overflødig effekt	Dekningsgrad
Mengde	14.386 kWh/year	2.053 kWh/year	1.118 kWh/year	87,5 %

Tabell 7.2 - Systemytelse scenario 1

7.2.2 Scenario 2

Her er det kun endret på batterioppsettet sammenlignet med scenario 1, slik at det dekker to dager med lagring. Det er koblet to serier av 13 enheter parallelt, slik at spenning dobles til 51,2 V.

Komponent	Spesifikasjoner	Antall
Solcellepanel	400 Wp tosidige paneler	26
Batteri	26 V 180 Ah	26
Omformer	9 kWac	1

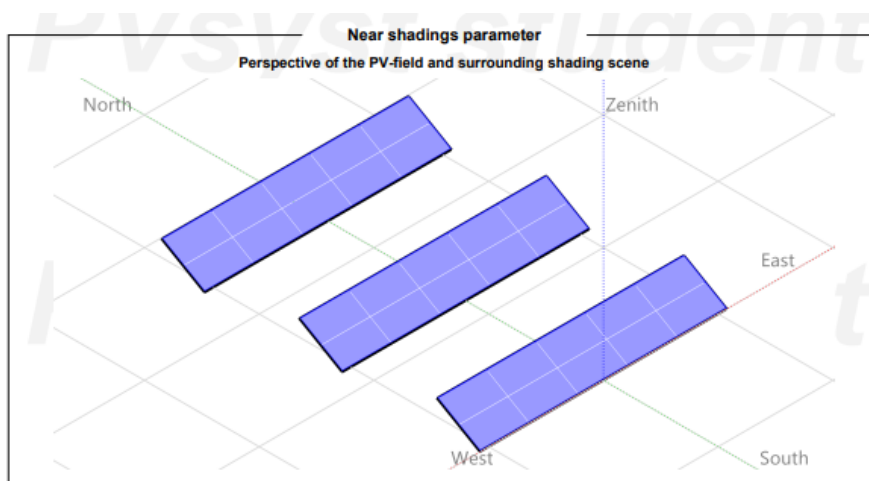
Tabell 7.3 - Systemspesifikasjoner scenario 2

	Produsert effekt	Manglende effekt	Overflødig effekt	Dekningsgrad
Mengde	15.031 kWh/year	1.408 kWh/year	299 kWh/year	91,4 %

Tabell 7.4 - Systemytelse scenario 2

7.2.3 Scenario 3

Antall paneler er her økt, slik at produksjonen øker til å ha nominell effekt på 12 kWp. Omformerer som brukes er fortsatt den samme, men opererer nå med mer belastning. Batterikapasiteten er dimensjonert til å dekke en dag med forbruk.



Figur 7.8 - Oppsett av solcellepaneler. Scenario 3 og 4 [62]

Komponent	Spesifikasjoner	Antall
Solcellepanel	400 Wp tosidige paneler	30
Batteri	26 V 180 Ah	13
Omformer	9 kWac	1

Tabell 7.5 - Systemspesifikasjoner scenario 3

	Produsert effekt	Manglende effekt	Overflødig effekt	Dekningsgrad
Mengde	15.063 kWh/year	1.376 kWh/year	2.859 kWh/year	91,6 %

Tabell 7.6 - Systemytelse scenario 3

7.2.4 Scenario 4

Systemet av solcellepanelene er i dette scenarioet samme som i scenario 3. I likhet med endring fra scenario 1 til 2, er det samme gjort her. Batteristørrelsen er utvidet til å dekke to dagers forbruk. Dette resulterer i mindre overflødig effekt, samt mindre manglende effekt i systemet.

Komponent	Spesifikasjoner	Antall
Solcellepanel	400 Wp tosidige paneler	30
Batteri	26 V 180 Ah	26
Omformer	9 kWac	1

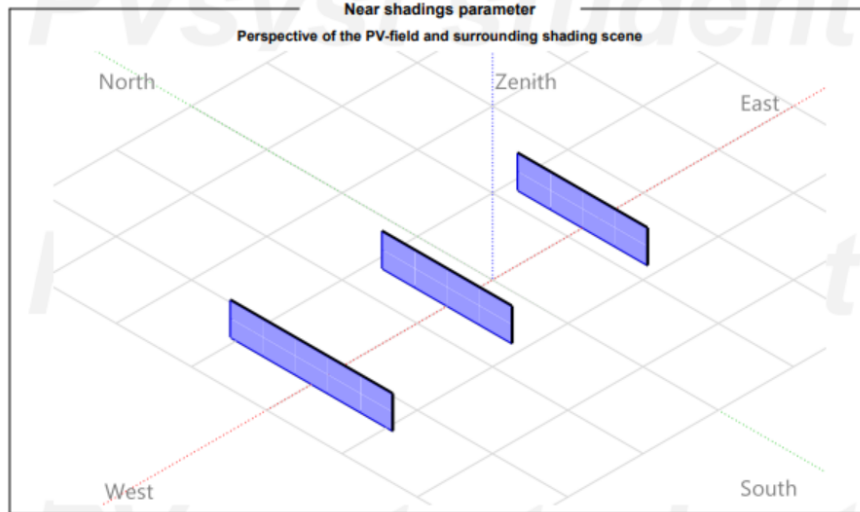
Tabell 7.7 - Systemspesifikasjoner scenario 4

	Produsert effekt	Manglende effekt	Overflødig effekt	Dekningsgrad
Mengde	15.795 kWh/year	644 kWh/year	1.931 kWh/year	96,1 %

Tabell 7.8 - Systemytelse scenario 4

7.2.5 Scenario 5

Dette scenarioet er tatt med for å vise en alternativ måte å sette opp panelene på som ikke følger optimaliseringen fra PVsyst. Scenarioet har de samme dimensjonene som i scenario 2, altså både solcellepaneler, batterier og inverter er like i størrelse. Forskjellen her er orienteringen av panelene, som nå står med 90 graders vinkel, og er vendt øst-vest. Dette er tatt med for å vise et alternativt oppsett.



Figur 7.9 - Oppsett av solcellepaneler scenario 5 [62]

Komponent	Spesifikasjoner	Antall
Solcellepanel	400 Wp tosidige paneler	30
Batteri	26 V 180 Ah	26
Omformer	9 kWac	1

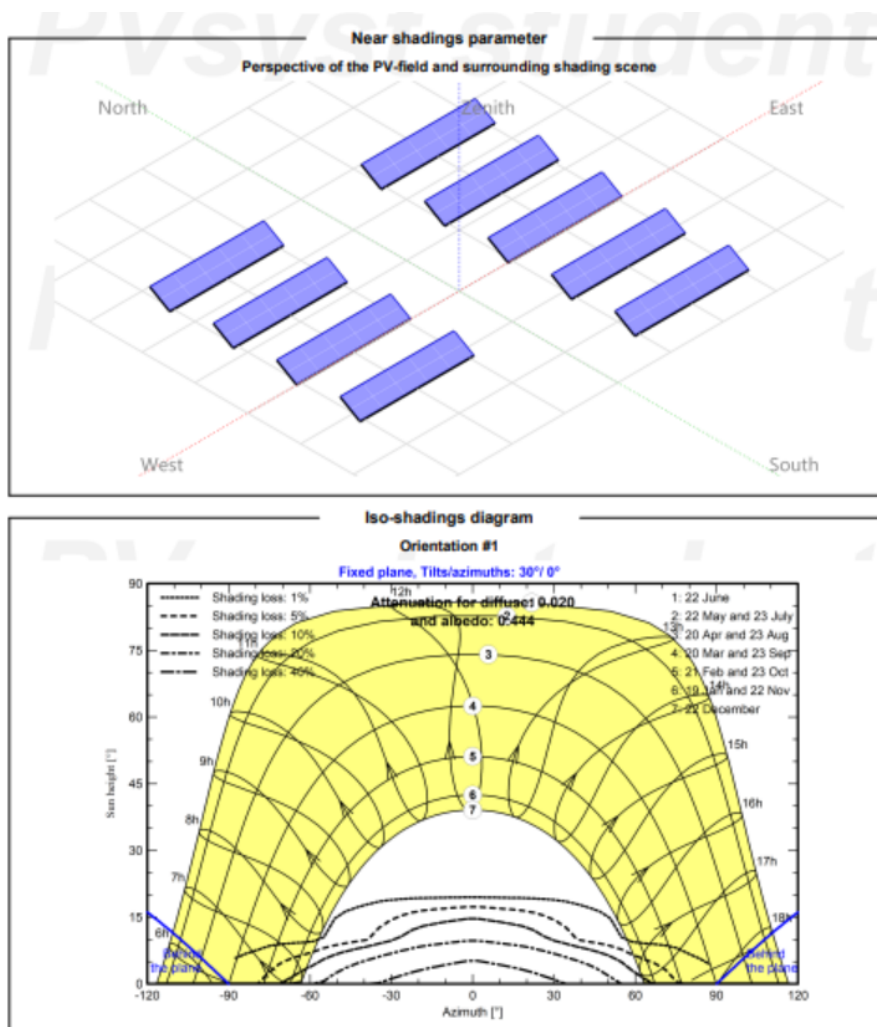
Tabell 7.9 - Systemspesifikasjoner scenario 5

	Produsert effekt	Manglende effekt	Overflødig effekt	Dekningsgrad
Mengde	13.922 kWh/year	2516 kWh/year	32 kWh/year	84,69 %

Tabell 7.10 - Systemytelse scenario 5

7.2.6 10-års scenario

Her er simuleringene gjort med henhold til forbruksprofilen som forutser behovet om 10 år. Panelene er utvidet, og batterikapasiteten økt til å dekke en dag med forbruk.



Figur 7.10 - Oppsett av solcellepaneler og skyggeforhold. 10 års-scenario [13]

Komponent	Spesifikasjoner	Antall
Solcellepanel	400 Wp tosidige paneler	90
Batteri	26 V 180 Ah	39
Omformer	9 kWac	3

Tabell 7.11 - Systemspesifikasjoner scenario 10 år

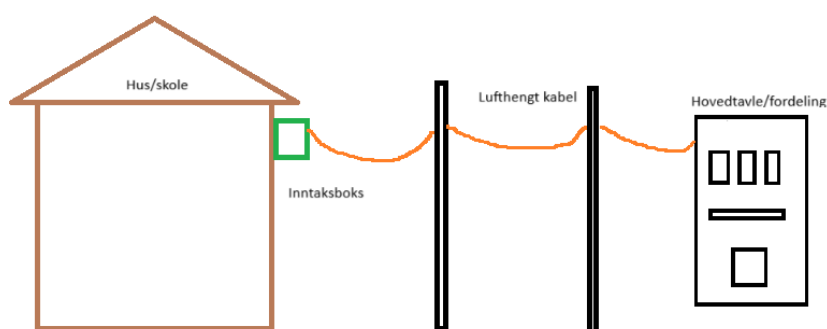
	Produsert effekt	Manglende effekt	Overflødig effekt	Dekningsgrad
Mengde	50.336 kWh/year	2.253 kWh/year	6.757 kWh/year	95,72 %

Tabell 7.12 - Systemytelse scenario 10 år

7.3 Distribusjonsnett

Ved utbygging av distribusjonsnett vil hovedfordeling plasseres i nærheten av skolen og hente inn kabler fra solcellepanelene. Her vil omformeren være plassert sammen med batteribank og en tavle hvor vern for utgående kurser. I hovedfordelingen vil det da være 2 kurser som forsyner hvert sitt radialnett. Disse radialnettene forsyner de nærliggende husene og skolen. I tillegg til det være en kurs som går til høyspent delen som skal sende energi til landsby del 2.

Gjennom landsbyen vil strømmen bli ført med en EX kabel i et luftspent nett med strømstolper igjennom landsbyen. Fra EX kabelen vil man benytte seg av kontaktklemmer, som klemmer seg gjennom isoleringen på EX kabelen, slik at man får kontakt med metallet på innsiden. Fra kontaktklemmen går det en kabel til vegg på hus/skole, hvor et lite inntaksskap med en inntakssikring og overspenningsvern er plassert, inntakssikring ved husvegg blir grensesnitt hvor huseier sitt anlegg begynner.



Figur 7.11 - Distribusjon fra hovedtavle til forbruker

For landsby del 2 vil forsyning gå via et høyspentanlegg. Her vil spenning transformerer opp ved skolen, og ned ved landsbydel 2. I landsbydel 2 blir det en ny underfordeling, som fordeler strømmen ut på 2 nye radialnett som igjen forsyner de to husgruppene i dette området.

I utregningene for antall master og lengde med kabel er det oppgitt med og uten en 30 % sikkerhetsmargin, dette er gjort ettersom en nøyaktig oversikt er umulig å levere uten en konkret befaring. Det reelle antallet master og lengde med kabel

vil gjerne være et sted mellom disse to verdiene.

For prosjektet er det ikke bestemt en spesifikk transformator for bruk i høyspentdelen av anlegget. Her har gruppen lite erfaring, og har derfor gjort beregninger med utgangspunkt i en 11 KV transformator funnet på Alibaba, med en effekt på 30 KVA [58].

7.3.1 Lavspent distribusjon

Antall master og lengde med kabel brukt for lavspent distribusjon i mikronettet.

