

Halgrim Ove Tørrisplass

Etablere en energidelingsmodell som simulerer lønnsomhet for energideling i et off-grid hyttefeltet.

Masteroppgave i Energi og miljø

Veileder: Ida Fuchs

Medveileder: Steve Völler

Juni 2023



Halgrim Ove Tørrisplass

Etablere en energidelingsmodell som simulerer lønnsomhet for energideling i et off-grid hyttefeltet.

Masteroppgave i Energi og miljø
Veileder: Ida Fuchs
Medveileder: Steve Vøller
Juni 2023

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for informasjonsteknologi og elektroteknikk
Institutt for elkraftteknikk



Kunnskap for en bedre verden

Forord

Denne masteroppgaven er skrevet i tiende semester av sivilingeniørstudiet energi og miljø ved NTNU. Oppgaven er skrevet ved Institutt for elektrisk energi våren 2023. Masteroppgaven bygger videre på forfatterens prosjektoppgave, som har tittelen “Forbruksanalyse, studie og kategorisering av norske hytter“ og ble gjennomført høsten 2022.

Jeg ønsker å rette en takk til veileder Ida Fuchs for tett oppfølging gjennom hele masterperioden. Jeg ønsker også å takke Steve Völler for god oppfølging på prosjektoppgaven.

Trondheim, 19 Juni 2023

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Ida Fuchs', written in a cursive style.

Sammendrag

På bakgrunn av at dagens hyttelandsbyer begynner å ligne mer på små tettsted, er det på tide å komme med nye bærekraftige løsninger gjeldende norske hytter. Denne masteroppgaven har som hensikt å undersøke forbedringspotensiale rundt å inkludere energideling i et offgrid hyttefelt, der hver hytte er utstyrt med hvert sitt solcelleanlegg. Dette har blitt gjort gjennom å skreddersy en modell i Python som simulerer energiflyt mellom hytter i ett offgrid-scenario.

Modellen er designet slik at den kan simulere for ulike delings-caser. I den enkleste casen inkluderer modellen kun deling av produksjonsoverskudd, mens i den mer kompliserte casen inkluderer modellen også deling av energi lagret på anleggenes batteri.

Input til modellen er forbruks- og produksjonsprofiler tilknyttet hyttene i hyttefeltet. Hyttene ble “dannet” gjennom arbeidet med fordypningsprosjektet høsten 2022. På bakgrunn av litteraturstudie og samtale med interessenter, ble det i fordypningsprosjektet satt opp en off-grid hyttekategorisering i form av effektforbruk. Dette resulterte i fire hytter. Solinnstrålingen på lokasjonen der hyttene står er hentet fra PVGIS. Videre er innstrålingsverdiene og tekniske data for hyttenes solcelleanlegg benyttet i Python-biblioteket PVlib for å estimere produksjon.

For å teste og demonstrere funksjonaliteten til modellen, simuleres det i masteroppgaven for tre energidelings-caser. Disse er PV-case, flex-case 1 og flex case 2. PV-case ser kun på energideling av produksjonsoverskudd, mens flex case 1 og 2 også inkluderer deling av energi lagret på batteri. Forskjellen på flex-case 1 og 2 er i hvor stor grad batteriet deltar i det lokale energimarkedet.

Hver case simuleres videre for tre “bruksmønster-scenario”. Med “bruksmønster” menes det hvor ofte hytta brukes, eksempelvis “feriebruk” og “hver helg”. Simuleringsresultatene fra “bruksmønster-scenarioene” sammenlignes i resultatdelen. Målet med oppgaven er derfor å bruke modellen til å finne ut hvilke kombinasjoner av bruksmønster som er mest gunstig for energideling.

Den viktigste resultat-indikatoren som benyttes i masteroppgaven er “SF-rate”. Denne størrelsen angir i hvor stor grad hytta er selvforsynt. For hvert bruksmønster-scenario, med tilhørende case, legges det frem resultater som viser til hvordan SF-raten endrer seg for hver hytte og hele hyttefelt samlet.

En annen viktig del av resultatene er “simuleringsplots”. Disse viser til “energistatus” for hyttene over bestemte tidsperioder, eksempelvis høstferien. Plottene viser til produsert solenergi, dekt last, tapt last, batteristatus og kjøpt/solgt energi.

Simuleringene viser at forbedringspotensialet rundt energideling bedres med økende variasjon blant hyttenes bruksmønster. Resultatene viser også at det utgjør en betydelig forbedring å inkludere utveksling av energi lagret på batteri. En annen interessant observasjon er at hyttene som drar klart mest nytte av energidelingen er hyttene med høyest forbruk. I simuleringene der batteriene inkluderes i det lokale markedet opplever hyttene med lavest forbruk en nedgang i SF-rate sammenlignet med hva de opplever uten energideling.

På lang sikt er målet med oppgaven å bygge opp under en ny og grønnere standard for norsk hyttebygging. Dersom energideling viser seg å være økonomisk og praktisk lønnsomt, kan off-grid hyttelandsbyer være et aktuelt alternativ for videre utbygging av kraftnettet i den norske fjellheimen.

Abstract

Due to the fact that today's cabin villages beginning to resemble small towns, it is time to propose new sustainable solutions related to Norwegian cabins. The objective of this master's thesis is to investigate the potential for improvement by incorporating energy sharing in an off-grid cabin field, where each cabin is equipped with its own solar cell system. This has been accomplished by developing a customized Python model that simulates energy flow between cabins in an off-grid scenario.

The model is designed to simulate different sharing cases. In the simplest case, the model only includes the sharing of production surplus, while in more complex cases, the model also includes the sharing of energy stored in the cabins' batteries.

The model takes input in the form of consumption and production profiles associated with the cabins in the cabin field. The cabins were categorized based on power consumption during "pre-master project" in autumn 2022. Solar radiation at the location where the cabins are situated is obtained from PVGIS. Furthermore, irradiance values and technical data for the cabins' solar cell systems are used in the PVlib Python library to estimate production.

To test and demonstrate the functionality of the model, three energy sharing cases are simulated in the master's thesis. These cases are referred to as PV-case, flex-case 1, and flex-case 2. PV-case only considers the sharing of production surplus, while flex-case 1 and flex-case 2 also include the sharing of energy stored in batteries. The difference between flex-case 1 and 2 lies in the extent to which the battery participates in the local energy market.

Each case is further simulated for three "usage pattern scenarios". "Usage pattern" refers to how often the cabin is used, such as "holiday use" and "every weekend". The simulation results from the "usage pattern scenarios" are compared in the results section. The goal of the thesis is therefore to use the model to determine which combinations of usage patterns are most favorable for energy savings.

The most important result indicator used in the thesis is the "SF rate". This metric indicates the degree to which the cabin is self-sufficient. For each usage pattern scenario, along with the associated case, results are presented that demonstrate how the SF rate changes for each cabin and the entire cabin field.

Another important aspect of the results are the "simulation plots". These plots represent the "energy status" of the cabins over specific time periods, such as during the autumn holidays. The plots include information on produced solar energy, covered load, lost load, battery status, and purchased/sold energy.

The simulations show that the potential for improvement through energy sharing increases with greater variation among the cabins' usage patterns. The results also indicate that including the exchange of energy stored in batteries significantly enhances the outcomes. An interesting observation is that cabins with higher consumption benefit the most from energy sharing. However, in simulations where batteries participate in the local market, cabins with lower consumption actually experience a decrease in the SF rate compared to scenarios without energy sharing.

In the long run, the goal of this research is to contribute to a new and greener standard for Norwegian cabin construction. If energy sharing proves to be economically and practically viable, off-grid cabin villages may become a relevant alternative for further development of the power grid in the Norwegian mountains.

Innhold

Forord	i
Sammendrag	iii
Abstract	v
Definisjoner og forkortelser	ix
Liste over figurer	xi
Liste over tabeller	xiii
1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Motivasjon	2
1.3 Studiens formål og omfang	3
1.3.1 Energidelingsmodell	3
1.3.2 Case-simulering	4
1.4 Studiens innhold	5
2 Tidligere arbeid	6
2.1 Liknende prosjekter	6
2.2 Prosjektoppgaven	7
3 Teori	9
3.1 Off-grid solcelleanlegg	9
3.2 Solcelleteknologi	10
3.3 Solenergipotensiale	14
3.4 Solenergipotensialets påvirkning på anleggets dimensjonering	15
3.5 Batteri	16
3.6 Energideling i hyttefelt	18
3.7 Pvlib	18
3.8 Ramp	19
4 Modellering	20
4.1 Etablere input-data	20
4.1.1 PV-modell	20
4.1.2 Last generator	21
4.1.3 Bruksmønster	22
4.1.4 Tekniske data	22
4.1.5 Bearbeiding	22
4.2 Energidelingsmodell	23
4.2.1 Prinsippene rundt energideling mellom deltakerne	23
4.2.2 Modelleringsstruktur i Python	27
4.2.3 Funksjonalitet i simulering	28
4.2.4 Eksempel fra simulering	30
5 Casestudie	34
5.1 Antagelser og forenklinger	34
5.2 Forbruk og produksjon	35
5.2.1 Estimert forbruk	35
5.2.2 Produksjonsdata	37
5.3 Case og Scenario	39
5.3.1 Base-case	39
5.3.2 Pv-case	39
5.3.3 Flex-case 1	40
5.3.4 Flex-case 2	40
5.4 Resultat-indikatorer	41

5.5	Tapsberegninger	42
5.5.1	Tap som skyldes energihandel	42
5.5.2	Tap som ikke skyldes energihandel	44
5.5.3	Oppsummering av valgte tapsbetraktninger	44
6	Resultater	45
6.1	Informasjon rundt tabellene og figurene som presenteres i resultatene	45
6.1.1	SF-rate og årlig resultat	45
6.2	Scenario 1	47
6.2.1	Base case	47
6.2.2	PV-case	48
6.2.3	Flex-case 1	48
6.2.4	Flex-case 2	48
6.2.5	Oppsummering	49
6.3	Scenario 2	51
6.3.1	Base case	51
6.3.2	PV-case	52
6.3.3	Flex-case 1	52
6.3.4	Flex-case 2	52
6.3.5	Oppsummering	53
6.4	Scenario 3	54
6.4.1	Base case	54
6.4.2	PV-case	55
6.4.3	Flex-case 1	55
6.4.4	Flex-case 2	55
6.4.5	Oppsummering	56
6.5	Samlet oppsummering	57
6.6	Energihandel	58
6.6.1	Solproduksjon og handel til inverter	58
6.6.2	Forbruksbalanse	59
6.6.3	Handel til eget batteri	59
6.6.4	Batteristatus	60
6.6.5	Scenario 1	61
6.6.6	Scenario 2	63
6.6.7	Scenario 3	65
6.7	Simulering på vinterstid	67
7	Diskusjon	70
7.1	Modellering	70
7.1.1	Ideer rundt energideling og bruk av modellen i praksis	72
7.2	Simulering	73
8	Konklusjon	77
9	Videre arbeid	78
	Bibliography	79
	Appendix	82
A	Appendices	82

Definisjoner og forkortelser

Anleggsdel: I oppgaven omhandler begrepet batteri, inverter og solcellepanel.

Basecase: Et scenario som viser til simulering for et hyttefeltet uten energideling.

Bruksmønster-scenario: Hvert bruksmønster-scenario viser til en kombinasjon av “bruk“ tilknyttet hyttene i et hyttefelt.

Deltaker: Et hyttefeltet består av hytter, også omtalt som deltakere i masteroppgaven.

Det lokale energimarkedet: Et begrep som omhandler det fiktive energimarkedet der energidelingen skjer mellom off-grid hytter.

Duty Cycle: En prosentverdi som viser til bruksmønsteret til periodiske laster. En duty cycle på 30% forteller at lasten er på i en tredjedel av gitt periode.

Energideling: Et begrep som brukes når deltakere utveksler energi.

Energiflytsverdier: Variabler i energidelingsmodellen som inneholder informasjon om hvor mye energi som flyter mellom anleggsdelene i en deltakers solcelleanlegg.

Energihandelsverdier: Variabler i energidelingsmodellen som inneholder informasjon om hvor mye energi som flyter mellom deltakeres anleggsdeler.

Flex-case 1: Energidelings-case som inkluderer deling av produksjonsoverskudd og energi lagret på batteri.

Flex-case 2: Energidelings-case som inkluderer deling av produksjonsoverskudd og energi lagret på batteri. Dette scenario har mindre deltakelse av hyttenes batteri i energidelingen enn det som forekommer i flex case 1.

Frostsikring: Betyr i praksis at hytta ikke trenger strøm utenom bruk på vinterstid. Hytta kan trygt forlates uten at det risiko for at vann på kritiske steder fryser.

Gitterstruktur: Sammensetningen av atomer i et metall.

Hytte: Hytte er en bygning definert til fritidsbruk. Skiller seg fra fritidsbolig ved å ikke inkludere leilighetsbygg.

Hyttefelt: Et område der minst 5 hytter står med avstand på max 75 meter.

Hyttekategorisering: En inndeling av hytter på bakgrunn av forskjeller i effekt og energibehov.

Lost load: Den delen av det estimerte forbruket som ikke blir dekt.

Maximum power point tracker: En styringsenhet som til enhver tid sørger for optimal utnyttelse av solcellepanelene. Enheten inneholder en algoritme som sørger for å gi cellene optimal terminalspenning.

Off-grid hyttefelt: Et hyttefelt lokalisert utenfor rekkevidde for innlagt strøm.

Overskuddsenergi: Den delen av produksjonen som blir til overs dersom forbruket er dekt og batteriet i egen installasjon er fulladet.

PV-case: Energidelings-case som inkluderer kun deling av produksjonsoverskudd.

Sf-rate: En størrelse som angir i hvor stor grad en hytte er selvforsynt. Størrelsen beregnes ved å betrakte estimert forbruk og energi gjennom inverter.

Soltid: Tidsperioden der solen er oppe; fra soloppgang til solnedgang.

Liste over figurer

1.1	Kategorisering av elektrifisering i Afrika [3]	1
1.2	Antall plusskunder totalt og plusskunder med solcelleanlegg, mai 2019 – april 2021 [31]	2
2.1	Hyttetekategori 1-4 [39]	7
2.2	Hyttetekategori 1 og 4 [39]	8
3.1	Oppbygning av offgrid-solcelleanlegg	9
3.2	Strøm-spenning karakteristikk for en solcelle [33]	12
3.3	Verdier for cellen benyttet i simulering [40]	12
3.4	Seriekoblede og parallellkoblede celler [20]	13
3.5	Solenergipotensialet i verden [1]	15
3.6	Solinnstråling, Oslo 2020 [8]	15
3.7	Lithium-ion cell [13]	17
3.8	Effektsimulering i RAMP [18]	19
4.1	Etablering av input-data til energidelingsmodellen	20
4.2	Varmtvannstank i RAMP [19]	21
4.3	Kategorihytte 1 [19]	21
4.4	Stegvis oppbygning av energidelingsmodellen	23
4.5	Anleggsstruktur hos deltakerne	23
4.6	Etablering og indeksering av bud	24
4.7	Flex batteri	24
4.8	Eksempel på kjøps- og salgsandeler i et tidssteg	25
4.9	Eksempel fra koden	25
4.10	Eksempel fra koden	27
4.11	Essensielle dataverdier i Python-modellen (for et hyttefelt med N deltakere)	27
4.12	Aktivering av batteri- og flex-bud.	28
4.13	Før deling	28
4.14	Inkludering av kun pv-bud	28
4.15	Inkludering av pv-bud og batteri-bud	29
4.16	Inkludering av pv-bud, batteri-bud og flex-bud	29
4.17	Energihandel del 1	30
4.18	Produksjon fra solcelleanlegg i tidssteg 24415	30
4.19	Energihandel del 2	31
4.20	Energihandel del 3	31
4.21	Energihandel del 4	32
4.22	Energihandel del 5	32
4.23	Resultat etter energideling	33
5.1	Simulering, hyttetekategori 1	36
5.2	Simulering, hyttetekategori 2	36
5.3	Simulering, hyttetekategori 3	37
5.4	Simulering, hyttetekategori 4	37
5.5	Spesifisering av solcelleanlegg i PVlib [43]	38
5.6	Timesverdier for solproduksjon per panel gjennom et år [43]	38
5.7	Base case	39
5.8	PV-case	39
5.9	Flex case	40
5.10	Energihandelsverdier som benyttes til tapsberegninger	42
5.11	Oppdatering av energihandelsverdier i modellen	42
6.1	SF-rate for hver av hyttene i base-case	45
6.2	SF-rate, oversikt	46
6.3	SF-rate for hver av hyttene i base-case	47
6.4	SF-rate, oversikt	49
6.5	Sammenligning av sf-rate i flex-case 1 og base-case	50
6.6	SF-rate for hyttene i base.case	51
6.7	SF-rate, oversikt	53
6.8	Sammenligning av sf-rate i flex-case 1 og base-case	53
6.9	SF-rate for hyttene i base-case	54

6.10 SF-rate, oversikt	56
6.11 Sammenligning av sf-rate i flex-case 1 og base-case	56
6.12 Sammenligning av resultater fra ulike scenario (flex case 1).	57
6.13 Høstferie for en hytte med kategori 4, etter energideling	58
6.14 Høstferie for en hytte med kategori 4, etter energideling	58
6.15 Solproduksjon og handel til egen inverter	59
6.16 Forbruk	59
6.17 Handel til eget batteri	60
6.18 Batteristatus	60
6.19 Høstferie for en hytte med kategori 4, uten energideling.	61
6.20 Høstferie for en hytte med kategori 4, uten energideling.	61
6.21 Høstferie for en hytte med kategori 4, etter energideling	62
6.22 Høstferie for en hytte med kategori 4, etter energideling	62
6.23 Vinterferie for en hytte med kategori 4, uten energideling	63
6.24 Vinterferie for en hytte med kategori 4, etter energideling	64
6.25 Vinterferie for en hytte med kategori 4, etter energideling	64
6.26 Uke 29 for en hytte med kategori 4, uten energideling	65
6.27 Uke 29 for en hytte med kategori 4, etter energideling	66
6.28 Uke 29 for en hytte med kategori 4, etter energideling	66
6.29 Uke 47 for en hytte "AH3", uten energideling	67
6.30 Uke 47 for en hytte "AH3", etter energideling	68
6.31 Uke 52 for en hytte "AH3", etter energideling	69
7.1 Flex-case	72
7.2 SF-rate, oversikt	73
7.3 Høstferie for en hytte med kategori 4, PV-case.	75
7.4 Høstferie for en hytte med kategori 4, PV-case.	75
7.5 Høstferie for en hytte med kategori 4, etter energideling	76
7.6 Høstferie for en hytte med kategori 4, etter energideling	76
9.1 Mappedstruktur i koden	78
A.1 Uke 38	86
A.2 Uke 38	86
A.3 Uke 39	87
A.4 Uke 39	87
A.5 Uke 40	88
A.6 Uke 40	88
A.7 Uke 41	89
A.8 Uke 41	89
A.9 Uke 42	90
A.10 Uke 42	90
A.11 Uke 43	91
A.12 Uke 43	91
A.13 Uke 44	92
A.14 Uke 44	92
A.15 Uke 45	93
A.16 Uke 45	93
A.17 Uke 46	94
A.18 Uke 46	94
A.19 Uke 47	95
A.20 Uke 47	95

Liste over tabeller

1.1	Scenario-spesifikasjon	4
2.1	Beskrivelse av komponentnivåer	7
2.2	Effekt til oppvarming [39]	8
4.1	Bruksmønster	22
4.2	Energiflytsverdier	23
5.1	Inndeling av kategorihytter i hyttefeltet	34
5.2	Komponenter i hyttekategori 1	35
5.3	Nivå-inndeling av belyningslaster	35
5.4	Scenario-spesifikasjon	39
5.5	Forklaring av $X[j]$ i ligning (5.3)	43
5.6	Forklaring av $Z[j]$ i ligning (5.4)	43
6.1	Årlig resultat, base case	46
6.2	Presentasjon av årlig resultat	46
6.3	Scenario 1	47
6.4	Årlig resultat, base case	47
6.5	Årlig resultat, pv case	48
6.6	Årlig resultat, flex case 1	48
6.7	Årlig resultat, flex case 2	48
6.8	Scenario 2	51
6.9	Årlig resultat, base case	51
6.10	Årlig resultat, pv case	52
6.11	Årlig resultat, flex case 1	52
6.12	Årlig resultat, flex case 2	52
6.13	Scenario 3	54
6.14	Årlig resultat, base case	54
6.15	Årlig resultat, pv case	55
6.16	Årlig resultat, flex case 1	55
6.17	Årlig resultat, flex case 2	55
6.18	SF-rate, oppsummering	57
7.1	SF-rate, oppsummering	74
8.1	Scenario 2	77
A.1	Komponenter i hyttekategori 2	82
A.2	Komponenter i hyttekategori 3	82
A.3	Komponentene i hyttekategori 4	83
A.4	Effekt til oppvarming	84
A.5	Effekt til lys	84
A.6	Effekt til varmtvann	84
A.7	Effekt til vannpumpe	84
A.8	Effekt til diverse stikk	85

1 Innledning

Bakgrunn og motivasjon for oppgaven har ikke endret seg stort fra prosjektoppgaven (skrevet høsten 2022), deler av delkapittel 1.1 og 1.2 hentet derfra [39].

1.1 Bakgrunn

Den norske fjellheimen fylles stadig av hytter. På landsbasis har det de siste tjue årene blitt bygget i snitt nesten fjorten nye hytter hver dag [30]. Hyttene har også endret standard fra nøkterne fritidsboliger til moderniserte boliger på linje med hus. Fra flere steder i næringslivet og befolkningen kommer det tydelig frem at det er ønskelig å redusere inngrepene som følger av utbygging og forbruk av hytter [23]. En rekke forskere trekker også frem hytteutviklingen som svært problematisk sett fra et bærekraftsperspektiv [23].

Siden økende velstand i befolkningen har ført til høyere standard for hytte, er det lite realistisk å se for seg hytter i den norske fjellheimen helt uten strøm. Dette ville isåfall krevd en stor holdningsendring i befolkningen, noe som virker svært urealistisk. For å likevel kunne opprettholde en tilstrekkelig standard på hytter uten nett-tilkobling, er det nødvendig å gjøre en studie av forbruk, smarte løsninger og lokale produksjonsmuligheter. En målsetning med masteroppgaven er å gi et bidrag til en grønnere hytteutbygging uten å fjerne strømtilgangen for bruker. Dette ved å undersøke lønnsomhet og forbedringspotensiale rundt å inkludere energideling i et off-grid hyttefelt.

Ettersom strømprisene har økt kraftig og prisene på solcelleteknologi i dag er på under 1% av nivået det var på for 30 år siden [22], er det blitt svært aktuelt å sette søkelys på solkraft som energiforsyning. Solcelleteknologi utvikles i rekordfart og det blir stadig mer lønnsomt å investere i fornybare løsninger.

Det er gjort et arbeid på off-grid landsbyer i Afrika som baserer seg på en fem-trinns nivåinndeling av effekt og energiforsyning, illustrert i figur 1.1. Nivåinndelingen starter med det laveste tilgangsnivået (Tier 1), med henvisning til begrenset tilgang til små mengder strøm i noen timer per dag slik at husholdningen kan bruke elektrisk belysning og telefonlading. Høyere tilgangsnivåer defineres av høyere kapasitet på energi og effekt.

I fordypningsoppgaven som ble gjort høsten 2022, "Forbruksanalyse, studie og kategorisering av norske hytter" [39], ble det gjort en litteraturstudie av selvforsynte hytter, samt en studie av lastprofiler knyttet til effektbasert hyttekategorisering på samme måte som i figur 1.1. Målet med oppgaven var å legge frem en inndeling av norske hytter som ligner på den afrikanske.



Figur 1.1: Kategorisering av elektrifisering i Afrika [3]

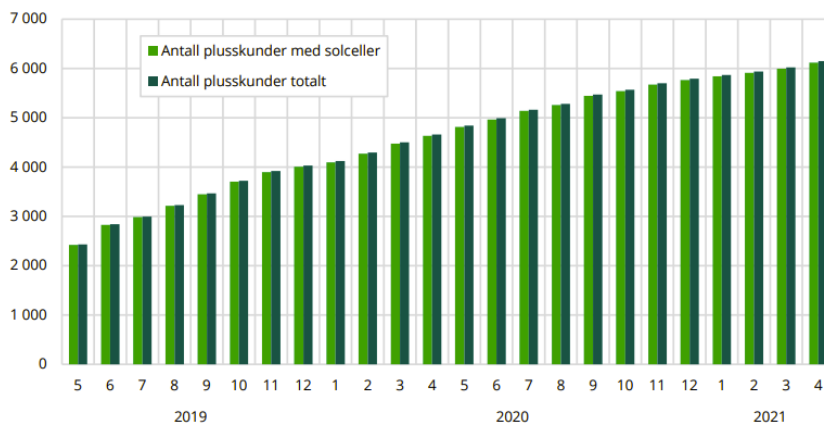
Fordypningsoppgaven resulterte i et årlig forbruksmønster for fire hytter, der alle hyttene ble dimensjonert etter å kunne fungere off-grid. Oppgaven var et innledende arbeid til masteroppgaven, og hyttene og deres forbruksprofiler brukes videre i arbeidet.

1.2 Motivasjon

I lys av dagens hyttebygging oppleves det som svært givende å bidra til kartlegging og problemløsning rundt et mer bærekraftig hytteliv. Ved å gjøre studie av “offgrid hyttefelt“, er det med målsetning om at disse løsningene kan erstatte storskala hytteutbygging, slik vi ser i fjellheimen i dag. Dagens utbygging fører til at Norge mister mer og mer av sin sjel. Ved å legge til rette for smarte offgrid løsninger vil man kunne spare naturen og samfunnet for mye belastning.

En målsetning for fremtiden er å kombinere resultatene fra masteroppgaven med andre bærekraftige løsninger rundt hyttebygging, blant annet fra arkitekter og bygg-ingeniører. Masteroppgaven kan sees på som elektroingeniørens bidrag til dette. Det er ikke til å se bort ifra at uberørt natur er noe av det viktigste vi kan gi til fremtidige generasjoner; “For hver hyttetomt som selges, forsvinner litt av vår felles arv“ [23].

Energieffektive løsninger (blant annet solkraft) er også i dag svært aktuelle for bolig, mye grunnet dagens strømpris. Dette bidrar til å øke prosjekt- og masteroppgavens aktualitet og nedslagsfelt. I masterarbeidet har det blitt bygget en energidelingsmodell, og modellen kan med små modifikasjoner også benyttes for bolig. Lokal kraftforsyning i husholdningssektoren øker stadig sin popularitet. Dette kommer frem ved at antallet plusskunder i perioden 2019-2021 har økt fra 2500 til 6100 stk [31]. Figur 1.2 viser utviklingen i antall plusskunder totalt og antall plusskunder med solcelleanlegg fra mai 2019 til april 2021. Nesten alle plusskunder i husholdningene (over 99 %) har solcelleanlegg [31].



Figur 1.2: Antall plusskunder totalt og plusskunder med solcelleanlegg, mai 2019 – april 2021 [31]

1.3 Studiens formål og omfang

1.3.1 Energidelingsmodell

I masteroppgaven er det utviklet en modell som studerer energideling mellom hytter i et off-grid hyttefelt. Modelling har dermed vært hoveddelen av masteroppgaven. Modellen skal kunne besvare følgende forskningsspørsmål:

Hvordan designe et hyttefelt for at det skal dra mest nytte av energideling?

Forskningsspørsmålet snevres inn til å se på bruksmønster-fordelinger, noe som vil studere virkningen av ulik bruk av hyttene; eksempelvis “feriebruk“ og “helgebruk“. Mer konkret skal energidelingsmodellen gjøre følgende:

Energidelingsmodellen skal kunne lage et hyttefelt som inneholder ulike hytter basert på elektrisk forbruk, og disse skal også tildeles hvert sitt solcelleanlegg. Videre skal det simuleres og sammenlignes energidelings-scenario der ulike bruksmønstre tildeles hyttene.

Følgende krav har blitt stilt til energidelingsmodellen:

- Man skal kunne designe et hyttefelt ved å tilegne hver deltaker et spesifikt forbruk og bruksmønster.
- Solcelleanleggene hos hyttene skal inneholde alle nødvendige parametere som setter begrensning for produksjon, lagring og overføring av energi. Eksempelvis virkningsgrad på batteri og inverter, maksimal overføringseffekt, maksimal og minimal batterilagringsskapasitet og maksimal produksjonskapasitet.
- Hyttene skal kunne utveksle momentan energi (produksjonsoverskudd) og energi lagret på batteri.
- Utvekslingen av energi mellom kjøpere og selgere skal skje på en “rettferdig måte“.
- Hyttefeltet skal kunne simuleres med 2 til 50+ deltakere.
- Modellene skal kunne gi en detaljert oversikt over energistatus (overskudd, underskudd og batterikapasitet) i hvert tidssteg (hvert kvarter).
- Det skal kunne plottes all nødvendig informasjon om krafthandelen i ønsket tidssteg (dette i hovedsak for å sikre at handelen foregår korrekt).
- Modellen skal være enkel å bruke og gi leselige plots.
- Det skal kunne simuleres for forskjellige typer handelsscenario (caser); deriblant handel som kun inkluderer overføring av produksjonsoverskudd og handel som også tillater anleggenes batteri deltakelse i energidelingen.

Hovedmålene med oppbygningen av energidelingsmodellen er å få på plass case-simuleringene og få energiflyten mellom hyttene til å stemme overens med produksjonsoverskudd og underskudd hos deltakerne i det lokale markedet.

Viktig påpekning

Hovedproduktet fra masterarbeidet er energidelingsmodellen, og på bakgrunn av at modellen skal brukes videre på nytt fordypningsprosjektet og masteroppgave i skoleår 2023/2024 er deler av masteroppgaven preget av dette. Dette gjelder særlig modelleringskapittelet, kapittel 4.

Filen som i hovedsak modellerer energidelingen, `model_builder_per_timestep()`, er på 1435 linjer og er å finne på github sammen med resten av koden som hører til energidelingsmodellen [40]. På github ligger det også beskrivelser av hvordan man orienterer seg i modellen og hvordan den brukes. Python-filene er også jevnlig kommentert slik at fremtidige brukere enklere kan henge med.

I seksjon 9, “videre arbeid“, vises en figur som illustrerer mappestrukturen til koden. Dette for å gjøre det enklere for utenforstående å orientere seg frem blant mappene på github.

1.3.2 Case-simulering

For å teste og demonstrere funksjonaliteten til modellen, legges det frem simulering av ulike caser. I masteroppgaven simuleres det for fire caser, deriblant “basecase“. Disse forklares kort nedenfor. En nærmere beskrivelse av hver case legges frem i kapittel 5.3.

Basecase viser til et scenario der hver hytte eier hvert sitt solcelleanlegg, uten mulighet for energiutveksling.

PV-case viser til et scenario der deltakerene i hyttefeltet kun kan utveksle produksjonsoverskudd.

Flex-case 1 og 2 viser til scenario der deltakerne kan utveksle produksjonsoverskudd og energi lagret på batteri. I casene settes det en øvre og nedre grense for når batteriet skal kunne selge og kjøpe energi. Forskjellen på flex-case 1 og 2 ligger i hvor disse grensene settes. I flex-case 1 settes grensene slik at batteriet deltar i i det lokale markedet i større grad enn i flex-case 2.

Bruksmønster-scenario

For å undersøke virkningen av å inkludere ulike forbruksmønster knyttet til hyttene, simuleres hver case for tre bruksmønster-scenario. En problemstilling i “hyttefelt med solcelleanlegg“ er at anleggene produserer energi samtidig. For å kunne dra nytte av energideling er man avhengig av forskjeller i forbruk samtidig som det er sol.

Dersom bruksmønsteret er ulikt blant hyttene, er det større sjans for at noen har overskudd mens andre har underskudd. I masteroppgaven er det virkningen av dette skal undersøkes. Dette gjøres ved å simulere de tre casene for bruksmønster-scenario listet opp i tabell 1.1. Antall hytter for et gjeldende bruksmønster i tabellen benevnes som “stk“. Hyttefeltet det simuleres for består i alle simulerings-scenarioene av 20 deltakere.

Scenario	Permanent	Hver helg	Annenhver helg	Feriebruk
1	0	2 stk	2 stk	16 stk
2	0 stk	5 stk	7 stk	8 stk
3	2 stk	6 stk	6 stk	6 stk

Tabell 1.1: Scenario-spesifikasjon

“Permanent“ vil si at hytta er bebodd året rundt, “hver helg“/“annenhver helg“ vil si at hytta bare brukes fredag til søndag hver/annenhver uke og “feriebruk“ vil si kun bruk i de store feriene. En mer utdypende forklaring rundt hva som angår de ulike bruksmønsterene legges frem i kapittel 4.1.3.

Siden det i masteroppgaven er valgt å sette fokus på virkningen av ulike bruksmønster-scenario, er det valgt en hyttefordeling som holdes konstant under simulering. Med “hyttefordeling“ menes hvilke kategorier av hytter som inkluderes i hyttefeltet. På prosjektoppgaven ble det lagd fire hyttekategorier med økende grad av elektrifisering. Hver hyttekategori tilsvarer en årlig forbruksprofil for en off-grid hytte. En nøyere beskrivelse rundt “hyttefordelingen“ som er valgt i simulering legges frem i seksjon 2.2.

I oppgaven er det ikke tatt hensyn til tariff og pris. Fokuset i modellen har kun vært å se på energiflyt mellom deltakere.

1.4 Studiens innhold

Masteroppgaven er delt inn i åtte kapitler. Etter innledningen følger kapittel to, og dette handler om tidligere oppgaver som tar for seg masteroppgavens tema. Her fremlegges publisert forskning og tidligere studentoppgaver. Dette kapitlet tar også for seg overordnet hva som ble gjort i fordypningsprosjektet. Kapittel tre legger frem relevant teori som er sentral for å få forståelse av senere deler av studien. Dette kapitlet omhandler blant annet oppbygningen av solcelleanlegg, solcelle- og batteri teknologi, noe som er viktige aspekter rundt energideling og solenergiptensiale.

I kapittel fire blir fremgangsmåten rundt modelleringen lagt frem. Kapitlet går i detalj på de viktigste stegene som har blitt gjort underveis. Formålet med kapitlet er at leseren skal forstå virkemåten til energidelingsmodellen og arbeidet som ligger bak. Kapitlet er svært detaljert, hovedsaklig fordi modellen skal brukes videre på nytt fordypningsprosjektet og masteroppgave i skoleår 2023/2024. Kapitlet kan sees på som en slags “manual“ for senere bruk av modellen.

Kapittel fem introduserer leseren for all nødvendig informasjon rundt casene det simuleres for. Kapitlet redegjør også for forutsetninger og antagelser som er gjort i studien. I kapittel seks blir resultatene fra casene lagt frem, og kapitlet avsluttes med en oppsummering der alle resultatene samles i en tabell.

Resultatene etterfølges av et diskusjonskapittel, der resultatene blir tolket og diskutert. Dette kapitlet drar også frem svakheter ved studien og forslag til videre arbeid. Masteroppgaven avsluttes med en konklusjon i kapittel åtte.

2 Tidligere arbeid

2.1 Liknende prosjekter

Det har i begrenset omfang blitt gjort studier på kategorisering, lastflytanalyse og energideling knyttet til hytter uten nett-tilkobling. Dette delkapittelet viser til artikler, rapporter og studentoppgaver som tar opp solkraft, bruksmønster og laststudie av hytter som tema. Det finnes flere tidligere prosjekter som angår sol, særlig for bolig.