	Uten sikkerhetsmargin	Med 30% sikkerhetsmargin
Antall master	71 stk	93 stk
Lengde kabel	4.000 m	5.200 m

Tabell 7.13 - Lavspent lengde av kabel og antall master

7.3.2 Høyspent distribusjon

Antall master og lengde med kabel brukt for høyspent distribusjon i mikronettet.

	Uten sikkerhetsmargin	Med 30% sikkerhetsmargin
Antall master	23 stk	29 stk
Lengde kabel	8.100 m	10.530 m

Tabell 7.14 - Høyspent lengde av kabel og antall master

7.3.3 Fellesføring

Antall master brukt under fellesføring av høyspent og lavspent, her brukes det avstandkravene for lavspent.

	Uten sikkerhetsmargin	Med 30% sikkerhetsmargin
Antall master	18 stk	23 stk

Tabell 7.15 - Antall master fellesføring

7.3.4 Tapsberegninger

Tap på linjer fra landsby del 1 av mikronettet. Verdiene er hentet fra Febdok.

Fordeling	Lengde	Tap i kW
Husklyng 1	700	1,752
Husklyng 2, skole	700	1,622

Tabell 7.16 - Tap landsby del 1

Tap på linjer fra landsby del 2 av mikronettet. Verdiene er hentet fra Febdok.

Fordeling	Lengde	Tap i kW
Husklyng 3	400	0,45
Husklyng 4	400	0,45

Tabell 7.17 - Tap landsby del 2

Beregnet tap fra landsby del 2 sett fra landsby del 1.

- HE: Høyeste effektforbruk. 10 kW
- TL: Tap lavspent. 0,9 kW
- TnT: Tomgangstap ned-transformator. 0,1 kW
- TEn: Transformatoreffektivitet ned. 4 %
- TEo: Transformatoreffektivitet opp. 4 %
- ToT: Tomgangstap opp-transformator. 0,1 kW

$$Tap = \left(\frac{10kW + 0,9kW + 0,1kW}{0,04 \cdot 0,04} - 0,1kW \right) - 10kW = 2,036kW$$

Dette gir da den totale tapoversikten ved maksimalt forbruk.

	Tap i kW
Landsby del 2	2,036 kW
Landsby del 1	3,374 kW
Totalt for mikronettet	5,410 kW

Tabell 7.18 - Totale tap for distribusjonsnettet ved maksimalt forbruk

For beregning av kortslutningsstrømmer er det gjort et grovt overslag uten å kjenne til den spesifikke omformeren, ut fra disse beregningene ser man at forventet kortslutningsstrøm ved produksjonssted er på 43,5 A.

$$\text{Kortslutningsberegninger} : \frac{10000W}{230V} = 43,5A$$

7.3.5 Febdok

Beregningene for distribusjonsnettet tar utgangspunkt i et forventet behov i fremtiden, og er satt opp med utgangspunkt i antagelser og tilpasninger presentert i rapporten. Selv om andre normer og standarder kan gjelde i Nepal, så anbefales det å legge seg på eller nærme den linjen som er presentert i rapporten. De norske standardene som denne rapporten er bygget på, vil gi en god sikkerhetsmargin i anlegget og sikre et trygt nett.

Gjennom beregninger i Febdok er det bestemt kabeldiameter og nødvendige vern i utbyggingen. For sikringer og overspenningsvern er det i utregningen benyttet Schneider sikringer, ettersom erfaring viser at disse takler de lave kortslutningsverdiene, og dermed passer best i et svakt nett. Det antas at lokale produsenter vil velges for den faktiske utbyggingen, og det er derfor ikke lagt stor vekt på fabrikat i denne rapporten. I tabellen under er nødvendig antall vern presentert.

For:	Vern	Antall
Hus/gårdshus	Inntakssikring 2·10 A	45
Skole	Inntakssikring 4·20 A	1
Bebyggelse	Overspenningsvern hus/skole	46
Trafo	Overspenningsvern trafo	2
Sikring tilførsel	Sikring 40 A fra PV	1
Sikring avganger hovedtavle	Sikring 4·25 A	5

Tabell 7.19 - Oversikt over vern i mikronettet

For å forsyne kundene er det valgt distribisjon ved en luftlinje. Her benyttes en EX kabel, ettersom denne er beregnet for luftinstallasjoner og har gode egenskaper både i UV-bestandighet og tåler strekkreftene som oppstår ved luftheng mellom stolper. Mellom komponenter som omformer, hovedtavle og transformator anbefales det å benytte en PFXP type kabel, ettersom disse har mekanisk styrke og har en kappe som tåler både UV-stråling og andre værpåkjenninger. Denne type kabel

er også valgt fra luftlinjen inn til hus/skole/gårdshus, men her bør man vurdere en variant av EX-kabel/gummikabel om strøm til hus blir hentet ut ved luftstrek. Det er tatt utgangspunkt i en gjennomsnittlig avstand på 10 m fra distribusjonskabel til forbrukere. I tabell under presenteres valgt kabel i anlegget.

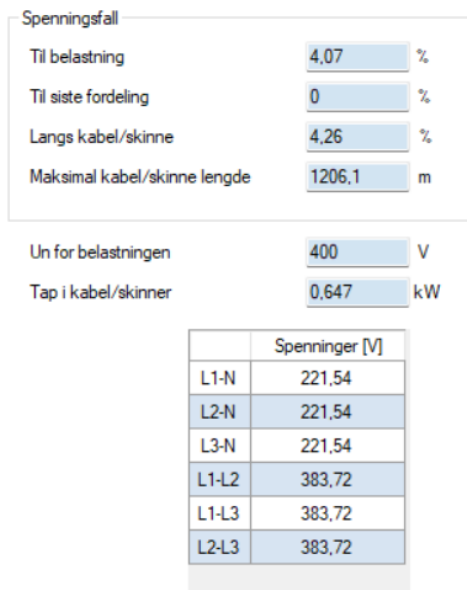
Fra	Til	Kabel	Lengde [m]
Omformer	Hovedfordeling	PFXP 5·16 mm ² CU	5
Hovedfordeling	Husklynge 1	EX 4·50 mm ² AL	700
Hovedfordeling	Husklynge 2	EX 4·50 mm ² AL	700
Hovedfordeling	Transformator 400 V til 11 KV	PFXP 5·10 mm ² CU	10
Transformator 11 KV til 400 V	Underfordeling	PFXP 5·10 mm ² CU	10
Underfordeling	Husklynge 3	EX 4·50 mm ² AL	400
Underfordeling	Husklynge 4	EX 4·50 mm ² AL	400
Fra radialnett/luftnett	Hus/skole/gårdshus	PFXP 5·5 mm ² CU	460

Tabell 7.20 - Oversikt over kabler brukt i mikronettet

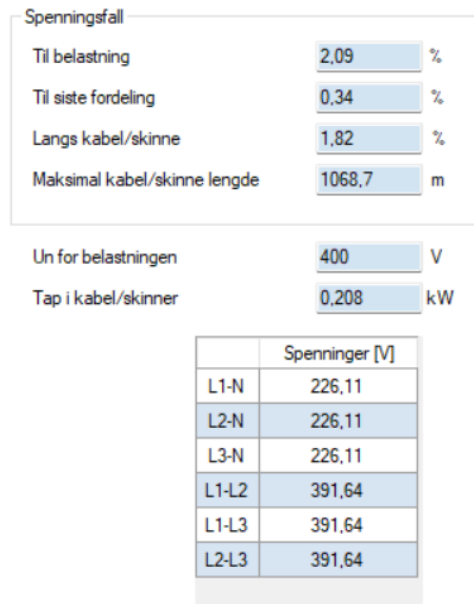
7.3.6 Spenningsfall til forbruker

I prosjekteringen er en betydelig del av arbeidet å begrense spenningsfallet til forbruker, slik at tilkoblet utstyr fungerer optimalt. Her er det tatt utgangspunkt i en forsyningsspenning fra omformer på 400 V. I trafo er det vanlig å kunne justere spenning med $2 \cdot \pm 2.5\%$ noe som totalt tilsvarer 5 % justeringsmulighet. Beregningene har tatt utgangspunkt i en levert spenning på høyspentsiden i landsby del 2 på 11 KV.

I figur 7.12 til venstre, ser man at spenningsfall til ytterste forbruker forventes å bli 4.07 % til forsyning for husklynge 1 og 2, og figur 7.13 viser at man får spenningsfall på 2.05 % til husklynge 3 og 4. Dette er godt innenfor kravet som er satt for prosjektet. Det hadde vært mulig å gå ned ett hakk på tverrsnitt på kabel uten å få for stort spenningsfall, men det vurderes at en mer stabil løsning er å gå for 50 mm² for distribusjon, ettersom det vil bli noe spenningsfall i installasjon i hus/skole, og det derfor er fint å ha en margin å gå på.

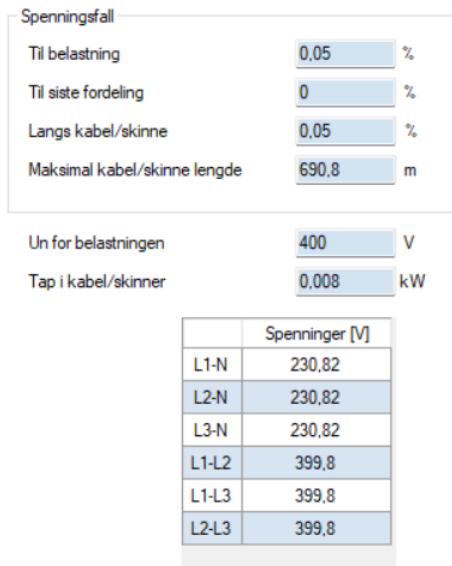


Figur 7.12 - Husklynge 1 & 2

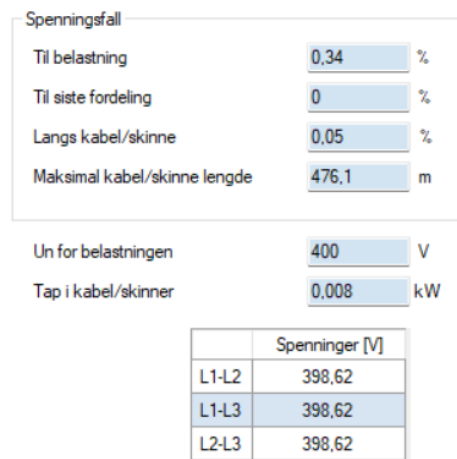


Figur 7.13 - Husklynge 3 & 4

For forsyning til/fra transformator ser man at spenningsfallet blir minimalt, og figur 7.14 og 7.15 viser at det forventes et neglisjerbart spenningsfall fra fordelinger til høyspent.



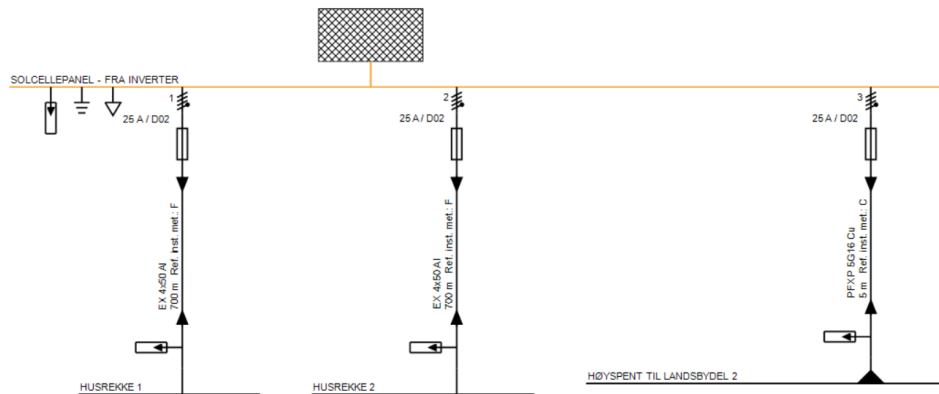
Figur 7.14 - Spenningsfall til høyspent 400 V/11 KV



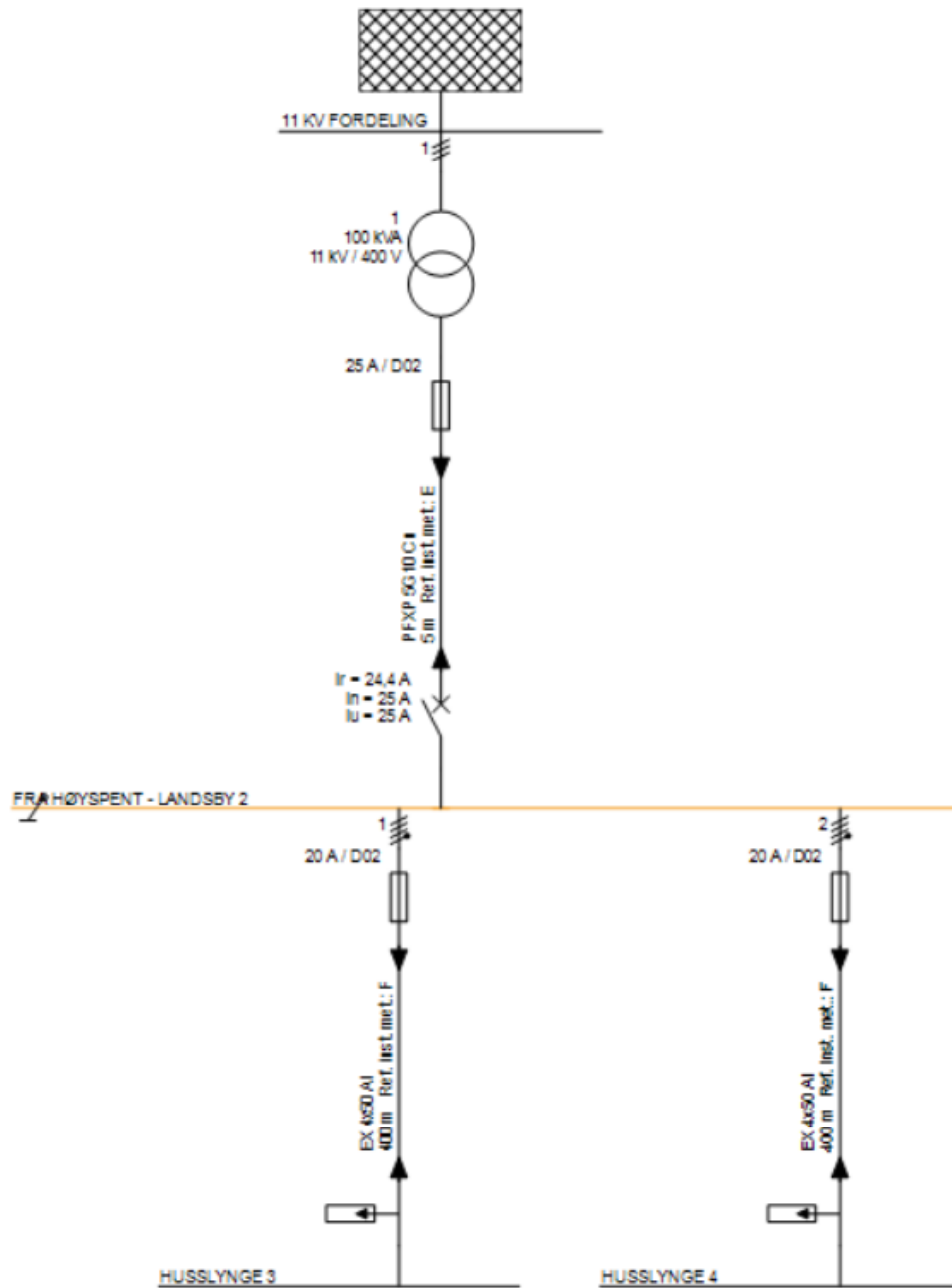
Figur 7.15 - Spenningsfall fra høyspent 11 KV/400 V

7.3.7 Fordelinger

Under vises utklipp fra Febdok, figur 7.16 viser kurser og avganger som er nødvendige i hovedtavlen med skolen, samtidig som figur 7.17 viser fordelingen med avganger for landsby del 2, som befinner seg på den andre siden av høyspentoverføringen.



Figur 7.16 - Oppbygging av fordeling 1



Figur 7.17 - Fordeling 2

7.4 Økonomisk oversikt

I det følgende delkapittelet vil det bli presentert kostnader for de ulike delene av mikronettet. Prisene presentert er estimat basert på tall levert av GridVille, og hentet fra eksempler på nettet. Solcellepanel [72], batteripakker [73], og omformer [74] er hentet fra nettet. Prisene er hentet inn fra ulike sider, noen norske og noen utenlandske. Så for å få et mer nøyaktig bilde bør det opprettes dialog med konkrete leverandører.

7.4.1 Distribusjonsnett

Under er det presentert priser for selve strømmettet og vern hver for seg. Disse prisene er estimat og ikke realistiske, men kan gi en pekepinn på kostnadsrammen. Arbeidskostnader er ikke tatt med som ønsket av GridVille.

Distribusjonsnettet			
Komponent	Pris per stk/m	Antall	Pris totalt
400V luftlinje	1 USD	4.000/5.200 m	4.000/5.200 USD
11kV luftlinje	2 USD	8.100/10.530 m	16.200/21.060 USD
Strømstolper	300 USD	94/122	28.200/36.600 USD
Transformatorer	2.000 USD	2	4.000 USD
Totalt			52.400/66.860 USD

Tabell 7.21 - Økonomisk oversikt for distribusjonsnettet

Vern	Antall	Pris	Pris totalt
Inntakssikring 2·10 A [75]	44	61 USD	2.684 USD
Inntaksikring 4·20 A [76]	1	88 USD	88 USD
Sikring 40 A fra PV [77]	1	241 USD	241 USD
Sikring 4·25 A [78]	5	89 USD	445 USD
Overspenningsvern hus 2P [79]	44	124 USD	5.456 USD
Overspenningsvern skole 4P [80]	1	148 USD	148 USD
Overspenningsvern trafo [81]	2	20 USD	40 USD
Totalt			9.102 USD

Tabell 7.22 - Økonomisk oversikt for vern og sikringer

7.4.2 Produksjon og lagring

Under er det presentert priser for de ulike scenarioene for produksjon og lagring. Dette gir et innblikk i hvor mye ekstra kostnader en kan forvente ved å justere opp produksjon- og/eller lagrings-kapasitet. Scenario Installasjonskostnader er ikke tatt med som ønsket av GridVille.

Produksjon og lagring - Scenario 1			
Komponent	Pris per stk	Antall	Pris totalt
Solcellepanel	139 USD	26	3.614 USD
Batterier	770 USD	13	10.010 USD
Omformer	3.100 USD	1	3.100 USD
Totalt			16.724 USD

Tabell 7.23 - Økonomisk oversikt for produksjon og lagring - Scenario 1

Produksjon og lagring - Scenario 2			
Komponent	Pris per stk	Antall	Pris totalt
Solcellepanel	139 USD	26	3.614 USD
Batterier	770 USD	26	20.020 USD
Omformer	3.100 USD	1	3.100 USD
Totalt			26.734 USD

Tabell 7.24 - Økonomisk oversikt for produksjon og lagring - Scenario 2

Produksjon og lagring - Scenario 3			
Komponent	Pris per stk	Antall	Pris totalt
Solcellepanel	139 USD	30	4.170 USD
Batterier	770 USD	13	10.010 USD
Omformer	3.100 USD	1	3.100 USD
Totalt			17.280 USD

Tabell 7.25 - Økonomisk oversikt for produksjon og lagring - Scenario 3

Produksjon og lagring - Scenario 4			
Komponent	Pris per stk	Antall	Pris totalt
Solcellepanel	139 USD	30	4.170 USD
Batterier	770 USD	26	20.020 USD
Omformer	3.100 USD	1	3.100 USD
Totalt			27.290 USD

Tabell 7.26 - Økonomisk oversikt for produksjon og lagring - Scenario 4

Produksjon og lagring - 10 års-scenario			
Komponent	Pris per stk	Antall	Pris totalt
Solcellepanel	139 USD	90	12.510 USD
Batterier	770 USD	39	30.030 USD
Omformer	3.100 USD	3	9.300 USD
Totalt			51.840 USD

Tabell 7.27 - Økonomisk oversikt for produksjon og lagring - 10 års-scenario

Kapittel 8

Diskusjon

I det følgende kapittelet vil metoden og resultatene presentert i oppgaven bli diskutert. Formålet er å se på hva som er blitt gjort og oppnådd i prosjektoppgaven, og om målet med oppgaven har blitt tilfredsstillt. Dette gjelder spesielt med tanke på hvor replikerbart arbeidet gjennomført er for GridVille, ettersom det er en sentral del av oppgaven.

8.1 RAMP

For å lage realistiske forbruksprofiler for Thingan, Nepal, er det gjennomført omfattende analyser og nødvendige tilpasninger av RAMP-verktøyet. Gjennom prosjektet har RAMP vært sentralt, og de leverte effektberegningene har lagt grunnlaget for resten av arbeidet. Simuleringsmulighetene som finnes i RAMP har spart gruppen for omfattende arbeid med undersøkelser, intervjuer og effektberegninger lokalt i Thingan. Tilpasningsmulighetene i verktøyet er svært viktig og sentralt i arbeidet med prosjekteringen. At koden finnes gratis tilgjengelig på internett gjør at verktøyet enkelt kan tas i bruk av ideelle organisasjoner, uten at man trenger å ta vurderinger på kostnader på forhånd.

Installasjon

Selve installasjonen av RAMP inn mot utviklingsmiljøet spyder viste seg å være utfordrende. Selv om det både finnes dokumentasjon på RAMP sine hjemmesider, og en betydelig mengde artikler hvor RAMP har blitt benyttet, var det ingen publikasjoner som viste steg for steg oppbygging av programmet, og det var vanskelig å skjønne hva de forskjellige parameterne i programmet betydde. En del av utfordringen lå nok i begrenset programmeringserfaring i gruppen, noe som gjorde arbeidet med å kjøre de forskjellige pakkene vanskelig. Dette resulterte i at gruppen bare greide å kjøre RAMP på en av to PC'er, og mye tid gikk til feilsøking på programmet, istedenfor å jobbe med de faktiske simuleringene.

En annen utfordring med RAMP er at det kreves en forståelse av kultur og tradisjoner i landsbyen som skal simuleres. Programmet bestemmer forventet effektbruk

på bakgrunn av hvilke apparater som brukes i landsbyen, hvor mye av matlagingen som blir gjort med elektrisk energi, og hvilke tidsvinduer iløpet av dagen de forskjellige apparatene brukes. Ettersom gruppen ikke har hatt mulighet til å besøke landsbyen og snakke med de lokale selv, har mye av parameterene blitt bestemt på antagelser og et ganske tynt grunnlag, og det forventede forbruket gjenspeiler i stor grad gruppen og GridVilles egen oppfatning av forbruket i landsbyen. Dette leder til at det er betydelige feilmarginer i beregningene.

Mulige feilkilder med RAMP

Mulige feilkilder blir da om antall forbruksapparater og tidsbruk stemmer, selv om litteraturstudier antyder at forbruket etter en slik utbygging holder seg ganske stabilt, så har gruppen et tynt grunnlag til å forutsi hvor mye forbruket i landsbyen kommer til å øke. En annen feilkilde er at forbruket fra simulering til simulering kan variere ganske mye om man ikke simulerer for et stort nok tidsrom. Ved simuleringer på 30 dagers intervaller har gruppen sett variasjoner på rundt 10 %, noe som gjør at man kan få variasjoner av dimensjonerende effekt ut fra hvilken simulering man tar utgangspunkt i. For dimensjonerende effekt er det tatt utgangspunkt i en 365 dagers simulering, gruppen antar derfor at de største avvikene blir jevnet ut av dette.

Om gruppen har bommet på forventet forbruk kan man risikere at anlegget blir underdimensjonert ut fra det faktiske behovet som finnes. Dette er kritisk ettersom oppgaven er å levere et anlegg som gir en tilstrekkelig forsyningsgrad for landsbyen. Per dags dato finnes det ikke kritisk utstyr som medisinsk utstyr eller telefonmaster/signalanlegg som krever kontinuerlig strømforsyning, men det er fortsatt ønskelig å levere tilstrekkelig energi til landsbyen. Om gruppen har overdimensjonert anlegget så vil ikke dette ha de samme negative konsekvensene, her vil den største konsekvensen bli økt materialforbruk og en høyere kostnad enn det som hadde vært nødvendig. Dette tyder på viktigheten av et grundig arbeid med RAMP, hvor feil i simuleringen kan få store utslag i kostnads-spørsmål og i forsyningsikkerhet.

Viktige faktorer

I simuleringene ser man at det er matlaging som gir de største utslagene når det kommer til forbruk, det er derfor utslagsgivende når tidspunkt for matlaging gjennomføres. Om det viser seg at de faktiske tidspunktene varierer mer enn det gruppen har tatt høyde for i simuleringene, kan det tenkes at solcelleanlegget kan dimensjoneres for en lavere maks effekt. På den andre side, så kan en mindre variasjon i tidspunktet resultere i et høyere effektbehov i korte perioder, selv om dagsforbruket er det samme.

Simuleringsresultatene i seg selv er veldig nyttige, og gir et bra bilde av forbruket som kan forventes. Ved å eksportere resultatene til en CSV-fil var det enkelt å videre ta disse verdiene i bruk i PVsyst. Simuleringene gav et godt innblikk i

nødvendige dimensjoner i anlegget. Selv om RAMP gir en god tilnærming til det forventede forbruket, ser gruppen at det hadde vært nyttig med mer lokal kunnskap om forbruket og forbruksvanene i landsbyen. Gruppen vet lite om det faktiske forbruket med matlaging, og hvordan skolen er organisert og hvor stort behovet blir for ekstra ressurser i undervisningssammenheng. Det er kritisk at det legges ned tilstrekkelig arbeid i å tilpasse disse profilene til det aktuelle forbruket, for å oppnå en så økonomisk og bærekraftig installasjon som mulig, uten et for stort eller for lite dimensjonert anlegg.

Når det gjelder replikerbarhet hadde gruppen en plan om å lage en steg for steg fremgangsmåte for hvordan å ta i bruk RAMP. Dette har ikke blitt gjort ettersom det viste seg at programmet krever en høy grad av tilpasning til det konkrete prosjektet hvor det tas i bruk. Med fremgangsmåten i rapporten og vedlegg A er det gitt en forklaring på de forskjellige parameterne, samt hvordan programmet er blitt tatt i bruk i dette prosjektet. For detaljert installasjon er det derfor nødvendig å følge installasjonsguiden på hjemmesiden til RAMP, og sette av nødvendig tid til å sette seg inn i programmet.