I de siste årene har det blitt skrevet flere relevante masteroppgaver. Lervik og Waitz skriver i sin masteroppgave om lokal strømforsyning til en skole i Kenya [4]. Off-grid løsninger med solcellepaneler og batterier var hovedfokuset i oppgaven. Slålien skriver i sin masteroppgave om bruk av DC for energiframføring i husstander med solcelleanlegg og batterilagring. I oppgaven tar han frem mye relevant informasjon rundt solkraft og batterilagring [27]. Han presenterer også enkelte lastprofiler som er blitt brukt som sammenligningsgrunnlag i prosjektoppgaven. Gørbitz skriver i sin masteroppgave om Seterhytta. Seterhytta er på størrelsen 25-65 m^2 og har som mål å bidra minst mulig til effekttoppene i strømmettet. Her legges det frem mange interessante aspekter rundt hytte og bærekraft, samt flere relevante energikilder [11]. Eksempelvis sol, ved- og flisfyrt bioenergi, vindkraft og grunnvarme.

WWF kartlegger i sin tekst økonomiske intensiver og muligheter rundt solkraft i Norge [2]. Shakya skriver i sin tekst svært utfyllende om det tekniske rundt et solcelleanlegg (Training manual for engineers on solar PV system). Teksten tar for seg komponenter, design, reparasjon, vedlikehold og installasjon [26].

Solbraa legger frem en rekke utfordringer knytter til hytter og bærekraft. Rapporten ser på hvordan norsk hyttepolitikk tar hensyn til dette, og viser blant annet til at energibruk og miljø blir lite vektlagt i hytteutbyggingen. Teksten trekker også frem strenge energikrav som fremmer fornybar energi som et viktig tiltak fra det offentlige for å øke bærekraften til norske hytter [28]. Flognfeldt og Ericsson har skrevet en rapport som baserer seg på undersøkelser blant eiere av hytter/fritidshus i Sjusjøenområdet [36]. Rapporten legger fram relevant informasjon som gir god innsikt i hvordan hytter brukes og dermed også bruksmønstre.

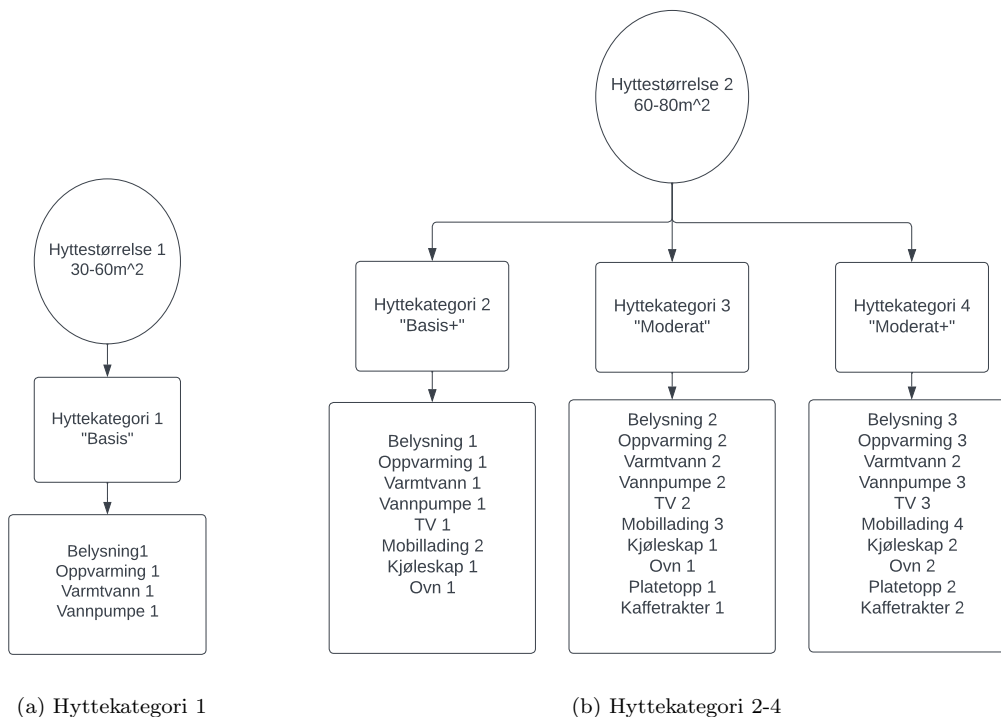
Deike skriver i sin masteroppgave om energideling i et lokalt energisamfunn bestående av 30 boliger. Oppgaven har tre delmål for energikostnadsreduksjon: peak-barbering, lastforskyvning og økning av egenforbruksraten som følge av lokale energisamfunn [9].

Berg, Rana, Degefa og Löschenbrand skriver i sitt paper om modellering av lokale energisamfunn [17]. Ett av referanse systemene de trekker frem er "landlig område tilknyttet svakt nett/uten nett". Hovedsaklig legger forskningsartikkelen frem metoder å simulere lokale energisamfunn på, særlig i sammenheng med integrasjonen av disse i det norske kraftnettet.

Fuchs med medforfattere legger frem en studie av energideling mellom to off-grid hytter. Denne studien sammenligner et enkelt energidelingsscenario i Norge med et i Kenya [24].

2.2 Prosjektoppgaven

Prosjektoppgaven har tatt for seg en viktig del av forarbeidet til masteroppgaven. Prosjektoppgavens hovedmål var å gjøre en kategorisering og forbruksstudie av norske off-grid hytter. Som resultat av dette, ble det designet elektrisk forbruk i fire off-grid hytter. I hver hytte ble det plassert typiske laster til stikk, oppvarming og varmtvann. Lastene ble spesifisert med brukstid og vindu tilknyttet en dag i vinterhalvåret. Figur 2.1 viser til hvordan de fire hyttene er bygd opp.



Figur 2.1: Hyttekategori 1-4 [39]

Beskrivelsen av hva de ulike lastnivåene (eksempelvis TV 1) representerer vises i tabell 2.1.

Tabell 2.1: Beskrivelse av komponentnivåer

Komponentgruppe	Kommetar
Belysning 1	Begrenset med lys i stue, kjøkken, bod og bad
Belysning 2	Tilstrekkelig med lys i stue, kjøkken, soverom, bod og bad
Belysning 3	Tilstrekkelig med lys i stue, kjøkken, soverom, bod, bad og utelys
Lader 1-4	Mobillading for 2-5 personer
TV 1-3	Viser til tre typer fjernsyn
Kaffetrakter 1-2	Viser til to ulike bruksmønstre
Ovn 1-2	Viser til to ulike bruksmønstre
Platetopp 1-2	Viser til to ulike bruksmønstre
Kjøleskap 1-2	Viser til to typer kjøleskap
Varmtvann 1	Viser til varmtvannsbehov for kun tappevann på kran
Varmtvann 2	Viser til varmtvannsbehov for tappevann på kran og dusj
Vannpumpe 1-3	Viser til to typer vannpumper og tre ulike bruksmønstre
Oppvarming 1	Viser til elektrisk oppvarming på kun soverom
Oppvarming 2	Viser til elektrisk oppvarming på soverom, stue og bad
Oppvarming 3	Viser til elektrisk oppvarming på soverom, stue, bad og bod

Tabell 2.2 viser til tekniske parametere og brukstid på lastene i komponentgruppen “oppvarming“. Lastnivåene for de andre komponentgruppene (eksempelvis varmtvann) er bygd opp på samme måte. Tabell for disse ligger i appendix, A.4-A.8.

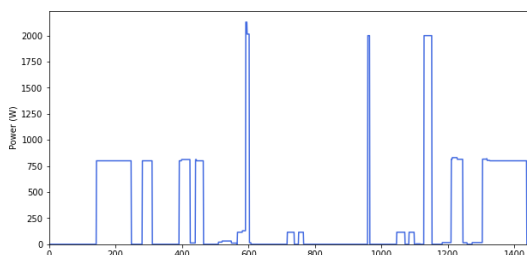
Benevnelsen “duty cycle“ brukes for å spesifisere bruksmønsteret til periodiske laster. En duty cycle på 50% betyr at lasten trekker effekt i 50% av vinduet som er angitt.

I tabell 2.2 viser “Mill Panelovn 6m², 12m²“ til panelovner angitt for romstørrelser på seks og tolv kvadratmeter. “Nexans milimat 15 m²“ er gulvvarme til et femten kvadratmeters bad. Som tabellen også viser opererer alle oppvarmings-lastene med en duty cycle på 50%. De ulike vinduene og brukstidene er knyttet til de forskjellige oppvarmings-lastene som er angitt.

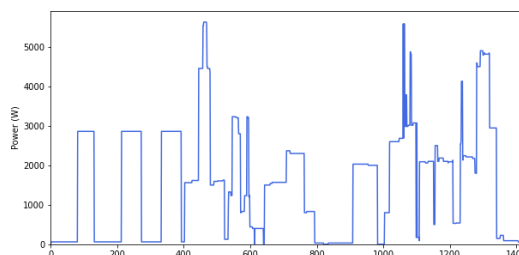
Tabell 2.2: Effekt til oppvarming [39]

Last	Effekt	Type	Kilde	Vindu	Brukstid
Oppvarming 1	2x400W	Mill panelovn stål 6m ²	[37]	kl 18-08 Duty Cycle 50%	7 timer
Oppvarming 2	3x700W, 400W	Mill panelovn stål 12m ² , 6m ²	[38]	kl 18-08, kl 08-11, 18-22 Duty Cycle 50%	7 timer, 3,5 timer
Oppvarming 3	4x700W, 400W, 1500W	Mill panelovn stål 12m ² , 6m ² Nexans milimat (15 m ²)	[7]	kl 18-08, kl 08-11, 18-22 kl 0-23:59 Duty Cycle 50%	7 timer, 3,5 timer

Figur 2.2 viser til to plot. Plottene illustrerer døgnlig elektrisk forbruk for hyttekategori 1 og 4. Årsaken til forskjellene mellom hyttene 1 og 4 er inkludering av flere og større elektriske komponenter for hyttekategori 4 sammenlignet med hyttekategori 1. Hyttekategori 4 har også økt brukstid på komponentene. Forbruksprofilene er døgnlige og angitt for en typisk “vinterdag“ (en dag i januar). I figur 2.2 er det viktig å legge merke til forskjellen på y-aksen på figur a) og b). På x-aksen viser minutter.



(a) Eksempeldøgn, hyttekategori 1



(b) Eksempeldøgn, hyttekategori 4

Figur 2.2: Hyttekategori 1 og 4 [39]

Alle tabellene og figurene i dette delkapittelet er hentet fra prosjektoppgaven [39].

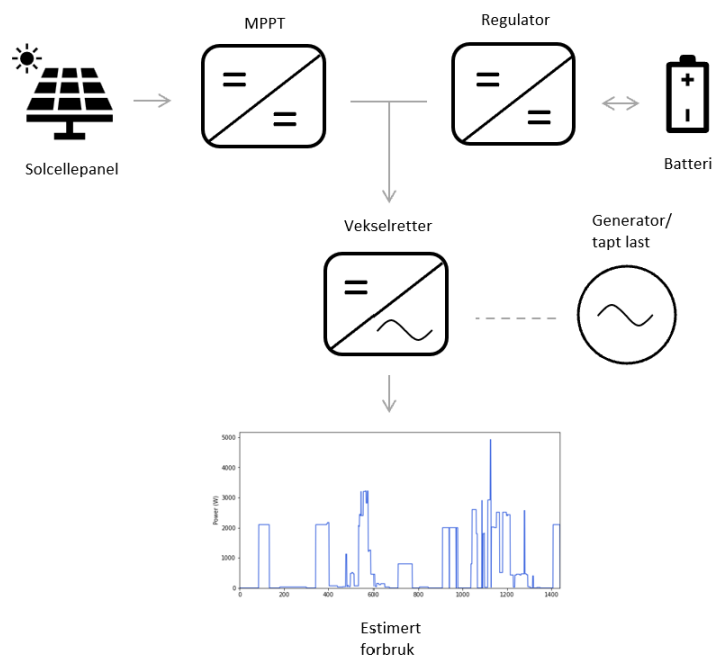
3 Teori

Dette kapitlet tar for seg relevant teori for forståelse av viktige aspekter rundt solcelleteknologi og simulering. Kapitlet trekker frem grunnleggende komponenter i et solcelleanlegg og viser til hvordan de implementeres og brukes i modellen.

Deler av teorikapitlet strekker seg noe utover simulering og omhandler aspekter rundt solenergi i Norge. Denne delen er ment for å gi forståelse rundt utfordringer knyttet til å drifte et solcelleanlegg på nordlige breddegarder sammenlignet med sør.

3.1 Off-grid solcelleanlegg

Figur 3.1 viser til en vanlig oppbygning av et typisk off-grid solcelleanlegg. De ulike anleggsdelene beskrives kort nedenfor



Figur 3.1: Oppbygning av offgrid-solcelleanlegg

Regulatoren er batteriets hjerne. Dens viktigste oppgave er å sikre riktig lading av batteriet [5]. Regulator velges utifra panelkonfigurasjon, ladestrøm og batteritype. Typiske bruksfunksjoner for regulator er overvåking av produksjon, lading, batteriets spenning og temperatur. Noen regulatorer er designet med egen forbrukskurs. Disse kan måle forbruk og koble ut batteriet dersom batterispenningen blir tilstrekkelig lav. Dype utladninger av batteriet forringer batteriets levetid [5]. Av sikkerhetsmessige årsaker inneholder mange regulatorer automatsikring.

Vekselretteren gjør at apparatene i en installasjonen kan benytte seg av den kraften solcellepanelene produserer. Vekselretteren gjør om spenningen fra DC til AC. Vekselretteren går under flere navn, i norsk litteratur kan man også finne den som omformer/inverter. Flere vekselrettere inkluderer også lade-funksjon. Ladefunksjon er aktuelt dersom anlegget har tilknyttet alternativ “back-up” kraft. Ved lading likeretter vekselretteren 230 volt vekselstrøm fra generatoren til 12 volt likestrøm. Batteriet kan også vanligvis lades via en DC-DC omformer fra PV-anlegg. Slike lade-løsninger er ikke inkludert i masteroppgaven.

Vekselrettere har vanligvis kortere levetid enn solcellepaneler. Antatt levetid strekker seg opp mot ti til femten år. I markedet finnes det vekselrettere fra 300 watt til 16 000 watt [6]. Noen vekselrettere

innholder transformator. Ved å ha transformator reduseres risikoen for støt (galvanisk skille) og anlegget egner seg bedre for induktive laster, positive faseforskyvninger [21].

MPPT (Maximum power point tracker) er en styringsenhet som til enhver tid sørger for optimal utnyttelse av solcellepanelene. Avhengig av solinnstråling opererer cellen under ulike driftspunkt. Ladestrømmen øker ved høyere solintensitet. For hver ladestrøm er det en spesifikk terminalspenning på cellene som fremprovoserer et optimalt driftspunkt (maksimal effekt). MPPT inneholder en algoritme som sørger for å gi cellene optimal terminalspenning [29]. Sammenlignet med enklere systemer kan MPPT øke effektiviteten på lading på opp mot 30 % [29]. Teorien rundt dette forklares kort i seksjon 3.2.

Det er ikke nødvendig, men typisk i et off-grid anlegg, å ha en back-up generator tilgjengelig dersom produksjon ikke dekker forbruk. Dette er vist med stiplet linje i figur 3.1. Det er viktig å få frem at generatoren ikke er tatt med i simuleringen. Energimengden som potensielt kunne blitt dekt av en generator er i oppgaven angitt som "lost_load".

3.2 Solcelleteknologi

NB! De første avsnittene; "solcellens n-side", "solcellens p-side", "grensesjiktet mellom cellens n- og p-side" og "strømflyt gjennom cellen" strekker seg noe utover masteroppgavens relevans. Siden det i disse avsnittene introduseres sentrale begreper som benyttes for senere teori er de likevel inkludert i masteroppgaven.

En solcelle omdanner energien i sollys til elektrisk strøm. Grunnet egenskaper, pris og tilgjengelighet er omtrent 95% av solcelleproduksjonen basert på dopet silisium [41].

For at et materiale skal kunne lede strøm, trengs det elektroner i ledningsbåndet [25]. Elektronene i valensbåndet er faste, mens elektronene i ledningsbåndet er løse. I utgangspunktet er silisium en halvleder som ikke leder strøm, dette fordi atomene i gitterstrukturen har halvfullt valensbånd og ingen elektroner i ledningsbåndet. For å gjøre en silisium-celle egnet, dopes silisium-materialet med ulike atomer på hver sin side av cellen.

Doping er en teknikk der enkeltatomer plukkes ut av gitterstrukturen og erstattes. De nye tilsatte atomene kan inneha en annen struktur enn de opprinnelige og dermed kunne bidra til å gi materialet nye egenskaper. I oppbygningen av solceller er det mest vanlig å dope silisium med Bor og Fosfor. Bor mangler et elektron i valensbåndet og bidrar med et hull i gitterstrukturen (p-doping), Fosfor har et ekstra elektron og bidrar med et fritt elektron (n-doping) [25].

Solcellens n-side

Solcellens n-side inneholder frie elektroner og **positive fosfor-ioner**. Siden det i elektronparbindingen mellom silisium og fosfor kun er plass til åtte elektroner, vil silisium med sine fire og fosfor med sine fem elektroner resultere i et overskuddselektron i gitterstrukturen. Ved å ha kvittet seg med et elektron, fører dette til en netto ubalanse for fosfor-atomet. Fosfor-atom har fem protoner i kjernen og dermed et proton mer enn elektron i atomstrukturen (positivt ladd).

Uten påvirkning fra p-materialet, vil n-siden likevel ha nøytral ladning. Dette fordi de frie elektronene nøytraliseres av de positive ionene.

Solcellens p-side

Solcellens p-side inneholder frie hull og **negative bor-ioner**. De frie hullene skyldes underskudd av elektroner (overskudd av hull). Siden det i elektronparbindingen mellom silisium og bor kun er plass til åtte elektroner, vil det med silisium sine fire og bor med sine tre resultere i et hull i gitterstrukturen. Når hullet vanderer rundt i gitterstrukturen vil hullets plass i atomstrukturen etterfylles med elektroner. Dette gjør at bor, med sine tre protoner i kjernen, vil ha fire elektroner i atomstrukturen og danne negative ioner (negativt ladd).

Dersom det kun sees på p-materiale (uten påvirkning fra n-materialet), vil materialet ha nøytral ladning. De frie hullene vil nøytraliseres av de negative ionene.

Grensesjiktet mellom cellens n- og p-side

Selve solcellen dannes når p- og n-materialet kombineres. De frie hullene på p-siden og de frie elektronene på n-siden vil nå tiltrekkes. Denne prosessen vil skje helt til en "tilstrekkelig mengde" med elektron-hull par blir dannet i grensesjiktet mellom n og p-materialet. En "tilstrekkelig mengde" er nådd når valensbåndene til ionene i grensesjiktet er fulle og de positive fosfor-ionene og negative bor-ionene i grensesjiktet innehar en netto ladning som er tilstrekkelig til å frastøte nye innkommende elektroner og hull. Når overføringsprosessen av hull/elektroner til grensesjiktet stopper opp, vil grensesjiktet fungere som en barriere mellom n- og p-siden. Atomene i grensesjiktet vil ha fulle valensbånd og ingen elektroner i ledningsbåndet. Det vil heller ikke være frie hull/elektroner tilstedet som nøytraliserer ionene. Dette resulterer i en netto positiv ladning i det p- dopede området i grensesjiktet og en netto negativ ladning i det n- dopede området i grensesjiktet.

Ladningsforskjellen mellom p- og n-siden i grensesjiktet legger grunnlag for et elektrisk feltet som retter seg fra n-siden mot p-siden. Dersom en elektrisk ladning befinner seg i feltet, vil den bevege seg i henhold til feltets retning. Like ladninger frastøter hverandre og ulike ladninger tiltrekkes.

På denne måten vil **grensesjiktet** danne drivkraften bak å dytte ladning (hovedsaklig elektroner) fra cellen og ut i en ytre krets. Dersom et elektron rives løs (ioniseres) fra elektronparbindingene i grensesjiktet, vil dette bli frastøtt av de negative bor-ionene og tiltrekkes av de positive fosfor ionene. Når et elektron frigjøres fra elektronparbindingen, frigjøres det et tilhørende hull, dette vil bli frastøtt av de positive fosfor-ionene og tiltrekkes av de negative bor-ionene.

Strømflyt gjennom cellen

I samme takt som at hull bygger seg opp på cellens p-side, vil elektroner samles på cellens n-side. Akkumuleringen av ladning gjør n-siden i økende grad negativ og p-siden i økende grad positiv. Dette danner spenningsforskjellen mellom cellens poler. Etterhvert som akkumuleringen av ladning bygger seg opp på n- og p-siden, vil den netto ladningen etterhvert bli større enn den netto ladningen ionene i grensesjiktet frastøter elektronene/hullene med. Dette fører til at de frie ladningene tilslutt i større grad frastøtes polene enn tiltrekkes. På denne måten vil det ikke kunne bygges opp uendelig spenning mellom cellens n- og p-side, men spenningen vil være begrenset til en "maksimal åpen-klemme spenning". Denne spenningen er benevnt i solcellens datablad og sier noe om hvor stort barriereområdet cellen innehar.

N- og p-siden på cellen fungerer på samme måte som pluss og minus på et batteri. Kobles det en ytre krets mellom cellens poler vil elektronene strømme fra cellens n- til p-side. Prosessen vil kunne gjenta seg kontinuerlig så lenge det er tilstrekkelig energi i innkommende lys til å ionisere elektroner i grensesjiktet.

I stasjonær tilstand, når cellen ikke er eksponert for lys, vil det som nevnt (grunnet frie ladninger som nøytraliserer ionene) kun være et elektrisk felt i grensesjiktet mellom materialene. På n- og p-siden utenfor grensesjiktet vil det derfor ikke kunne måles noen spenningsforskjell mellom cellens n- og p-side.

En solcelle vil ikke kunne brukes opp, bare svekkes. Solcellen vil alltid gå tilbake stasjonær tilstand når den ikke eksponeres for sollys. For at det skal kunne gå strøm ut av cellen må det være en kobling til cellens jordingspunkt. På den måten vil ladningene som dras ut av cellens n-side kontinuerlig returnere cellens p-side. Slik kan prosessen gjenta seg i det uendelige.

For å ionisere et elektron i grensesjiktet trengs det en spesifikk mengede energi [25]. Denne energien er gitt som båndgapsenergien (E_g) [32]. Ved gitt båndgapsenergi kan man ved Plancks strålingslov beregne hvilke bølgelengder av lys som fører til ionisering. Plancks strålingslov er gitt ved ligning 3.1, h er Plancks konstant.

$$\lambda > \frac{hc}{E_g} \quad (3.1)$$

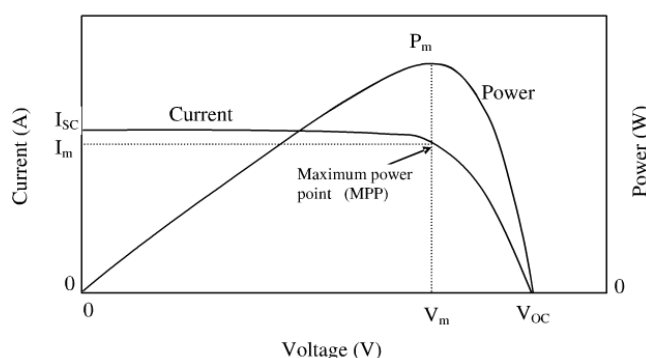
Båndgapsenergien til silisium er 1,12eV. Dette gjør at lys med bølgelenge mellom 400nm og 1100nm vil kunne starte ioniseringsprosessen i en solcelle [32].

Solcellens strøm-spenning karakteristikk

Solceller opererer forskjellig under ulike forhold. Driftsforholdene avhenger av solintensitet og hvilke lasttilkoblinger som befinner seg i kretsen mellom terminalene. Som beskrevet i avsnittet ovenfor vil cellen produsere maksimal spenningsforskjell mellom terminalene når den eksponeres for sollys ved en åpen-krets tilkobling (uendelig motstand mellom cellens n- og p-side). For å generere effekt fra solcellen kobles det en ytre krets mellom cellens terminaler.

Akkumulering av ladning på cellens n-side er ekvivalent med en økende spenningsforskjell mellom cellens pluss og minus. Jo høyere motstand som er tilkoblet den ytre kretsen, desto mer ladning akkumuleres. Dette fordi cellen tilstreber å generere tilstrekkelig spenningsforskjell mellom terminalene til å få dyttet elektronene gjennom den ytre kretsen og over til p-siden. Dersom det er en ideell kortslutning mellom terminalene (null motstand), vil ikke cellen akkumulere ladning (generere spenningsforskjell) mellom terminalene. I en slik situasjon vil elektronene strømme direkte fra grensesjiktet, ut av cellen, gjennom kortslutningene og tilbake til p-siden.

Som vist i figur 3.2 vil cellen oppnå en maksimal strøm (I_{SC}) når spenningen mellom terminalene er null volt og en maksimal spenning (V_{OC}) når strømmen ut av cellen er null ampere.



Figur 3.2: Strøm-spenning karakteristikk for en solcelle [33]

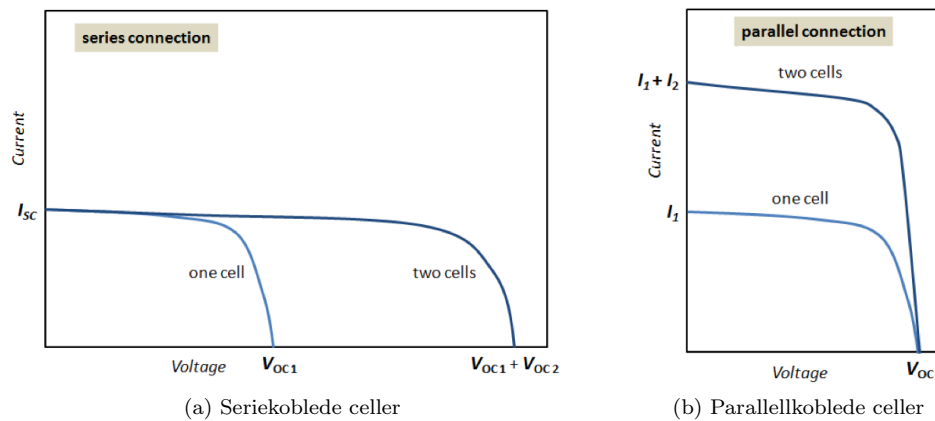
Effekt generert av solcellen er produktet av cellens terminalspenning og strøm, dette illustreres som arealet under cellens IV-kurve. Som vist i figur 3.2 vil det genereres maksimal effekt (P_m) under det såkalte 'knepunktet'. Størrelsene P_m , V_m og I_m oppgis i cellens datablad og er svært sentrale størrelser i beskrivelsen av cellens oppførsel. I Python-simuleringen er disse størrelsene angitt som vist i figur 3.3.

```
#DATABLADVERDIER FOR !ET PANEL!
celltype = 'monoSi' #MONO-CRYSTALLINE
pDc0 = 410 #Pm
v_mp = 31.45 #Vmp
i_mp = 13.05 #Imp
v_oc = 37.32 #Voc
i_sc = 13.95 #Isc
```

Figur 3.3: Verdier for cellen benyttet i simulering [40]

Solcellepanel og større anlegg

En solcelle genererer alene mellom 0,5 og 0,6 volt ved 25°C. Denne størrelsen er tilnærmet konstant og uavhengig av størrelse på cellen. Ved dimensjonering av et solcellepanel, benytter man seg av celler i serie og parallell. Ved å koble sammen celler i ulike konfigurasjoner, vil man kunne modifisere panelets samlede strøm-spenning karakteristikk etter behov, som vist i figur 3.4.



Figur 3.4: Seriekoblede og parallellkoblede celler [20]

Som det kommer frem i figur 3.4, fører seriekoblede celler til høyere spenning mellom terminalene. Parallellkoblede celler fører til høyere strøm ut av cellen. Siden effekt illustreres som arealet under strøm-spenning kurven, vil økningen i effekt være lik for de to modifikasjonene. I et solcellepanel kobles cellene i en matrise av seriekoblede og parallell-koblede celler. Solceller koblet i serie omtales gjerne som “celler koblet på en streng“, mens parallellkoblede celler omtales ofte som “grupper“.

Solcellepanelets effekt av skygge

Siden celler kobles i serie, vil strømmen (og dermed effekten) fra panelet være svært sårbar for skygge. Den cellen på en streng som blir eksponert for minst sollys er den cellen som bestemmer strømmen gjennom hele strengen. En løsning på dette problemet er å inkludere “passeringsdioder“ i cellematrisen. Disse diodene kortslutter en hele streng dersom celler på strengen blir skyggelagt. Ved å gjøre dette, hindres det at de andre cellene-gruppene skal lide for den ene cellens skygge. Passeringsdiodene har også som hensikt å unngå “hot-spot“ i en celle. Dette er varmetvikling som kan ødelegge cellen dersom den blir skyggelagt.

Den simulerte solproduksjonen i Python er basert på innstrålings-effekt (timesmålinger) fra PV-GIS. Målingene fra PV-GIS er basert på satellitt-bilder og tar hensyn til skyggelegging i form av atmosfæriske forhold. Bildene får ikke med seg lokal skyggelegging i form av eksempelvis terreng, trær og snø. Sistnevnte kan være et stort problem for anlegg på norske hytter. Dersom panelene er dekket av snø vil det være null produksjon.

Solcellepanelets tilt og retning

Avhengig av hvor man befinner seg på jordkloden, er det nødvendig med en bestemt tilt og orientering på solcellepanelet for å hente ut maksimal effekt. Ettersom jorden roterer rundt sin egen akse, endres solens posisjon på himmelen. Grunnet tidssonene som benyttes i dag, vil det uavhengig av hvor man er i verden være mest lønnsomt å vende panelene mot den retningen der solen står klokken 12. Dette vil være mot sør på den nordlige halvkule, og mot nord på den sørlige. På dette tidspunktet er sola nærmest jorden.

I PVLIB er det viktig å sammenfalle lokasjonsobjektet (lokasjonen der anlegget er plassert) med innstrålingsdataene fra PVGIS. Dette ved blant annet å spesifisere hvilken tidssone lokasjonsobjektet befinner seg i. Gjøres ikke dette vil ikke innstrålingsdataene stemme overens med tiden der anlegget er plassert. Solcellepanelets retning refereres til som azimuth. Azimuth er en betegnelse som angir antall grader avvik fra nordlig retning.

Solcellepanelets tilt justeres etter ønsket om at sollyset ideelt sett skal treffe vinkelrett på panelet. Desto mer skrått sollyset treffet, jo mer vil reflekteres bort. Panelets optimale tilt kan beregnes etter hvilken breddegrad man befinner seg på.

Dersom det i teorien skulle blitt dimensjonert optimal tilt for et solcellepanel under sommersolverv i Trondheim, må det først sees på hvor høyt solen står på himmelen på dette tidspunktet. Ved det faktum at solen står vinkelrett på breddegrad 23,56 ° og at Trondheim ligger på breddegrad 63,43°, vil solens høyeste posisjon være 50,13° på himmelen (breddegrad - 23,56°). Panelets optimale tilt vil da være 39,87° (90° - breddegrad).

Ettersom jorden beveger seg rundt solen, vil solens posisjon på himmelen endre seg gradvis. Under vintersolverv vil solen stå svært lavt, omtrent 3° på himmelen (Trondheim), noe som gir en optimal tilt på 87°. Dersom man hver dag skulle tilstrebet optimal tilt, ville man døgnlig måtte endre på panelet. Den mest vanlige metoden for å sette en stasjonær tilt er å beregne breddegrad - 15° [12]. Denne metoden plasserer panelet med en tilt som vil inntreffe på en vår- og høstdag som er noe nærmere sommertid en vintertid.

I Python-simuleringene er anlegget plassert i Oslo-området. Oslo ligger på breddegrad 50,6° og tilten er valgt til 45°. For å unngå snødekte solcellepaneler, kan det være lønnsomt å plassere panelene med brattere tilt (slik at snøen sklir av). En konsekvens av bratt tilt er at produksjonen på sommerstid forverres, dette fordi solen står høyt.

På vinterstid gir en brattere tilt bedring i produksjon, men siden produksjons-potensialet er høyere på sommerstid lønner det seg ikke å plassere panelet med en stasjonær "vinter-tilt". En utdypende analyse rundt hvordan panelene optimalt bør tiltes er utenfor pensumet til denne masteroppgaven.

3.3 Solenergipotensiale

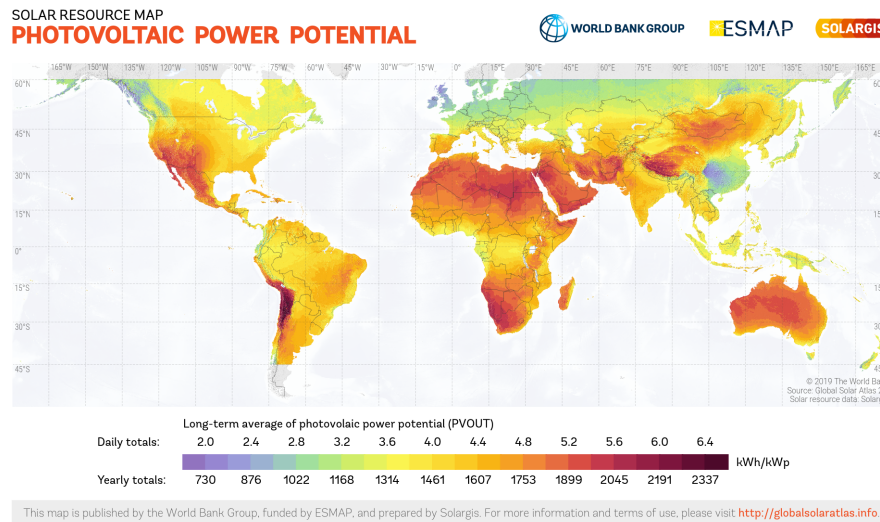
Desto større innstråling [$\frac{W}{m^2}$], desto høyere strøm klarer cellen å produsere. Innstrålings-effekten har lite innvirkning på spenningen mellom cellens terminaler, men strømmen økes. Som nevnt ovenfor avhenger maksimal terminalspenning ikke av innkommende sollys men av størrelsen på solcellens grensesjikt. Økes strømmen, økes også effekten ut av panelet. Hvor mye effekt som er i det innkommende sollyset avhenger av, sett bort fra ytre faktorer, hvor høyt sola står på himmelen og avstand fra sola. Jo lavere sola står på himmelen, desto svakere er den.

Solas posisjon på himmelen avhenger av tidspunkt på året og hvor på jorda vi befinner oss. Som nevnt har jorda har en tilt på 23,56 ° og går i en elliptisk bane rundt sola. Gjeldende den nordlige halvkule, vil sola stå høyest på himmelen 21 juni (sommersolverv). Vintersolverv, når solen står lavest på himmelen, skjer 21 desember. For den sørlige halvkule gjelder motsatt. Fra og med 21. desember i Norge begynner dagene å bli lengre ved at solen står høyere på himmelen. I teorien vil det kunne forventes å produsere maksimal effekt fra et solcelleanlegg den 21. juni (på den nordlige halvkule), sett bort ifra atmosfæriske begrensinger.

Den høyeste innstrålingseffekten på jorden vil være der solen står 90 ° på himmelen, rett opp. Grunnet jordas tilt vil dette kunne skje på 23,56° nord eller sør avhengig av tid på året. Ved at sola står 90 ° på himmelen vil sollyset treffe ortogonalt på jordoverflaten. Målinger gjort av NASAs satellitter i 2016 viser at strålingen utenfor jordas atmosfære er maksimalt 1361 Watt. På jordens overflate er strålingen redusert grunnet absorpsjon gjennom atmosfæren. Den maksimale solinnstrålingen på jordoverflaten er på omtrent 1120 $\frac{W}{m^2}$. På klare sommerdager kan det ventes en innstrålingseffekt på 900-1000 $\frac{W}{m^2}$.