8.2 PVsyst

PVsyst er et noe enklere program å ta i bruk, men det kommer med den ulempen at en lisens må kjøpes. Med en relativt grei pris er uansett brukervennligheten og funksjonaliteten som PVsyst tilbyr et naturlig valg. PVsyst som et program er intuitivt og ved hjelp av metoden presentert i denne oppgaven skal det være enkelt å følge steg for steg.

Ved å basere simuleringene i PVsyst på en forbruksprofil laget ved hjelp av RAMP vil simuleringene bli mer realistiske, forutsatt at forbruksprofilen fra RAMP også er realistisk. Å bruke en forbruksprofil som dimensjonerende faktor er et naturlig valg hvis formålet er å undersøke hva et mikronett faktisk trenger av produksjon- og lagringskapasitet.

PVsyst muliggjør en dyp innledende evaluering før en eventuell utbygging. Ved å endre parametere kan det visualiseres hvilken påvirkning det faktisk har på solcellesystemet. Dette er vist i resultatene presentert i prosjektet ved de forskjellige scenarioene. Her er det presentert hvordan systemet endrer seg ved å justere på produksjon- og lagringskapasiteten. Dette er to av de mest relevante parametere å endre på, men det er andre parametere som også kan endres på for å evaluere hvilket oppsett som gir best resultat for systemet.

Ved å se på dekningsgraden kan en se hvilket scenario som presterer best, den er høyest i scenario 4. Men scenario 4 er også det scenarioet hvor det er økt både antallet solcellepanel og batterier, og er derfor en god del dyrere en de andre scenarioene. Ved å se på scenario 2 og 3, hvor henholdsvis antallet solcellepanel og

batterier er blitt økt, kan en se at de presterer omtrent likt. Den største forskjellen er at scenario 3 "sløser" veldig med effekt, ettersom den ikke har et sted å lagre den ekstra effekten. For å oppnå det beste resultatet må en kombinere en økning i produksjon og lagring, men å oppnå en 100 % dekningsgrad med solcellepanel og batterier er kostbart.

En utfordring med simuleringene gjort i PVsyst er at tapene i det elektriske nettet ikke er mulig å ta med. Som et resultat av dette er det viktig å ta med tapsberegningene i tankene når dimensjoneringen gjøres. Tapene presentert i denne oppgaven er høyere enn de vil være i realiteten, ettersom tapsberegningene er gjort med det verst mulige tilfellet i tankene. Allikevel vil det være naturlig å overdimensjonere litt i forhold til hva PVsyst foreslår. Dette er siden PVsyst anslår ingen tap utover tapene tilknyttet solcellepanelene, batteriene og omformerer. Å gjennomføre en mer detaljert tapssimulasjon for mikronettet kan være en løsning for å finne ut tapene ved "vanlig" drift.

8.2.1 Orienteringen av panelene

Orienteringen av panelene er avgjørende for hvordan produksjonen vil se ut, ved å endre på tilt og azimuth vil produksjonsmønsteret endre seg. Det kan optimaliseres for høyere produksjon ved morgen og kveld ved å orientere panelene øst-vest, og det kan optimaliseres for et høyere forbruk om sommeren ved å minske tilt graden. I prosjekteringen som er gjort i denne oppgaven er det optimalisert for høyest effektproduksjon gjennom året, med en 30° tilt og orientert nord-sør. I vintermånedene vil solstrålingen ha noe forskjellig innfallsvinkel og varighet. Høye temperaturer vil ha negativ innvirkning på produksjonen, og sommermånedene er dermed utsatt for høyere grad av manglende energi. Det er perioder på året, og timer på døgnet der produksjonen er mer ettertraktet enn andre. Vurderinger om hvordan dette skal kombineres med batterikapasitet og kunnskap om hvilken rolle orienteringen har er avgjørende.

Vertikale paneler

Som alternativ orientering ble scenario 5 gjennomført. Panelene her er stående med 90° mot underflaten og hele systemet rotert øst-vest. Formålet er som nevnt i resultater at morgentoppen og kveldstoppen blir bedre dekket, ved at det produseres mer i disse periodene. Utenom ulempene som allerede har blitt nevnt, vil effekten per areal også være mindre, da panelene bør stå med 8-12 m mellomrom for å unngå for mye tap fra skyggelegging. I områder der arealet for utbygging er begrenset vil dette være en stor ulempe da panelene er spesielt utsatt for skyggelegging. Store avstander mellom panelene resulter også i økte kostnader for kabling [82]. I Thingan er arealet for utbyggingen stort nok, slik at det er de andre ulempene som er mer aktuelle.

Paneler med solar tracker

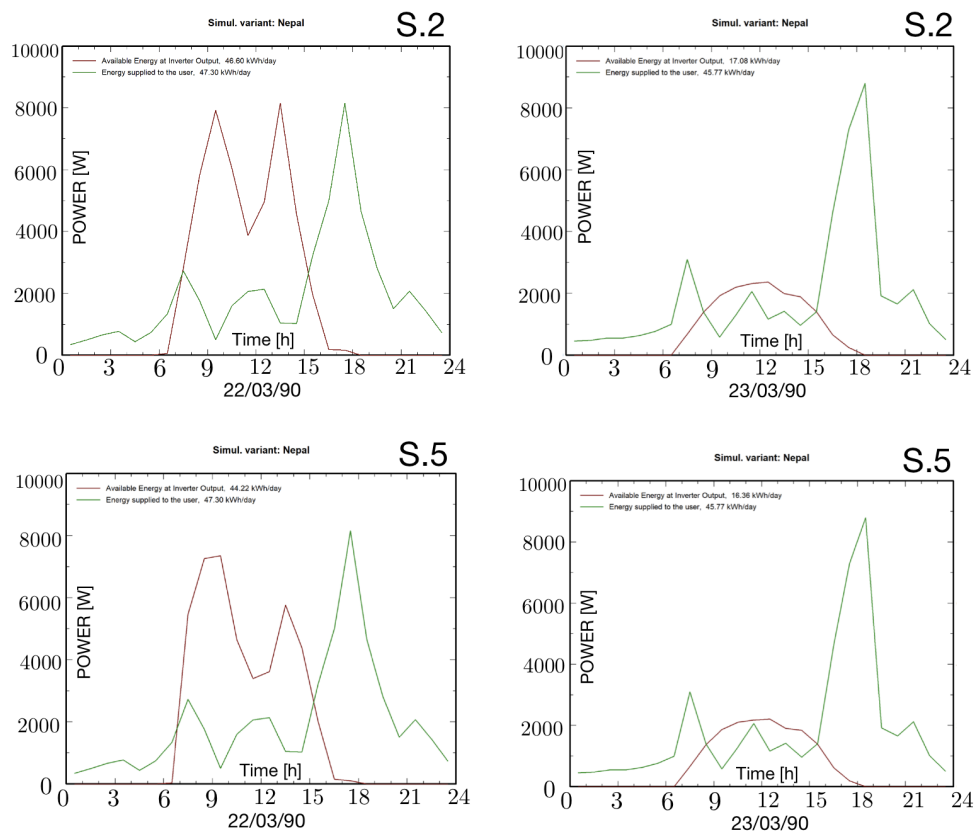
En enda mer avansert og mer effektiv variant, er paneler som følger etter solas bevegelse ved hjelp av installert solar tracker¹. Panelene beveger seg altså for å oppnå best mulig innfallsvinkel mesteparten gjennom dagen. Disse vil igjen være dyrere, samt ha flere deler som kan bli ødelagt, og risikere å ikke bli fikset dersom kunnskapen om montering og komponenter ikke er tilgjengelig lokalt [83].

8.2.2 Sammenligning av orientering

I denne delen er scenario 2 og scenario 5 fra PVsyst sammenlignet. De er valgt da komponentene er like i begge scenarioene, og forskjellen som orienteringen utgjør blir lett å se.

For å se forskjellen orienteringen av panelene vil medføre, er energien som er tilgjengelig på utgangen til omformeren sammenlignet med energien forbrukeren behøver. Dette gjøres ut ifra grafer produsert av PVsyst som viser denne sammenlikningen time for time for en dag av året. Verdiene har stor variasjon fra dag til dag, da det både er variasjon i behov av energi og tilgjengelig energi dag for dag. For å gi et innblikk av dette er det tatt med to påfølgende dager fra en måned fra begge scenarioene. De grønne kurvene viser energi som forbrukeren trenger, og de rød viser energi som er tilgjengelig på omformer utgangen. Dette viser at uavhengig av panelenes posisjonering, er det nødvendige med batteribank, da det en dag er overflødig med energi, og den neste ikke nok tilgjengelig. Ønsket om å bygge et mikronett med lave kostnader innebærer god kunnskap om hva som er tilgjengelig, og hva som kan minimeres uten å ha for stor innvirkning på systemets ytelse. Batteribank og omformer er nødvendig. Spørsmålet er da om, og eventuelt hvor betydelig, orienteringen av panelene er for å optimalisere systemet, og minimere kostnadene på disse komponentene.

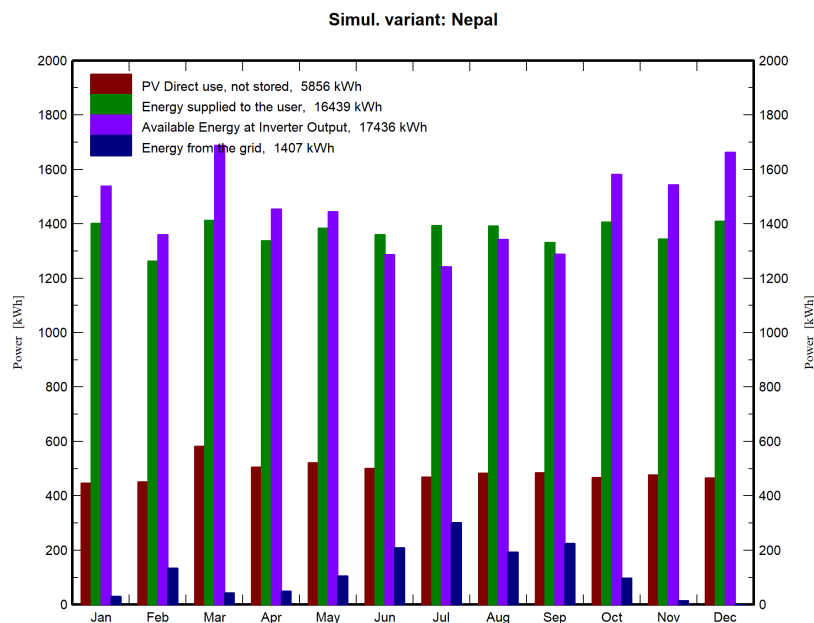
¹En ekstern enhet som orienter panelene mot solen



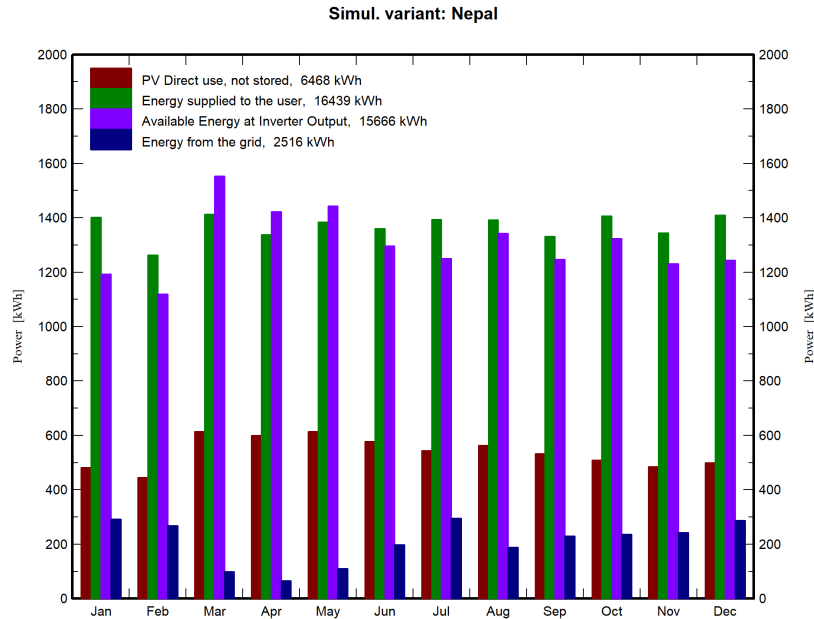
Figur 8.1 - Tilgjengelig energi vs. energibehov [62]

Scenario 2 har mer total tilgjengelig effekt på omformeren, men overskuddet som ikke blir benyttet av forbruker er unødvendig, og det er timingen som er viktig. Siden systemet ikke er koblet på et eksternt nett, kan ikke overskuddet selges videre slik det gjerne gjøres i systemer som er tilkoblet et nett. De mørkeblå søylene representerer energien hentet fra nettet. I denne sammenhengen er dette energi som systemet vil mangle, da det ikke er koblet til et nett. Det er tydelig at det er mangel på energi de månedene der det rett og slett ikke er nok tilgjengelig energi på omformeren totalt. Men det er også mangel på energi i mars, og de fleste andre månedene, som har et stort totalt overskudd. Dette er grunnet den korte og lave lagringskapasiteten. Når det blir produsert store overskudd enkelte dager, som figur 8.1 viser, vil det ikke bli lagret mer enn å dekke to dager med forbruk, og om det er flere påfølgende dager med lav produksjon vil det føre til mangel i noen perioder.