Jo høyere breddegrad man befinner seg på, desto lenger vekk er man fra solen. I vintersesong blir sol-innstrålingen som treffer jordoverflaten kraftig redusert siden jorden tilter vekk fra solen. Dette gjør at sollyset blir mer indirekte og må reise lenger gjennom atmosfæren før det treffer overflaten. Om vinteren kan man i Oslo forvente en gjennomsnittlig innstrålingseffekt på 140-160 $\frac{W}{m^2}$ når solen står høyest. På sommertid kan det forventes en gjennomsnittlig innstrålingseffekt på 610-650 $\frac{W}{m^2}$ [8]. Spania har til sammenligning en gjennomsnittlig innstrålingseffekt på 850-950 $\frac{W}{m^2}$ (Juni) og 600-700 $\frac{W}{m^2}$ (desember) [8].

Figur 3.5 viser til en sammenligning av solenergipotensiale i verden.

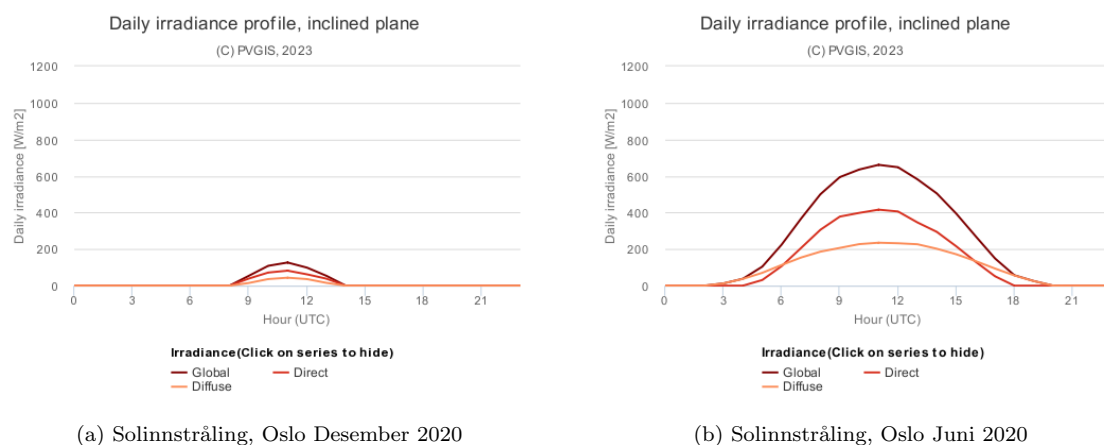


Figur 3.5: Solenergipotensialet i verden [1]

En ulempe med solinvesteringer på norsk jord er solforholdene, en fordel er temperatur. Dette fordi cellens virkningsgrad bedres ved lave temperaturer, faktisk så mye som opp mot 25% [25]. Årsaken til dette er at temperaturforholdene har innvirkning på solcellens terminalspenning [25].

3.4 Solenergipotensialets påvirkning på anleggets dimensjonering

Forskjellen i solenergipotensiale fører til svært ulike produksjonsprofiler på ulike breddegrader. På sørlige breddegrader er solen plassert omtrent med samme vinkel mot horisonten gjennom hele året, noe som fører til en jevn årlig produksjon. I Norge er det store forskjeller på sommer og vinter. I vinterhalvåret (desember) er maksimal sol-innstråling kun omtrent 19 % av hva som forekommer på sommeren (juni). Figur 3.6 viser til gjennomsnittlig innstrålings-effekt for en desember- og junicidag i Oslo [8]. Dataene er basert på satellitter.



Figur 3.6: Solinnstråling, Oslo 2020 [8]

Jo lavere og mer variasjon i sol-innstråling, desto større batteri krever anlegget for å kunne forsyne et forbruk. Eksempelvis er det i Kenya forventet omtrent lik produksjon hver dag. Dette gjør at et anlegg som er plassert her kan klare seg med et langt mindre batteri enn et anlegg plassert i Norge. I Kenya dimensjoneres batteri typisk etter “døgn-lading“, mens i Norge må batteri ofte

dimensjoneres for et par døgn med forbruk. Skal et solcelleanlegg fungere på vinterstid i Norge, er det ikke til å unngå at batteri på norske anlegg blir overdimensjonert for sommer.

Problemene rundt batterikapasitet og vinterforbruk kan løses med sesonglagring, men disse løsningene kan være dyre. Derfor er en målsetning av masteroppgaven å lage en energimodell som kan undersøke om denne energien kan hentes fra hytte-naboer gjennom energideling. Hytter er ikke nødvendigvis bebodd på like tidspunkt, så det er realistisk og tro at energideling kan bidra til forbedring på dette punktet.

3.5 Batteri

Store deler av dette delkapittelet er hentet fra prosjektoppgaven [39].

En forutsetning for at man skal kunne drifte et solcelleanlegg er å velge riktig batteri. Batteri skilles på type, kvalitet og kapasitet. I markedet finnes det særlig fem typer batterier til solcelleanlegg; AGM, Litium, Litium Heat, bly/syre og bly/karbon-batterier [39].

I tillegg til lokasjon (breddegrad) er valg av batterikapasitet er sterkt avhengig av hvor ofte og hvor lenge hytta brukes. Stort batteri er essensielt om hytta er i bruk lenge om gangen. Dersom hytta er i bruk ofte, men i korte perioder, bør heller pengene legges på økt ladekapasitet (flere solcellepaneler, mer effekt) enn stort batteri. Et forbruksbatteri bør ha to ganger behovet for å sikre lang levetid, ekstra reserve og økt framtidig forbruk [34].

Sett bort i fra de ulike batteritypene og deres fordeler/ulempes, skilles i hovedsak batterier på terminalspenning og kapasitet. Kapasiteten oppgis ofte i ampere-timer eller kilowatt-timer. Omtrent alle batterier er bygd opp etter samme prinsipper (1-4) [39].

1. Et materiale med høy elektronegativitet
2. Et materiale med med lav elektronegativitet
3. En vei for transport av elektroner mellom anoden og katoden
4. En vei for transport av positive ioner

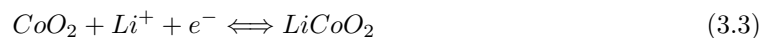
I simulering har hver hytte blitt tildelt likt solcelleanlegg. Dette anlegget er konfigurert med tre parallell-koblede 6,15 kWt Lithium Powerwall-batteri [14]. På bakgrunn av dette legges det nedenfor frem en forklaring av Litium batteriets virkemåte.

Litium-ion batteri

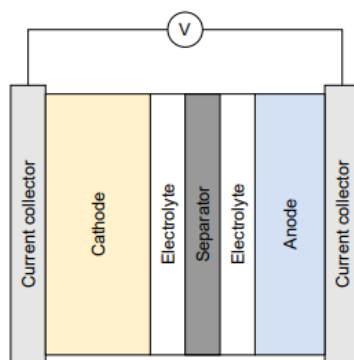
Litium-ion batteri er et batteri som lagrer energi ved å bruke forskjellen i elektronegativitet mellom to elektrode-materialer. Litium er det tredje letteste grunnstoffet og svært lite elektronegativt. Litium har et elektron i valensbåndet og vil gjerne kvitte seg med dette. Elektronegativitet er et mål på evnen et atom har til å trekke til seg elektroner. I anoden på batteriet (+) dopes grafitt med litium og danner LiC_6 . I katoden på batteriet (-) benyttes det et materiale med høyere elektronegativitet enn Litium, eksempelvis koboltoksid (CoO_2). Koboltoksid har fire elektroner i ytterste skall og vil tiltrekke seg elektroner fra Litium. Når LiC_6 og CoO_2 kommer i kontakt, skjer det en spontan reaksjon der elektroner overføres fra Litium til Koboltoksid. Ved å koble en elektrisk forbindelse mellom disse materialene vil elektronene kunne strømme fra anoden til katoden via en ytre krets [39].

Som nevnt i punkt 3 ovenfor trengs det også en vei for positive ioner å strømme mellom terminalene. Transport av ioner er nødvendig for å nøytralisere de voksende positive ladningene i anoden og negative i katoden. Uten transport av ioner, vil katoden etterhvert bli så negativ at den vil frastøte innkommende elektroner og utladningen vil stoppe opp. Dette løses ved å benytte seg av en elektrolyttløsning med separator mellom anoden og katoden, ofte kalt saltbro [39]. Elektrolyttløsningen har som hensikt å transportere ioner. Separatoren hindrer elektroner å bevege seg gjennom løsningen. Det er viktig at elektrolyttløsningen har god ionisk ledningsevne og

dårlig elektrisk ledningsevne. Reaksjonene som beskriver hva som skjer ved anoden og katoden når batteriet lades ut er beskrevet i ligning 3.2 (anode) og 3.3 (katode).



Som vist i ligning 3.2 og 3.3 vil litium spaltes fra karbon og det frie elektronet og positive litium-ionet vil reagere med materialet ved katoden (CoO_2). Elektronet tvinges via en ytre krets mens ionet transporteres gjennom elektrolyttløsningen. Figur 3.7 viser til oppbygningen av en Litium-ion battericelle.



Figur 3.7: Lithium-ion cell [13]

I det utladningen starter vil et Litium-ion batteri kunne gi en spenning på 3,5–4 V. Etterhvert som anoden kvitter seg med Litium-ioner vil spenningsforskjellen mellom terminalene synke [35]. Når spenningen mellom terminalene synker til et visst nivå vil utladningen stoppe. Det er ikke bra for Litium batteriet å lade ut til mer enn 90% av dets kapasitet. For et AGM-batteri kan man kun utnytte 50-70% av dets kapasitet [34].

Når solcellene lader opp batteriene, fungerer cellene som en ytre spenningskilde som reverserer utladningsprosessen. I prosessen fraktes Litium-ionene og elektronene tilbake til anoden, slik at utladningsprosessen kan gjentas [39].

Litium-ionbatteriene har den høyeste energitettheten (energi per vekt) av alle oppladbare batterier. Energien et batteri kan levere er gitt av produktet av celledspenningen og hvor mye lading som lagres i elektrodene. Litium-ionbatterier kan gi en spenning som er mye høyere enn konvensjonelle batterier. Litium-ionebatterier er enerådende til bruk i mobiltelefoner, bærbare datamaskiner og elektriske biler [34]. De siste årene har det blitt investert mye penger på forskning rundt disse batteriene, noe som blant annet har ført til at kostnadene for litium-ionbatterier har sunket med ca. 75 prosent siden 2008 [35].

En ulempe med litiumbatterier er at de kun fungerer optimalt i et smalt temperaturvindu, vanligvis 0 til 40 °C. Ved for høye temperaturer kan elektrolytten dekomponere og ved lave temperaturer går de kjemiske reaksjoner saktere og kapasiteten til batteriet minker. Tradisjonelle litiumbatterier kan ikke lades opp i minusgrader [34]. Produsenter løser dette ved å designe batteriene med en varmemefolie som varmer opp batteriet til 0 °C før det lades opp [34].

Litium-ion er på vei til å bli det mest brukte batteriet, grunnet dets egenskaper. I Kenya er Litium-Acid det mest brukte [24]. Litium-ion batterier har lang levetid, noe som spiller inn på populariteten.

3.6 Energideling i hyttefelt

Energideling baserer seg på et samarbeid mot å dekke et “felles“ energibehov. I et energi-samfunn der det inkluderes energideling fordeles overskuddsenergi mellom brukere etter behov. I energidelingsscenarioet det simuleres for i masteroppgaven er første prioritet i hvert tidssteg at brukerne forsyner seg selv. Eventuell momentan overskuddsenergi legges så ut for “salg“. Denne energien kan “kjøpes“ av brukere med momentant underskudd. I modellen inkluderes også mulighet for utveksling av energi til/fra batteri.

For at et energidelingsscenario skal fungere er man avhengig av ulikheter i samfunnet (hyttefeltet). Noen hytter må ha overskudd av energi mens andre har underskudd. For å tilstrebe dette må hyttene i samfunnet enten ha ulike forutsetninger for produksjon, bruksmønster eller forbruk. Best resultat oppnås ved en kombinasjon av disse faktorene.

Eksempelvis vil det ikke oppnås fordel ved bruk av energideling dersom hytter med omtrent likt forbruk er i bruk samtidig (eksempelvis ferier). Dette scenario fører til at hyttene vil være synkroniserte når det gjelder overskudd og underskudd av energi.

I et scenario der det er en ulik fordeling i bruksmønster blant hyttene, vil de ubebodde hyttene kunne dele sin produksjon med hytter som er bebodd. I hovedsak er det ulike kombinasjoner av disse scenarioene som er spennende og som skal undersøkes videre i masteroppgaven.

Overføringen av energi i et offgrid-hyttesamfunn skjer i et mikronettverk. Et mikronett opererer gjerne på fornybare kilder og “off-grid“, uavhengig av distribusjonsnett [15]. Mikronett eksisterer også i nett-tilkoblede områder. Da med hovedfunksjon å øke forsyningssikkerhet, minske strømregninger eller for å gjøre et område mindre avhengig av hovednettet [15].

En forutsetning for at energideling skal fungere off-grid er at det ikke er for store avstander mellom deltakerene. Store avstander gir store overføringstap. I et offgrid system er det begrenset med energi, og å miste mye av denne i form av tap kan være svært kritisk.

3.7 Pvlib

For å generere produksjonsprofiler er det benyttet et åpent Python bibliotek kalt pvlib [43]. I pvlib spesifiseres det solcellepaneler, inverter, lokasjon og konfigurasjon av paneler. Disse spesifikasjonene kombinert med solinnstrålingsverdier fra PVGIS resulterer i en dc-produksjonsprofil fra anlegget over ønsket tidsrom. I beregningen av produksjon er det særlig to hovedfunksjoner som pvlib-biblioteket benytter seg av. Disse listet opp under.

- `Temperature.faiman()` beregner solcellepanelets temperatur ved bruk av “faiman modellen“. Denne modellen bruker en empirisk varmetapsfaktor og beregner temperaturen basert på innkommende solinnstråling, lufttemperatur og vind [42].
- `Pvwatts_dc()` beregner dc-ouput fra solcelleanlegget. Funksjonen er basert på ligning (3.4). T_{cell} representerer celletemperaturen og T_{ref} representerer cellentemperaturens referansetemperatur. I_{tr} representerer sol-innstrålingen med referanse $1000 \frac{W}{m^2}$. γ_{pdc} er en temperatur koeffisient og modellerer hvordan virkningsgraden faller med økende temperatur [10].

$$P_{dc} = \frac{I_{tr}}{1000} P_{dc0} (1 + \gamma_{pdc} (T_{cell} - T_{ref})) \quad (3.4)$$

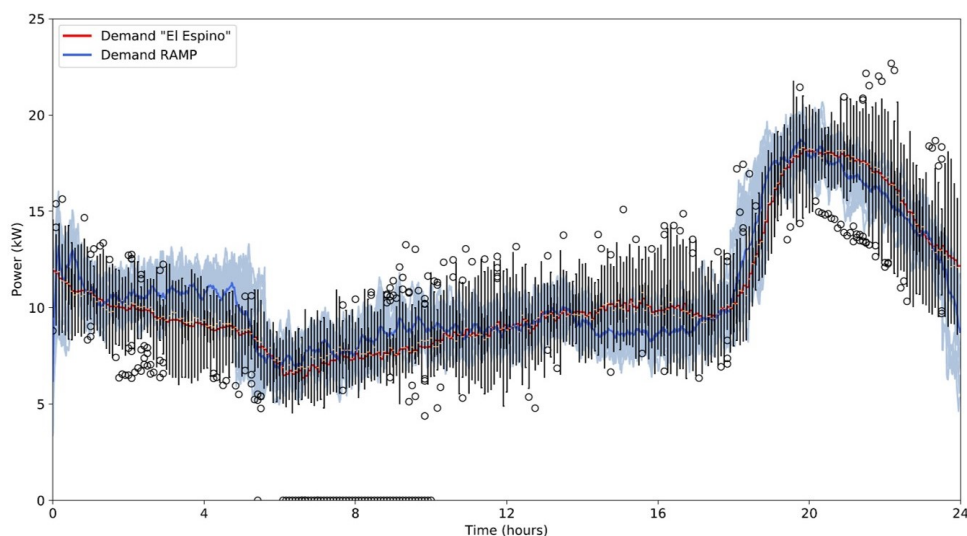
3.8 Ramp

For å generere forbruksprofiler er det benyttet et åpent Python bibliotek kalt RAMP [19]. Arbeidet rundt dette ble gjort i fordypningsprosjektet. Teorien som legges frem i dette delkapitlet er derfor hentet derfra [39].

RAMP er en stokastisk modell for generering av høyoppløselige multi energiprofiler, utviklet for bruk i sammenhenger hvor kun grov informasjon om brukernes atferd er tilgjengelig. Modellen aggregerer lastverdier etter dets bruksmønster og resulterer i en effektprofil over ønsket tidsrom [18]. Det er flere faktorer som gjør RAMP til en svært god modell, de viktigste faktorene er listet opp under:

- Det kan legges inn ønsket tilfeldighetsfaktorer på brukstid, bruksvindu og brukseffekt.
- Det kan oppdateres helgevariabler som kun aktiverer spesifikke laster/bruksmønster i helgedager.
- Periodiske laster kan modelleres med randomiserte duty cycles.
- Det kan spesifiseres minstetid en last er på når den aktiveres.
- Det kan spesifiseres om alle lastene i en lastgruppe er på samtidig eller ikke.
- Det kan legges inn tidsserier i stedet for konstante effektverdier.

Figur 3.8 viser til en sammenligning mellom det faktiske forbruket i El Espino og modelleringsresultatene fra RAMP . El Espino er en isolert by i Bolivia og består av 60kW med solkraft, 464kWh batterikapasitet og 58kW tilgjengelig generator-kraft for nødtilfeller.



Figur 3.8: Effektsimulering i RAMP [18].

Som forklart i førstnevnte punkt benytter RAMP seg av randomiserte faktorer. En konsekvens av dette er at ingen dager blir identiske, selv om de simuleres med samme input-fil [19]. Input-filene til ramp-modellen inneholder nødvendig informasjon om alle lastene en installasjon består av.

I masteroppgaven er det nye input-filer til ramp-modellen, dette for å tilpasse modellen ønsket scenario. For nøyere beskrivelse av hvordan input-dataene til last generatoren er bygget opp henvises det til fordypningsprosjektet [39].

4 Modelling

Dette kapittelet legger frem en stegvis metodebeskrivelse på hvordan energidelingsmodellen fungerer og er bygd opp. Modellen er kodet i Python og det er hentet inspirasjon fra bibliotekene PVlib og Prosumpy.

Kapitelet deles inn i to delkapitel, “etablere input-data til energidelingsmodell” og “energidelingsmodell”. Som en introduksjon forklares disse i korte trekk nedenfor.

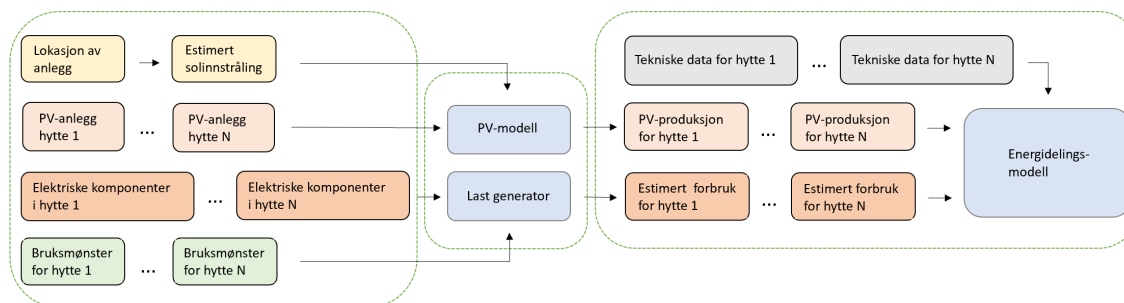
Kapittel 4.1 tar for seg etablering av nødvendige input-data til energidelingsmodellen. Dette er verdier som estimert elektrisk forbruk, sol-innstråling og tekniske parametere rundt anlegg. Det legges også frem de verktøyene og kildene som er blitt benyttet i de ulike etableringsprosessene.

Kapittel 4.2 tar for seg hvordan energidelingsmodellen i Python fungerer og er bygd opp. Det forklares i hovedsak hvordan det etableres kjøpe/selge bud og hvordan utvekslingen av energi skjer mellom kjøper og selger. På slutten av delkapittelet vises et eksempel fra simulering.

Dette kapittelet anses som en svært viktig del av masteroppgaven. Deler av kapittelet, særlig delkapittel 4.2 (energidelingsmodell), fremstilles svært detaljert. I kapittelet legges det også frem eksempler fra simulering som skal hjelpe leseren med å forstå oppbygningen og virkemåten til modellen.

4.1 Etablere input-data

Figur 4.1 viser til hvordan input-datene stegvis er etablert. Hvert steg er beskrevet i hvert sitt delkapittel nedenfor. Prosessen kan grovt sett deles inn i tre steg. Første steg handler om å skaffe tilstrekkelig input-data til generering av lastprofiler og solproduksjon. Andre steg baserer seg på modeller som simulerer PV-produksjon og lastprofil. Siste steg handler om å bearbeide resultatene fra overnevnte modeller til bruk i energidelingsmodellen.



Figur 4.1: Etablere input-data til energidelingsmodellen

4.1.1 PV-modell

PV-modellen baserer seg på PVlib sitt bibliotek [43] og genererer estimert solproduksjon over ønsket tidsrom. Modellen tar inn tekniske parametere rundt solcelle-anlegg, anleggets lokasjon og estimert solinnstråling. Verdiene for solinnstråling er hentet fra PVGIS og datasettet PVGIS-SARAH2. Datasettet inneholder registrerte timesverdier for solinnstråling [$\frac{W}{m^2}$] fra satellitter i 2021.

For å kunne benytte seg av datasettet fra PVGIS i PVlib, er datasettet bearbeidet til nødvendig format. I bearbeidingen fjernes unødvendig informasjon og kolonnene tilpasses. Verdiene for direkte solinnstråling og reflekterte verdier (fra objekter og atmosfære) tas vare på. Det tas også vare på verdier for lufttemperatur og vindstyrke, til bruk i PVlib sin temperaturmodell.

4.1.2 Last generator

Til å generere lastprofiler er det benyttet et åpent python-bibliotek kalt RAMP. Biblioteket bygger opp en stokastisk modell for generering av høyoppløselige multi energiprofiler. Biblioteket er utviklet til bruk i sammenhenger der kun grov informasjon om brukernes atferd er tilgjengelig [19]. Lastprofilene bygges opp ved at det for hver hytte/hus legges inn elektriske laster i form av bruksmønster og effekt. Alle lastene som er lagt inn i RAMP-modellen er faktiske komponenter, funnet på typiske hyttebutikker. Komponentene er forklart i detalj i fordypningsprosjektet [39]. Bruksmønsteret til en komponent spesifiseres med brukstid og i hvilke(t) vindu(er) lasten trekker strøm. På hver last legges det også til tilfeldighetsfaktor på brukstid og vindu. Figur 4.2 viser til hvordan en varmtvannstank legges inn.

```
#Varmtvann
N1_Varmtvann_43min = Varmtvann.Appliance(Varmtvann,1,2000,3,43,0.5,10)
N1_Varmtvann_43min.windows([540,600],[900,980],0.35,[1140,1200])
```

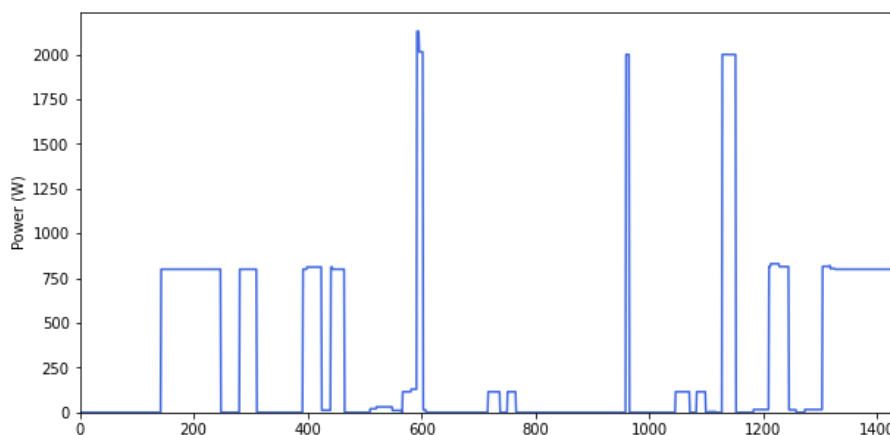
Figur 4.2: Varmtvannstank i RAMP [19]

Punktene nedenfor beskriver de ulike input-tallene som tilhører varmtvannstanken.

- (1) Det legges inn kun en varmtvannstank.
- (2000) Tanken opererer med en effekt på 2000W.
- (3) Tanken operer i tre forskjellige vindu i løpet av dagen.
- (43) Total brukstid per døgn er 43 minutter, med en tilfeldighetsfaktor på (0.2) 20%.
- (10) Tanken er på i minst 10 minutter når den først skrur på.
- Tanken opererer i vinduene [540,600], [900,980] og [1140,1200] (minutter). Med en tilfeldighetsfaktor på (0.35) 35% i begge endene av vinduet.

Resterende laster som lys, komfyr, pumper og annet stikk er lagt inn på tilsvarende måte som varmtvannstanken. Laster som kjøleskap og panelovner er lagt inn med duty cycles, noe som vil si at de skrur av og på i intervaller. Intervallene for duty cycle kan også angis med egen tilfeldighetsfaktor. I oppgaven er det antatt at det på dagtid brukes en stor andel vedfyring til oppvarming. Derfor er oppvarmingslastene som inkluderes i RAMP i hovedsak gjeldende for kveldstid, og kun på soverom.

Resultatet fra RAMP er en aggregert effektprofil [19]. I masteroppgaven er det simulert lastprofiler for et år. Figur 4.3 viser til en døgnlig effektprofil tilknyttet hyttekategori 1. Verdiene på x-aksene er minutter.



Figur 4.3: Kategorihytte 1 [19]

4.1.3 Bruksmønster

Lastprofilene for hver hytte modifiseres utifra hvilket bruksmønster som er antatt. I modellen er det lagt inn fire typer bruksmønster. Forklaringen rundt disse er listet opp i tabell 4.1.

Tabell 4.1: Bruksmønster

Verdi	Bruksmønster
0	Hele året (bo-mønster)
1	Kun i ferier
2	Annenhver helg
3	Hver helg

Feriebruk vil si at hytta er i bruk i ukene 8, 24, 29, 40, halve 51 og 52. Dette tilsvarer vinterferie, to uker på sommeren, høstferie og juleferie.

De ulike bruksmønsterene er etablert ved å sette forbruket lik null på de dagene hytta står tom. I den sammenheng er det viktig å nevne at det i oppgaven antas at hyttene kan “stenges”, noe som vil si at de ikke trenger energi til å holde vann frostfritt utenfor bruk.

4.1.4 Tekniske data

Utover solproduksjon og estimert forbruk tar energidelingsmodellen inn tekniske data rundt anlegget. Disse er listet opp under.

- Maksimal og minimal batterikapasitet.
- Virkningsgrad på batteri og inverter.
- Maksimal utladnings- og oppladningseffekt på batteri.
- Maksimal effekt batteriet kan selge.
- Maksimal effekt gjennom inverter.
- En tidsvariabel som tilsvarer tidsdifferansen (som prosent av en time) mellom to dataverdier. Siden det i modellen er brukt kvarters-verdier, settes tidsvariabelen til 0.25. Variablene brukes i hovedsak til å omgjøre effekt til energi.

Det er viktig å spesifisere at hvert anlegg ikke nødvendigvis trenger å inneholde de samme parametrene. I modellen er det mulig å endre på noen størrelser hos enkelte hytter.

4.1.5 Bearbeiding

Et siste steg for å tilpasse input-dataene til bruk i energidelingsmodellen, er å interpolere timesverdiene fra PVGIS og minuttverdiene fra RAMP til kvartersverdier. Dette fører til at begge listene ender opp med 35037 elementer. Hver rad i input-filene gis også korrekt indeks. Korrekte indeksverdier er essensielle ved plotting. Indeksverdiene settes til å stemme overens med tidspunktet innstrålings-dataene fra PVGIS er registrert (2021-01-01 00:00 til 2021-12-31 23:00). Siden inputverdiene fra PVGIS er registrert frem til 23:00, har det vært nødvendig å fjerne de siste kvarterene fra dataene (dermed 35037 elementer og ikke 3540).

4.2 Energidelingsmodell

Energidelingsmodellen inkluderer handel mellom deltakerene. Modellen er bygd opp slik at det foretas en kronologisk beregning av energiflytsverdier hos hver deltaker i hvert tidssteg. Energiflytsverdiene som er essensielle for energidelingen er beskrevet i tabell 4.2.

Tabell 4.2: Energiflytsverdier

Energiflytsvariabel	Forklaring
lost_load	Estimert last som ikke dekkes i egen installasjon
overskuddsenergi	Overskuddseffekt fra PV-anlegg etter at egen last og batteri er forsynt
LevelOfCharge	Batteristatus (energi)

4.2.1 Prinsippene rundt energideling mellom deltakerne

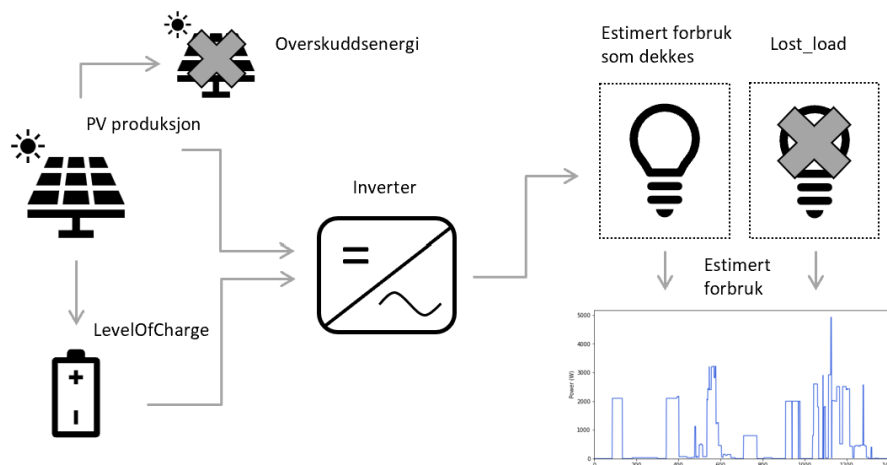
Hvordan energidelingsmodellen er bygd opp er illustrert i figur 4.4. Hvert steg forklares i detalj i de påfølgende avsnittene.



Figur 4.4: Stegvis oppbygning av energidelingsmodellen

Deltakerene forsyner egen last

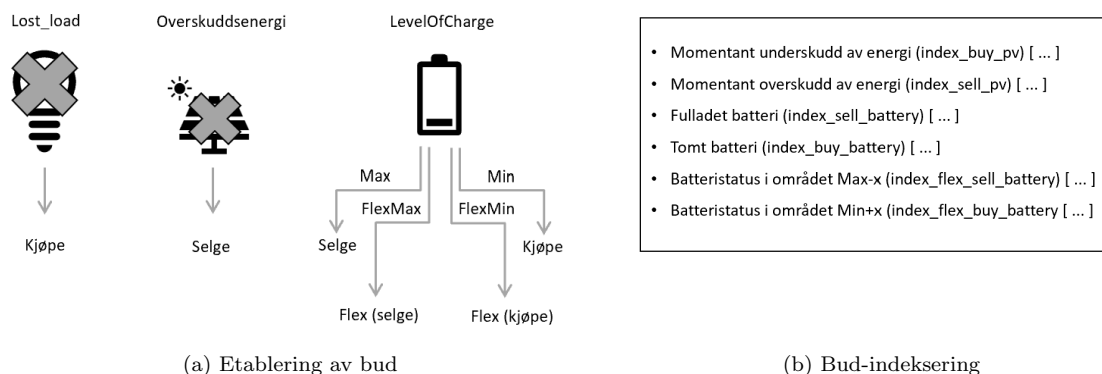
Før handelen starter beregnes energiflytsverdiene for hver deltaker separat, uten deling. Dette gjøres på bakgrunn av estimert forbruk og produksjon i tidssteget. Figur 4.5 viser hvordan deltakerenes anlegg er bygd opp. Hver deltaker vil alltid tilstrebe å dekke sitt eget forbruk og unngå tapt solenergi. Dersom det er overskudd av energi brukes denne energien i første omgang til å lade opp på eget batteri (om batteriet ikke er fulladet). Klarer ikke momentan solproduksjon å dekke det momentane forbruket, bidrar batteriet så langt det klarer. Algoritmen som gjør disse beregningene i Python er skrevet som en utvidelse av Prosumpy [16].



Figur 4.5: Anleggsstruktur hos deltakerne

Det etableres bud

Etter endte beregninger i forrige steg vil hver deltaker ha verdier på “lost_load“, “overskuddsenergi“ og “LevelOfCharge“ for det gitte tidssteget. Verdien på disse størrelsene avgjør hvilke bud deltakeren legger inn i markedet. Hver deltaker legger inn bud etter logikken vist i figur 4.6 a).



Figur 4.6: Etablering og indeksering av bud

Hvilke deltakere som angir hvilke bud holdes styr på med indeksering og sortering i vektorer, som vist i figur 4.6 b). Som det kommer frem i figur 4.6 a) er det energiflytsverdiene “lost_load“ og “overskuddsenergi“ som styrer hvilket bud PV-anlegget legger ut. Det er ikke mulig at en deltaker har verdier på lost_load og overskuddsenergi i samme tidssteg.

Batteriet kan legge ut fire forskjellige bud. Vanlige kjøpe/selge bud legges ut dersom batteriet er tomt/fullt. Flex-bud legges ut under visse batteristatus-betingelser. Dersom batteristatus er i området mellom min og FlexMin legges et flex (kjøpe) bud ut i markedet. Dersom batteristatus er i området mellom max og FlexMax legges et flex (selge) bud ut i markedet.

Figur 4.7 viser til et utdrag fra modellen der det spesifiseres om et flex-batteri blir et flex-kjøpe eller flex-selge. Som figuren viser gjøres dette ved å iterere gjennom flex-batteriene i markedet (batterier som verken er fulle eller tomme), og plassere dem enten i flex (kjøpe) eller flex (selge) vektoren avhengig av dets batteristatus ($E[j]$ ’LevelOfCharge’). Betingelsene som avgjør om batteriet blir et flex (kjøpe) eller flex (selge) kommer frem i if-setningene i figur 4.7, variabelen “Flex_limit“ settes av bruker.

```

for j in index_flex_battery:
    if (E[j]['LevelOfCharge'] > 0.5*battery_capacity + flex_limit*battery_capacity):
        index_flex_sell_battery.append(j)

    elif (E[j]['LevelOfCharge'] < 0.5*battery_capacity - flex_limit*battery_capacity):
        index_flex_buy_battery.append(j)

```

Figur 4.7: Flex batteri

Ved å modellere batteriene på denne måten vil det være et batteristatus-område mellom øvre og nedre “flex-grense“ der batteriet ikke bidrar i markedet.

Årsaken til at det er valgt å sette en øvre og nedre grense for batteriets deltagelse i markedet er for å unngå at batteriet “selger seg tomt“ eller “kjøper seg fullt“ når hytta står tom. Når dette skjer har det en negativ innvirkning på resultatene. Dette forklares mer utdypende kapittel (7), diskusjonskapittelet.

Størrelsen på kjøpe- og selge-bud settes av verdiene på energiflytsvariablene “lost_load“, “overskuddsenergi” og “LevelOfCharge“. I enkelte tilfeller vil budene skaleres av naturlige begrensninger på maksimal overføring og lading av batteri.