Her utnytter scenario 5 sin posisjonering som vises i de rød søylene. Den totale energien som blir direkte brukt fra panelene er 612 kWh høyere enn i scenario 2. Fordelen er at produksjonen er mer sentrert rundt tidene med behov, og mindre energi går tapt. Tross for dette vil ikke systemet produsere nok energi totalt til å dekke behovet, og mangelen på energien totalt er større enn i scenario 2.



Figur 8.2 - Månedlige verdier for scenario 2 PVsystem [62]



Figur 8.3 - Månedlige verdier for scenario 5 PVsystem [62]

8.3 Dimensjonering av distribusjonsnett

Dimensjoneringen av anlegget har ledet gruppen til mange nye problemstillinger, da det er en kompleks oppgave, og gruppen hadde lite erfaring med dimensjonering av slike anlegg fra før av. Mye av tiden har gått til å sette seg inn i programvare og gjøre litteraturstudier angående krav, vern, kabler og andre deler av distribusjonen. Etersom anlegget er ment til å vare i mange år, har det vært et ekstra fokus på å finne løsninger og dimensjonere slik at installasjonen kan fungere i lange tider. Etersom dimensjonerende verdier for distribusjonsnett er hentet fra RAMP og PVsyst er det ekstra viktig at det er gjort et bra arbeid i de tidligere fasene.

8.3.1 Bruk av Febdok

For beregningene er Febdok en sentral del av arbeidet. Programmet viste seg å være et effektivt verktøy for dimensjonering, og var spesielt nyttig da dimensjonene for anlegget er ganske store, og mye av arbeidet var relativt likt, slik at klipp og lim løsninger var mulig. En ulempe med dette programmet er at lisensen er ganske dyr, og det bør tas en vurdering om arbeidet er omfattende nok til at denne investering er verdt det.

Som et dimensjoneringsverktøy er Febdok utrolig effektivt, man slipper å gjøre omfattende utregninger for hånd, og det gis tilbakemeldinger om vern og kabler

ikke tilfredsstillende satte grenseverdier. Det er muligheter til å ta med nødvendige komponenter i anlegget som har innvirkning på strømføringssevne, spenningsfall mm.. Ved senere utbygginger er det raskt gjort å legge inn flere strømkilder, som f.eks. en generator eller om man kobler seg på det regionale nettet. Det vil også være enkelt å legge til nye fordelinger og hus i programmet. Om en skulle få ny effektkrevende industri i området, kan man fort se om eksisterende nett har den kapasiteten som trengs for å levere den nødvendige effekten. Om en i ettertid skulle ønske å sette opp et lignende anlegg, så kan man ta utgangspunkt i dagens anlegg, og tilpasse dette uten å måtte starte fra bunn.

Komplisert i bruk

Selv om Febdok er en stor ressurs i dimensjonering av større anlegg, så krever det også en god del bakgrunnskunnskap for å effektivt sette opp anlegget, og programmet er vanskelig å håndtere om man ikke selv har et bilde av nødvendige komponenter som trengs i anlegget. Det er ingen veiledning underveis når man setter opp fordelinger, og det er ingen beskrivelser som sier noe om "neste steg" i arbeidet. Her må man selv vite hvilke steg som må til, hvilke type vern som er vanlig å bruke i ulike deler av installasjonen og hvilke andre sikkerhetslementer som bør implementeres i installasjonen. Her er det lett å overse steg, og en kan fort ende i situasjoner hvor man velger et vern som ser bra ut i programmet, men som i virkeligheten er upassende å bruke. Det er heller ikke lett å vite når en er ferdig med prosjekteringen, ettersom man selv må vite hvilke steg som fortsatt må gjøres. Her kan en risikere at man har glemt å legge inn nødvendige kriterier, og at det da ikke blir gitt feilmeldinger ved beregninger, selv om anlegget i realiteten er uferdig. Programmet i sin helhet er ganske overveldende om man ikke har bakgrunn fra elektrobransjen eller lignende, og gruppen har basert seg mye på fagbakgrunn til enkeltpersoner i gruppen. Selv om det finnes veiledningsvideoer på nettet, er det vanskelig å finne eksempler med de samme problemstillingene som i dette anlegget, da programmet hovedsakelig blir brukt til å dimensjonere ett og ett bygg og ikke distribusjonsnett som i Thingan. Det skal sies at det i abonnementet følger med en hjelpetelefon som er veldig nyttig om man skulle møte på utfordringer i programmet.

Det må også tas hensyn til at Febdok baserer seg på norske standarder og at det dermed ikke er noen garanti for at utregningene imøtekommer lokale krav. Norske krav tar høyde for en stor andel elektrisk oppvarming, noe som stiller krav til høyere tversnitt og større sikkerhetsmarginer. Dette kan resultere at et "norskdimensjonert anlegg, blir overdimensjonert ved et annet bruksmønster i Nepal.

En annen utfordring man har møtt på i dette prosjektet er mangelen på spesifikke verdier. Ettersom fokus ikke har vært på å velge konkrete komponenter, har det vært lite konkrete verdier å skrive inn i programmet. Ettersom mange av funksjonene i Febdok går på å måle spesifikke utløserverdier for de forskjellige vernene opp mot hverandre, så mistes noe av verdien med Febdok når gruppen ikke har

tatt hensyn til detaljer om vern i anlegget.

I Febdok er det flere måter å sette opp et fordelingsnett. Her har gruppen prøvd seg frem med forskjellige oppsett, og har etter samtaler med førsteamanuensis Eilif Hugo Hansen kommet frem til at dette blir korrekt oppsett [84]. Det endelige oppsettet ble å legge all last på enden av kabelen, og dermed simulere den situasjonen som gir maksimalt tap i systemet. Dette gjør at oppgitt tap blir mye høyere enn det faktiske tapet, men leder igjen til at det er en god sikkerhetsmargin i dimensjonering.

8.3.2 Dimensjonering av anlegget

I utregningen av hvor mange strømstolper og lengde med kabel som trengs er det brukt satellittbilder og luftdistanser. Det vil si at de verdiene som er presentert er estimat og ikke et fasitsvar på hvor mange strømstolper og lengde med kabel som faktisk trengs. Å gjennomføre en befaring av utbyggingsområdet vil være svært nyttig for å skape et bedre bilde av hva som faktisk trengs av materialer. Derfor er det også presentert hva som trengs med en 30% sikkerhetsmargin, ettersom dette gjerne vil være nærmere en realistisk utbygging. Det samme gjelder også med tanke på den geografiske plasseringen av mikronettet, ved en befaring blir det lettere å finne ut hvor komponenter bør plasseres og luftlinjene faktisk gå. Tegningen presentert i denne oppgaven er ment for å gi en pekepinn på hvordan mikronettet kan se ut, og fungere som et grunnlag for den faktiske utbyggingen. Beregningene har tatt utgangspunkt i dagens situasjon med antall hus og bygg, det kan tenkes at landsbyen blir mer attraktiv og får flere tilflyttere etter utbyggingen er ferdig. Dette vil da lede til at dimensjoneringen igjen kan bli feil.

Et poeng som er viktig å presentere er hvor kraftig overdimensjonert høyspentanlegget faktisk er. En typisk 11kV kabel vil ha en kapasitet langt over 100 A [85], mens med selv det høyeste forbruket vil mikronettet ikke bruke mye mer enn 1 A.

$$P = U \cdot I \rightarrow I = \frac{12kW}{11kV} = 1.1A \quad (8.1)$$

Med andre ord kan det overføres mer enn 100 ganger så mye effekt som det faktisk gjøres. Dette er ikke direkte problematisk med tanke på driftssikkerhet eller sikkerhet for brukere, men det viser at bruk av 1 kV hadde vært mulig. Dette er relevant hvis kostnad er et problem, ettersom 1 kV nett er billigere og enklere å bygge ut. Men hvis dette gjøres vil integreringen av mikronettet inn i regionalnettet innebære at en ny 11 kV linje må bygges. Det er derfor et spørsmål om kostnad og fremtidsplanlegging, noe som er utenfor det dette prosjektet tar for seg og en vurdering som må gjøres av GridVille.

Ved dimensjonering av anlegget er vern og kabeltversnitt valgt for å oppfylle krav til forsyningssikkerhet og personsikkerhet. En utfordring her er at anlegget fortsatt vil fungere og kunne levere strøm selv om andre tversnitt og vern velges, og det derfor er viktig å holde fokus på dette gjennom både dimensjonering og utbygging for å sørge for at komponentene som brukes opprettholder de krav som finnes for å bygget ut et trygg og funksjonelt anlegg. I beregningene har det også vært et problem med at kortslutningsverdiene i anlegget er lave. Dette har ikke en direkte driftsmessig konsekvens, men kan bli en utfordring om det oppstår kortslutninger ute i anlegget og vernet da kan slite med å løse ut, noe som gjør at feil blir stående. Dette resulterer i en mulig fare for mennesker og materiell.

Ved utbygging av distribusjonsnett er det flere risikoelementer som må tas hensyn til, som korrekt høyde på lufthengt kabel, sikringer og vern inn til hus/skole. En fare her er at anlegget vil fungere og levere effekt til forbruker selv om disse sikkerhetselementene ikke er implementert, men at det ikke er noen garanti for utkobling og beskyttelse om det skulle oppstå en feilsituasjon. Her er det viktig at kompetent personell er ansvarlig for installasjon, og at nødvendig vedlikehold blir gjort i ettertid. Slik vil komponenter bli koblet riktig, og sørge for at nødvendige sikkerhetstiltak fungerer. En spesiell bekymring her er at fremtidige utbygginger kan bli utført av andre en GridVille, og at man derfor mister noen av de sikkerhets-elementene som nå er planlagt. Her kan en mulighet være å utpeke en ansvarlig i landsbyen som kan følge opp fremtidige utbygginger. Gruppen vil igjen legge vekt på HMS arbeidet under prosjekteringen. Arbeid med strøm er farlig, det er høye spenninger som det skal jobbes med, og alvorligheten av strømgjennomgang i menneskekroppen må ikke undervurderes. Det vil være mange mennesker som ikke har erfaring med strøm, her må det gjøres en skikkelig undervisning slik at folk skjønner alvorligheten av elektrisitet og viktigheten av å være forsiktig rundt elektriske anlegg.

For arbeid med distribusjonsnett har gruppen begrenset med erfaring, dette leder til at enkelte valg av materiell kan vise seg å være uegnet i en faktisk utbygging. Her tar gruppen høyde for at valg av kabeltversnitt og vern kan være u hensiktsmessig store, og manglende erfaring gjør at det er vanskelig å si om det er realistiske størrelser. Utrekningene tar i stor grad hensyn til norske standarder, og det tas derfor høyde for at lokale krav og normer kan avvike fra disse. På tross av dette vurderes det at anlegget er sikkert dimensjonert, ettersom norske standarder i stor grad stiller strenge krav. I arbeidet med fordelingsnett har gruppen hatt fokus på vern og kabler, og det er derfor ikke tatt hensyn til annet materiell som blir nødvendig, som kabelgjennomføringer, niter, rekkeklemmer, skinner mm. Materiell til den faktiske installasjonen kan derfor være nødvendig å se mer på.

Når det kommer til replikerbarhet for prosjekteringen så har bruk av Febdok blitt beskrevet ganske grundig i oppgaven og bør være et godt grunnlag for å gjennomføre et lignende prosjekt. Allikevel er det som nevnt et ganske komplisert program,

og det anbefales at de som skal jobbe med programmet har noe forhåndskunnskaper om elektriske installasjoner fra før av. For valg av føringsveier, oppsett av stolper og valg av kabler, så kan fremtidig arbeid følge samme fremgangsmåte som presentert i rapporten, med små tilpasninger.

8.4 Økonomisk vurdering

Som sett i den økonomiske oversikten i resultatkapittelet er den totale kostnaden relativt lav, mellom 80.000 USD og 105.000 USD avhengig av hvilket scenario som velges. Dette er en relativt lav sum med tanke på hva som oppnås med pengene. Dette er selvsagt kun materialkostnader, så den reelle kostnaden for hele mikronettet vil være en god del høyere. Sammenlignet med den kostnaden en utbygging av et høyspent nett som skulle ført elektrisk energi over lange avstander er det et svært økonomisk gunstig alternativ.

Distribusjonsnettet har blitt dimensjonert med et fremtidsperspektiv. Dette gjør det dyrere å bygge ut, men gjør at videre investeringer i det elektriske nettet ikke er nødvendig. Dette gjelder spesielt for 11 kV linjen, som kan være hensiktsmessig å nedjustere til 1 kV for ressursbesparing.

For å øke dekningsgraden er det nødvendig å justere opp både produksjon og lagringskapasitet, men som en kan se ved at scenario 2 og 3 presterer relativt likt er solcellepaneler billigere å justere opp enn batterier. Scenario 3 er derfor det mest økonomisk beste alternativet for den dekningsgraden som oppnås. Det er en begrensning på hvor mye en kan justere opp produksjonskapasiteten, ettersom det ikke kan produseres elektrisk energi når det ikke er sol. Antallet solcellepaneler kan dermed ikke bare fortsettes å økes. Å finne en balanse mellom produksjon og lagring er svært relevant, og kan testes nærmere i PVsyst.

8.5 Evaluering av mikronettet

Mikronettet som er prosjektert i denne oppgaven er et godt alternativ å bruke for å kunne levere elektrisk energi til mennesker som lever i avsides landsbyer. Det oppnås en relativt høy dekningsgrad til en overkommelig pris. Alt dette gjøres på en fornybar og bærekraftig måte i tråd med GridVilles mål.

For å kunne dekke de periodene hvor mikronettet ikke er i stand til å levere elektrisk energi kan det være hensiktsmessig å installere en generator som går på gass eller annet fossilt brensel. Dette er ikke bærekraftig energi, men er svært mye billigere enn å bygge ut mikronettet til å oppnå en 100 % dekningsgrad. Dette ville vært svært dyrt, ført til mye tapt energi, og er ikke en realistisk løsning. Andre mulige løsninger er å installere alternative energikilder, for eksempel vindkraft. Dette er noe som kan undersøkes nærmere, men er utenfor rammen til denne oppgaven.

Et annet punkt som kan vurderes er bruken av BESS (Battery Energy Storage System). Dette er et fullstendig produkt som kan bestilles fra en leverandør og tilpasses til situasjonen i mikronettet. Ved å ta i bruk BESS vil kostnaden antageligvis øke, men det blir levert et ferdig produkt som er klart til bruk uten nevneverdig installasjon. Det anbefales GridVille å undersøke et slikt alternativ nærmere, ettersom dette kan gjøre arbeidet mye enklere. Det bør da veies opp mot å installere enkelte batteripakker manuelt, ved en økonomisk vurdering.

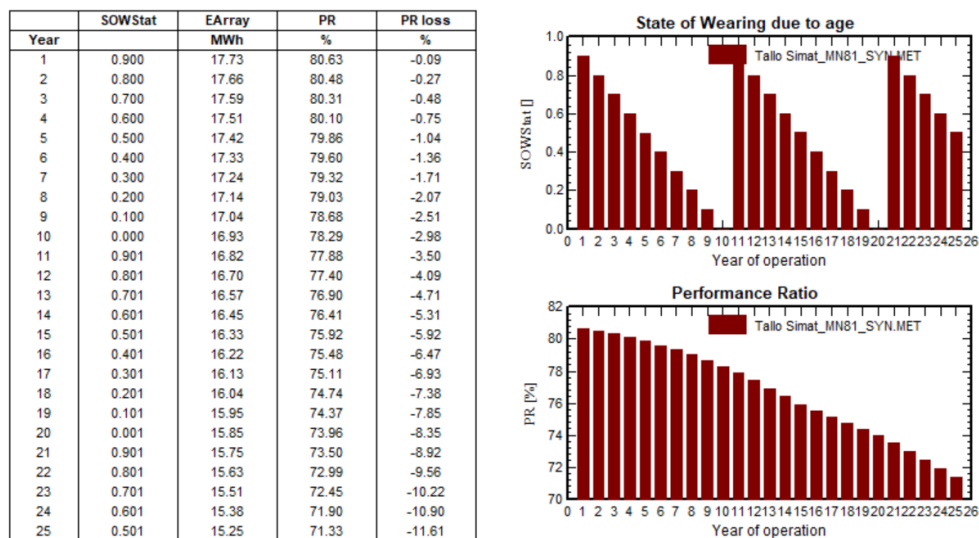
Totalt sett er utbygging av mikronett en gunstig måte å levere elektrisitet til mange av de menneskene som fortsatt ikke har tilgang. Ved å gjøre dette bidrar det til å oppnå mange av FN's bærekraftsmål, spesielt de tre som GridVille har som sine hovedmål. Nemlig å skape bærekraftige landsbyer ved hjelp av fornybar og billig energi, og gjennom dette jobbe mot et bedre verdensklimate.

8.6 Fremtidsperspektiv

For å dimensjonere nettet for et fremtidsperspektiv, har gruppen i samtaler med GridVille satt opp en oversikt over forventet fremtidig forbruk. Distribusjonsnettet er bygget med dette i tankene, og det er også presentert hvordan produksjon og lagring vil kunne se ut ved dette 10-års scenarioriet. Ettersom innbyggerne i Thingan blir mer vant til å bruke elektrisitet er det relevant å ha en løpende dialog med dem og hva de kunne tenke seg av nye elektriske apparater. Distribusjonsnettet vil kunne tåle en god del ekstra påkjenning, men produksjon og lagring må utvides for å møte et økt forbruk. Det kan være relevant å da bygge ut større etter hvert som batteri og solcellepaneler eldres, ettersom de før eller siden må erstattes på grunn av aldring.

8.6.1 Aldring av batteri og solcellepaneler

Batterier og solcellepaneler vil aldres ettersom de brukes. I oppgaven har det blitt presentert tiltak for å sørge for at levetiden økes, men en utbytting er uungåelig. Som det kan sees ved bruk av aldringsverktøyet i PVsyst vil systemet forringes med tid, selv om batteriene byttes ut hvert 10. år.



Figur 8.4 - Aldring av systemet i scenario 2 [62]

Hvor lang tid det går før batterier og solcellepaneler byttes ut er et spørsmål om ressurser. Et naturlig valg er å bruke de originale installasjonene frem til tilstanden er passe dårlig og det er et ønske å bygge ut kapasiteten til mikronettet. Ved å gjøre dette blir den naturlige utskiftingen kombinert med utbygging, som vil spare ressurser. Det er til slutt en avgjørelse som må bli tatt basert på hva som er ønsket at mikronettet vil kunne levere.

8.7 Mulige feilkilder

Manglende befaring

Alt arbeidet gjort i denne oppgaven er gjort uten å ha besøkt området som det er prosjektert for. Dette gjør at verdier og antagelser brukt i arbeidet kan være unøyaktige og manglende. Det må derfor før en faktisk utbygging gjennomføres en befaring for å skape et bedre bilde over forholdene i landsbyen.

Simuleringene er basert på antagelser

Simuleringene som er grunnlag for arbeidet er gjort på antagelser etter samtaler med GridVille. Det er vanskelig å forutsi hva slags forbruk det faktisk vil være, men å bruke en intervju prosess med innbyggerne kan være relevant for å øke nøyaktigheten. Alternativt kan det på forhånd avtales hva slags elektriske apparater som skal kjøpes inn, og mer nøyaktig dimensjoneres etter dette.

Simuleringer er en forenkling

Prosjekteringen gjort er basert på simuleringer, selv om verktøyene brukt i oppgaven er utbredt brukt vil det være forskjeller fra simuleringene til den virkelige

verden. Det er derfor en god ide å ta høyde for unøyaktigheter i simuleringene, og planlegge for at mikronettet vil operere annerledes i virkeligheten enn i simuleringer.

Priser brukt er unøyaktige

Alle priser som er brukt i utregningen av kostnaden for de ulike delene av prosjektet er hentet fra ulike kilder, uten å ha en faktisk konkret leverandør å forholde seg til. Noen av prisene er gitt av GridVille, mens noen er hentet fra ulike nettsider. Før et faktisk budsjett for et mikronett skal lages må det opprettes kontakt med aktuelle leverandører som kan levere komponentene til mikronettet. Dette må gjøres for å skaffe et mer nøyaktig bilde av materialkostnadene.

Manglende erfaring

Arbeidet gjort i denne oppgaven er utført av fire studenter uten praktisk erfaring fra lignende prosjekter. Mye av det som blir presentert i prosjektoppgaven er derfor nytt for gruppemedlemmene og manglende erfaring gjør at prosjekteringen kan være mindre realistisk.

Kapittel 9

Konklusjon

Denne bacheloroppgaven har gjennomført en prosjektering av et mikronett for en landsby i Nepal, Thingan. Gjennom denne rapporten er fremgangsmåten brukt i prosjekteringen presentert i detalj. Ved hjelp av den detaljerte fremgangsmåten skal det være enklere for GridVille å gjennomføre lignende arbeid i fremtiden.

Gjennom arbeidet har det blitt identifisert flere områder som er viktig i en prosjektering av et mikronett, og steg som burde vært en del av prosjekteringen. Bruk av simuleringsverktøy er essensielt for å gi et bilde av hva slags komponenter og hvor mange som trengs til mikronettet. For å øke nøyaktigheten av disse simuleringene burde det vært gjennomført en nærmere analyse. Dette kan gjøres ved å gjennomføre intervjuer og/eller analyser av lignende situasjoner hvor elektrisitet har blitt levert for første gang. Distribusjonsnettet er helt avhengig av en nærmere befaring av området for å kunne bli mer detaljert planlagt. Helning, vanskelig fremkommelighet, områder det ikke kan bygges i, dette er vanskelig å identifisere basert kun på satellittbilder.

Som kan sees av simuleringene er det beste resultatet å ha størst mulig produksjon og lagring. Hvis det tenkes mer på kostnad kan det sees at å øke produksjonskapasiteten er det beste for å øke dekningsgraden til mikronettet. Dette må gjøres med måte, ettersom lagringskapasiteten sørger for mindre ”sløst” energi. Det må tas en avgjørelse basert på kostnad og hva mikronettet får for ressursene som tilegnes.

Videre arbeid

Videre er anbefalingen fra prosjektgruppen at GridVille ser nærmere på å konkretisere de ulike delene av mikronettet. Dette innebærer å gjennomføre en befaring av landsbyen det skal bygges i, skaffe konkrete tekniske verdier på komponenter som skal brukes i mikronettet, og generelt skape et mer detaljert bilde av hvordan mikronettet vil se ut. Prosjekteringen utført i denne oppgaven er relativt overordnet og har ikke gått i dybden på alt som trengs for en faktisk utbygging. Spesielt anbefales det å snakke med aktører som har erfaring i utbygging av 11 kV linjer, ettersom dette representerer en vesentlig fare og et område hvor det ikke er gått

i detalj i denne oppgaven grunnet manglende kompetanse. Det samme gjelder å lage et kontrollsystem for mikronettet. Dette er et omfattende prosjekt og det bør tilegnes tid og ressurser til å utvikle kontrollsystemet.

Denne bacheloroppgaven har gjennomført en prosjektering som kan brukes som et eksempel for videre arbeid GridVille skal gjennomføre. Ved å gjøre en teoretisk prosjektering av et mikronett vil det skape et bedre bilde for hva et mikronett i Nepal faktisk innebærer. Erfaringene som har blitt gjort fra arbeidet vil komme godt til nytte i videre prosjektering og planlegging av mikronett. Når det skal mer konkret planlegges en utbygging av et mikronett vil metoden presentert være til stor hjelp for GridVille.

Bibliografi

- [1] H. Ritchie, P Rosado og M. Roser, «Access to Energy,» *Our World in Data*, 2019, Hentet 10.04.2024. adresse: <https://ourworldindata.org/energy-access>.
- [2] Z. Accurdi, «Whats the best way to bring electricity to everyone,» *World Economic Forum*, 2015, Hentet 11.04.2024.
- [3] M. Bonvini, Hentet 11.04.2024. adresse: <https://www.linkedin.com/pulse/microgrids-shaping-energy-architecture-rural-areas-marco-bonvini>.
- [4] Hjemmeside Gridville. Hentet 03.04.2024. adresse: <https://www.gridvillentnu.com/>.
- [5] Hjemmeside IUG. Hentet 12.05.2024. adresse: <https://iug.no/>.
- [6] *FNs bærekraftsmål*, Hentet 11.04.2024. adresse: <https://fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal>.
- [7] Nettside til Google Earth. Hentet 08.05.2024. adresse: <https://earth.google.com/>.
- [8] D. T. Ton og M. A. Smith, «The U.S. Department of Energy's Microgrid Initiative,» *The electricity Journal*, 2012. adresse: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1040619012002254>.
- [9] E. Wood, «What is a microgrid?» *Microgrid Knowledge*, 2023, hentet 20.03.2024. adresse: <https://www.microgridknowledge.com/about-microgrids/article/11429017/what-is-a-microgrid>.
- [10] D. S. mfl., «Microgrids for Rural Electrification,» University of California, Berkeley, tekn. rapp., 2014, Hentet 20.03.2024. adresse: https://www.allpowerlabs.com/wp-content/uploads/2015/07/Micro-grids_for_Rural_Electrification-A_critical_review_of_best_practices_based_on_seven_case_studies.pdf.
- [11] H. Louie, *Off-Grid Electrical Systems in Developing Countries*. Springer, 2018, Hentet 21.02.2024.
- [12] sandia national laboratories, Hentet 02.04.2024. adresse: <https://pvpmc.sandia.gov/modeling-guide/dc-to-ac-conversion/cec-inverter-test-protocol/>.