Prioritering av ulike bud

For å påse en effektiv energihandel er det satt opp en prioriteringsliste. Listen setter de viktigste kjøps- og salgsbud foran andre. Nedenfor vises prioriteringsrekkefølgen som er blitt benyttet i modellen.

1. Anlegg med momentant underskudd/overskudd
2. Tomme/fulle batterier
3. Flex batterier

Allokering av salgs- og kjøpsandeler

Ettersom deltakere ofte utgir ulike kjøps- og salgsbud (grunnet forskjeller på produksjonsoverskudd, forbruksunderskudd og batteristatus), er det skrevet kode som allokere kjøps- og salgsandeler etter følgende prinsipp:

- Alle selgere skal, så lenge de har energi tilgjengelig, selge like mye energi.
- Alle kjøpere skal, så lenge de har behov, kjøpe like mye energi.

Allokeringsmetoden hindrer at en selger selger mer energi enn en annen og at en kjøper kjøper mer energi enn en annen. Ideen rundt dette er delvis inspirert av en tidligere masteroppgave [9].

Til allokering er det blitt brukt en iterativ metode. Dette gjøres av en egen funksjon (eksempelvis `trade_pv2pv()` for `pv2pv` handel [40]) som energimodellen kaller på. Figur 4.8 viser til et eksempel på hvordan kjøps og salgsenheterne kan se ut etter allokering.

```
Salgsandeler [kW]: [0.          0.15191654 0.15191654 0.15191654 0.15191654]
Kjøpsandeler [kW]: [0.60766614 0.          0.          0.          0.          ]
```

Figur 4.8: Eksempel på kjøps- og salgsandeler i et tidssteg

Figur 4.9 viser til en forenkling på hvordan handelsprosessen forekommer i modellen. En “trade“ funksjon tar inn indekser på hvem som kjøper og selger, og returnerer kjøps- og salgsvektorer tilsvarende de i figur 4.8. Energiflytsverdiene (“overskuddsenergi“ og “lost_load“) oppdateres deretter med verdiene angitt i disse vektorene.

```
index_seller_pv = [1, 2, 3]
index_buyer_pv = [0]

Salgsandeler, Kjøpsandeler = trade_pv2pv(index_seller_pv, index_buyer_pv)

for j in range index_seller_pv:
    E[j]['lost_production'] -= Salgsandeler[j]

for j in range index_buyer_pv:
    E[j]['lost_load'] -= Kjøpsandeler[j]
```

Figur 4.9: Eksempel fra koden

Logikken rundt prosessen som foregår i en “trade-funksjon“ er illustrert og forklart for et tilfeldig eksempel på neste side.

EKSEMPEL HANDEL

Salgsenheter: [3 3 5 1 8 2] \rightarrow 22 enheter til salgs

Kjøpsenheter: [2 4 3 5] \rightarrow 14 enheter som ønskes kjøpt \rightarrow 8 enheter i overskudd etter handel

Hvordan fordele de åtte enhetene på selgerne?

[3 3 5 1 8 2] \rightarrow 14 enheter fordeles først på 6 selgere \rightarrow ($14/6 >$ minste enhet (1)) \rightarrow minste enhet overføres per selger

[2 2 4 0 7 1] \rightarrow 8 enheter til salgs på 5 selgere \rightarrow ($8/5 >$ minste enhet(1)) \rightarrow minste enhet overføres per selger

[1 1 3 0 6 0] \rightarrow 3 enheter til salgs på 4 selgere \rightarrow ($3/4 <$ minste enhet(1)) \rightarrow $3/4$ overføres per selger

Gjenværende salgsandeler per selger: [0.25 0.25 2.25 0 5.25 0]

($0.25 + 0.25 + 2.25 + 0 + 5.25 + 0$) = 8 enheter i overskudd \rightarrow OK

Salgsandeler som legges ut i markedet per selger: [2.75 2.75 2.75 1 2.75 2]

Det finnes mange prinsipper å basere en allokering på. I denne masteroppgaven er det valgt å belønne de brukerne som i størst grad er selvforsynte, de som klarer tilpasse forbruket til forutsetningene. Konsekvensene av dette er at de med lavest produksjonsoverskudd/lost_load får dekket sitt behov først. Dette diskuteres videre i diskusjonsdelen, samtidig som det trekkes frem alternative måter å basere allokeringen på.

Energiflytsverdier oppdateres

Ettersom deltakere kjøper og selger energi oppdateres energiflytsverdiene på følgende måte:

- “Lost_load“ reduseres for kjøper av momentan solenergi
- “Overskuddsenergi“ reduseres for selger av momentan solenergi
- “LevelOfCharge“ økes for batteri som kjøper.
- “LevelOfCharge“ minskes for batteri som selger.

4.2.2 Modelleringsstruktur i Python

Dette delkapitlet legger frem en kort introduksjon på hvordan energihandelen er modellert i Python. Alt som skjer bak eksempelene lagt frem ovenfor er bakt inn i funksjonen “E_Per_Timestep“, vist i figur 4.10.

```
dict_list = []

#Energiflytsverdier med energideling
for time in range(0,35037):

    E, dict_count = ofmb.E_per_timestep(dict_list, dict_count, param, time, demand, pv)

    dict_list.append(E)
```

Figur 4.10: Eksempel fra koden

Den årlige simuleringen gjennomføres gjennom 35037 iterasjoner. Etter hver iterasjon fylles listen “Dict_List“ opp med et nytt element (E). E er en dictionary bestående av energiflytsverdier for alle N deltakerene i det gitte tidssteget. Figur 4.11 viser til hvordan “Dict_List” og E er bygd opp.

NB! “lost_production“ er navnet for “overskuddsenergi“ som er brukt i modellen.

<pre>Timestep = 0 E[0] = {'pv2inv': pv2inv, 'res_pv': res_pv, 'pv2store': pv2store, 'inv2load': inv2load, 'lost_load': lost_load, 'store2inv': store2inv, 'LevelOfCharge': LevelOfCharge, 'lost_production': lost_production, } . . . E[N] = {'pv2inv': pv2inv, 'res_pv': res_pv, 'pv2store': pv2store, 'inv2load': inv2load, 'lost_load': lost_load, 'store2inv': store2inv, 'LevelOfCharge': LevelOfCharge, 'lost_production': lost_production, }</pre>	<p>← →</p> <p>dict_list[0]..dict_list[35037]</p>	<pre>Timestep = 35037 E[0] = {'pv2inv': pv2inv, 'res_pv': res_pv, 'pv2store': pv2store, 'inv2load': inv2load, 'lost_load': lost_load, 'store2inv': store2inv, 'LevelOfCharge': LevelOfCharge, 'lost_production': lost_production, } . . . E[N] = {'pv2inv': pv2inv, 'res_pv': res_pv, 'pv2store': pv2store, 'inv2load': inv2load, 'lost_load': lost_load, 'store2inv': store2inv, 'LevelOfCharge': LevelOfCharge, 'lost_production': lost_production, }</pre>
---	---	---

Figur 4.11: Essensielle dataverdier i Python-modellen (for et hyttefelt med N deltakere)

Eksempelvis vil energideling mellom fem deltakere i tidssteg 24415 oppdateres til dict_list på følgende måte; E[0] (energiflytsverdier for deltaker 0), E[1] (energiflytsverdier for deltaker 1), E[2], E[3] og E[4] legges til i “Dict_list[24415]“.

I neste tidssteg (24416) skjer nøyaktig samme prosess, men med andre verdier for forbruk og solproduksjon (gjeldende for tidssteg 24416). Batteristatusen hos deltakerene vil også være endret. De resulterende energiflytsvariablene fra tidssteg 24416 legges inn i “dict_list“ med indeks 24416.

I modellen er E i realiteten bestående av flere variabler som ikke vises i figur 4.11. Disse er ekskludert fra figuren siden de ikke er viktige for forståelsen rundt energidelingsmodellen, kun for plotting.

4.2.3 Funksjonalitet i simulering

For å øke fleksibilitet rundt simulering er det i modellen lagt inn mulighet til å ekskludere enkelte bud fra handel. Dette gjøres ved å endre på variabelene vist i figur 4.12.

```
battery_share_activate = 1
flex_activate = 1
```

Figur 4.12: Aktivering av batteri- og flex-bud.

Ved å sammenligne årlige simuleringsresultat for ulike bud-scenario, viser dette delkapittelet hvordan ekskludering av batteri- og flex-bud påvirker modellen. Et årlig simuleringsresultat inneholder en summering av energiflytsverdiene “lost_load” og “overskuddsenergi” over alle tidssteg, noe som gir et tall på samlet tapt forbruk og samlet sløst energi gjennom hele året. Som sammenligningsgrunnlag sees det også på SF-rate (self sufficient ratio), en størrelse som angir i hvor stor grad hytta er selvforsynt. I praksis tilsvarer dette forholdet mellom estimert forbruk og faktisk energi ut av inverter. Hyttefeltet det er simulert for i dette delkapittelet er det samme som i eksempelet ovenfor.

De årlige resultatene tilknyttet SF-rate og “lost_load” for de ulike hyttene FØR deling er lik verdiene vist i figur 4.13.

Lost_load før deling	SF-rate før deling
Estimert forbruk som ikke blir dekt for hytte 1: 5767.9 kWh	Self sufficient rate for hytte 1: 49.23%
Estimert forbruk som ikke blir dekt for hytte 2: 335.59 kWh	Self sufficient rate for hytte 2: 87.56%
Estimert forbruk som ikke blir dekt for hytte 3: 236.39 kWh	Self sufficient rate for hytte 3: 89.85%
Estimert forbruk som ikke blir dekt for hytte 4: 0.152 kWh	Self sufficient rate for hytte 4: 99.93%
Estimert forbruk som ikke blir dekt for hytte 5: 0 kWh	Self sufficient rate for hytte 5: 100%

(a) Lost_load før deling

(b) SF-rate før deling

Figur 4.13: Før deling

Inkludering av kun pv-bud

For å kun inkludere pv-bud i markedet settes “battery_share_activate” og “flex_activate” til null. Akseptable bud i markedet er da kun “pv2pv”. Dette scenario gir bare mulighet for utveksling av produksjonsoverskudd.

RESULTAT	OVERSIKT OVER ANTALL BUD GJENNOM ÅRET [stk]
-----	-----
Total reduksjon i estimert forbruk som ikke blir dekt : 450.5 kWh	pv2pv: 3815
Relativ total reduksjon i estimert forbruk som ikke blir dekt : 7.11 %	bat2pv: 0
Total reduksjon i bortkastet solenergi: 450.5 kWh	flex2pv: 0
Relativ total reduksjon av bortkastet solenergi: 1.62%	pv2bat: 0
Endring i SF-rate for hytte 1: + 3.928 %	pv2flex: 0
Endring i SF-rate for hytte 2: + 0.09829 %	bat2bat: 0
Endring i SF-rate for hytte 3: + 0.06596 %	flex2bat: 0
Endring i SF-rate for hytte 4: + 0 %	bat2flex: 0
Endring i SF-rate for hytte 5: + 0 %	flex2flex: 0

(a) Andre handel

(b) Bud-status etter andre handel

Figur 4.14: Inkludering av kun pv-bud

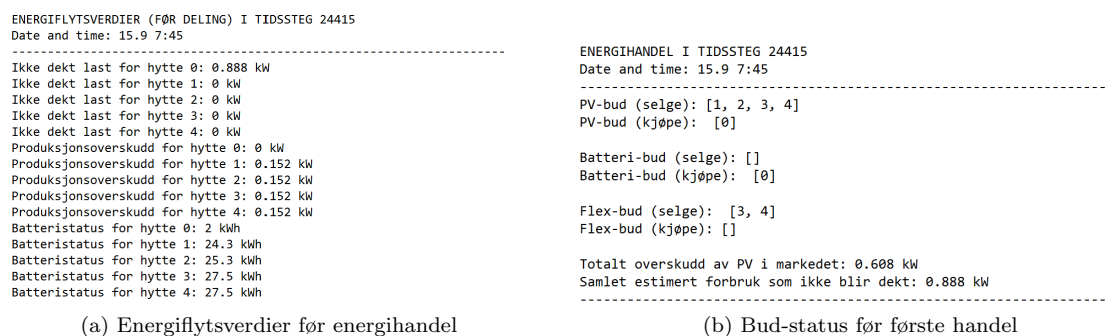
Øverst i figur 4.14 a) vises samlet, for alle deltakerene, årlig reduksjon i “lost_load”. “Relativ total reduksjon” viser til hvor stor prosentvis reduksjon det er i en energiflytsvariabel sammenlignet med base case.

4.2.4 Eksempel fra simulering

Nedenfor illustreres hele energihandels-prosessen for et tidssteg. Utdraget er fra tidssteg 24415, 15 september klokken 07:45.

Hyttefeltet består av 5 deltakere. Derav kategorihytte 4 med bruksmønster 0 (bomønster) og indeks 0, kategorihytte 2 med bruksmønster 0 (bomønster) og indeks 1, kategorihytte 1 med bruksmønster 0 (bomønster) og indeks 2, kategorihytte 1 med bruksmønster 1 (feriebruk) og indeks 3, kategorihytte 2 med bruksmønster 2 (annenhver helg) og indeks 4.

NB! Dette delkapittelet går svært nøye i detalj rundt hvordan modellen fungerer i hvert tidssteg. Eksempelet er hovedsaklig ment for fremtidige brukere av modellen. Dersom leseren av masteropp-gaven ikke er interessert i disse detaljene, anbefales det å hoppe over dette delkapittelet å starte på kapittel 5, “casestudie”.



(a) Energiflytsverdier før energihandel

(b) Bud-status før første handel

Figur 4.17: Energihandel del 1

Figur 4.17 a) viser til energiflytsverdiene før handel, etter at deltakerene har forsynt seg selv. Øverst i figuren kommer det frem at hytte med indeks 0 har 0.888kW i underskudd. Deretter kommer frem at hytte 1-4 har et overskudd på 0.152kW. Batteristatusene er også verdt å merke seg.

PS! Hytte 1, 2, 3 og 4 har produksjonsoverskudd og ikke fulladet batteri. Denne situasjonen oppstår fordi batteriet ikke kan overskride maksimal ladeeffekt, i dette tilfelle satt til 2.2 kW. Figur 4.18 viser til faktisk produksjon i tidssteget (alle deltakerene har likt anlegg med lik orientering).

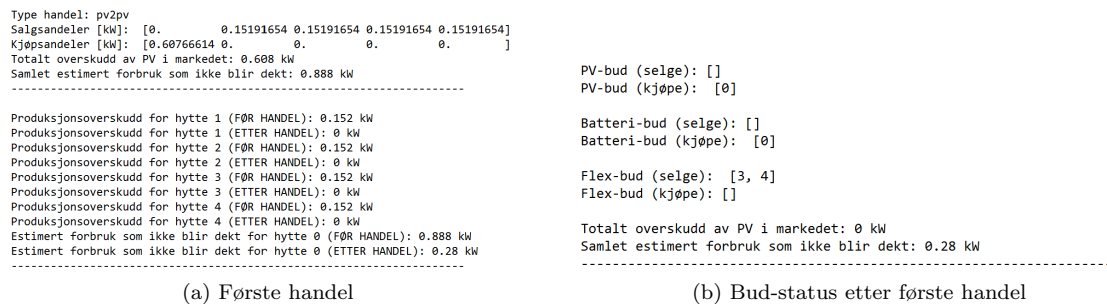
```
In [15]: print('Effekt fra solcellepanel i tidssteg 24415: {:.3g} kW'.format(pv[0][24415]))
Effekt fra solcellepanel i tidssteg 24415: 2.35 kW
```

Figur 4.18: Produksjon fra solcelleanlegg i tidssteg 24415

Figur 4.17 b) viser til status på bud-vektorene. Øverst i figuren kommer det frem at hytte med indeks 1, 2, 3 og 4 legger ut et PV-bud (selge). Hytte med indeks 0 legger ut et PV-bud (kjøpe). Deretter vises det at hytte med indeks 0 også legger ut et Batteri-bud (kjøpe). Dette fordi batteristatus hos hytte 0 er 2kWh (som er minimum i dette tilfelle).

I simuleringen er “flex-limit” satt til 40% og batterikapasitet satt til 30kWh. Dette resulterer i at batteriet legger ut et flex-bud (kjøpe) når batteristatus er under 3kWh og et flex-bud (selge) når batteristatus er over 27kWh. Dersom batteristatus er i intervallet 3-27kWh deltar ikke batteriet i markedet. Dette forklarer hvorfor hytte med indeks 3 og 4 legger ut et flex-bud (selge), mens hytte med indeks 1 og 2 sine batteri ikke deltar i markedet.

Nederst i figur 4.17 b) vises et samlet tall på totalt overskudd og underskudd i markedet. Hvilken handel som først forekommer settes på bakgrunn av kjøpere og selgere, samt prioriteringen dem imellom. Første handel skjer dermed mellom PV-anleggene.



(a) Første handel

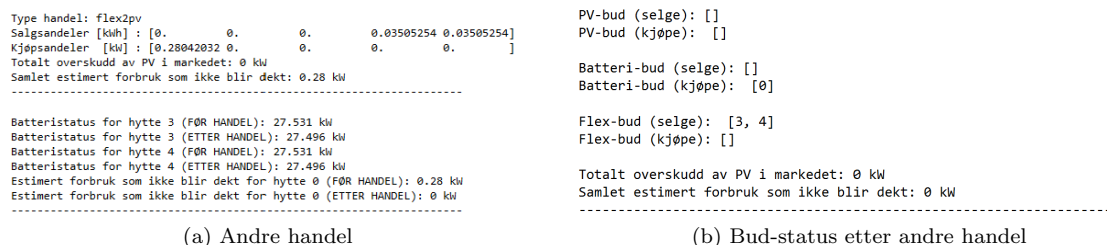
(b) Bud-status etter første handel

Figur 4.19: Energihandel del 2

Figur 4.19 a) viser til den første handelen, “pv2pv“. Dette kommer frem øverst i høyre hjørne av figuren. Deretter illustreres “salgsandeler“ og “kjøpsandeler“, som er et tall på hvor mye hver selger og kjøper overfører i gitt handel. Som vist i figuren fordeles salgsandelene likt på selgerne (rettferdig handel). Under salgs- og kjøpsandelene vises på nytt samlet tall av totalt overskudd og underskudd i markedet, før første handel. Dernest i figur 4.19 plottes et hvordan energiflytsverdiene oppdateres for hver selger og kjøper.

Figur 4.19 b) viser til status på bud-vektorene, på samme måte som i figur 4.17 b). Forskjellen fra før første handel er at PV-bud (selge) tilknyttet hytte 1, 2, 3 og 4 er fjernet fra bud-vektoren. Dette fordi de i handelen kvittet seg med alt overskudd. Nederst i figuren vises oppdaterte verdier på momentant overskudd og underskudd i markedet. Til sammenligning med tallene i figur 4.19 a) har “totalt overskudd av PV i markedet“ blitt redusert fra 0,608 kW til 0 kW, og “samlet estimert forbruk som ikke blir dekt“ blitt redusert fra 0,888 kW til 0,28 kW.

Basert på nåværende kjøpere og selgere i figur 4.19 b), skjer neste handel mellom hytte 0 sitt PV-anlegg og hytte 3 og 4 sitt flex-batteri.



(a) Andre handel

(b) Bud-status etter andre handel

Figur 4.20: Energihandel del 3

Figur 4.20 a) viser til den andre handelen, “flex2pv“. Dette kommer frem øverst i figuren. Siden selger i dette tilfelle er batteri, er det verdt å merke seg at salgsandelene er angitt i kWh. Konverteringen mellom energi og effekt gjøres enkelt ved å dividere energienheten på tidssteget (0,25). Som vist i “salgsandeler“ og “kjøpsandeler“ er det i denne handelen to selgere og en kjøper. Under salgs- og kjøpsandelene vises på nytt samlet tall av totalt overskudd og underskudd i markedet, før andre handel. Energiflytsverdiene til batteri med indeks 3 og 4 oppdateres som vist deretter. Som vist deretter blir også det momentane forbruket etterspurt av hytte 0 fullstendig dekket.

Figur 4.20 b) viser til status på bud-vektorene etter andre handel. Siden PV-anlegget på hytte 0 nå har fått dekt sitt forbruk, er indeks 0 er fjernet fra PV-bud (kjøpe) vektoren. Nederst i figuren vises oppdaterte verdier på momentant overskudd og underskudd i markedet. Til sammenligning med tallene i figur 4.20 a) har “samlet estimert forbruk som ikke blir dekt“ blitt redusert fra 0,28 kW til 0 kW.

Neste handel skjer mellom nåværende kjøps og salgsbud, vist i figur 4.20 b). Derfor mellom hytte 0 sitt batteri og hytte 3 og 4 sitt batteri (flex).

<pre>Type handel: flex2bat Salgsandeler [kWh] : [0. 0. 0. 0.275 0.275] Kjøpsandeler [kWh] : [0.55 0. 0. 0.] Totalt overskudd av PV i markedet: 0 kW Samlet estimert forbruk som ikke blir dekt: 0 kW ----- Batteristatus for hytte 3 (FØR HANDEL): 27.5 kW Batteristatus for hytte 3 (ETTER HANDEL): 27.2 kW Batteristatus for hytte 4 (FØR HANDEL): 27.5 kW Batteristatus for hytte 4 (ETTER HANDEL): 27.2 kW Batteristatus for hytte 0 (FØR HANDEL): 2 kW Batteristatus for hytte 0 (ETTER HANDEL): 2.55 kW -----</pre>	<pre>PV-bud (selge): [] PV-bud (kjøpe): [] Batteri-bud (selge): [] Batteri-bud (kjøpe): [] Flex-bud (selge): [3, 4] Flex-bud (kjøpe): [0] Totalt overskudd av PV i markedet: 0 kW Samlet estimert forbruk som ikke blir dekt: 0 kW -----</pre>
(a) Tredje handel	(b) Bud-status etter tredje handel

Figur 4.21: Energihandel del 4

Figur 4.21 viser til den tredje handelen, “flex2bat“. Salgsandelen i dette handelsscenario (flex2bat) er satt som maksimal ladeeffekt dividert med antall selgere. Energiflytsvariablene til batteri med indeks 3, 4 og 0 oppdateres deretter som vist i figuren.

Som vist nederst i figur 4.21 a) lades batteriet til hytte med indeks 0 opp fra 2 til 2.55 kWh. Derfor plasseres dette batteriet i flex-bud (kjøpe) vektoren etter handelen, vist i figur 4.21 b). Siden batteriet til hytte 3 og 4 ikke lades ut under 27 kWh, som er grensen for å legge ut et flex-bud (selge), er de fortsatt plassert i flex-bud (selge) vektoren. Nederst i figur 4.21 b) vises oppdaterte verdier på momentant overskudd og underskudd i markedet. Siden denne handelen er en utveksling mellom batterier, vil ikke disse verdiene være endret fra forrige handel.

Neste handel skjer mellom nåværende kjøps og salgsbud, vist i figur 4.20 b). Derfor mellom hytte 0 sitt batteri (flex) og hytte 3 og 4 sitt batteri (flex).

<pre>Type handel: flex2flex Salgsandeler [kWh] : [0. 0. 0. 0.275 0.275] Kjøpsandeler [kWh] : [0.55 0. 0. 0.] Totalt overskudd av PV i markedet: 0 kW Samlet estimert forbruk som ikke blir dekt: 0 kW ----- Batteristatus for hytte 3 (FØR HANDEL): 27.2 kW Batteristatus for hytte 3 (ETTER HANDEL): 26.9 kW Batteristatus for hytte 4 (FØR HANDEL): 27.2 kW Batteristatus for hytte 4 (ETTER HANDEL): 26.9 kW Batteristatus for hytte 0 (FØR HANDEL): 2.55 kW Batteristatus for hytte 0 (ETTER HANDEL): 3.1 kW -----</pre>	<pre>PV-bud (selge): [] PV-bud (kjøpe): [] Batteri-bud (selge): [] Batteri-bud (kjøpe): [] Flex-bud (selge): [] Flex-bud (kjøpe): [] Totalt overskudd av PV i markedet: 0 kW Samlet estimert forbruk som ikke blir dekt: 0 kW -----</pre>
(a) Fjerde handel	(b) Bud-status etter fjerde handel

Figur 4.22: Energihandel del 5

Figur 4.21 viser til den fjerde handelen, “flex2bat“. Salgsandelen i dette handelsscenario (flex2flex) er også satt som maksimal ladeeffekt dividert med antall selgere.

Figur 4.22 b) viser til status på bud-vektorene etter fjerde og siste handel. Alle bud-vektorene er tomme, noe som betyr at alle initielle bud er oppfylt. Nederst i figur 4.22 b) vises oppdaterte verdier på momentant overskudd og underskudd i markedet. Siden denne handelen er en utveksling mellom batterier, vil ikke disse verdiene være endret fra forrige handel. Det er lagt inn i koden at et batteri kun kan selge/kjøpe energi i to omganger per tidssteg. Dette som en forenkling som setter begrensning for handel med for høy effekt i et tidssteg.

ENERGIFLYTSVERDIER (FØR DELING) I TIDSSTEG 24415
Date and time: 15.9 7:45

Ikke dekt last for hytte 0: 0.888 kW
Ikke dekt last for hytte 1: 0 kW
Ikke dekt last for hytte 2: 0 kW
Ikke dekt last for hytte 3: 0 kW
Ikke dekt last for hytte 4: 0 kW
Produksjonsoverskudd for hytte 0: 0 kW
Produksjonsoverskudd for hytte 1: 0.152 kW
Produksjonsoverskudd for hytte 2: 0.152 kW
Produksjonsoverskudd for hytte 3: 0.152 kW
Produksjonsoverskudd for hytte 4: 0.152 kW
Batteristatus for hytte 0: 2 kWh
Batteristatus for hytte 1: 24.3 kWh
Batteristatus for hytte 2: 25.3 kWh
Batteristatus for hytte 3: 27.5 kWh
Batteristatus for hytte 4: 27.5 kWh

(a) Før handel

ENERGIFLYTSVERDIER (ETTER DELING) I TIDSSTEG 24415
Date and time: 15.9 7:45

Ikke dekt last for hytte 0: 0 kW
Ikke dekt last for hytte 1: 0 kW
Ikke dekt last for hytte 2: 0 kW
Ikke dekt last for hytte 3: 0 kW
Ikke dekt last for hytte 4: 0 kW
Produksjonsoverskudd for hytte 0: 0 kW
Produksjonsoverskudd for hytte 1: 0 kW
Produksjonsoverskudd for hytte 2: 0 kW
Produksjonsoverskudd for hytte 3: 0 kW
Produksjonsoverskudd for hytte 4: 0 kW
Batteristatus for hytte 0: 3.1 kWh
Batteristatus for hytte 1: 24.3 kWh
Batteristatus for hytte 2: 25.3 kWh
Batteristatus for hytte 3: 26.9 kWh
Batteristatus for hytte 4: 26.9 kWh

(b) Etter handel

Figur 4.23: Resultat etter energideling

Figur 4.23 viser til en sammenligning av energiflytsverdier før og etter deling. Figur 4.23 a) viser til energiflytsverdiene før deling og figur 4.23 b) viser til verdiene etter. Ved å inkludere energihandel kan det i tidssteget konkluderes med følgende fordeler:

- Produksjonsoverskuddet for hytte 1, 2, 3 og 4 har blitt nyttiggjort.
- Hytte 0 har fått dekt sitt forbrukstap
- Hytte 0 har økt sin batteristatus

5 Casestudie

Som nevnt i problembeskrivelsen skal masteroppgaven besvare følgende forskningsspørsmål:

Hvordan designe et hyttefelt for at det skal dra mest nytte av energideling?

For å snevre inn oppgaven har det, som nevnt i innledningen, blitt valgt å holde en fast kategorihytte-konfigurasjon gjennom simuleringen, vist i tabell 5.1. Hyttefeltet består av 20 hytter.

Tabell 5.1: Inndeling av kategorihytter i hyttefeltet

Hyttekategori	Antall
1	3
2	10
3	4
4	3

I dette kapittelet trekkes frem nødvendig informasjon rundt case, scenario og simulering. Delkapitlene nedenfor tar for seg følgende punkter:

- Antagelser og forenklinger
- Forbruk og produksjon
- Scenario og case-oppbygning
- Resultat-indikatorer
- Tapsbetraktninger

5.1 Antagelser og forenklinger

For å avgrense omfanget, har det vært nødvendig med forenklinger. Disse er svært viktige å få frem, særlig med tanke på videre arbeid med modellen. Punktene nedenfor legger frem de viktigste.

- Forbruksprofilene til hyttene er estimert, ikke målt. Det er også slik at alle hyttene innenfor en hyttekategori har identiske forbruksprofiler.
- De årlige forbruksprofilene er basert på simulering av EN enkelt dag, dimensjonert for vintersesong. Denne dagen simuleres 365 ganger for å danne et "årlig" forbruk.
- Alle hyttene har identiske produksjonsprofiler.
- Det er antatt at hyttene er "frostsikre" og ikke trenger energi utenfor bruk. I fordypningsoppgaven er dette tema drøftet i eget delkapittel [39].
- I energidelingsmodellen er tap neglisjert. Tapet i energihandelen er først beregnet etter at års-simuleringen er gjort. Mer om dette i seksjon 5.5.
- Maksimal effekt gjennom inverter er kun tatt hensyn til når "deltaker forsyner seg selv", ikke når energi overføres i markedet. Dette fører til at i noen av figurene som legges frem i de påfølgende kapitlene blir deler installasjonen forsynt med en effekt som er høyere enn inverters maksimale begrensning. På batteri er det satt en forenklet begrensning på overføring av energi i handel på 0,45 kWh.

Delkapittel 5.2.2 legger frem de faktiske effektbegrensningene på batteri og inverter.

5.2 Forbruk og produksjon

I dette kapittelet legges frem forbruks- og produksjonsprofilene som er benyttet i scenarioene. Forbruket er hentet fra ramp [19] og produksjon fra pvlib [43].

5.2.1 Estimert forbruk

Nedenfor vises plots og resultater fra ramp-simulering. I figuren til venstre er det plottet en kategorihyttes døgnlige forbruksmønster. På x-aksen vises minutter.

I figuren til høyre er den blå streken gjennomsnittseffekt gjennom en dag. Denne er beregnet ved å betrakte hele årsprofilen. Som nevnt tidligere er i utgangspunktet “alle dager like“ (siden de baserer seg på samme input-fil), men siden ramp inkluderer tilfeldighetsfaktorer på brukstid og bruksvindu (se seksjon 3) innehar de fortsatt en ulikhet. Den blå streken gjør det tydelig når på dagen det vanligvis brukes energi. Størrelsesorden på streken har ikke så mye praktisk betydning annet enn at den kan benyttes til å sammenligne effektforbruket mellom kategorihytter. Den lyseblå bakgrunnen er et resultat av alle de 365 døgnlige effektprofilene aggregert.

Store deler av dette delkapittelet er hentet fra prosjektoppgaven [39]

Hyttekategori 1

Hyttekategori 1 består av lastene og lastnivåene vist i tabell 5.2. Ved å sammenfalle tabellen med figur 5.1, kan man se hvilke komponenter som fremprovoserer de ulike effekttoppene. Ved videre nysgjerrighet på hvilke komponenter det er simulert for, henvises det til prosjektoppgaven [39].

Tabell 5.2: Komponenter i hyttekategori 1

Last	Lastnivå	Vindu [min]	Brukstid
Belysning	1	1380-420	6 timer
Oppvarming	1	1080-480	7 timer
Mobillading	1	510-600	39 min
Varmtvann	1	540-600, 900-960, 1140-1200	43 min
Vannpumpe	1	540-600, 720-840, 1020-1140	2 timer

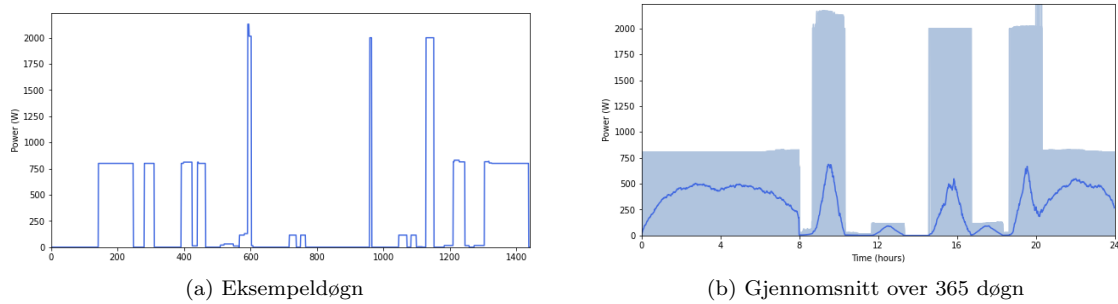
Kolonnen “lastnivå“ i tabell 5.2 referer til en spesiell inndeling komponenter. Hvert lastnivå referer til komponenter med tilhørende verdier, som vist i tabell 5.3 for komponentkategorien “Lys“.

Tabell 5.3: Nivå-inndeling av belysningslaster

Last	Effekt	Type	Kilde	Vindu	Brukstid
Lys 1	3Wx4, 3,6Wx4	Taklampe stål Mona, vegglampe stål LED	Hyttetorget.no	kl 07-23	6 timer, 6 timer
Lys 2	40W, 28Wx6, 3,6Wx6	Taklampe Manchester, Taklampe pendant 310 Veggglampe stål LED	Bohus.no Hyttetorget.no	kl 07-23	6 timer, 6 timer
Lys 3	40Wx2, 28Wx6, 3,6Wx6 15Wx4	Taklampe Manchester, Taklampe pendant 310 Veggglampe stål LED Karlstad takarmatur	Bohus.no Hyttetorget.no	kl 07-23 kl 18-08	8 timer, 6 timer, 14 timer

En tilsvarende tabell-beskrivelse av hvilke komponenter som inngår i resterende lastnivåene (oppvarming 1, varmtvann 2, stikk 2 osv..) ligger vedlagt i appendix, tabell A.4-A.8.

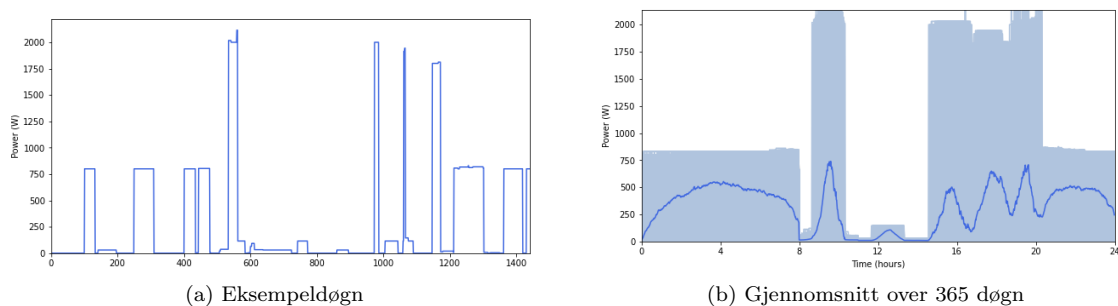
I figur 5.1 a) kommer det tydelig frem når varmtvannstanken jobber. Varmtvannstanken opererer på 2kW, noe som også vises på y-aksen. Det kommer også frem av figuren at de to panelovnene skrur seg på jevnlig gjennom natta. Hyttekategori 1 har to 400 watt panelovner, en på hvert soverom. De øvrige effektbidragene kommer henholdsvis fra belysning, vannpumpe og mobillading. Siden disse opererer på 27W, 115W og 40W kommer de ikke like tydelig frem i simuleringen som de førstnevnte komponentene.



Figur 5.1: Simulering, hyttekategori 1

Hyttekategori 2

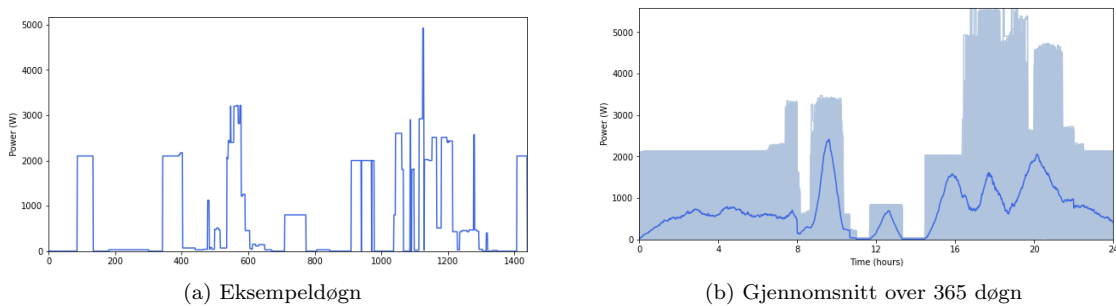
Tabell A.1 i appendix viser til komponentene det er simulert for i hyttekategori 2. Komponentene som skiller hyttekategori 1 fra 2 er kjøleskap, ovn, tv og en oppgradering av effekt til mobillading. Siden kjøleskapet jobber med 30,3 watt toppeffekt, og TVen jobber på 17 watt, utgjør disse komponentene en svært liten forskjell. Bidraget fra ovnen er derimot svært tydelig. Dette kommer frem ved effekttoppen rundt 1020 min i figur 5.2.



Figur 5.2: Simulering, hyttekategori 2

Hyttekategori 3

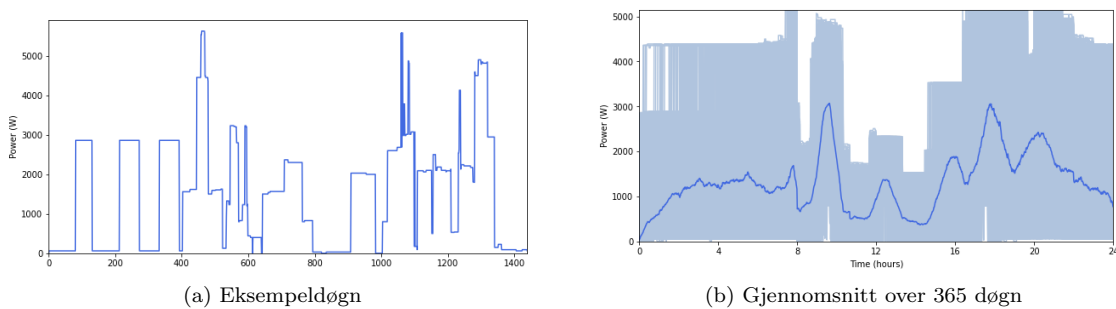
Tabell A.2 i appendix viser til hvilke komponentene det er simulert for i hyttekategori 3. Sammenlignet med hyttekategori 2 er de fleste av lastene oppgradert. Dette kommer også frem ved å sammenligne verdiene på y-aksen i figur 5.3 og 5.2.



Figur 5.3: Simulering, hyttekategori 3

Hyttekategori 4

Tabell A.3 viser til hvilke komponenter som er blitt simulert for i hyttekategori 4. Det kommer tydelig frem fra simulering at effekt og energibehovet til denne hytta er betydelig større enn for de foregående kategoriene. Dette skyldes en klar oppgradering av lasttypene og bruksmønstre.



Figur 5.4: Simulering, hyttekategori 4

5.2.2 Produksjonsdata

Hyttefeltet som det simuleres for i oppgaven er plassert i Oslo-området. Alle solcelleanleggene har like paneler, lik konfigurasjon, lik tilt og orientering.

Valgt kraftpakke for hyttene er “Solcelle kraftpakke 230V Victron 4kW PowerWall 18,4kWt“ [14]. Denne pakken er hentet fra “hyttetorget.no“. Fra valgt kraftpakke sitt datablad kommer det frem at inverterer sin maksimale effekt er 4kW og batteriets maksimale ladeeffekt er 3,36kW [14]. I den sammenheng burde inverterer ha satt taket på hvor høy effekt installasjonen forsynes med. Dersom kun et batteri forsyner inverter, blir maksimal effekt til installasjonen begrenset av ladeeffekten (som er lavere enn maksimal effekt gjennom inverter).

Figur 5.5 viser hvordan de tekniske dataene rundt solcellepanelene er lagt inn i modellen. Verdiene for kortslutningsstrøm (i_{sc}), åpen-krets spenning (v_{sc}) og spenning/strøm (i_{mp}/v_{mp}) ved cellens “max-effekt punkt“ er verdier som er funnet finne i solcellens datablad.

```

#SOLCELLEANLEGGETS PLASSERING
location = Location(latitude=50.94, longitude=10.956, tz='Europe/Berlin',
                    altitude=80, name = 'Hytta')

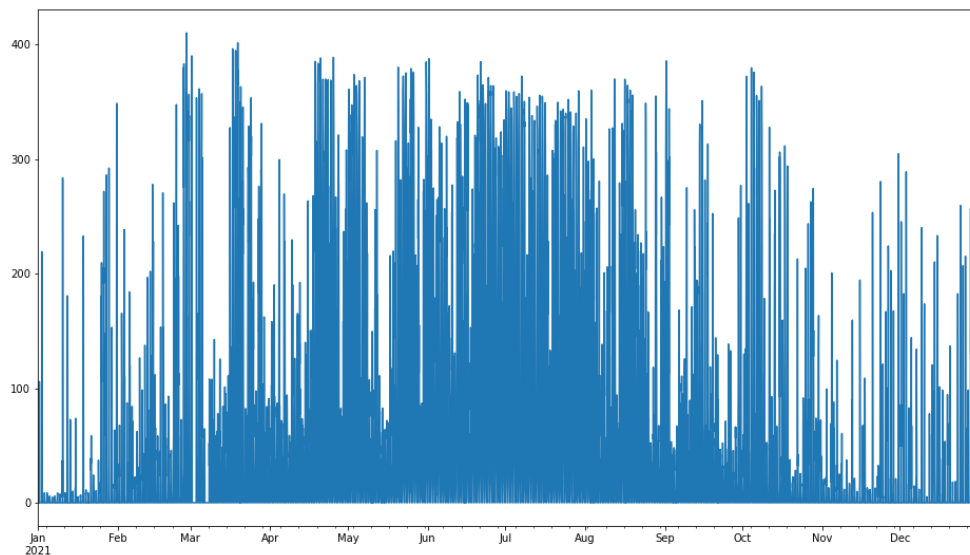
#DATABLADVERDIER FOR !ET PANEL!
celltype = 'monoSi' #MONO-CRYSTALLINE
pDc0 = 410 #Pm
v_mp = 31.45 #Vmp
i_mp = 13.05 #Imp
v_oc = 37.32 #Voc
i_sc = 13.95 #Isc

#PARAMETERE
inverter_max_effekt = 4000
antall_paneller = 6
surface_tilt = 45
surface_azimuth = 180

```

Figur 5.5: Spesifisering av solcelleanlegg i PVlib [43]

Figur 5.6 legger frem et plot fra PVlib som viser timesverdier over et år for et panel, med sol-innstrålingsdata fra PVGIS (2021). På y-aksen vises watt.



Figur 5.6: Timesverdier for solproduksjon per panel gjennom et år [43]

En observasjon som er verdt å merke seg i figur 5.6, er at det forekommer like store produksjonspeaks på våren og høsten som om sommeren. Dette kan blant annet være en effekt av lavere temperaturer. Sammenlignet med varme omgivelser kan lave temperaturer øke virkningsgraden til pv-panelene med opp mot 25% [24].

Produksjonsprofilen skaleres opp avhengig av hvor mange paneler anlegget består av. Valgt kraftpakke er består av **6 paneler**.

Det har også vært nødvendig å gjøre en videre bearbeiding av PV-dataene. Ved å sammenligne faktisk soloppgang/nedgang med verdier for innstråling fra PVGIS har det kommet frem at det er "tidssone-problem" i sol-innstrålings-databasen. Dette har ført til at PV-dataene har blitt forskyvet to timer.

5.3 Case og Scenario

I dette delkapittelet legges det frem tre caser, deriblant “basecase“. Hver case simuleres for tre bruksmønster-scenario. I base-case og som “standard“ for de andre casene består hyttfeltet av 20 deltakere.

Tabell 5.4 viser til hvordan hyttfeltet er designet; hvilke kategorihytter hyttfeltet består av og hvilket bruksmønster (4.1.3) de innehar.

Tegnene i tabellen beskrives med følgende; P : Permanent bruk, F : Feriebruk, AH : Annenhver helg, HH : Hver helg.

Tabell 5.4: Scenario-spesifikasjon

Hyttkategori	Antall	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
1	3	2xF, 1xHH	1xF, 2xHH	1xF, 2xHH
2	10	7xF, 1xHH, 2xAH	2xF, 3xHH, 5xAH	2xP, 2xF, 4xHH, 2xAH
3	4	4xF,	3xF, 1xAH	2xF, 2xAH
4	3	3xF	2xF, 1xAH	1xF, 2xAH,

En annen vinkling på masteroppgaven kunne vært å se på et “kategorihytte-scenario“, et scenario der et bruksmønster-scenario holdes konstant mens det simuleres for ulike fordelinger av kategori-hytter.

OBS! Når casene presenteres i delkapsittelene nedenfor vises det i figurene fire hytter. Som nevnt ovenfor består de faktiske hyttfeltene det simuleres for av 20 deltakere.

5.3.1 Base-case

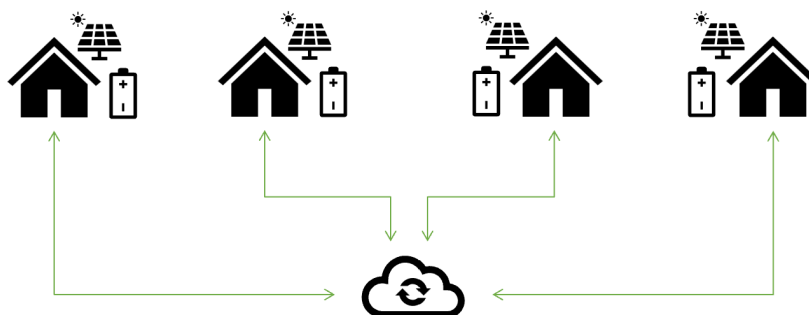
“Base case“ ser på simuleringresultatene hver hytte for seg, uten deling.



Figur 5.7: Base case

5.3.2 Pv-case

Denne casen ser på kun deling av produksjonsoverskudd.



Figur 5.8: PV-case

For casene der batteri inkluderes i markedet, er det satt opp to “flex-caser“. Dette for å se på innvirkningen av økt deltagelse av batteri i markedet, noe som styres ved å endre på “flex-limit“ i modellen. Som nevnt i kapittel 4 bestemmer “flex-limit“ i hvor stor grad batteriet skal delta i energimarkedet. Dette gjøres ved at den setter grensene for når et batteri kan kjøpe og selge energi (figur 4.7).

I modelleringskapittelet legges det frem teori rundt “batteri-bud“ og “flex-bud“. I modellen er det slik at dersom “flex-bud aktiveres“ aktiveres også batteri-bud (men ikke motsatt). Som det ble lagt frem i “det etableres bud“ avsnittet i kapittel 4 legges det ut batteri-bud når batteriene er tomme (kjøpe) eller fulle (selge). I masteroppgaven er det ikke satt opp noen batteri-case som kun ser på pv og “batteri-bud“. Resultatet fra denne casen ville gitt svært liten forbedring sammenlignet med “kun pv-case“, og anses i tillegg som mer urealistisk enn et scenario med “fleksibelt batteri“.

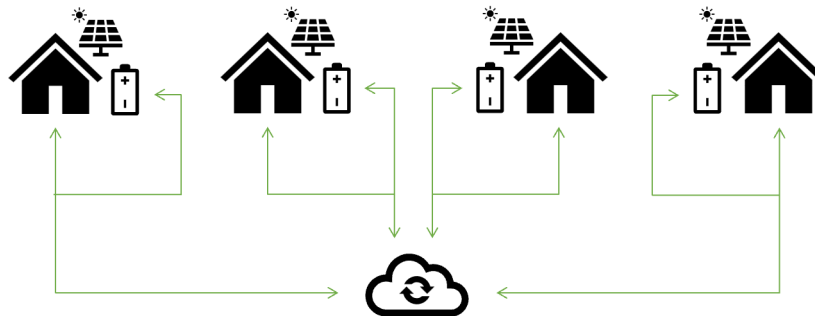
5.3.3 Flex-case 1

Denne casen ser på energideling av produksjon og energi lagret på batteri (18,45kWh). Casen simulerer for bruksmønster-scenariene simulert med “flex-limit“ satt til 0.2. Ved å sette flex_limit til 0.2, begrenses flex-batteriet av følgende grenser;

Batteristatus > 12,93 kWh (salg)

Batteristatus < 5,54 kWh (kjøp)

Batteriet “begrenses“ i den forstand at det må ha en status på over 12,93 kWh for å selge sin energi, og under 5,54 kWh for å kjøpe energi. I praksis gjør dette at kun eget forbruk kan lade batteriet under 12,93 kWh og kun egen produksjon kan lade batteriet opp over 5,54 kWh. Disse grensene gjør at en hytte, med eksempelvis feriebruk, i værste tilfelle har 12,93 kWh på eget batteri ved ankomst etter en lengre tids opphold fra hytta. Grensene hindrer også batteriet i å lade seg fort opp “unødvendig“. Unødvendig i den forstand at energien egentlig ikke trengs siden hytta står tom.



Figur 5.9: Flex case

5.3.4 Flex-case 2

Denne casen er lik Flex-case 1, bortsett fra at “flex-limit“ settes til 0.4. Med større flex-limit forventes det mindre deltagelse av batteriet i markedet. Ved å sette flex_limit til 0.4, begrenses flex-batteriet av følgende grenser;

Batteristatus > 16,61 kWh (salg)

Batteristatus < 1,85 kWh (kjøp)

5.4 Resultat-indikatorer

Til sammenligning av resultater er følgende indikatorer benyttet:

- Self-sufficient ratio (SF-rate).
- Samlet årlig reduksjon i “lost_load“ (Lost load).

Informasjonen som trengs for å beregne indikatorene hentes fra vektorene: demand, inv2load, lost_load og los_production. Som det kommer frem i seksjon 4 er disse vektorer med 35037 elementer, en verdi for hvert kvarter gjennom året. Som vist i ligning (5.1)-(??) summeres disse over alle tidssteg ved beregning av indikatorene.

SF-rate er en størrelse som forteller i hvor stor grad en deltaker er selvforsynt. I beregningen av størrelsen brukes verdiene for estimert forbruk (demand) og faktisk forsynt effekt fra inverter til installasjon (inv2load).

$$SF - rate = \frac{\sum_{i=0}^{35037} inv2load[i]}{\sum_{i=0}^{35037} demand[i]} \quad (5.1)$$

Lost_load er en størrelse som viser til hvor mye av det årlig estimerte effektbehovet som ikke blir dekt.

$$Lost_load = \sum_{i=0}^{35037} lost_load[i] \quad (5.2)$$

5.5 Tapsberegninger

I dette delkapittelet legges det frem valgte metoder for å beregne tap. Som nevnt i “forenklinger og antagelser“ er det ikke lagt inn tapsbetraktninger i selve energidelingsmodellen.

Siden inkludering av energihandel fører til flere ladeprosesser på batteri (flex-case) samt økt effekt gjennom inverter, har det likevel blitt nødvendig å beregne tap for å få gode resultater.

Måten tap beregnes på i og utenfor (når egen installasjon forsynes) energihandelen forklares i påfølgende delkapittel.

5.5.1 Tap som skyldes energihandel

Tapsberegningene er gjort ved å betrakte energiflytsverdiene som er knyttet til energihandel/plotting (de som ikke vises i figur 4.11), illustrert i figur 5.10.

```
E[N] = {'battery_sell_battery': battery_transfer_charging
        'battery_buy_battery': battery_transfer_discharging,
        'battery_sell_pv': pv_transfer_batterycharging,
        'pv_buy_battery': pv_transfer_batterycharging,
        'battery_buy_pv': pv_transfer_batterycharging,
        'pv_sell_battery': pv_transfer_batterycharging,
        'pv_buy_pv': pv_transfer_pv,
        .
        .
        }
```

Figur 5.10: Energihandelsverdier som benyttes til tapsberegninger

Energiflytsverdiene i figur 5.10 kalles i dette delkapittelet for “energihandelsverdier“. Nedenfor legges det frem en forklaring på energihandelsverdi “battery_sell_pv“. De andre energihandelsverdiene kan forklares på samme måte.

I vektoren $E[1]$ ['battery_sell_pv'] er det 35037 elementer. Verdiene i vektoren tilsvarer den mengden energi batteriet hos deltaker 1 selger til andre pv-anlegg i hvert tidssteg. En summasjon av alle de 35037 elementene tilsvarer total mengde energi batteriet til deltaker 1 selger til andre pv-anlegg gjennom hele simuleringen (et år).

Tap som skyldes utveksling av energi på batteri

Hver gang det er energiutveksling i markedet legges kjøps- og salgandelen til i de aktuelle energihandelsverdiene, som vist i figur 5.11. Energihandelsverdiene i dette handelstilfellet er “battery_sell_pv“ og “pv_buy_battery“. I en handel vil alltid to komplementære energihandelsverdier oppdateres, en for kjøper og en for selger.

```
Type handel: bat2pv (mellom kjøper med indeks 1 og selger med indeks 4)
Timestep: 2234

E[1]['LevelOfCharge'] -= seller_trade[1] #ENERGY
E[1]['battery_sell_pv'] += seller_trade[1]

E[4]['lost_load'] -= buyer_trade[4]
E[4]['pv_buy_battery'] += buyer_trade[4] #POWER

-----> dict_list[2234][1]['battery_sell_pv']
-----> dict_list[2234][4]['pv_buy_battery']
```

Figur 5.11: Oppdatering av energihandelsverdier i modellen

Handelen som illustreres i figur 5.11 er “bat2pv“, energiutveksling mellom batteri hos deltaker “j“

og PV-anlegg hos deltaker “i”. Som vist i figuren oppdateres “battery_sell_pv” og “pv_buy_battery” med lik energiandel som selges og kjøpes. Etter endt iterasjon for gjeldene tidssteg (2234) legges E[1] og E[4] inn i dict_list på vanlig måte, som vist i figur 4.10. Nederst i figur 5.11 er det illustrert hvor disse energihandelsverdiene vil være plassert i dict_list.

Energihandelsverdiene vil være plassert i dict_list på element 2234 (som tilsvarer tidssteg 2234). For å videre hente ut en bestemt energihandelsverdi for korrekt deltaker fra dict_list, indekseres listen med [index-deltaker] [’type-energihandelsverdi’].

Etterhvert som alle nødvendige energihandelsverdier oppdateres gjennom simuleringen, som gjøres i tilsvarende prosess som vist i figur 5.11 bare også for de andre handelsscenarione (bat2bat og pv2bat), vil man for hver deltaker ha en oversikt over hvor mye energi batteriet i anlegget har kjøpt og solgt. Dette gjøres ved å summere energihandelsverdiene over alle tidssteg. Siden kjøpt og solgt energi til/fra batteri fører til en oppladnings/utladnings-prosess av batteriet, multipliseres denne energimengden med virkningsgraden til batteriet. Ligning (5.3) viser dermed til hvordan det beregnes årlig tap (som skyldes energihandel) tilknyttet batteriet hos deltaker “N”.

$$Tap_{batteri_deltakerN} = (1 - \eta_{batteri}) \cdot \sum_{i=0}^{35037} \sum_{j=0}^3 (dict_list[i][N][X[j]']) \quad (5.3)$$

I ligning 5.3 summeres det over alle tidssteg (35037) og over alle aktuelle energihandelsverdier (X[j]). En forklaring på hvilke energihandelsverdier X[j] representerer vises i tabell 5.5.

Tabell 5.5: Forklaring av X[j] i ligning (5.3)

Type	Energihandelsverdi
X[0]	battery_sell_pv
X[1]	battery_buy_pv
X[2]	battery_buy_battery
X[3]	battery_sell_battery

Tap som skyldes utveksling av energi til forbruk (pv-bud)

I hvert tilfelle der det er energiutveksling som dekker “lost_load” hos en deltaker (pv-bud), betyr dette i praksis at energien går via en deltakerens inverter før installasjonen forsynes. Dette legger grunnlaget for tapsberegningene for inverter vist i ligning (5.4)

$$Tap_{inverter_deltakerN} = (1 - \eta_{inverter}) \cdot \sum_{i=0}^{35037} \sum_{j=0}^3 (dict_list[i][N][Z[j]']) \quad (5.4)$$

I ligning 5.4 summeres det over alle tidssteg (35037) og over alle aktuelle energihandelsverdier (Z[j]). En forklaring av hvilke energihandelsverdier Z[j] representerer vises i tabell 5.6.

Tabell 5.6: Forklaring av Z[j] i ligning (5.4)

Type	Energihandelsverdi
Z[0]	pv_buy_battery
Z[1]	pv_buy_pv

Totalt tap fra energihandel

Det estimerte tapet som skyldes energihandel vil bestå av faktorene beskrevet i delkapitlene ovenfor. Disse to leddene inngår i den totale tapsberegningen (for N deltakere), som vist i ligning (5.5).

$$Tap_Energihandel = \sum_{i=0}^N (tap_batteri_deltaker[i] + tap_inverter_deltaker[i]) \quad (5.5)$$

5.5.2 Tap som ikke skyldes energihandel

Virkningsgraden på batteri og inverter er også lagt inn når en deltaker forsyner seg selv. I den sammenheng oppstår det tapsledd i to tilfeller når deltakeren forsyner egen installasjon.

1. Når egenprodusert solenergi/batteri forsyner egen installasjon (tap gjennom egen inverter)
2. Når eget batteri lades opp fra egen produksjon eller lades ut ved forsyning til egen installasjon.

5.5.3 Oppsummering av valgte tapsbetraktninger

Dersom det hadde blitt inkludert tapsbetraktninger i hvert tidssteg i energidelingsmodellen, ville det i praksis ført til "strengere" krav for overføring. Dette fordi hver selger i praksis måtte ha solgt "litt mer" (siden noe energi går bort i tap). Ved strengere betingelser for overføring, vil det være færre bud som klareres i markedet. Færre bud gir i denne sammenheng lavere tap (men også mindre overføring), noe som kan tyde på at tapene som er beregnet heller er overestimert enn underestimert.

Nedenfor er det listet opp de tapene som det ikke er tatt hensyn til:

- Tap i overføring mellom deltakere
- I praksis ville mest sannsynlig energimarkedet blitt håndtert gjennom en "hub/styringsenhet", på samme måte som vist i figur 5.8-5.9. Tapet i denne er ikke inkludert.

6 Resultater

Resultatkapittelet legger frem simuleringsresultater i følgende rekkefølge:

1. Scenario 1 med tilhørende simuleringer for de ulike casene.
2. Scenario 2 med tilsvarende simuleringer.
3. Scenario 3 med tilsvarende simuleringer.
4. Simuleringer som viser til hvordan utvalgte uker forbedres som følge av energideling.
5. Simuleringer som viser til energistatus over bestemte tidsperioder på vinterstid.

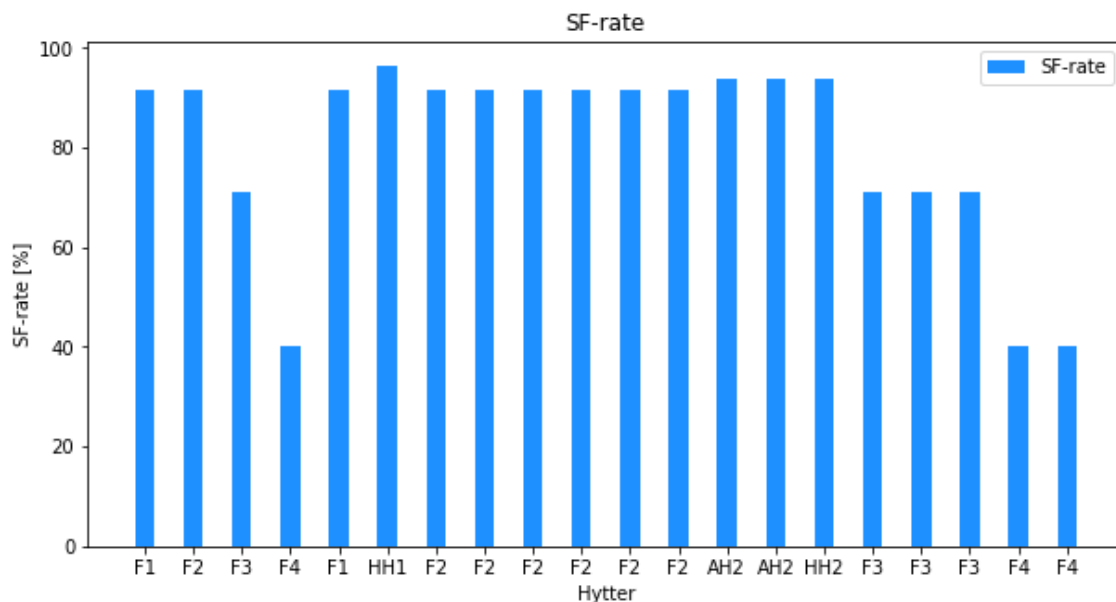
Hvert scenario har sin egen “base-case“. Dette fordi bruksmønsteret blant hyttene er endret fra scenario til scenario, og dermed base-case. I hvert scenario sammenlignes resultatene fra de ulike casene opp mot gjeldene base-case.

6.1 Informasjon rundt tabellene og figurene som presenteres i resultatene

Tabellene og figurene som legges frem i dette delkapittelet er hentet fra en tilfeldig simulering, de er kun ment for å skape klarhet rundt hva de viser.

6.1.1 SF-rate og årlig resultat

I hvert scenario legges først frem resultatene for basecase. Figur 6.1 viser hvordan SF-ratene til de ulike hyttene i basecase presenteres.



Figur 6.1: SF-rate for hver av hyttene i base-case

På x-aksen vises det for hvilken hytte søylen gjelder. Benevnningen som vises på aksene er basert på tegnene nevnt nedenfor:

P : Permanent bruk, F : Feriebruk, AH : Annenhver helg, HH : Hver helg.

Tallet som kombineres med tegnet forteller hvilken kategori hytte søylen gjelder, eksempelvis vil søylen tilknyttet “HH2“ gjelde for “kategori hytte 2 med bruksmønster hver helg“. Sammen med figur 6.1 presenteres det også en tabell for hver basecase som vist i 6.1.

Tabell 6.1: Årlig resultat, base case

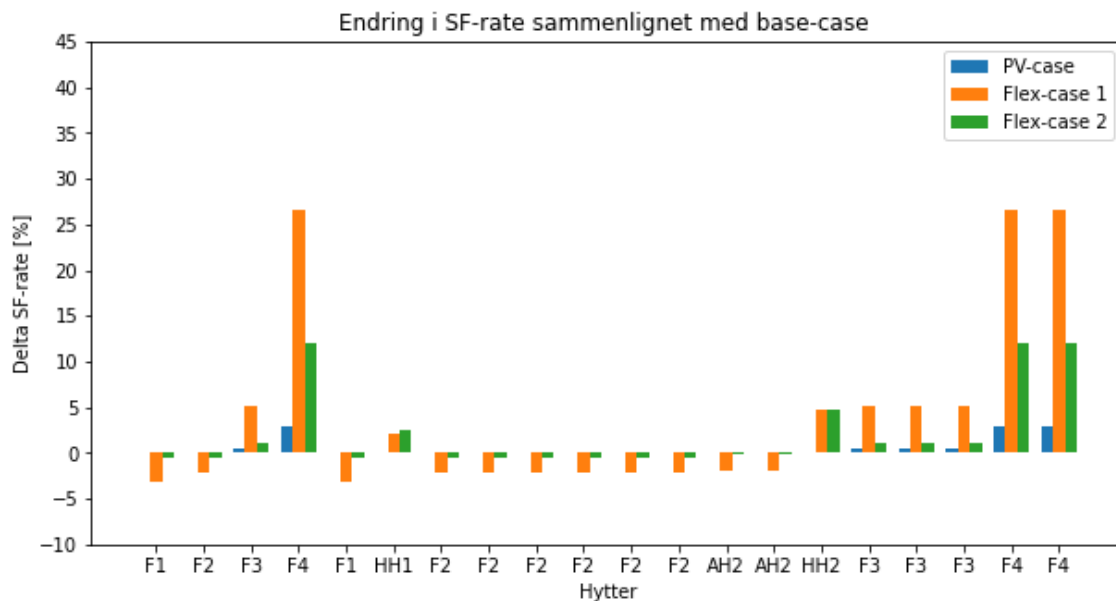
Indikator	Før	Etter
Sf-rate [%]	70,5	-
Lost_load [kWh]	3063,6	-

For hver case presenteres det en tabell tilsvarende 6.2. Tabellen viser det samlede resultatet for hyttefeltet. I “etter“ kolonnen legges det frem “delta-verdier“; verdier som viser til endringer i resultatet for gjeldende case sammenlignet med basecase. I “før“ kolonnen blir leseren minnet på resultatene fra base-case.

Tabell 6.2: Presentasjon av årlig resultat

Indikator	Før	Etter
Sf-rate [%]	70,5	+ 6,18
Lost_load [kWh]	3063,3	- 488,9

På slutten av hver case, etter at det er lagt frem resultater fra pv-, flex 1- og flex 2-case, legges det frem en oppsummering av scenario-resultatene. Dette gjøres sammen med en figur tilsvarende 6.2. Figur 6.2 viser til alle case-scenarioene sin “ Δ SF-rate“, hvordan SF-ratene i de forskjellige casene prosentvis har endret seg sammenlignet med base-case.



Figur 6.2: SF-rate, oversikt

Som kommer frem i figur 6.2 viser alle hytter med likt bruksmønster og lik kategori til identiske resultater. Dette henger sammen med forenklingene som har blitt gjort angående forbruk og produksjonsprofiler (ref. seksjon 5.1). Ringvirkninger av dette diskuteres i diskusjonskapittelet.

6.2 Scenario 1

Hytteteknologien som er benyttet i disse simuleringene er listet opp i tabell 6.3.

P : Permanent bruk, F : Feriebruk, AH : Annenhver helg, HH : Hver helg.

Tabell 6.3: Scenario 1

Hyttekategori	Antall	Scenario 1
1	3	2xF, 1xHH
2	10	7xF, 1xHH, 2xAH
3	4	4xF,
4	3	3xF

I dette scenario er det liten variasjon i bruksmønsteret blant deltakerne; 16 av 20 bruker hytta på samme tidspunkt, "feriebruk".

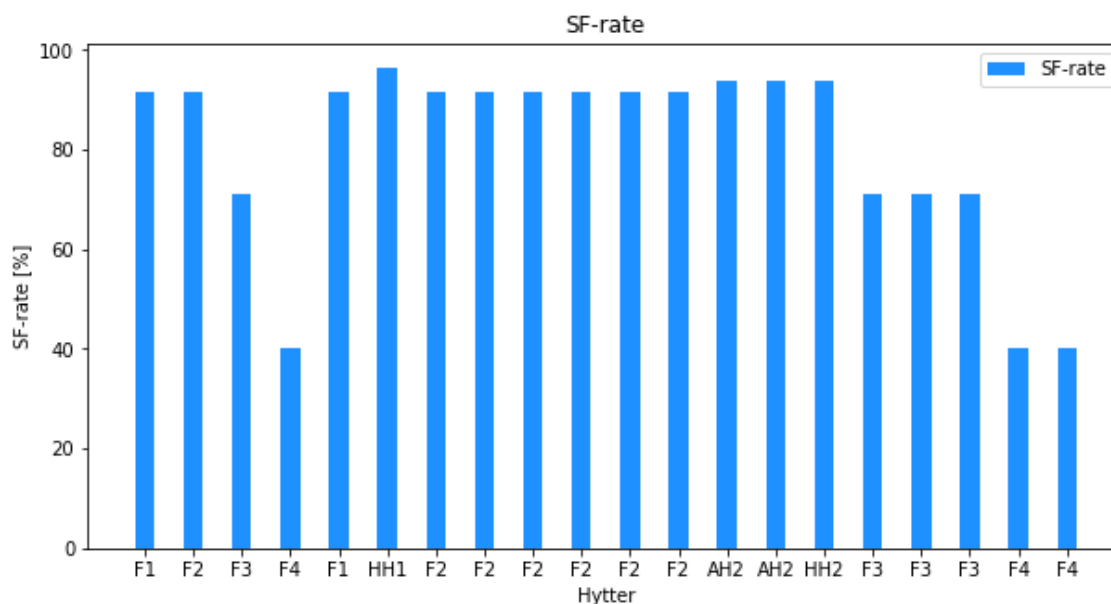
6.2.1 Base case

Resultatene for basecase vises samlet i tabell 6.4 og for hver hytte i figur 6.3. Sf-rate beregningen er basert på at det samlede årlige forbruket til bruksmønster-fordelingen i dette scenario er 4339,4 kWh.

Tabell 6.4: Årlig resultat, base case

Indikator	Før	Etter
Sf-rate [%]	70,5	-
Lost_load [kWh]	3063,6	-

Søylene i figur 6.3 viser til at hytte "F4" har den laveste SF-raten, med en verdi på 40,2%. Deretter følger hytte "F3" med 71,1%. Hytten med høyest SF-rate er hytte med bruksmønster "HH1". Denne med en sf-rate på 96,4%.



Figur 6.3: SF-rate for hver av hyttene i base-case

6.2.2 PV-case

I denne casen er det kun energioverføring av produksjonsoverskudd. Tabell 6.5 viser til simuleringresultatene sammenlignet med base-case.

Tabell 6.5: Årlig resultat, pv case

Indikator	Før	Etter
Sf-rate [%]	70,5	+ 2,86
Lost_load [kWh]	3063,6	- 112,9

Som tallene i tabell 6.5 viser gir denne casen en liten årlig forbedring sammenlignet med basecase.

6.2.3 Flex-case 1

I denne casen deltar hyttenes batteri også i energihandelen, med flex-limit lik 0.2. Tabell 6.6 viser til simuleringresultatene.

Tabell 6.6: Årlig resultat, flex case 1

Indikator	Før	Etter
Sf-rate [%]	70,5	+11
Lost_load [kWh]	3063,6	- 1008,6

Tallene i tabellen viser til en merkbar forskjell i denne casen sammenlignet med PV-case. Reduksjonen i lost_load er 895,7 kWh større.

6.2.4 Flex-case 2

I denne casen er flex-limit satt til 0.4. En høyere flex_limit fører som nevnt i 5.3 til mindre deltagelse fra batteriet i markedet (ref. seksjon 4.2.1). Tabell 6.7 viser simuleringresultatene sammenlignet med base-case.