- [13] Nettside PVsyst. Hentet 08.04.2024. adresse: <https://www.pvsyst.com/>.
- [14] L. Rodriguez, «Why and how do solar panels degrade?» *Rated Power*, 2021, Hentet 04.04.2024.
- [15] D. Gräf, J. Marschewski, L. Ibing, D. Huckebrink, M. Fiebrandt, G. Hanau og V. Bertsch, «What drives capacity degradation in utility-scale battery energy storage systems? The impact of operating strategy and temperature in different grid applications,» *Journal of Energy Storage*, årg. 47, s. 103 533, 2022, ISSN: 2352-152X. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.103533>. adresse: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352152X21012147>.
- [16] S. Schouten, «How long do solar panels last? Lifespan in the UK,» *Green-Match*, 2024, Hentet 02.05.2024. adresse: <https://www.greenmatch.co.uk/blog/2015/01/the-lifespan-of-solar-panels>.
- [17] S. Wolf, «What's the lifespan of a solar battery?,» Hentet 07.05.2024. adresse: <https://www.paradisolarenergy.com/blog/how-long-do-solar-batteries-last>.
- [18] Hjemmeside IEC. adresse: <https://www.iec.ch/homepage>.
- [19] Morningstar, *How does solar charge controller work*, Hentet 05.04.2024. adresse: <https://www.morningstarcorp.com/faq/how-does-solar-charge-controller-work/>.
- [20] I. Energy, Hentet 04.04.2024. adresse: <https://www.innoliaenergy.com/products/energy-storage-systems/>.
- [21] M. H. I. Group, Hentet 04.04.2024. adresse: <https://solutions.mhi.com/power/decarbonization-technology/bess-battery-energy-storage-system/>.
- [22] K. Hofstad, L. Mæhlum, E. K. Øhlckers, K. A. Rosvold og A. Gaarud, «Solceller,» *Store norske leksikon*, Hentet 22. mars 2024. adresse: <https://snl.no/solceller>.
- [23] Arnfinn Christensen, *Verdensrekord for solceller av silisium*, Hentet 04.05.2024, 2024. adresse: <https://www.forskning.no/energi-miljoteknologi-alternativ-energi/verdensrekord-for-solceller-av-silisium/357530>.
- [24] Burns og McDonnell, *Bifacial Modules: 2 Sides To Every Solar Panel*, <https://www.firstsolar.com/en-Emea/-/media/First-Solar/Technical-Documents/Bifacial-Documents/Bifacial-Modules-2-Sides-To-Every-Solar-Panel-white-paper-burns-mcdonnell-09120.ashx>, Hentet 8.mai 2024.
- [25] *Bifacial solcellepaneler gir økt strømutfgang*, Hentet 24. mars 2024. adresse: <https://no.dsisolar.com/info/bifacial-solar-panels-give-increased-power-out-36635224.html>.

- [26] *Bifacial PV-modul; hva er det?* Hentet 24. mars 2024. adresse: <https://ecosol.no/blogg/bifacial-pv-modul-hva-er-det?rq=bifacial>.
- [27] Hentet 21.03.2024. adresse: <https://kinectsolar.com/everything-you-need-to-know-about-bifacial-modules/>.
- [28] *How to Figure the Correct Angle for Solar Panels*, Hentet 25.mars 2024. adresse: <https://no.dsisolar.com/info/how-to-figure-the-correct-angle-for-solar-pane-37643825.html>.
- [29] Matt Ferrell, *Have We Been Doing Solar Wrong All Along?* Hentet 16.05 2024, 2024. adresse: <https://undecidedmf.com/have-we-been-doing-solar-wrong-all-along/#fn13-820>.
- [30] Hentet 15.04.2024. adresse: <https://www.slocable.com.cn/no/news/is-it-better-to-connect-solar-panels-in-series-or-parallel/>.
- [31] Evergreen Electrical, *Solar Panels: Should You Connect Them in Series or Parallel?* Hentet 15.04.2024, 2024. adresse: <https://www.evergreenelectrical.com.au/blog/solar-panels-series-parallel>.
- [32] B. Hoff, «Kraftelektronikk,» *Store norske leksikon*, Hentet 04.04.2024. adresse: <https://snl.no/kraftelektronikk>.
- [33] W. Ming, «Power Electronic Converters for Microgrids,» i *Microgrids and Local Energy Systems*, N. Jenkins, red., Hentet 05.04.2024, Rijeka: IntechOpen, 2021, kap. 2. DOI: 10.5772/intechopen.101019. adresse: <https://doi.org/10.5772/intechopen.101019>.
- [34] H. Louie, *Off-Grid Electrical Systems in Developing Countries*. Springer Chrm, 2018, Edition nr. 1. Hentet 26.04.2024.
- [35] S. Humena, Bilde av MPP Hentet 07.05.2024. adresse: https://www.researchgate.net/figure/Figure-2-Curve-characteristics-of-I-V-and-P-V-solar-cells-with-MPP_fig1_331895745.
- [36] Nettside for topografisk kart i Nepal. Hentet 08.04.2024. adresse: <https://nationalgeoportal.gov.np/topo/>.
- [37] F. Lombardi, S. Balderrama, S. Quoilin og E. Colombo, «Generating high-resolution multi-energy load profiles for remote areas with an open-source stochastic model,» *Energy*, årg. 177, s. 433–444, 2019, ISSN: 0360-5442. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.04.097>. adresse: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544219307303>.
- [38] V. Shankar, «Off-Grid Microgrid Design Consideration for Rural Electrification,» NTNU, tekn. rapp., 2023.
- [39] R. team, Bilde hentet fra hjemmesiden til RAMP prosjektet. Hentet 14.05.24. adresse: <https://rampdemand.org/>.

- [40] N. Stevanato, F. Lombardi, E. Colombo, S. Balderrama og S. Quoilin, «Two-Stage Stochastic Sizing of a Rural Micro-Grid Based on Stochastic Load Generation,» i *2019 IEEE Milan PowerTech*, 2019, s. 1–6. DOI: 10.1109/PTC.2019.8810571.
- [41] N. Stevanato, L. Rinaldi, S. Pistolese, S. L. Balderrama Subieta, S. Quoilin og E. Colombo, «Modeling of a Village-Scale Multi-Energy System for the Integrated Supply of Electric and Thermal Energy,» *Applied Sciences*, årg. 10, nr. 21, 2020, ISSN: 2076-3417. DOI: 10.3390/app10217445. adresse: <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/21/7445>.
- [42] *CLIMATE-IN-NEPAL*, Hentet 07.05.2024. adresse: <https://ntb.gov.np/plan-your-trip/about-nepal/climate>.
- [43] M. Z. Richard Riseley Proud, «Economy of Nepal,» 2023, Hentet 17.04.2024.
- [44] Nettside for vær- og soldata. Hentet 08.04.2024. adresse: <https://meteonorm.com/en/meteonorm-version-8>.
- [45] A. Bangsund og S. Rummelhoff, «Solar PV and battery microgrid for electric cooking - Case study Eco Moyo Education Centre in Kenya,» NTNU, tekn. rapp., 2023, Samtaler med studenter som har gjennomført lignende oppgave.
- [46] Verktøy for å finne riktig orientering til solcellepanel. Hentet 02.05.2024. adresse: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/.
- [47] FebDok, *FebDok*, Hentet 23.04.2024. adresse: <https://www.nelfo.no/produkter-og-tjenester/febdok/om/>.
- [48] DSB, *DSB, Struktur i regelverk*, Hentet 23.04.2024. adresse: <https://www.dsb.no/lover/produkter-og-forbrukertjenester/produkter/elektriske-produkter/regelverk/strukturen-i-regelverket-for-elektriske-produkter/>.
- [49] K. M. H. Just Erik Ormbostad, *NEK400*. Norsk Elektronisk Komite, 2022, Hentet 23.04.2024.
- [50] Hieraki NEK400. Hentet 25.04.2024. adresse: https://www.nek.no/wp-content/uploads/2018/05/6-11.50_DSB_NEK_Landstr%C3%B8msforum_12_april_2018.pdf.
- [51] LOVDATA, *Forskrift om sikkerhet ved arbeid i og drift av elektriske anlegg*, Hentet 15.04.2024. adresse: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2006-04-28-458>.
- [52] Schneider, Hentet 13.05.2024. adresse: <https://www.se.com/no/no/product/A9F93210/ic60l-automatsikring-2p-10a-bkurve-i213/>.
- [53] Forskrift om leveringskvalitet i kraftsystemet. Hentet 23.04.2024. adresse: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-11-30-1557>.

- [54] D. for samfunnssikkerhet og beredskap, *Veiledning til forskrift om elektriske forsyningsanlegg*, Hentet 16.04.2024. adresse: <https://www.dsb.no/lover/elektriske-anlegg-og-elektrisk-utstyr/veiledning-til-forskrift/veiledning-til-forskrift-om-elektriske-forsyningsanlegg/#lavspenningsluftlinjer>.
- [55] Elfagentusiastene, Hentet 13.05.2024. adresse: <https://elfagentusiastene.blogspot.com/2015/06/fordelingssystemer.html>.
- [56] Eaton, *Store Blå håndbok*. Eaton, 2023, Hentet 29.04.2024.
- [57] A. Rederick, «Transformer Losses and Efficiency,» *EEPower*, 2021, Hentet 19.04.2024. adresse: <https://eepower.com/technical-articles/transformer-losses-and-efficiency/#>.
- [58] Transformator brukt i oppgaven. Hentet 19.04.2024. adresse: https://www.alibaba.com/product-detail/100-500-650kva-3150-KVA-10KV_1600612437479.html.
- [59] T. R. team, *Installasjonsguide for RAMP*. Hentet 09.05.2024. adresse: <https://rampdemand.readthedocs.io/en/latest/intro.html#recommended-installation-method>.
- [60] Hentet 09.05.2024. adresse: <https://www.tradeindia.com/products/usha-18-inches-1330-rpm-wall-mount-fan-6919441.html>.
- [61] P Francois, Hentet 01.03.2024. adresse: https://github.com/RAMP-project/RAMP/blob/main/ramp/example/input_file_1.py.
- [62] *Photovoltaic software*, versjon 7.4, Hentet fra PVsyst programmet. adresse: <https://www.pvsyst.com/>.
- [63] A. Mermoud, *PVSyst: Software for the Study and Simulation of Photovoltaic Systems*, Hentet 15.04.2024, 2012. adresse: https://energy.sandia.gov/wp-content/gallery/uploads/Mermoud_PVSyst_Thu-840-am.pdf.
- [64] Government, «NOU 2022: 6 - Strømnettet i Norge,» *Unknown*, 2022, Hentet 29.04.2023. adresse: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/nou-2022-6/id2918464/?ch=4>.
- [65] Adresse: <https://forum.buildhub.org.uk/topic/15884-1-or-3-phase-wires-on-the-poles/>.
- [66] Hentet 17.04.2024. adresse: <http://www.oeipower.com/Tension-Set-for-11kv-Overhead-Lines-pd6119733.html>.
- [67] Hentet 17.04.2024. adresse: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:11KV_electricity_line,_south_of_Harbridge_-_geograph.org.uk_-_1465232.jpg.
- [68] Hydro-Québec, Hentet 19.04.2024. adresse: https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=0SC7onqEBkw&ab_channel=Hydro-Qu%C3%A9bec.

- [69] Nettside som snakker om mikronett kontrollsystemer, laget av National Renewable Energy laboratory. Hentet 16.05.2024. adresse: <https://www.nrel.gov/grid/microgrid-controls.html>.
- [70] Kobling av overspenningsvern. Hentet 23.04.2024. adresse: https://nettbutikk.efa.no/content/uploads/2022/04/FDV_230_ABB_Elsteel-1.pdf.
- [71] Eaton, Hentet 10.05.2024. adresse: <https://www.eaton.com/us/en-us/products/medium-voltage-power-distribution-control-systems/lightning-arresters/surge-arresters--fundamentals-of-surge-arresters.html>.
- [72] 400Wp solcellepanel. Hentet 03.05.2024. adresse: https://www.alibaba.com/product-detail/Monocrystalline-400W-Solar-Module-MONO-Solar_1600109983752.html?spm=a2700.7735675.0.0.fbf1qK44qK44dl&s=p.
- [73] 25.6V 180Ah batteripakke. Hentet 03.05.2024. adresse: https://www.alibaba.com/product-detail/Li-Ion-LiFeP04-Battery-Pack-25_62465561328.html.
- [74] 9kW inverter. Hentet 03.05.2024. adresse: <https://www.inutec-int.com/IMEON-Engery-912-All-In-One-Hybrid-inverter>.
- [75] 10A Sikring. Hentet 29.04.2024. adresse: <https://no.rs-online.com/web/p/mcbs/7766814>.
- [76] 20A Sikring. Hentet 29.04.2024. adresse: <https://no.rs-online.com/web/p/mcbs/2112407>.
- [77] 40A Sikring. Hentet 29.04.2024. adresse: <https://no.rs-online.com/web/p/mcbs/7762190>.
- [78] 25A Sikring. Hentet 29.04.2024. adresse: <https://no.rs-online.com/web/p/mcbs/2112380>.
- [79] Overspenningsvern 2P Hentet 29.04.2024. adresse: <https://no.rs-online.com/web/p/surge-protection-devices/2237761?gb=s>.
- [80] Overspenningsvern 4P Hentet 29.04.2024. adresse: <https://no.rs-online.com/web/p/surge-protection-devices/2237772?gb=s>.
- [81] Overspenningsvern høyspent. Hentet 29.04.2024. adresse: https://www.alibaba.com/product-detail/11kV-15kV-33kV-110kV-silicone-composite_514347361.html.
- [82] S. Reker, J. Schneider og C. Gerhards, «Integration of vertical solar power plants into a future German energy system,» *Smart Energy*, årg. 7, s. 100 083, 2022, ISSN: 2666-9552. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.segy.2022.100083>. adresse: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666955222000211>.