Tabell 6.7: Årlig resultat, flex case 2

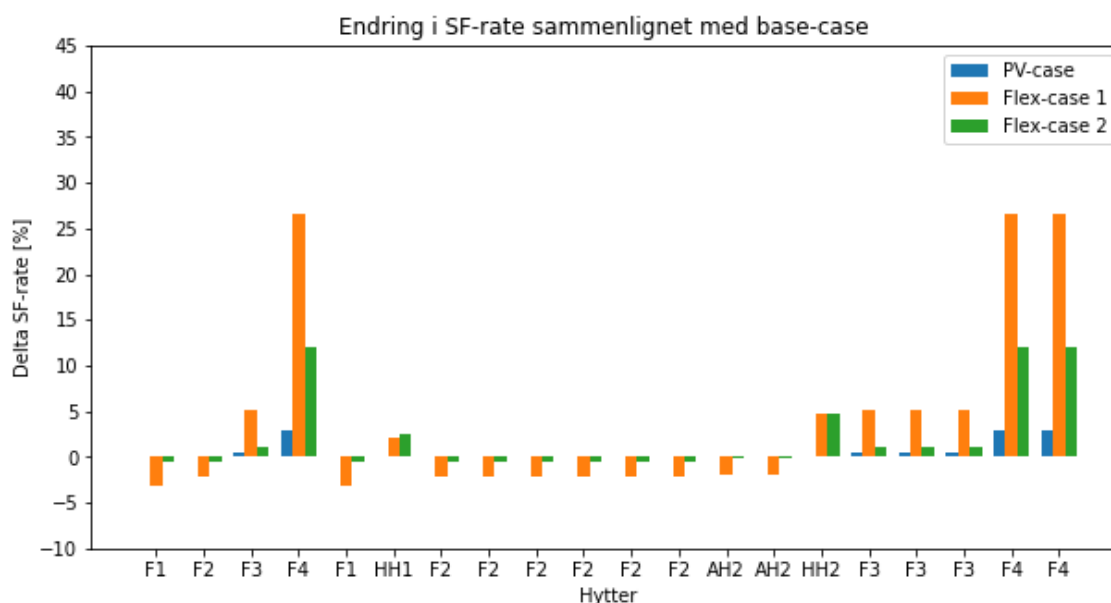
Indikator	Før	Etter
Sf-rate [%]	70,5	+ 6,18
Lost_load [kWh]	3063,6	- 481,1

6.2.5 Oppsummering

Figur 6.4 viser hvordan sf-raten til alle hyttene endret seg gjennom simulering av de ulike casene for scenario 1. Det kommer tydelig frem fra figuren at det er Flex-case 1 som setter de største forskjellene, både i positiv og negativ retning. Samlet sett viser "F4" til den største økningen i SF-rate, på 26%. Dette gir hytta en netto sf-rate etter energideling på 66,2%. "F1" har den største nedgangen i sf-rate, på -3,3%.

I ferieperioder med høy produksjon drar "F4" godt nytte av overskuddsenergien hos de lavere kategoriserte hyttene, samt energihandel fra de fire hyttene som ikke er bebodd i ferien.

En viktig påpekning angående "prosentvis endring i sf-rate", er at størrelsesorden på denne avhenger av sterkt av estimert forbruk på hytta det beregnes for. Eksempelvis vil en 10% endring hos en hytte "F4" utgjøre mye mer energi enn en 10% endring hos en hytte "F1". En nedgang på -3,3% utgjør derfor svært lite for en hytte med kategori en. I dette eksempelet utgjør denne nedgangen hos "F1" bare en økning i lost_load fra 18,84 kWh til 26,3kWh. Oppgangen på 26% hos "F4" utgjør en nedgang i lost_load fra 686,7 til 382,7 kWh.



Figur 6.4: SF-rate, oversikt

Hyttene med benevning "F1", "HH1", "F2", "AH2" og "HH2" viser bare to søyler, dette fordi de ikke fikk kjøpt noe energi i pv-casen. Årsaken til dette er at ingen andre hytter la ut produksjonsoverskudd tilgjengelig for salg i de tidsstegene disse hyttene la ut kjøpebud

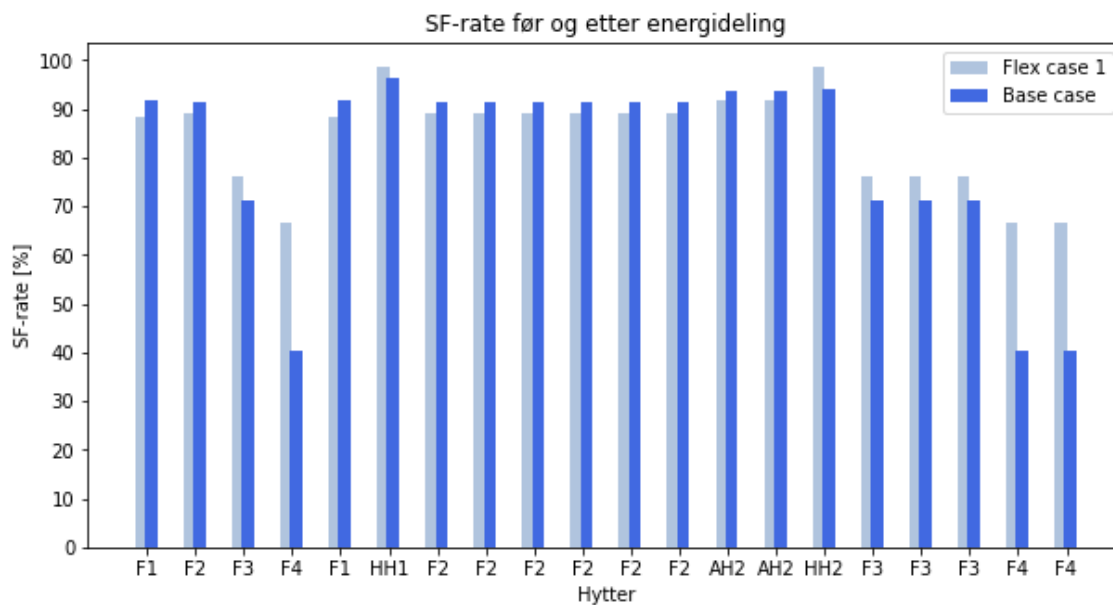
De høyeste sf-ratene (netto) i hyttefeltet forekommer for hytte "HH1" og "HH2". Hytte "HH1", som hadde høyest sf-rate i base-case, opplever økning i sf-rate på 2,2 %. Hytte "HH2" opplever en økning på 4,7%. Etter energideling ender begge disse hyttene opp med en sf-rate på 98,6%.

Årsaken til at "HH1" opplever en økning mens "F1" opplever en nedgang henger sammen med at "F1" sitt forbruksmønster sammenfaller med bruksmønsteret til femten andre hytter. Hyttene spesifisert med "HH" opplever tjueseks helger gjennom året der kun disse hyttene er bebodd. Hyttene med benevning "AH" og "F" vil ikke oppleve noen tidspunkt gjennom simuleringen der disse er de eneste hyttene som etterspør energi.

Som forklart i modelleringskapittelet er første prioritet for hyttene å "forsyne seg selv". Grunnen til at noen hytter likevel opplever en nedgang i sf-rate kan forklares med at batteriet, i et energidelings-scenario, nødvendigvis ikke er fullt ved ankomst. Ved ankomst (uten energideling) er hytter med bruksmønster "AH" og "F" nesten garantert fullt batteri. Dette fordi hytta har stått tom over lengre tid og batteriet har kunnet lade seg opp.

Når batteriet deltar aktivt i energideling vil batteriet kun være fullt dersom det over en lengre tid ikke har vært noe kjøps-etterspørsel i det lokale markedet. Aspekter og løsninger rundt “nedgang i sf-rate“ diskuteres videre i diskusjonskapittelet.

Figur 6.5 viser til en sammenligning i årlig SF-rate mellom base-case og den casen som gav best resultat.



Figur 6.5: Sammenligning av sf-rate i flex-case 1 og base-case

6.3 Scenario 2

Bruksmønstrene tilknyttet scenario 2 vises i tabell 6.8. Til forskjell fra scenario 1 er det her inkludert en større variasjon i bruksmønster blant deltakerene. Antall hytter med “feriebruk“ er halvert fra seksten til åtte og ertstattet med “annenhver helg“ og “hver helg“.

Tabell 6.8: Scenario 2

Hyttkategori	Antall	Scenario 2
1	3	1xF, 2xHH
2	10	2xF, 3xHH, 5xAH
3	4	3xF, 1xAH
4	3	2xF, 1xAH

6.3.1 Base case

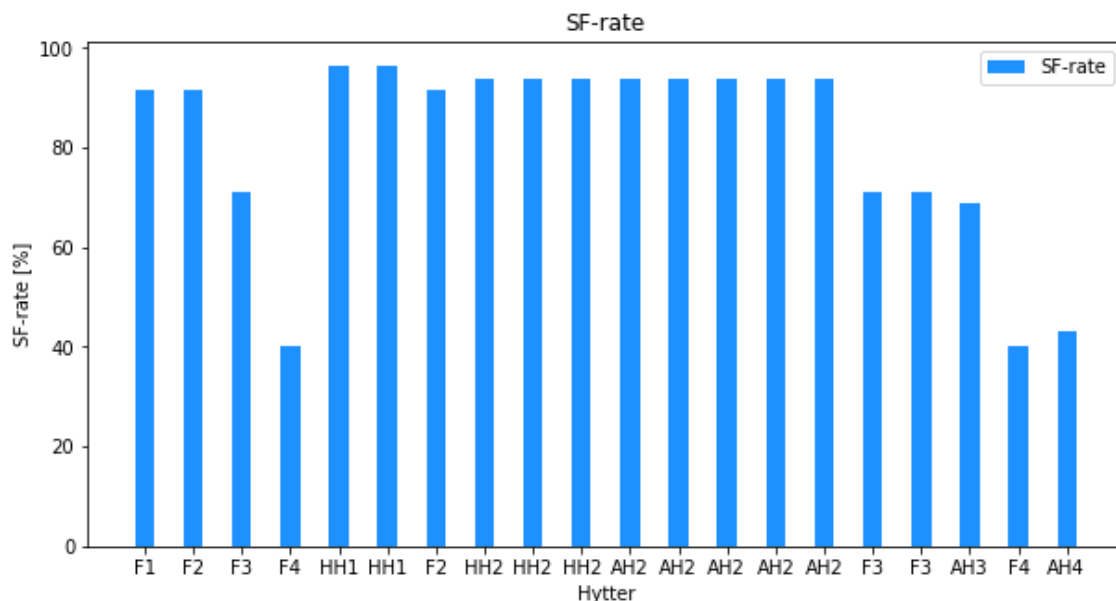
Tabell 6.9 viser det årlige resultatet for base-case i dette scenario. Sf-rate beregningen baserer seg på det årlige forbruket til hyttene samlet, som i dette tilfelle er 4910 kWh. Sammenlignet med scenario 1 er dette forbruket 571 kWh høyere. Dette forklarer hvorfor resultatene viser en økning i lost_load (515,8 kWh) samtidig som det er økning i sf-rate (2,9%).

Årsaken til at det estimerte forbruket er høyere for dette scenario, er at hytter med “feriebruk“ i bruksmønster-fordelingen er erstattet med “annenhver helg“ og “hver helg“. Disse bruksmønstrene har et høyere årlig forbruk enn “feriebruk“.

Tabell 6.9: Årlig resultat, base case

Indikator	Før	Etter
SF-rate [%]	72,9	-
Lost_load [kWh]	3579,4	.

Hyttene som kom ut med best og dårligst resultat er “HH1“ og “F4“. Disse med sf-rate på 96,4% og 40,2%.



Figur 6.6: SF-rate for hyttene i base.case

6.3.2 PV-case

Tabell 6.10 viser simuleringsresultatene for denne casen sammenlignet med base-case. Sammenlignet med scenario 1 sin pv-case, er det i denne simuleringen en økning i Δ SF-rate på 1,2 %. Reduksjonen i lost_load er også nesten tredoblet.

Tabell 6.10: Årlig resultat, pv case

Indikator	Før	Etter
SF-rate [%]	72,9	+ 4,09
Lost_load [kWh]	3579,4	-304,7

6.3.3 Flex-case 1

Tabell 6.11 viser simuleringsresultatene. Sammenlignet med scenario 1 sin flex-case 1, er det i denne simuleringen en økning i Δ SF-rate på 3,5 %. Reduksjonen i lost_load har også økt med 777 kWh.

Tabell 6.11: Årlig resultat, flex case 1

Indikator	Før	Etter
SF-rate [%]	72,9	+ 14,5
Lost_load [kWh]	3579,4	- 1785,5

6.3.4 Flex-case 2

Tabell 6.12 viser simuleringsresultatene. Sammenlignet med scenario 1 sin flex-case 2, er det i denne simuleringen en økning i Δ SF-rate på 4,22 %. Reduksjonen i lost_load har også økt med 716,8 kWh.

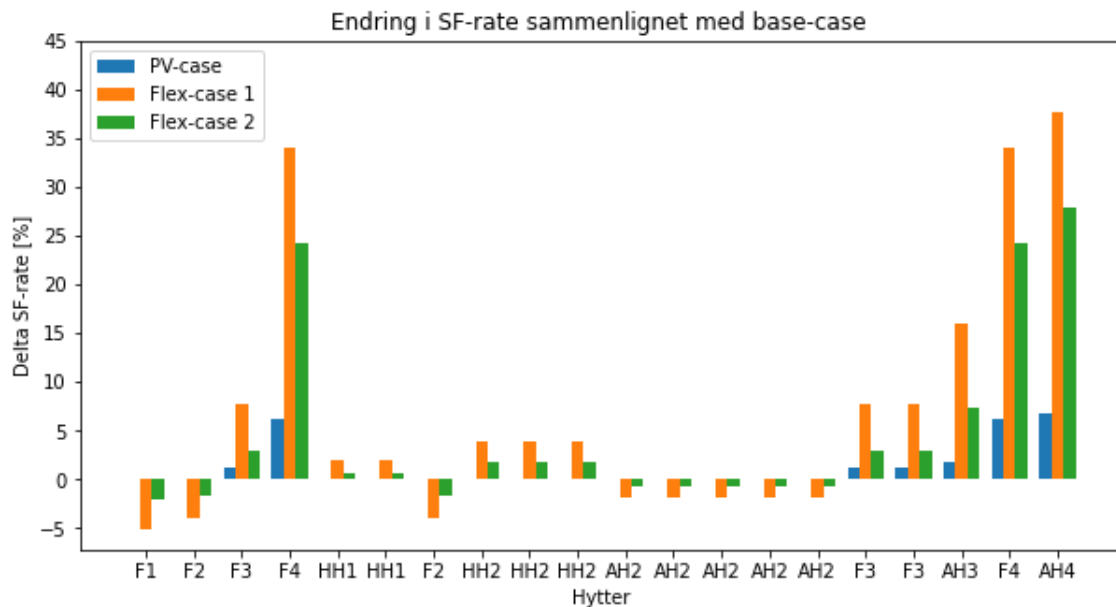
Tabell 6.12: Årlig resultat, flex case 2

Indikator	Før	Etter
SF-rate [%]	72,9	+ 10,4
Lost_load [kWh]	3579,4	- 1197,9

6.3.5 Oppsummering

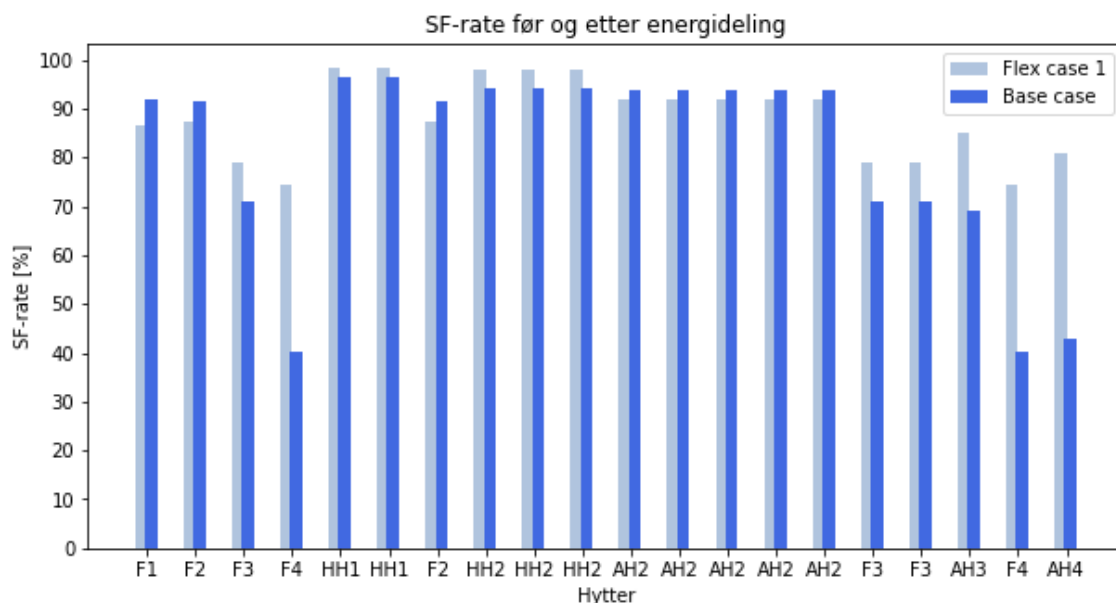
Figur 6.7 viser hvordan sf-ratene til alle hyttene endret seg gjennom simulering av de ulike casene for scenario 2. I dette scenario kommer det, som i scenario 1, tydelig frem fra figuren at det er Flex-case 1 som setter de største forskjellene.

Hytte "AH4" og "F4" viste i dette scenario til de største økningene i sf-rate, på 38% og 34%. Dette resulterer i en netto sf-rate til hyttene på 74,2 og 80,81%. Sammenlignet med scenario 1 er dette en klar forbedring, der hytte "F4" resulterte i en netto sf-rate på 66,2%.



Figur 6.7: SF-rate, oversikt

En økning i sf-rate på 34 og 38% for hytte "F4" og "AH4" tilsvarer en nedgang i lost_load på 390,6 og 676,7 kWh. Nedgangen i sf-rate hos "F1" og "F2" tilsvarer en oppgang i lost_load på 11,5 og 10,7 kWh. Figur 6.8 viser til sf-rate for hver hytte før og etter energideling for "beste case".



Figur 6.8: Sammenligning av sf-rate i flex-case 1 og base-case

6.4 Scenario 3

Bruksmønstrene tilknyttet scenario 3 vises i tabell 6.13. Til forskjell fra scenario 2 er blant annet to hytter med “feriebruk“ erstattet med 2 hytter med “bomønster“.

Tabell 6.13: Scenario 3

Hyttekategori	Antall	Scenario 3
1	3	1xF, 2xHH
2	10	2xP, 2xF, 4xHH, 2xAH
3	4	2xF, 2xAH
4	3	1xF, 2xAH,

6.4.1 Base case

Tabell 6.14 viser det årlige resultatet for basecase i dette scenario. Til forskjell fra scenario 2 er det en nedgang i samlet sf-rate på 2,4 %.

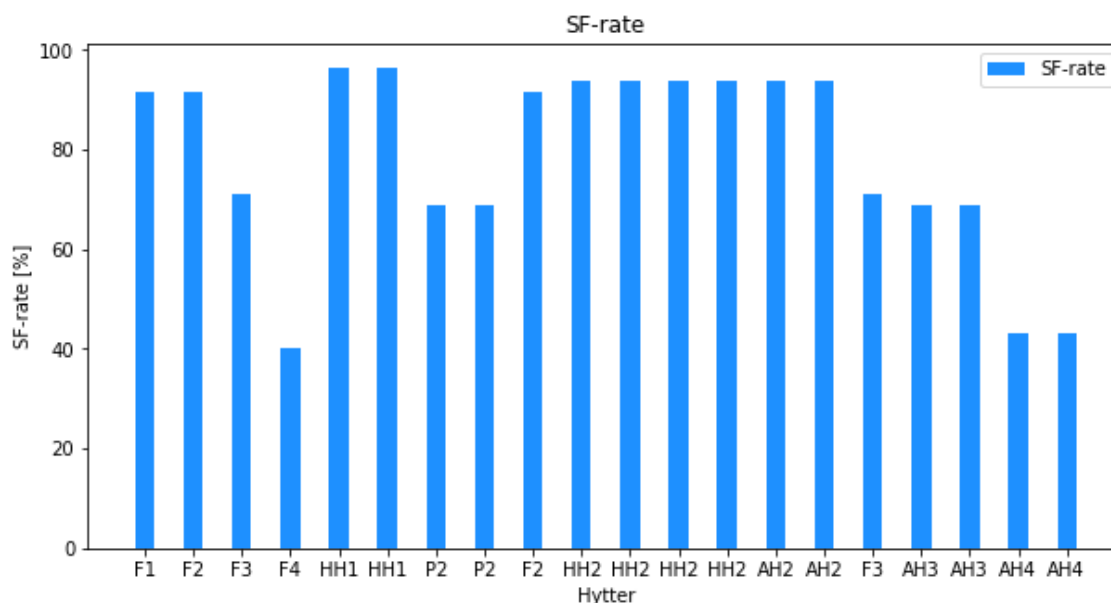
Andelen lost_load i tabell 6.14 er stor, årsaken til dette er at to av hyttene i hyttefeltet har “permanent bruksmønster“.

“Permanent bruksmønster“ resulterer i et betydelig større energibehov gjennom året sammenlignet med de andre bruksmønstrene. Et større energibehov øker også potensiale for større andel lost_load.

Tabell 6.14: Årlig resultat, base case

Indikator	Før	Etter
SF-rate [%]	70,2	-
Lost_load [kWh]	5683,4	-

Figur 6.9 viser til sf-ratene for hver hytte i base case.



Figur 6.9: SF-rate for hyttene i base-case

6.4.2 PV-case

Tabell 6.15 viser simuleringsresultatene for denne casen sammenlignet med base-case. Sammenlignet med scenario 2 sin pv-case, er det i denne simuleringen en nedgang i Δ SF-rate på 0,99 %.

Tabell 6.15: Årlig resultat, pv case

Indikator	Før	Etter
SF-rate [%]	70,2	+ 3,1
Lost_load [kWh]	5683,4	-322,8

6.4.3 Flex-case 1

Tabell 6.16 viser simuleringsresultatene for flex-case 1. Sammenlignet med scenario 1 sin flex-case 1, er det i denne simuleringen en nedgang i Δ SF-rate på 1,1 %.

Tabell 6.16: Årlig resultat, flex case 1

Indikator	Før	Etter
SF-rate [%]	70,2	+ 13,4
Lost_load [kWh]	5683,4	-2383,4

6.4.4 Flex-case 2

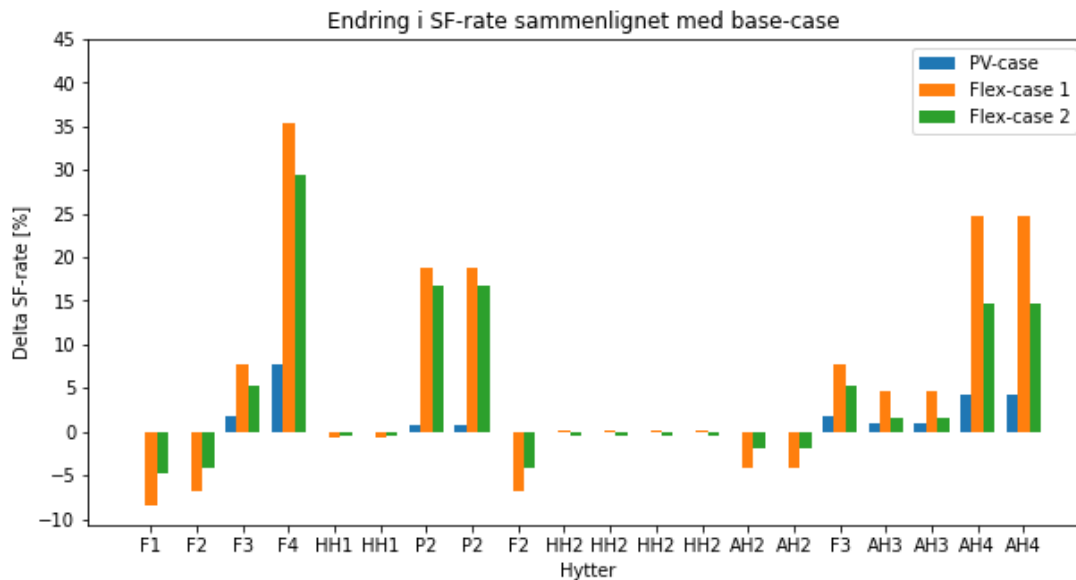
Tabell 6.17 viser simuleringsresultatene. Sammenlignet med scenario 2 sin flex-case 2, er det i denne simuleringen en økning i Δ SF-rate på 0,1 %.

Tabell 6.17: Årlig resultat, flex case 2

Indikator	Før	Etter
SF-rate [%]	70,2	+ 10,5
Lost_load [kWh]	5683,4	-1798,8

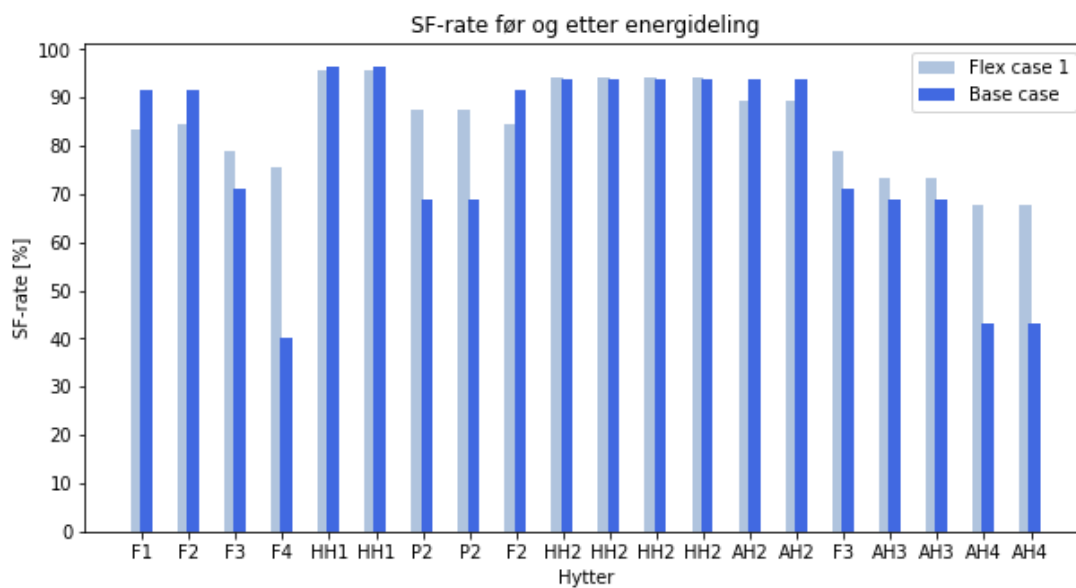
6.4.5 Oppsummering

Figur 6.10 viser til hvordan sf-ratene til alle hyttene endret seg gjennom simulering av de ulike casene for scenario 3. Det som i hovedsak skiller dette scenario fra de andre er inkluderingen av “permanent bruk“. Inkluderingen av disse hyttene fører blant annet til at “F4“ får høyere økning i sf-rate enn “AH4“, scenario 2 resulterte i motsatt. Dette skjer fordi de “permanente“ hyttene har en stor innvirkning på batteristatusen til alle hyttene gjennom hele året. Siden “P2“ ofte kjøper energi vil det sjeldnere være mengder energi når helgen kommer (og “AH4“ ønsker å kjøpe).



Figur 6.10: SF-rate, oversikt

Siden “P2“ har et stort årlig forbruk, tilsvarer oppgangen på 19% i flex case 1 507 kWh. Hytte “F4“ og “AH4“ opplever en oppgang etter energideling på 405 og 433 kWh. Nedgangen på -6.9 og -8,5% hos hytte “F2“ og “F1“ tilsvarer så lite som 20 kWh og 18 kWh. Figur 6.11 viser til sf-rate for hyttene i base-case og beste case (flex case 1).



Figur 6.11: Sammenligning av sf-rate i flex-case 1 og base-case

6.5 Samlet oppsummering

Tabell 6.18 viser en samlet oversikt over hvordan SF-ratene endrer seg i forhold til deres basecase.

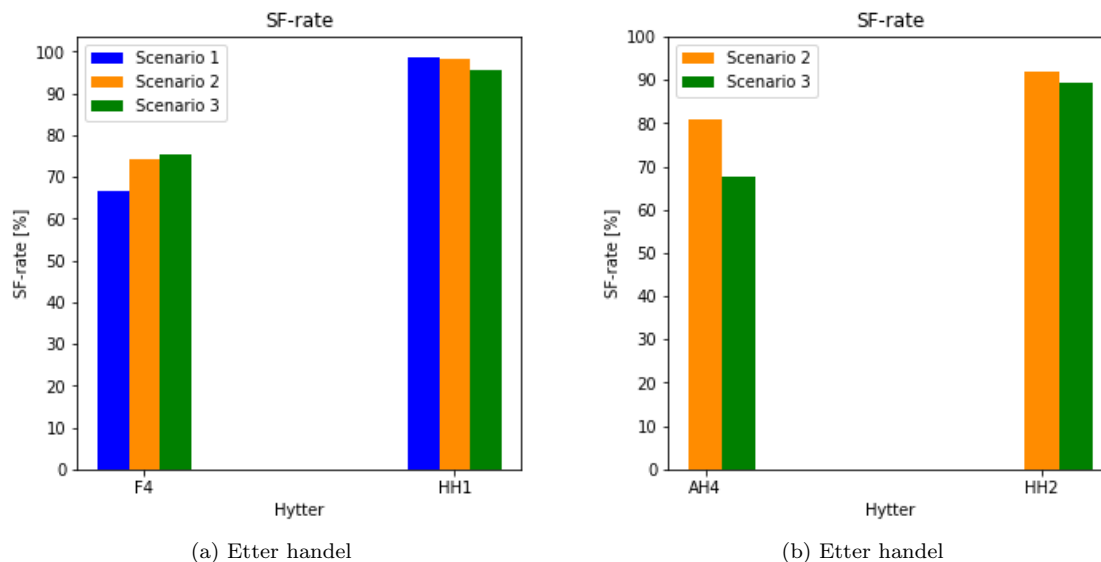
Tabell 6.18: SF-rate, oppsummering

Scenario	Case	SF-rate (basecase) [%]	Endring i SF-rate [%]
1	Pv	70,5	+ 2,86
2	Pv	72,9	+ 4,1
3	Pv	70,2	+ 3,1
1	Flex 1	70,5	+ 11
2	Flex 1	72,9	+ 14,5
3	Flex 1	70,2	+ 13,4
1	Flex 2	70,5	+ 6,2
2	Flex 2	72,9	+ 10,4
3	Flex 2	70,2	+10,5

Fra tabell 6.18 kommer det frem at Flex case 1 i scenario 2 gir den største prosentvise økningen i SF-rate sammenlignet med basecase. En økning på 14,5% for hele hyttefeltet samlet resulterer i at hyttefeltet ender opp med en sf-rate på 87,4%. Dette resulterer i en reduksjon i lost_load på 1785,5 kWh.

Pv-casen viser til svært små forbedringer sammenlignet med flex case 1 og 2. Resultatene viser tydelig at deltagelse fra batteriet er fordelaktig i energideling.

Figur 6.12 viser til resultatet for utvalgte hytter for ulike scenario i flex case 1. I figuren til venstre sammenlignes sf-ratene til "F4" og "HH1" etter energideling, og i figuren til høyre sammenlignes sf-ratene til "AH4" og "HH2" etter energideling.



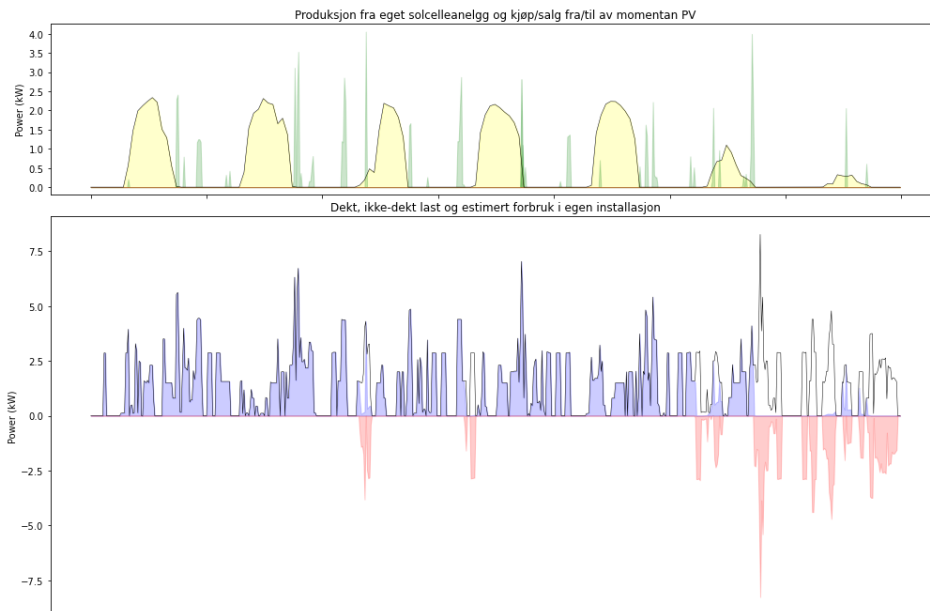
Figur 6.12: Sammenligning av resultater fra ulike scenario (flex case 1).

Som det kommer frem i tabell 6.18 er det scenario 2 som gir den høyeste økningen i samlet sf-rate. Figur 6.12 viser likevel at for enkelte hytter slår andre scenario ut best. Figur 6.12 a) legger frem at for "F4" og "HH1" resulterer henholdsvis scenario tre og en i den høyeste sf-raten etter deling. Figur 6.12 b) viser resultater tilknyttet "AH4" og "HH2" der scenario to leverer best.

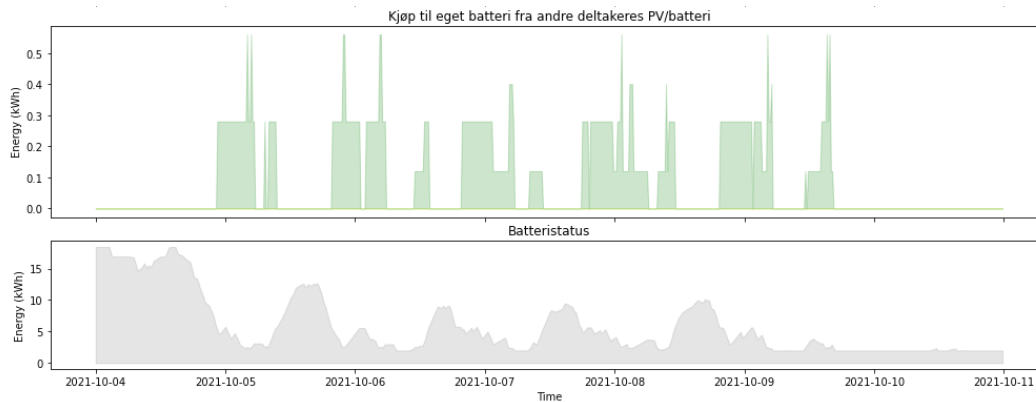
NB! I scenario 1 er det ikke inkludert hytter med benevnelse "AH4" og "HH2". Dette er årsaken til at dette scenario ikke er representert i figur 6.12 b).

6.6 Energihandel

Dette kapittelet legger frem to simulerings-plots fra hvert scenario, et plot fra basecase (uten deling) og et plot som viser til forbedring fra basecase. Disse plottene er ment for å illustrere hvilken informasjon man kan hente ut fra modellen, samt vise hva modellen er god for. Figur 6.13 og 6.14 viser til et eksempel på hvordan et “simulerings-plot“ ser ut.



Figur 6.13: Høstferie for en hytte med kategori 4, etter energideling



Figur 6.14: Høstferie for en hytte med kategori 4, etter energideling

De ulike “delplottene“ i figur 6.13 og 6.14 forklares kort nedenfor.

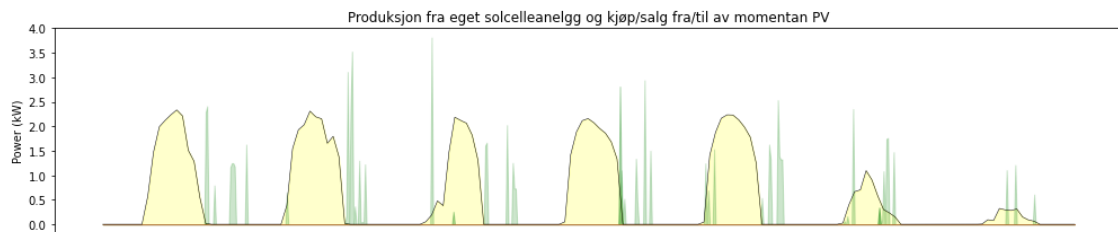
NB! Plottene deler alle samme x-akse, som vist i figur 6.14.

6.6.1 Solproduksjon og handel til inverter

Plottet i figur 6.15 viser til følgende:

- Produksjon fra eget solcelleanlegg (gult)

- Effekt kjøp fra andre PV-anlegg og batteri som går direkte til inverter i egen installasjon (grønt).

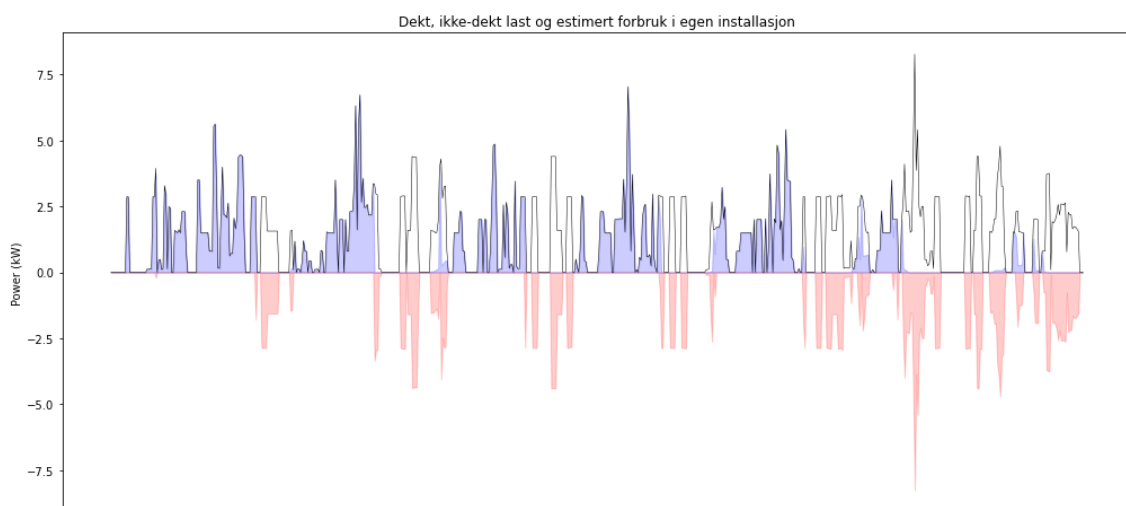


Figur 6.15: Solproduksjon og handel til egen inverter

6.6.2 Forbruksbalanse

Plottet i figur 6.16 viser til følgende:

- Estimert forbruk (svart ytterstrek)
- Dekt forbruk (blått)
- Forbruk som ikke blir dekt (rødt)



Figur 6.16: Forbruk

6.6.3 Handel til eget batteri

Plottet vist i figur 6.17 viser til følgende:

- Kjøpt energi til eget batteri fra andre batteri (grønt)
- Kjøpt energi til eget batteri fra andre PV-anlegg (produksjonsoverskudd) (gult)

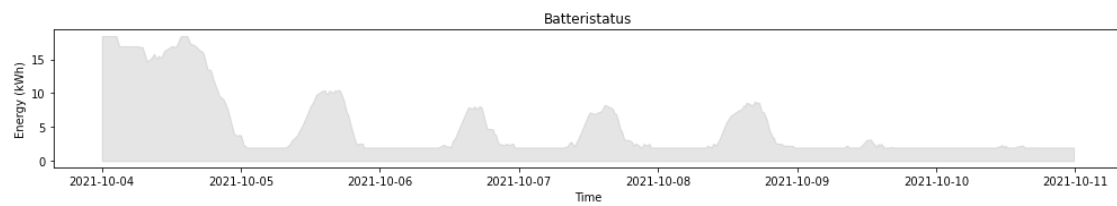
Dette plottet vises kun i de casene der batteri deltar i markedet, flex-case 1 og 2.



Figur 6.17: Handel til eget batteri

6.6.4 Batteristatus

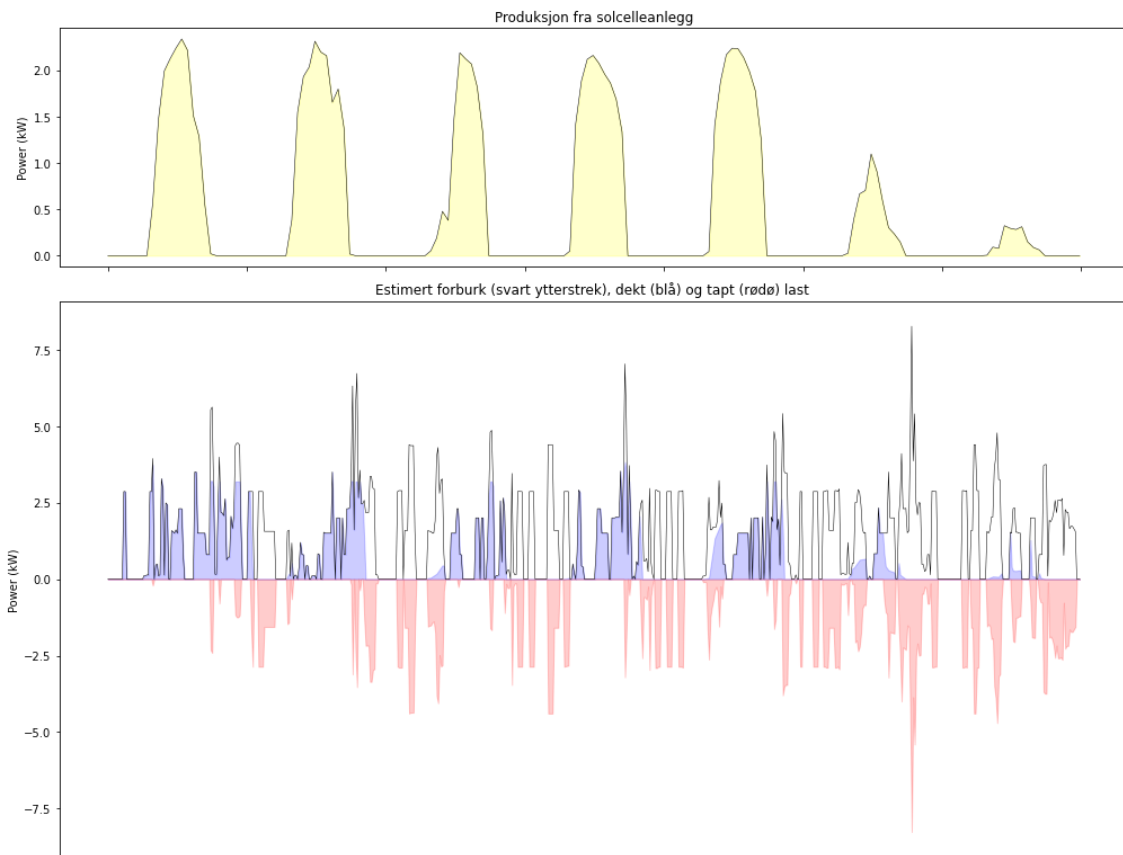
Plottet vist i figur 6.18 viser til batteristatus på eget batteri.



Figur 6.18: Batteristatus

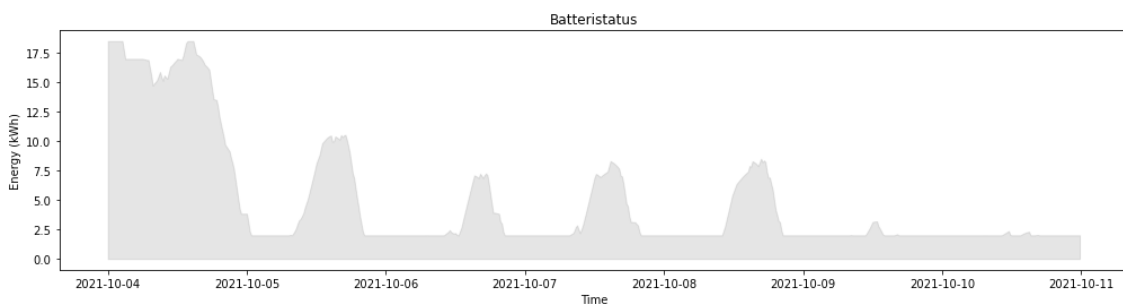
6.6.5 Scenario 1

I dette scenario legges det frem plots fra **høstferien** til en hytte med **kategori 4**. Hytta har bruksmønster “feriebruk“, noe som i praksis betyr at batteriet vil være fullt når de kommer (når det ikke tillates energideling).



Figur 6.19: Høstferie for en hytte med kategori 4, uten energideling.

Figur 6.19 viser til mye “lost_load“. Dette på tross av ganske god produksjon mandag-fredag.



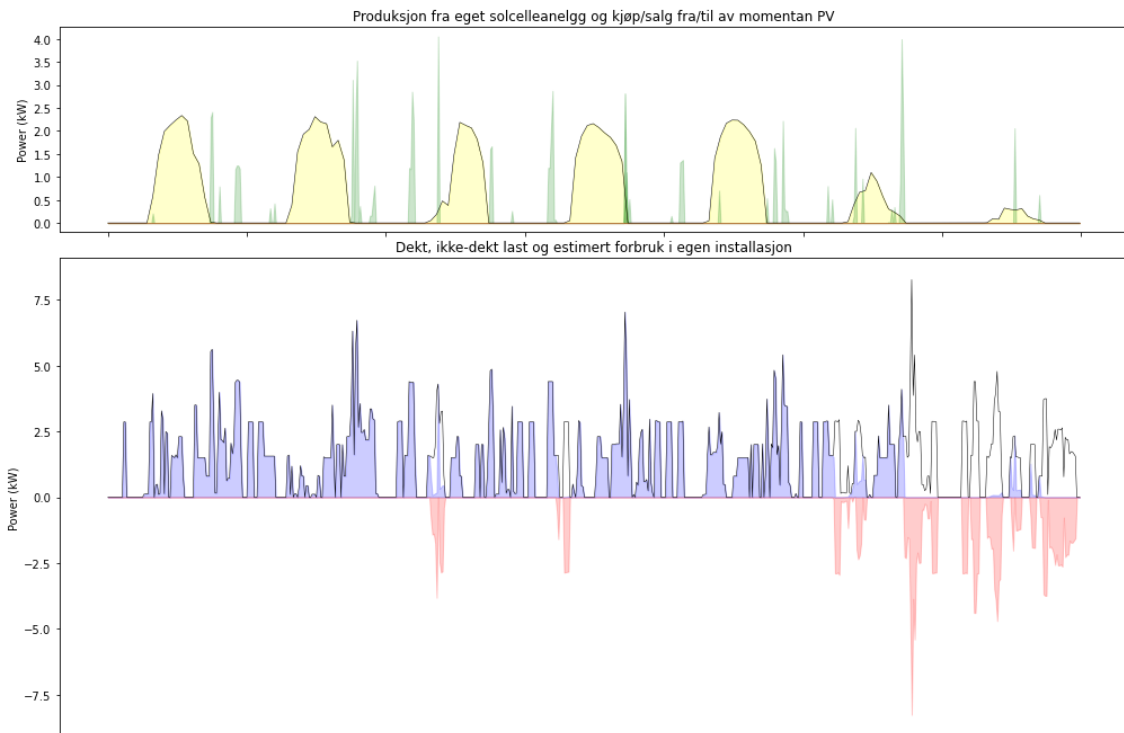
Figur 6.20: Høstferie for en hytte med kategori 4, uten energideling.

Som det kommer frem fra figur 6.20 blir batteriet kjapt ladet ut ved ankomst.

Etter energideling

Figur 6.21 viser til forbruksbalansen, solproduksjon og handel til eget pv-anlegg etter energideling. Som det kommer frem i figuren er det flere ganger i løpet av uken at anlegget kjøper energi som går direkte til å dekke forbruk (grønt i øverste plot).

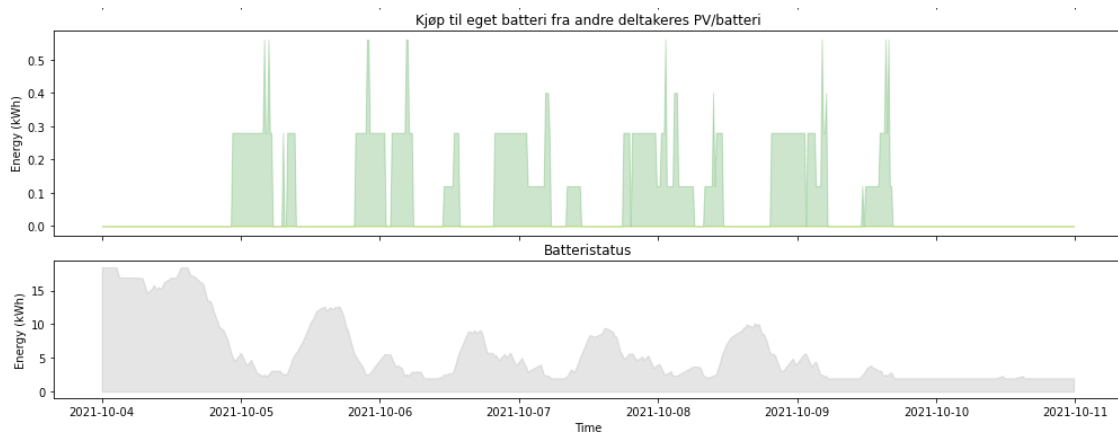
Energiutvekslingen (grønt i øverste plot) som forekommer samtidig som det er solproduksjon kan komme både fra andre pv-anlegg eller andre batteri. De grønne toppene som forekommer “mellom soltoppene” kommer fra andre deltakeres batteri.



Figur 6.21: Høstferie for en hytte med kategori 4, etter energideling

Figur 6.21 viser til en betydelig reduksjon i “lost_load” sammenlignet med situasjonen i figur 6.19, særlig i ukedagene. Årsaken til den lave SF-raten i helgen er hovedsaklig at nedgangen i produksjon lørdag og søndag.

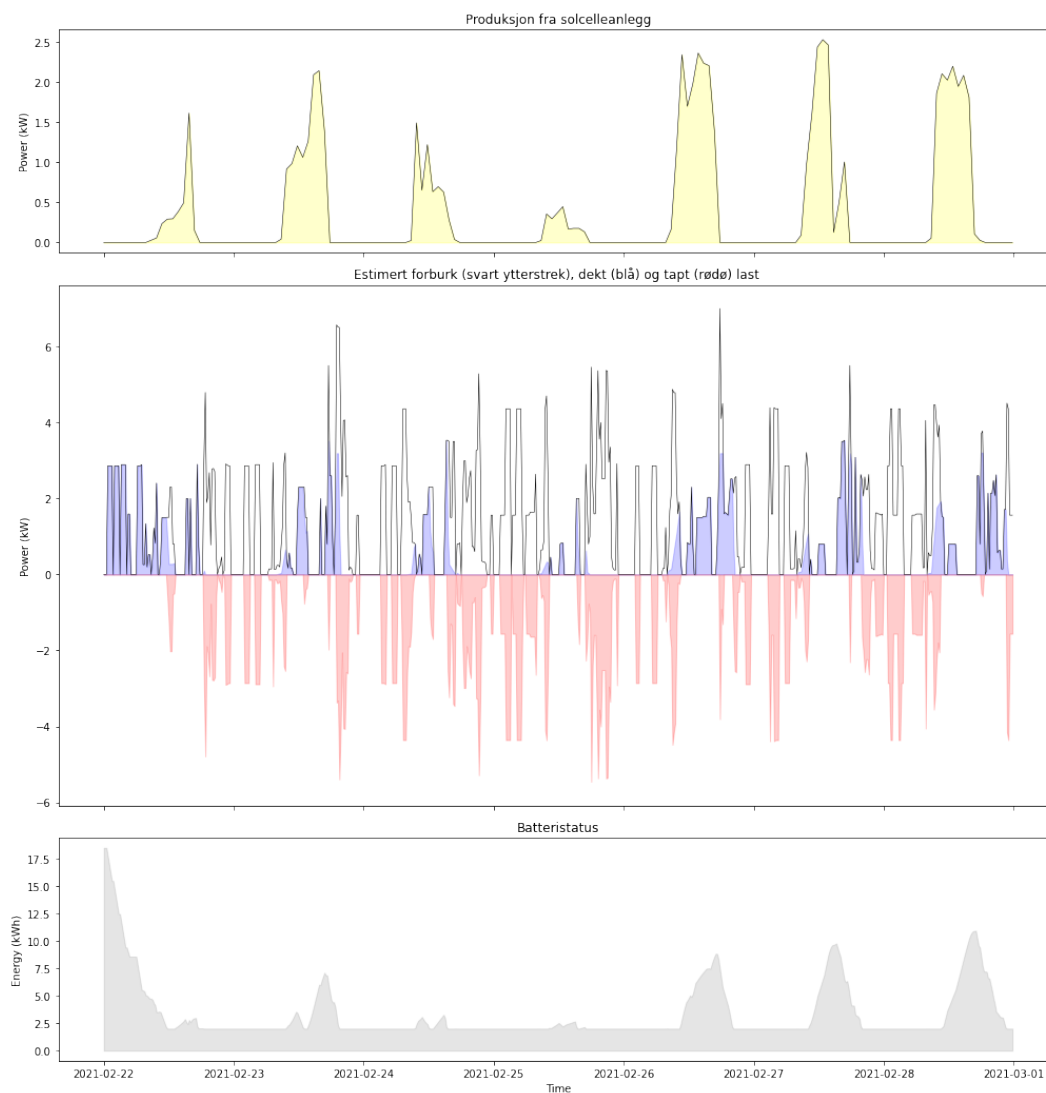
Figur 6.22 viser til batteristatus og den energien batteriet kjøper i løpet av uken. Tidsmessig inntreffer denne energioverføringen “utenfor produksjonstid”.



Figur 6.22: Høstferie for en hytte med kategori 4, etter energideling

6.6.6 Scenario 2

Figur 6.23 viser resultatene fra **vinterferien** for en hytte med **kategori 4** i basecase. Som det kommer frem fra figuren er det mye estimert forbruk som ikke dekkes i dette tilfelle (rødt). Batteristatusen er også på minste grense store deler av uken.



Figur 6.23: Vinterferie for en hytte med kategori 4, uten energideling

Etter energideling

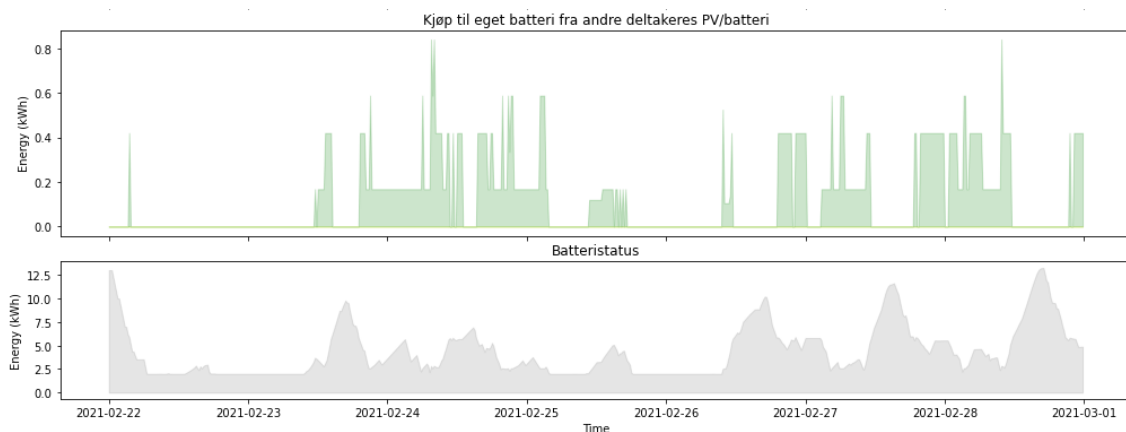
Figur 6.24 viser en betydelig reduksjon i `lost_load` sammenlignet med situasjonen i figur 6.23. Perioden med `lost_load` sammenfaller tidsmessig med når det er lav solproduksjon, mandag og torsdag. Lav produksjon er svært kritisk i et off-grid hyttefelt. Ved lav produksjon trenger som regel alle hyttene som er bebodd energi på likt.

Figuren viser også til at det kjøpes en del energi som forsyner anlegget direkte gjennom inverter (grønt i øverste plot).



Figur 6.24: Vinterferie for en hytte med kategori 4, etter energideling

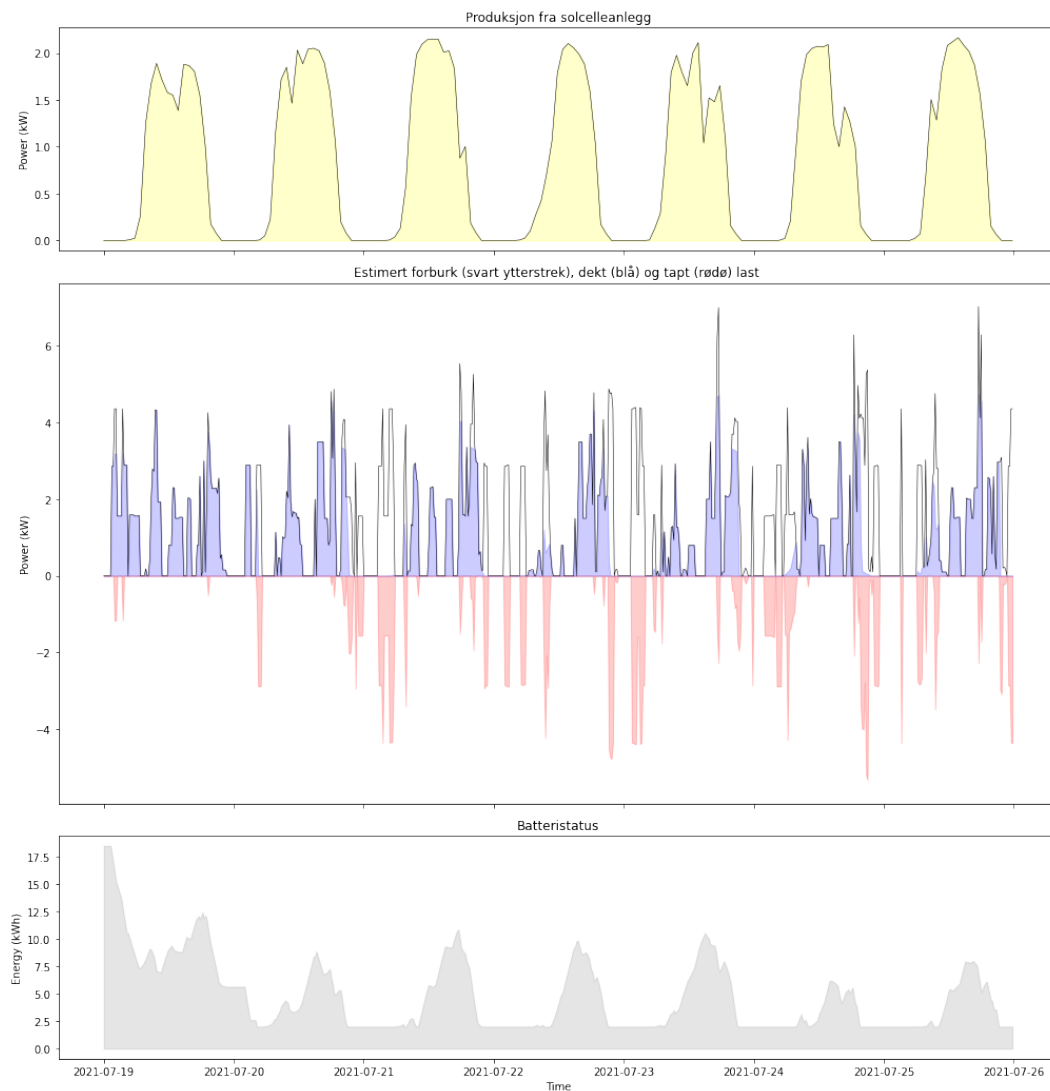
Figur 6.25 viser batteristatus og kjøp til batteriet. Som figuren viser kjøper batteriet mye energi iløpet av uken (grønt).



Figur 6.25: Vinterferie for en hytte med kategori 4, etter energideling

6.6.7 Scenario 3

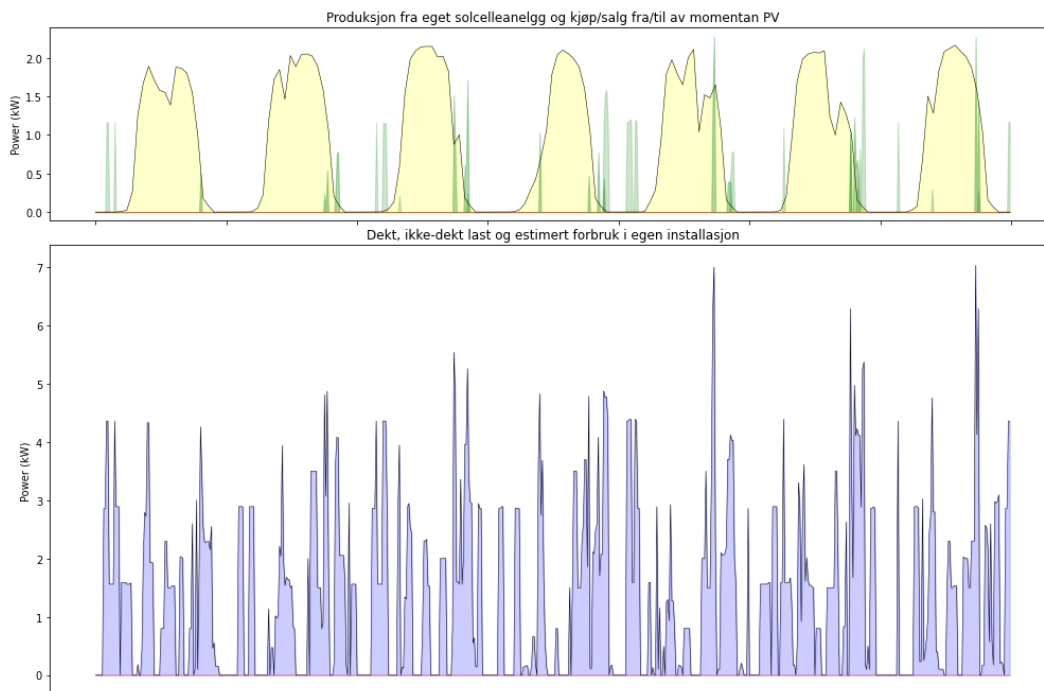
Figur 6.26 viser resultatene fra **uke 29** (antatt ferieuke på sommeren) for en hytte med **kategori 4** i basecase. Som det kommer frem fra figuren er det **lost_load** i periodene “mellom soltoppene“



Figur 6.26: Uke 29 for en hytte med kategori 4, uten energideling

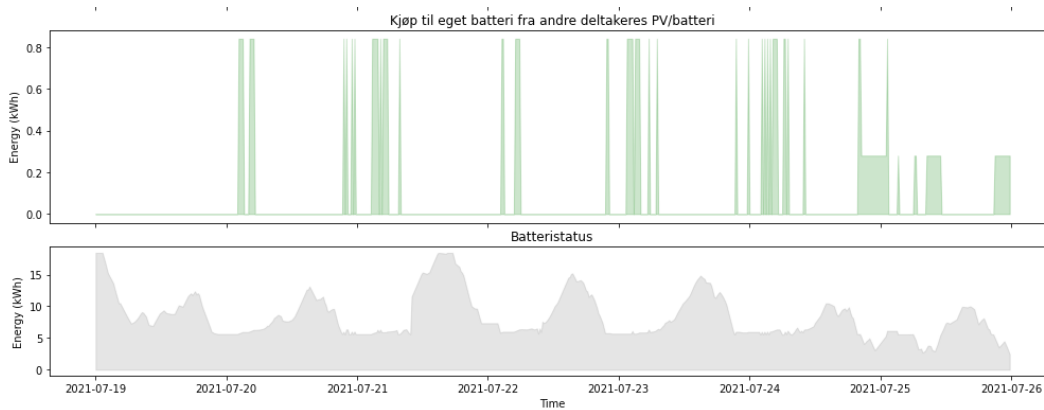
Etter energideling

Figur 6.27 viser til at i dette tilfelle blir all `lost_load` dekket når det inkluderes energideling. I perioden mellom soltoppene kjøper anlegget energi av hyttene som er ubeboedd.



Figur 6.27: Uke 29 for en hytte med kategori 4, etter energideling

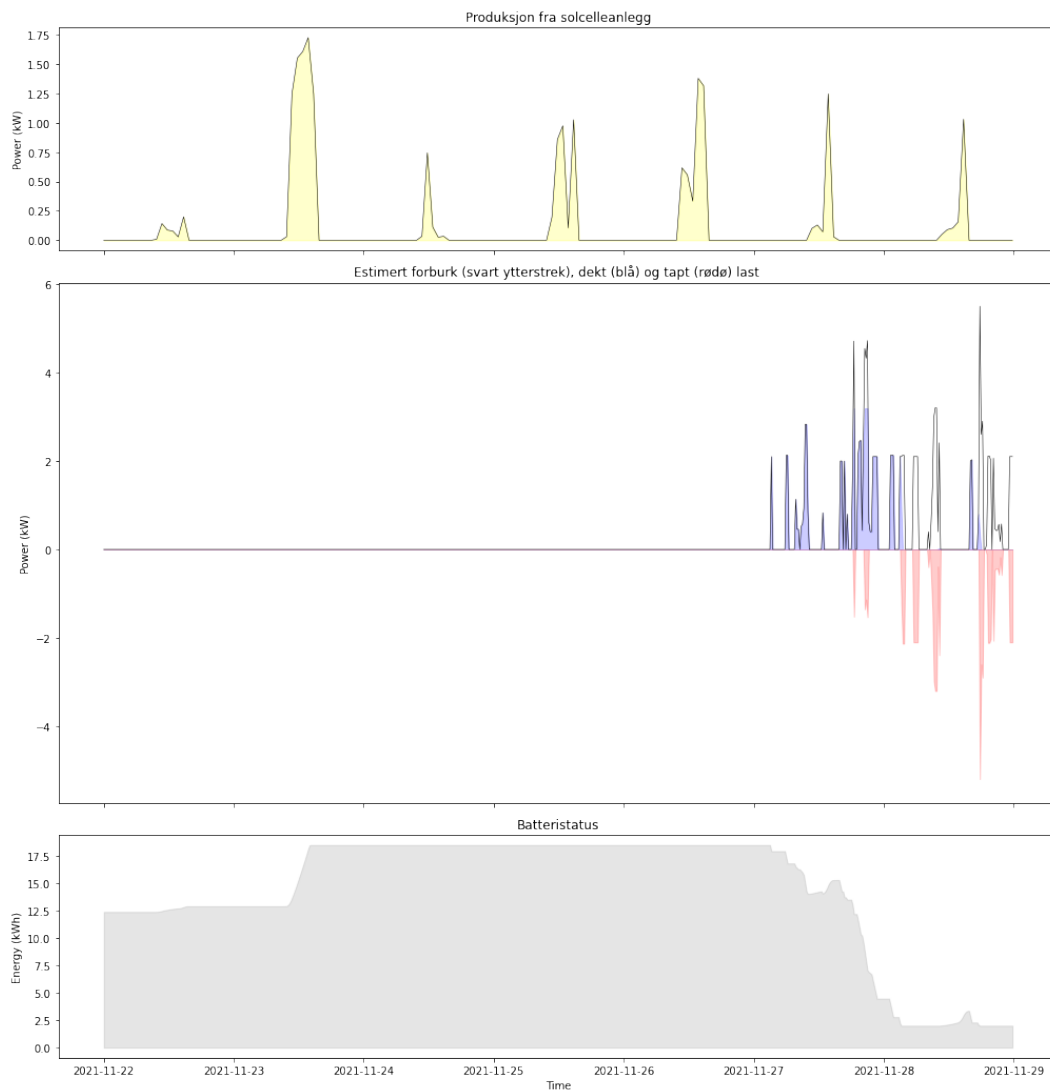
Figur 6.28 viser tydelig at batteriet også i dette tilfelle kjøper energi (grønt) mellom soltoppene.



Figur 6.28: Uke 29 for en hytte med kategori 4, etter energideling

6.7 Simulering på vinterstid

Modellen viser til vanskeligheter med å forsyne estimert forbruk hos kategorihyttene på vinterstid, særlig i juleferien. I dette delkapittelet legges frem noen simuleringresultater som illustrerer dette. Figur 6.29 og figur 6.30 viser til simuleringresultatene for en **kategorihytte 3** i **uke 47** før og etter deling, simulert med bruksmønster-scenario 2 og flex-case 1. Hytta har bruksmønster “annenhver helg“.

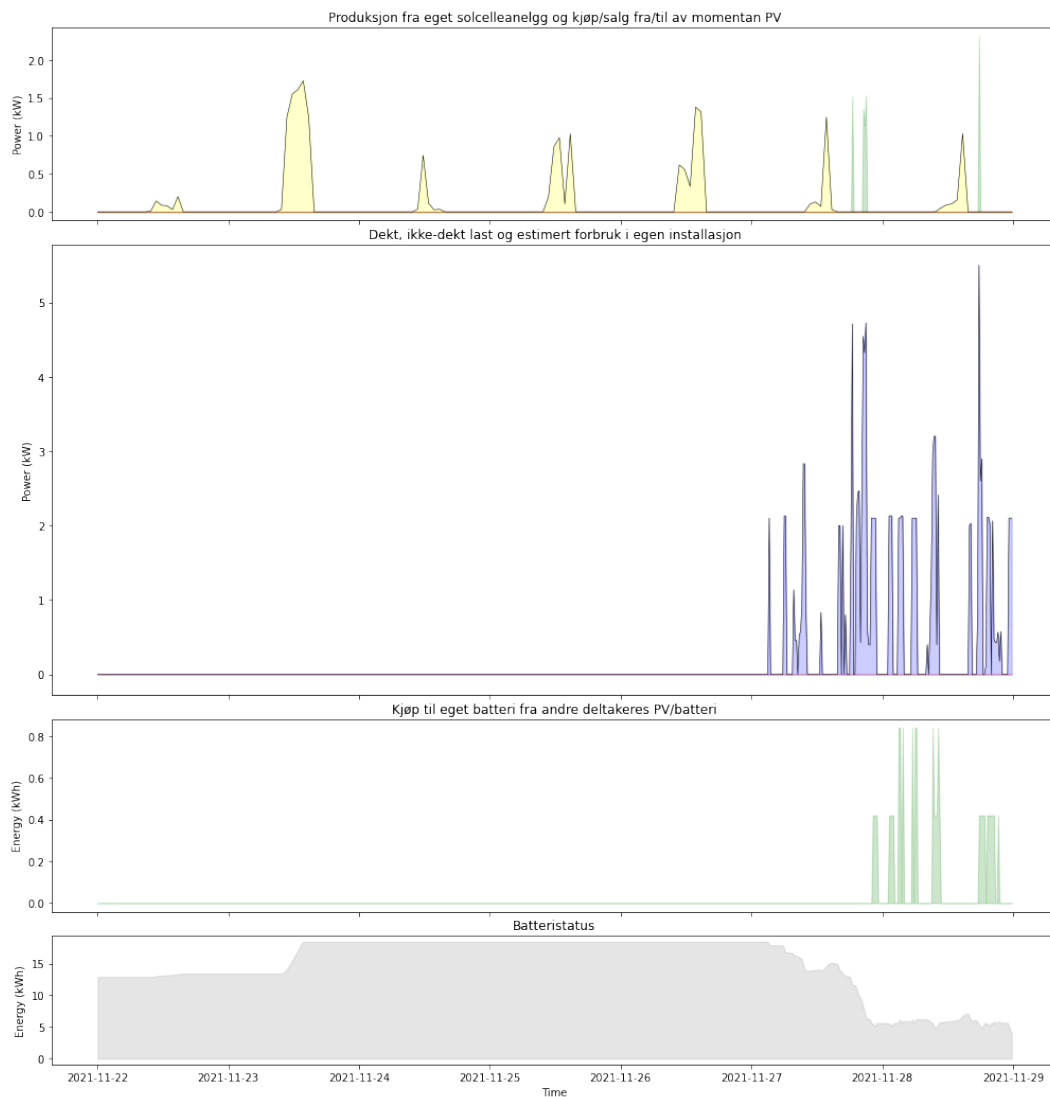


Figur 6.29: Uke 47 for en hytte “AH3“, uten energideling

Som det kommer frem fra figur 6.29 vil ikke hytta (uten energideling) klare å forsyne det estimerte forbruket gjennom helga.