- [83] Catherine Lane, *Are Solar Axis Trackers Worth the Additional Investment?* Hentet 16.05 2024, 2024. adresse: <https://www.solarreviews.com/blog/are-solar-axis-trackers-worth-the-additional-investment>.
- [84] Samtale med Førsteamanuensis Elif Hugo Hansen ved Institutt for elektrisk energi. 25.04.2024.
- [85] Tysik 11kV kabel. adresse: <https://www.nexans.co.nz/en/products/Medium-Voltage/Three-Core/19-33kV-Th26355.html>.

Vedlegg A

Forklaring av kodeelementer

Dette vedlegget gir en oversikt over nøkkel-kodeelementene som brukes i koden. Tabellen nedenfor viser de forskjellige kategoriene, elementene, tolkningene og verdiene som brukes i koden. Dette inkluderer biblioteker for databehandling, visualisering og kjerneelementene og applikasjonene som trengs for å kjøre simuleringer og analysere resultater.

Kategori	Element	Forklaring	Verdier
Generelle Importer	numpy	Brukes for matematisk funksjonalitet og arrayhåndtering.	import numpy as np
	pandas	Brukes for datahåndtering og analyse.	import pandas as pd
	matplotlib.pyplot	Brukes for å lage figurer og grafer.	import matplotlib.pyplot as plt
Kjerneelementer	User	Klasse importert for å opprette brukerobjekter.	from ramp.core.core import User
	UseCase	Klasse for å definere og kjøre et scenario med flere brukere.	from ramp.core.core import UseCase
Initialisering	User_list	Liste for å lagre brukerobjekter.	User_list = []
	uc	Instans av UseCase for å kjøre simuleringen.	uc = UseCase(users=User_list, parallel_processing=False)
	Profiles_list	Genererer daglige lastprofiler for alle brukere.	Profiles_list = uc.generate_daily_load_profiles(flat=False)
Postprosessering	post_process	Modul for behandling av profildata etter generering.	from ramp.post_process import post_process as pp
	Profiles_avg	Gjennomsnittlig profil fra alle brukerprofiler.	Profiles_avg, _, Profiles_series = pp.Profile_formatting(Profiles_list)
	Profiles_series	Formattert serie av lastprofiler for plotting.	Profiles_series = pp.Profile_formatting(Profiles_list)
	Profile_series_plot	Funksjon for å plote individuelle lastprofiler.	pp.Profile_series_plot(Profiles_series)
	Profile_cloud_plot	Funksjon for å plote en sky av lastprofiler hvis flere finnes.	if len(Profiles_list) > 1: pp.Profile_cloud_plot(Profiles_list, Profiles_avg)
Applikasjoner	Hus	Representerer et hus med definerte apparater.	house_indoor_light, house_outdoor_light, house_charger
	Skole	En brukerrepresentasjon av en skole med flere apparater.	school_indoor_light
	Gårdshus	Representerer et gårdshus.	farmhouse_indoor_light

Tabell A.1 - Forklaringer av de forskjellige elementene i RAMP

Vedlegg B

Populærvitenskapelig artikkel

Den følgende artikkelen er skrevet som en del av bacheloroppgaven, og er levert for bruk av GridVille og NTNU. Artikkelen gir en kort introduksjon til arbeidet som er gjort av studentene, og hvorfor det har blitt gjennomført.

Prosjektering av mikronett i avsides strøk

Sivert D. Reinertsen, Nina Pavlova, Mohammad Jarbi, Ruben Antonsen
Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet

Sammendrag—Denne artikkelen gir et kort innblikk i arbeidet 4 studenter har gjennomført som en bacheloroppgave på oppdrag for studentorganisasjonen GridVille. Her har et mikronett blitt prosjektert for en avsides landsby i Nepal. Gjennom denne prosjekteringen er det blitt utviklet en metode for å designe strømmnettverk som ønsket av GridVille.

I. HVORFOR MIKRONETT?

I dagens samfunn brukes elektrisitet til tilnærmet alt. Det trengs til å lage mat, oppvarming, belysning, drive kjøretøy og mye mer. For mange vil en hverdag uten elektrisitet være helt utenkelig, men allikevel er det flere hundre millioner mennesker som fortsatt ikke har tilgang til elektrisitet [1].

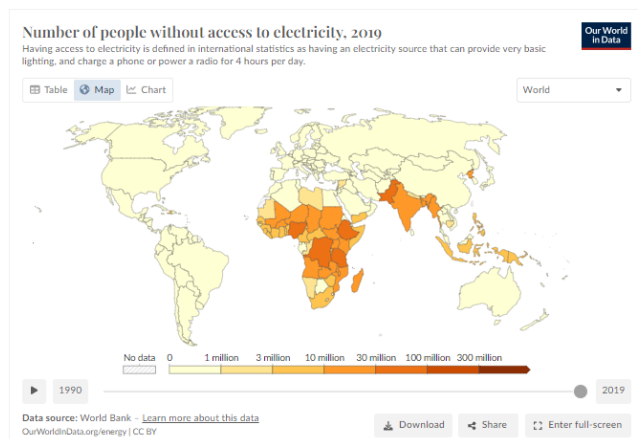


Fig. 1. Mennesker uten tilgang til elektrisitet [1]

Spørsmålet en kan stille seg er da hvordan kan vi levere elektrisk energi til de mange hundre millionene som ikke har tilgang i dag? Et alternativ er å bygge ut det elektriske nettet for å dekke flere mennesker. Problemet med dette er at som en kan se fra kartet over er landene hvor flest mennesker mangler elektrisitet utviklingsland, hvor det elektriske nettet allerede er underutbygget. Det vil dermed kreve store investeringer for å kunne dekke samtlige mennesker som mangler elektrisitet. Spesielt er dette en utfordring for små landsbyer med få mennesker, hvor det er vanskelig å forsvare en stor investering for å levere elektrisitet til et fåtall.

Et alternativ med lavere kostnad er da å bygge ut et mikronett som dekker et lite avgrenset geografisk område. Dette muliggjør at små bebyggelser kan få tilgang til elektrisitet, uten at prisen for utbyggingen blir uoverkommelig høy.

II. HVA ER ET MIKRONETT?

En gruppe av sammenkoblede laster og distribuerte energiressurser innen tydelig definerte elektriske grenser som fungerer som en enkelt, styrt enhet med hensyn til strømmettet. Et mikronett kan koble seg til og fra strømmettet for å tillate at det opererer både i nett-tilkoblet modus eller øy-modus.

Dan T. Ton og Merrill A. Smith [2]

Slik blir et mikronett definert av det amerikanske departementet for energi. Mikronett eksisterer i flere former, og kan også brukes som et reservesystem til et konvensjonelt strømmnett.

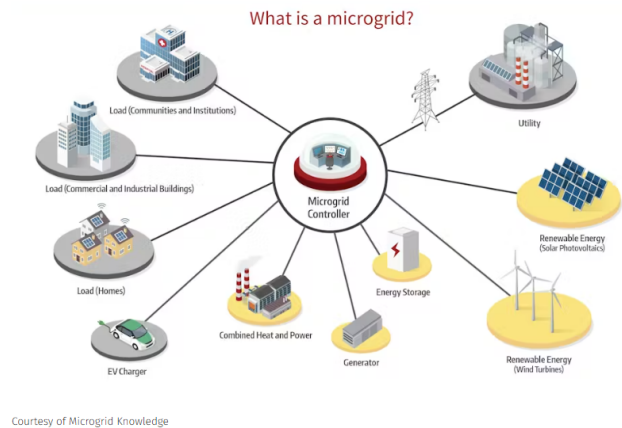


Fig. 2. Hvordan et mikronett kan se ut [3]

Mikronettet som er prosjektert i bacheloroppgaven er et mikronett som utelukkende opererer i øy-modus, men med mulighet for integrering i fremtiden. Fremtidsperspektivet er at dette mikronettet kan integreres i det regionale strømmettet i Nepal, og det har blitt designet med de samme tekniske parameterene som brukes i landet.

III. HVORDAN LAGE ET MIKRONETT?

Et mikronett består av tre hoveddeler; produksjon av elektrisk energi, lagring av elektrisk energi, og distribusjon av elektrisk energi. I dette prosjektet har en rekke programmer blitt brukt som modelleringsverktøy for å kunne dimensjonere mikronettet.

A. Produksjon av elektrisk energi

For å kunne levere elektrisk energi må den produseres. Det finnes mange forskjellige måter å produsere på, men den mest vanlige for mikronett er å bruke solcellepanel.



Fig. 3. Solcellepanel [4]

Solcellepanel er fornybar energi, men er også en smart økonomisk løsning ettersom de har en levetid på 20-30 år [5]. Det er derfor et naturlig valg for et mikronett.

B. Lagring av elektrisk energi

For å kunne levere elektrisk energi i perioder hvor det ikke er produksjon trengs det lagringsmuligheter. Det vanligste å bruke i mikronett er konvensjonelle kjemiske batterier. Ved hjelp av batteriene kan mikronettet operere selv om det ikke er sol.

How Energy Storage Works

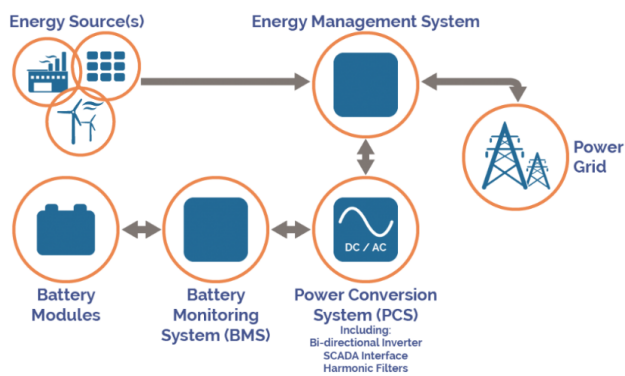


Fig. 4. Lagring av elektrisk energi [6]

C. Distribusjon av elektrisk energi

Ettersom det i et mikronett oftest er et sentralt produksjon- og lagrings-område, må den elektriske energien distribueres ut til menneskene som skal bruke den. Til dette trengs et strømnnett, og kontrollsystemer som kontrollerer flyten av energi.

D. Modelleringsverktøy

I denne oppgaven har programmet RAMP blitt brukt for å etablere en forbruksprofil for landsbyen det har blitt prosjektert for. Videre har programmet PVsyst blitt brukt for å simulere produksjon og lagring av elektrisk energi.

Til slutt har Febdok blitt tatt i bruk for å dimensjonere distribusjonsnettet. Ved å ta i bruk modelleringsverktøy søkes det å gjøre prosjekteringen av mikronettet mer realistisk ved å skape et bilde av hvordan mikronettet vil kunne operere.

IV. HVA OPPNÅS MED ET MIKRONETT?

Med et mikronett blir det mye enklere å levere elektrisk energi til små landsbyer som ellers ville blitt nedprioritert på grunnlag av kostnad. Ved å gjøre dette skapes nye muligheter for menneskene som får tilgang til elektrisitet. Dette gjøres også på en bærekraftig måte med fornybare energiresurser, i henhold til FN's bærekraftsmål.



Fig. 5. GridVilles bærekraftsmål [7]

Dette er de tre bærekraftsmålene som GridVille har valgt å fokusere på. Utover disse tre vil et mikronett også bidra til å gi utdanningsmuligheter og flere jobbmuligheter som en følge av tilgang til elektrisitet.

V. OPPSUMMERING

Et mikronett er et lavnivå alternativ for å kunne levere elektrisk energi til mennesker. Det er en svært interessant teknologi som bør redegjøres for mer i detalj. Gjennom arbeidet i denne bacheloroppgaven har det blitt utviklet en metode for prosjektering av mikronett for GridVille. Dette har blitt gjort ved bruk av en rekke programmer for å simulere og dimensjonere mikronettet i forhold til de tekniske kravene gitt av GridVille.

KILDER

- [1] H. Ritchie, P. Rosado, and M. Roser, "Access to energy," *Our World in Data*, 2019, hentet 10.04.2024. [Online]. Available: <https://ourworldindata.org/energy-access>
- [2] D. T. Ton and M. A. Smith, "The u.s. department of energy's microgrid initiative," *The electricity Journal*, 2012. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1040619012002254>
- [3] E. Wood, "What is a microgrid?" *Microgrid Knowledge*, 2023, hentet 20.03.2024. [Online]. Available: <https://www.microgridknowledge.com/about-microgrids/article/11429017/what-is-a-microgrid>
- [4] I. Mjønerud, "Alt du bør vite om solceller og solenergi," *Strøm.no*, 2019. [Online]. Available: <https://xn--strm-ira.no/solceller-og-solenergi>
- [5] S. Schouten, "How long do solar panels last? lifespan in the uk," *GreenMatch*, 2024. [Online]. Available: <https://www.greenmatch.co.uk/blog/2015/01/the-lifespan-of-solar-panels>
- [6] I. Energy, hentet 04.04.2024. [Online]. Available: <https://www.innoliaenergy.com/products/energy-storage-systems/>
- [7] "Fns bærekraftsmål," hentet 11.04.2024. [Online]. Available: <https://fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal>