Etter energideling

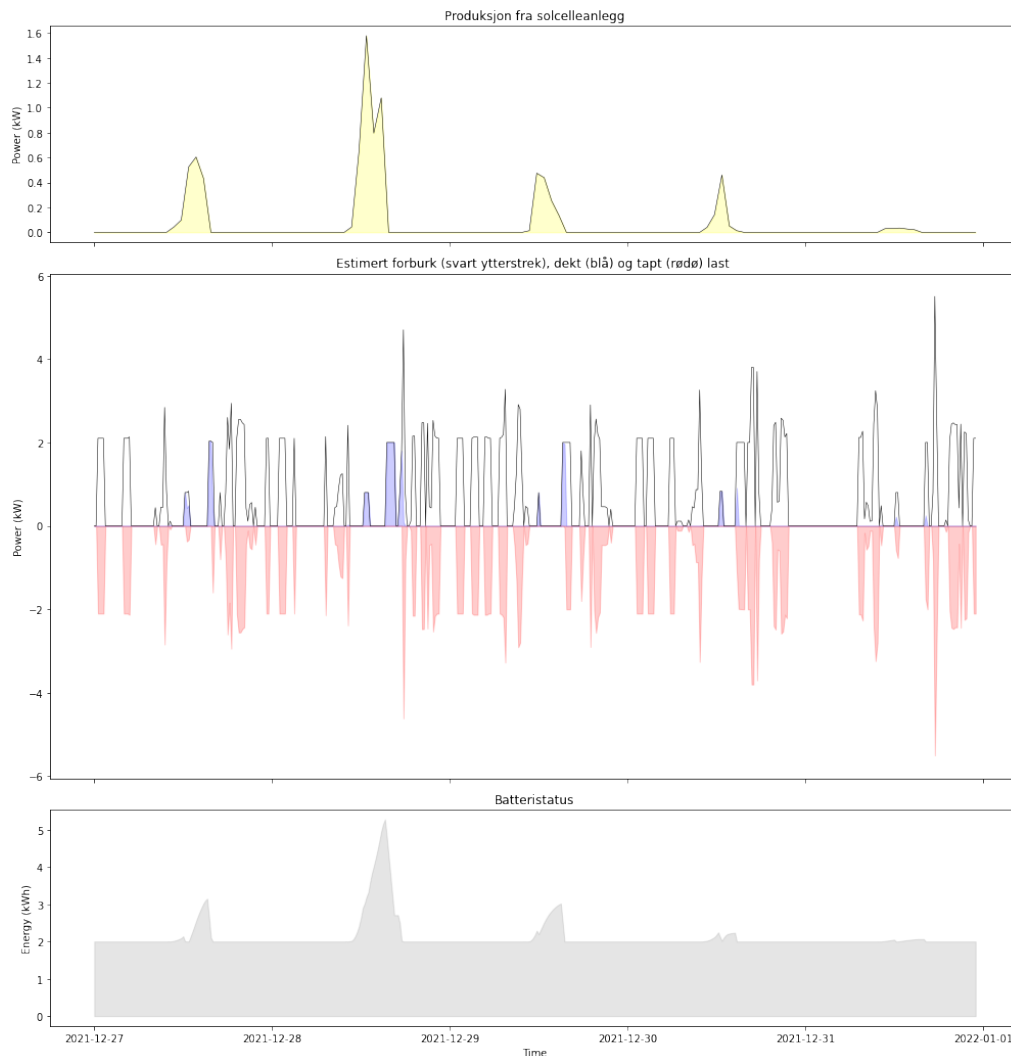
Figur 6.30 viser at hytta etter energideling klarer å få dekt sitt estimerte forbruk gjennom helgen. Dette ved at hytta kjøper energi til batteriet og direkte til inverter som vist i figuren.



Figur 6.30: Uke 47 for en hytte "AH3", etter energideling

Juleferien med energideling

Figur 6.31 legger frem simuleringsresultatene for den samme hytta i juleferien. Simuleringen viser at svært lite last blir dekket. Figuren får også frem at solproduksjonen er lav, noe som henger sammen med at soltiden i desember er kort og innstrålingen lav.



Figur 6.31: Uke 52 for en hytte “AH3“, etter energideling

Simulerings eksempel i appendix (uke 38-47)

I Appendix, A.1-A.20, ligger det vedlagt plott fra 10 påfølgende uker for en **kategorihytte 1** med bruksmønster “**hver helg**“. Simuleringene er gjort for flex case 1 med bruksmønster-scenario 3.

Det anbefales å se på disse figurene i appendix for å få en videre forståelse av hvordan modellen fungerer. I figurene kommer det frem hvordan hytta bidrar til det lokale markedet samtidig som den forsyner seg selv gjennom simuleringperioden. I figurene i appendix er det verdt å merke seg følgende observasjoner:

- Batteriet selger ikke energi før batteristatusen er over “øvre flex-grense“ (12,93 kWh).
- Batteriet kjøper ikke energi før batteristatusen er under “nedre flex-grense“ (5,54 kWh).
- Første prioritet for anlegget er å forsyne seg selv.
- Batteristatusen holder seg innenfor maximum og minimum batterikapasitet.

7 Diskusjon

Siden masteroppgaven har bestått av modellering og simulering, deles diskusjonskapittelt opp i to deler. I første del diskuteres sentrale aspekter rundt energidelingsmodellen. Siste del trekker frem observasjoner i simuleringresultatene.

7.1 Modellering

Viktige punkter som har innvirkning på modelleringsresultatene diskuteres i hvert sitt avsnitt nedenfor.

Hyttenes forbruksprofiler

For å få best mulige forbruksprofiler bør det tas praktiske målinger av alle komponentene i en installasjon og bruke disse, eventuelt bruke faktiske forbruksprofiler fra hytter. For mer nøyaktige forbruks-resultat, kan det for senere arbeid være aktuelt å snevre inn oppgaven til å fokusere på bestemte tidsperioder i stedet for en hel årsprofil, eksempelvis påskeferien. For senere arbeid anbefales det også å styre unna de høyeste effekt-toppene.

Siden forbruksprofilene for en kategorihytte kun består av en “vinterdag“ simulert 365 ganger, fører dette til at det estimerte forbruket er overdimensjonert utenfor vintersesong. Dette fordi oppvarmingslastene, som utgjør størst andel av “vinter-profilen“, ikke vil være i bruk i like stor grad utenfor vintermånedene. Resultatene for “de varme månedene“ (mai-september) vil dermed i praksis være mer positive enn modellen beregner. På tross av dette gir modellen likevel gode svar i dette tidsrommet, hovedsaklig på grunn av god produksjon.

Det finnes mange frostsikre hytter i fjellet, men disse er ofte av den eldre typen. De aller fleste av dagens moderniserte hytter er ikke frostsikre, så for at antagelsen om frostsikkerhet skal holde må byggindustrien være innstilt på å dimensjonere hytter for dette [39]. Dersom det i senere arbeid ikke skal antas at hyttene er frostsikre, må det lages forbruksprofiler også utenfor “brukstid“ (helst måles).

Ved beregning av års-resultatet er det svært viktig å få på plass situasjonen rundt “frostsikring“. Andelen `lost_load` forverres dersom hyttene også stiller krav til energi utenfor bruk.

Anleggenes produksjonsprofiler

Produksjonsprofilene kan også forbedres. Eksempelvis vil ytre faktorer som “snødekte paneler“ og “lokal skyggelegging“ kunne påvirke produksjon i negativ grad, i verste fall fjerne produksjonen helt. I seksjon 3 legges det frem teori rundt “solcellepanelets effekt av skygge“. Her kommer det frem at skyggelegging av kun en celle vil kunne koble ut en hel streng fra solcellekonfigurasjonen.

Kjenner man til nøyaktig posisjon på hvor anlegget skal stå, kan det være lurt å dra ut i felt for å undersøke sol- og snøforholdene på stedet. Eventuelt bruke tidligere produksjonsdata fra et anlegg plassert samme sted eller i nærheten.

Dersom faktiske felt-data benyttes i modellen, er det viktig å holde styr på oppløsningen av disse. I energidelingsmodellen benyttes kvartersverdier. Dersom det ikke benyttes kvartersverdier i senere simuleringer må det gjøres endringer flere steder i koden.

Tapsbetraktninger

I selve energidelingsmodellen er tap neglisjert. Tap er først beregnet basert på energiflytsverdier etter simulering, som forklart i seksjon 5.5. Ved å inkludere tap i energidelingsmodellen vil sannsynligvis energiflyten endre seg noe.

Dersom det hadde blitt inkludert tapsbetraktninger i hvert tidssteg i modellen, ville dette i praksis ført til “høyere“ bud. Dette fordi hver selger i praksis må selge “litt mer“ og hver kjøper må kjøpe “litt mer“, siden noe energi går bort i tap.

Effektbegrensninger

Ved å inkludere effektbegrensning gjennom inverter i energidelingsmodellen, vil verdiene på energiflytsverdiene (hovedsaklig `lost_load` og `LevelOfCharge`) endres noe.

I enkelte av simuleringsplottene som er lagt frem i masteroppgaven kommer det frem at hos de høyest kategoriserte hyttene blir noe effekt over inverterens maksimale grense (4kW) dekket. I praksis vil denne andelen heller lagres på eget eller andre deltakeres batteri, i verste fall "gå til spille".

Allokering av kjøps og salgandeler

I modellen er det slik at de med lavest produksjonsoverskudd/underskudd får dekket sitt salg/kjøp først. De høyeste budene i markedet vil som regel, om ikke det er mer samlet overskudd enn underskudd blant kjøpere og selgere, sitte igjen med en liten andel som ikke blir dekt/solgt. Denne fordelingen av salgsenheter belønner deltakerne som har dimensjonert anlegget sitt nærmest faktiske verdier på estimert forbruk og solproduksjon.

En motivasjon rundt å belønne deltakerne med "best dimensjonert anlegg" er å minske energiflyten mellom hyttene ned til det nødvendige. Som nevnt i seksjon 5.5 er det knyttet en del tap til energideling. Eksempelvis forsvinner det i flex-case 2 (scenario 2) 426,13 kWh kun som følge av ekstra lading av batteri og økt energi gjennom inverter.

Tapsfaktoren som følge av overføring, som ikke er beregnet i masteroppgaven, vil også utgjøre en betydelig mengde dersom energimengden som overføres blir høy. En høy energiflyt mellom deltakerne og gjentatte ladeprosesser på batteri vil også slite på anleggsdeler og forkorte dets levetid.

En alternativ metode for allokering av handels-enheter kan være at hver selger/kjøper selger/kjøper lik prosentandel av hva de tilbyr/etterspør. Dette er en løsning som ville ha ført til at de med størst etterspørsel får dekt en større andel av hva de etterspør enn de gjør ved valgt metode. Prisbetraktninger kan også ligge som grunnlag for allokering, men dette er som nevnt ikke inkludert i modellen.

Vurdering av modellen

En av de positive sidene med energidelingsmodellen er at den er svært fleksibel iform av handel. Den kan både inkludere batteri og PV, samtidig som at batteriets deltakelse kan styres. I modellen er det også et alternativ og ikke inkludere noen anleggsdeler i energimarkedet, slik at modellen i tillegg kan brukes til å simulere uten deling. En annen god side er at modellen er svært generell; den kan håndtere et valgt antall (fungerer fint med 50) hytter og et bredt spekter av input-data. Eneste kriteriet gjeldende input-data er at de trenger kvarters oppløsning (om modellen modifiseres takler den også annen oppløsning).

Videre gir modellen en god pekepinn på hvor mye "estimert forbruk som ikke blir dekt" som er forventet over et ønsket tidsrom. Energistatus på hyttene illustreres på en enkle måte i simuleringsplottene, og plottene er av et slikt format at de er enkle å forstå. Dette kan være en svært praktisk funksjon dersom man vil undersøke status på strøm når man skal på hytta. Resultatene viser også til tapt last gjennom et år. Dette kan blant annet være nyttig informasjon når prosjekt skal vurderes fra et økonomisk perspektiv.

De dårlige sidene med modellen går hovedsaklig på forenklingene som er blitt gjort og kvaliteten på forbruks- og produksjonsdataene som er blitt benyttet. Fraværet av nøyaktige taps- og effektbegrensninger i energihandelen er et svakt punkt (særlig gjeldende overføring mellom hytter). Uten å ha gjort en sammenligning med faktiske forbruks- og produksjonsprofiler er det også vanskelig å vite i hvor stor grad modellen avviker fra faktiske verdier. Denne jobben overlates til videre arbeid. Modellen gjør heller ingen lastflytanalyse eller optimalisering, noe som ofte er ønskelig.

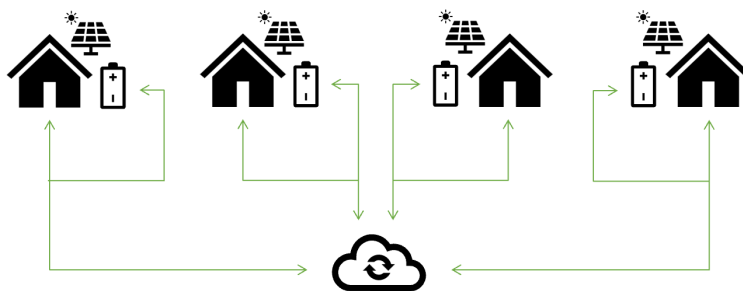
Samle sett fungerer modellen bra til å gjøre grove estimater. Den er også et svært godt utgangspunkt til videre utvikling av tyngre optimaliserings-, pris- og lastflyt-modeller.

7.1.1 Ideer rundt energideling og bruk av modellen i praksis

Underveis i arbeidet med masteroppgaven dukket det opp en ide på hvordan et energidelings-scenario kan løses og styres i praksis:

Smartstyring gjennom applikasjon

I figur 7.1 illustrerer skyen styringsenheten til hyttfeltet. En løsning kunne vært at denne enheten knyttes opp mot en app som smart-styrer energibalansen i hyttfeltet. Via denne applikasjonen kan deltakerene “booket” seg ferie. Ved booking påser styringsenheten at batteriet til deltakeren lades opp ett par dager i forkant av ankomst og at hyttfeltets bruksmønster-scenario ikke er for “stramt”. “Stramt” i den forstand at energibalansen mellom deltakerene takler at hytten som ønsker å “booke” blir bebodd uten at dette fører til kritiske økninger i lost_load blant de andre deltakerne.



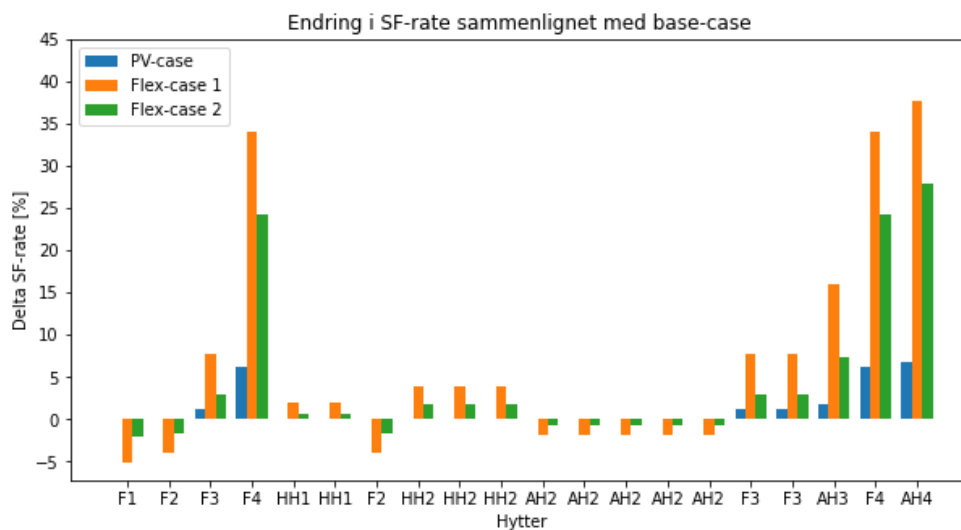
Figur 7.1: Flex-case

En utfordring rundt et slikt energidelings-scenario er “urettferdighet”, der noen hytter kan dra mer nytte av delingen enn andre. Eksempelvis som vist i resultatene, der hyttene med høyt forbruk var de som dro mest nytte av energidelingen. En potensiell løsning på dette kan være at de som drar mest nytte av deling må investere i kraftigere solcelleanlegg. Eksempelvis kan det stilles krav til investeringer på anlegg som knyttes opp mot bruksmønster og hyttekategori.

En annen løsning på “urettferdighets-problemet” kan være å se for seg at Ola Nordmann ikke er eieren av hytta, men at hyttene (med tilhørende mikronett) leies ut og eies av et firma.

7.2 Simulering

Den kanskje viktigste observasjonen fra resultatene i seksjon 6 er hvordan endringen til SF-ratene oppfører seg i flex-case 1 og 2. Figur 7.2 illustrerer oppsummerings-resultatene som ble lagt frem for scenario 2, som var det bruksmønster-scenario som slo best ut.



Figur 7.2: SF-rate, oversikt

Nedgang i SF-rate

Som figuren viser opplever hyttene med lavest kategori en nedgang i SF-rate etter energideling, derav hyttene med benevnelse “F1“, “F2“ og “AH2“. Årsaken til dette er at batteriet på hyttene deres nødvendigvis ikke er fullt når de ankommer hytta. I scenario uten energideling har hyttene med “feriebruk“ og “annenhver helg“ (og til dels “hver helg“) nesten garantert fullt batteri i det de ankommer hytta. I casene der batteriet inkluderes i handelen kan brukere risikere å komme opp på hytta til et batteri som nødvendigvis ikke er fulladet, men i verste tilfelle har en batteristatus på “øvre flex-grense“. Som nevnt i avsnittet (4.2.1) om flex-batterier vil batteriene i flex-modus kun selge energien sin når batteristatusen er over en viss grense.

I tidligere simuleringer (som ikke legges frem i masteroppgaven) der batteriene ble satt til å ha full “fleksibilitet“, ingen grenser på batteristatus for når batteriet selger og kjøper energi, viste resultatene til en nedgang på opp mot 30% i SF-rate hos enkelte hytter (de med lavest årsforbruk). Dette fordi hyttebrukerne i disse tilfelle kunne risikere å komme opp på hytta til tomt batteri.

Oppgang i SF-rate

Som det også kommer fram i figur 7.2 er det hyttene med størst forbruk som har den største oppgangen i SF-rate, derav hyttene med benevnelse “F4“, “AH3“ og “AH4“. Dette kommer hovedsaklig av at disse hyttene legger ut mange pv-bud (etterspørsel etter momentan energi). Hyttene som legger ut disse budene har størst sannsynlighet for å få møtt sitt behov, siden pv-bud har høyeste prioritet.

Reduksjon i lost_load

Som det særlig kom frem fra simulering av scenario 3, viste resultatene til store reduksjoner i lost_load i flex.case 1 og 2. Dette henger sammen med at hyttene med “permanent bruk“ har et høyt årlig energiforbruk og drar særlig godt nytte av energidelingen. Når batteriene inkluderes i det lokale markedet, tillater dette hyttene med “permanent bruk“ å kjøpe energi fra naboene også utenfor tiden på døgnet det er produksjon.

Å sammenligne reduksjon i lost_load mellom casene er en god indikator på i hvor mye større grad hyttefeltet klarer å dra nytte av tilgjengelig solenergi. I praksis er reduksjonen i lost_load (+tap) et

tall på hvor mange flere kWh hyttfeltet klarer å produsere av energi sammenlignet med basecase. Denne størrelsen kunne også ha vært en “resultat-indikator”, men den har blitt ekskludert for å begrense omfanget.

Kategorihyttenes innvirkning på resultatet

I simuleringene er det som nevnt brukt faste kategorihytter, derav tre hytter med kategori en, ti med kategori to, fire med kategori tre og tre med kategori fire. Disse hyttene ble valgt fordi de samlet ble ansett som den mest realistiske fordelingen av hytter. I valget ble det unngått og kun velge en type kategorihytte, dette fordi det både er urealistisk og ville gitt lite grunnlag for energideling (grunnet like forbruksprofiler).

Som nevnt i “forenklinger og antagelser” er en viktig påpekning angående hyttene at hver hytte i en kategori har identiske forbruksprofiler. Det er også slik at alle hyttene uansett kategori har like produksjonsprofiler (like anlegg). Sett fra energidelingens ståsted er dette egentlig svært lite lønnsomt. I praksis betyr dette at alle hyttene med samme kategori vil “følge” hverandre gjennom hele simuleringen; i den forstand at de til enhver tid utgir like bud og har lik batteristatus. På bakgrunn av dette er det grunn til å tro et realistisk scenario, der ingen hytter har helt identiske forbruks og produksjonsprofiler, vil gi bedre resultat.

Det er en forenkling gjort i oppgaven som er årsaken til at alle kategorihyttene har identiske forbruks- og produksjonsprofiler. Det er viktig å påpeke at dette ikke er gjort på grunn av begrensninger i modellen. I modellen er det fullt mulig å tildele hver hytte en skreddersydd forbruks- og produksjonsprofil. Det eneste modellen forholder seg til angående disse profilene er at oppløsningen på verdiene stemmer overens med oppløsningen som ligger inne i koden (kvartersverdier).

Oppsummering og sammenligning av de ulike casene

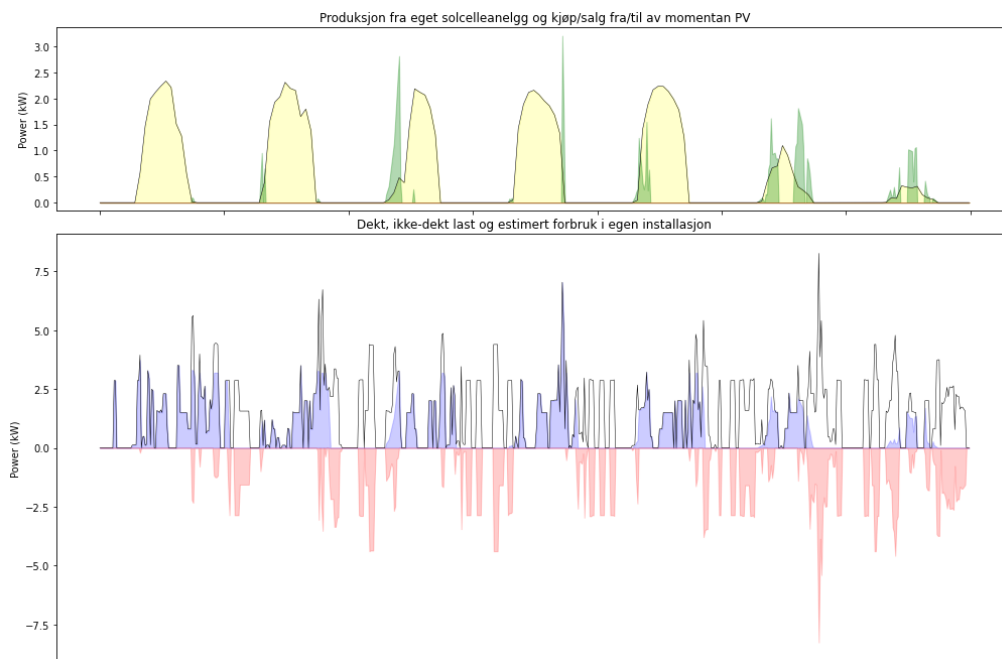
Tabell 7.1 viser til oppsummeringen som ble lagt frem i seksjon 6 av de årlige resultatene. Tabellen viser til at det oppnås størst økningen i SF-rate, sammenlignet med basecase, i scenario to (flex case 1), 14,5 %. I resultat-kapittelet kommer det frem at det er scenario tre som resulterte i den høyeste reduksjonen i lost.load, men siden dette tallet gir lite informasjon om andre faktorer (som faktisk faktisk forbruk) er det valgt å sette hovedfokus på sf-rate.

Tabell 7.1: SF-rate, oppsummering

Scenario	Case	SF-rate (basecase) [%]	Endring i SF-rate [%]
1	Pv	70,5	+ 2,86
2	Pv	72,9	+ 4,1
3	Pv	70,2	+ 3,1
1	Flex 1	70,5	+ 11
2	Flex 1	72,9	+ 14,5
3	Flex 1	70,2	+ 13,4
1	Flex 2	70,5	+ 6,2
2	Flex 2	72,9	+ 10,4
3	Flex 2	70,2	+10,5

Ved å sammenligne flex-casene med PV-casene i tabell 7.1 kommer det frem at det er en tydelig forbedring av å inkludere utveksling av energi lagret på batteri i energidelingen. En av hovedgrunnene til dette anses å være fordelene ved å kunne utveksle energi også mellom “soltiden”, den tiden det er produksjon fra solcelleanlegget.

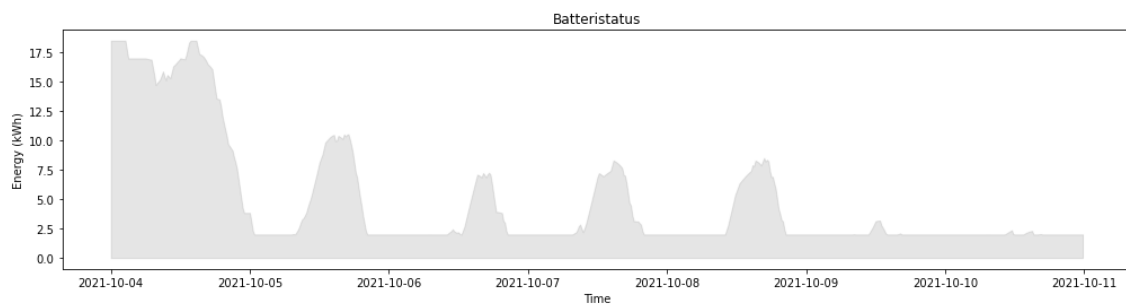
Ved å kun inkludere PV-overføring vil det bare være mulig for selger/kjøper å selge/kjøpe sin energi i det den produseres, noe som begrenser SF-raten betraktelig. Dette kommer frem ved å sammenligne resultatene i figur 7.3 og 7.5.



Figur 7.3: Høstferie for en hytte med kategori 4, PV-case.

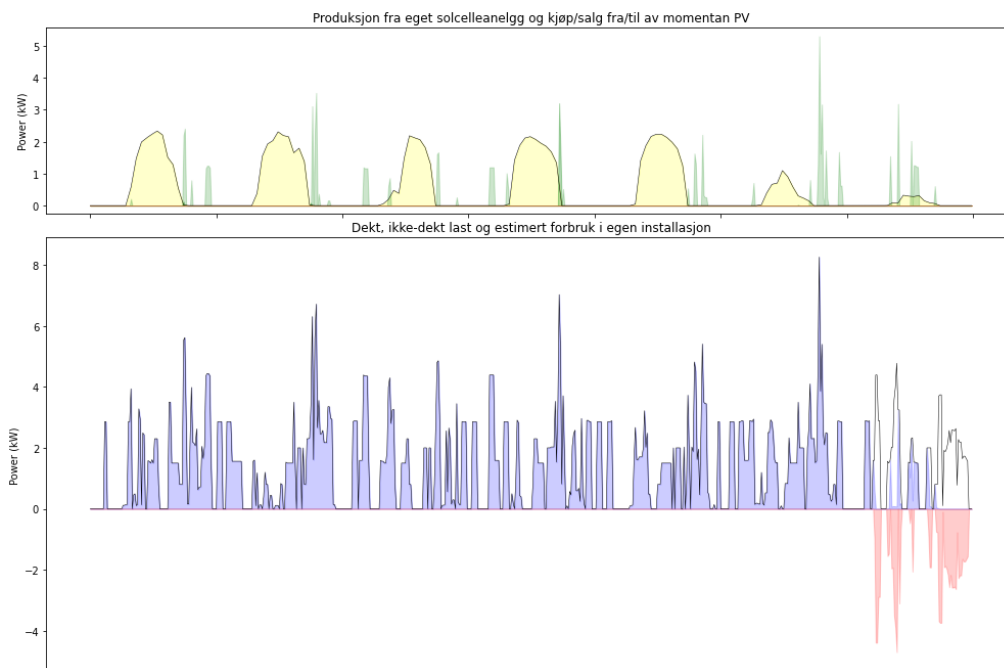
Som figur 7.3 viser er “dekt forbruk“ (blått) veldig sammenfallende med produksjonen fra solcelleanlegget. Energien hytten kjøper er kun produksjonsoverskudd hos andre hytter, og dermed skjer disse overføringene kun når det er sol (det som er grønt øverste plot). Problemstillingen rundt pv-casen er derfor tydelig at mulighetene til få dekt sin etterspørsel utenfor “soltiden“ er svært begrenset.

Figur 7.4 viser batteristatus for hytta gjennom uken. Som figuren viser klarer hytta seg ganske bra på mandag, men så fort første tidsperiode “mellom soltoppene“ oppstår lades batteriet kjøpt ut.

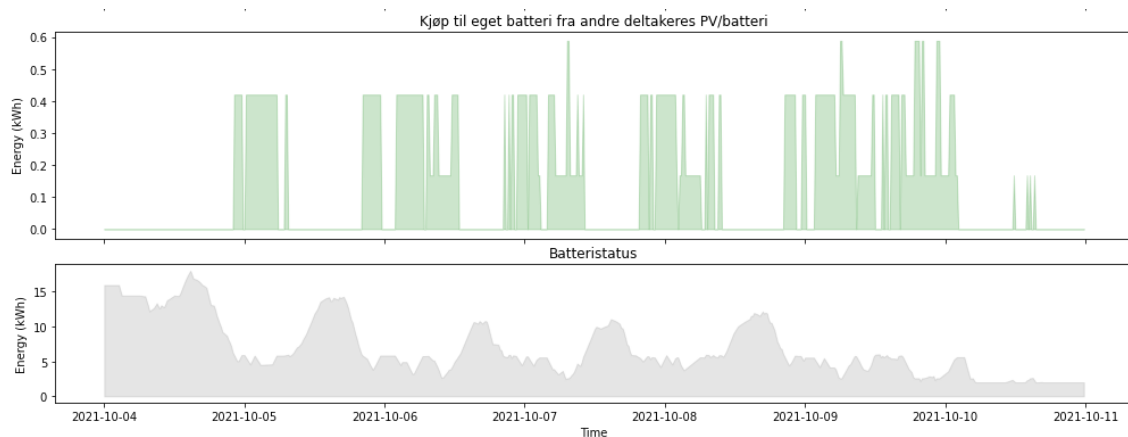


Figur 7.4: Høstferie for en hytte med kategori 4, PV-case.

I figur 7.5 og 7.6 vises simuleringresultatene fra høstferien for samme hytte, men denne gangen simulert med flex-case 1. Som det kommer frem i figuren er det i dette scenario mye mindre `lost_load` (rødt), og alle ukedagene blir dekt. Mye av årsaken til at helgen ikke dekkes ligger rundt den begrensede solproduksjonen lørdag og søndag.



Figur 7.5: Høstferie for en hytte med kategori 4, etter energideling



Figur 7.6: Høstferie for en hytte med kategori 4, etter energideling

Som nevnt illustrerer de grønne toppene i det øverste plottet energi som handles direkte til inverter fra andre pv-anlegg/batteri. Som vist i figuren inntreffer disse toppene nå også utenfor "soltiden". I det tredje plottet i figur 6.21 illustreres den energien batteriet kjøper. Denne energien går til å forsyne installasjonen i neste tidssteg. Som det kommer frem inntreffer også disse utvekslingene utenfor soltiden.

8 Konklusjon

Hovedoppgaven i tilknytning masteroppgaven var å lage en energidelingsmodell som skulle klare følgende:

Energidelingsmodellen skal kunne lage et hyttefelt som inneholder ulike hytter basert på elektrisk forbruk, disse skal også tildeles solcelleanlegg. Videre skal det simuleres og sammenlignes energidelings-scenario der ulike bruksmønstre tildeles.

Modellen har videre blitt brukt som et verktøy for å besvare følgende spørsmål:

Hvordan designe et hyttefelt for at det skal kunne dra mest nytte av energideling?

Scenario 2, som viste seg å gi best resultat, er det scenario som inneholder størst forskjeller i bruksmønstre blant hyttene, uten å inkludere “bomønstre“. Som vist i tabell 8.1 består dette scenario av tre kategori 1 hytter, ti kategori 2 hytter, fire kategori 3 hytter og tre kategori 4 hytter. Tilhørende bruksmønstre til hyttene vises i kolonne “Scenario 2“.

Tabell 8.1: Scenario 2

Hyttkategori	Antall	Scenario 2
1	3	1xF, 2xHH
2	10	2xF, 3xHH, 5xAH
3	4	3xF, 1xAH
4	3	2xF, 1xAH

Scenario 1 og 3 var bruksmønstre-scenario som også resulterte i gode resultater, med en samlet økning i SF-rate på henholdsvis 11 og 13,4%. For mange hyttefelt er også scenario 1 et svært realistisk bruksmønstre-scenario. Dette scenario inkluderte en stor overvekt av “feriebruk“, der 16 av 20 hytter ble satt med dette bruksmønstret.

Den casen som viste seg å gi de mest gunstige resultatene var Flex-case 1. Flex-case 1 er den casen som ser på energideling av produksjon og energi lagret på batteri, med “flex-limit“ satt til 0.2. Dette satte grensene til batteriet (18,45kWh) for kjøp og salg til 5,54 kWh og 12,93 kWh (ref. seksjon 4.2.1).

For scenario 2 resulterte flex case 1 i en samlet økning i SF-rate for hyttefeltet på 14,5% og en samlet reduksjon i “lost_load“ på 1786,5 kWh. Som nevnt i diskusjonskapittelet ble de lavest dimensjonerte hyttene sin SF-rate påvirket i negativ retning i denne simuleringen, ifra -1 til -5%. De hyttene som trakk mest fordel av energidelingen var de med høyest forbruk. Disse hyttene opplevde en oppgang i sf-rate på 35 til 40%.

Generelt sett gir modellen gode resultater i de “varme månedene“, april-september. Simuleringene som gjøres på vinterstid viser til utfordringer. Simuleringene som ble gjort for hytte “AH3“ en helg i uke 47 viste at den akkurat klarer å dekke sin last for denne perioden (med energideling). Simuleringsresultatene for den samme hytta i juleferien viste at svært lite last ble dekket i denne perioden. Modellen viser dermed at det er nødvendig med alternativ kraft i de mørkeste måneden for at estimert forbruk skal forsynes.

Energidelingsmodellen som er blitt bygget opp i Python oppfyller nesten alle krav angitt i innledningen. Fra punktene som ble nevnt er det kun gjort to forenklinger, disse på punktene som angår “effektbegrensninger i energidelingsmodellen“ og “tapsbetraktninger i energidelingsmodellen“. Utover dette står modellen til hovedmålene som ble nevnt; Få på plass case-simuleringene og få energiflyten til å stemme overens med produksjonsoverskudd og underskudd hos deltakerne. I tillegg til dette gir modellen også konkrete resultater og informative plots.

9 Videre arbeid

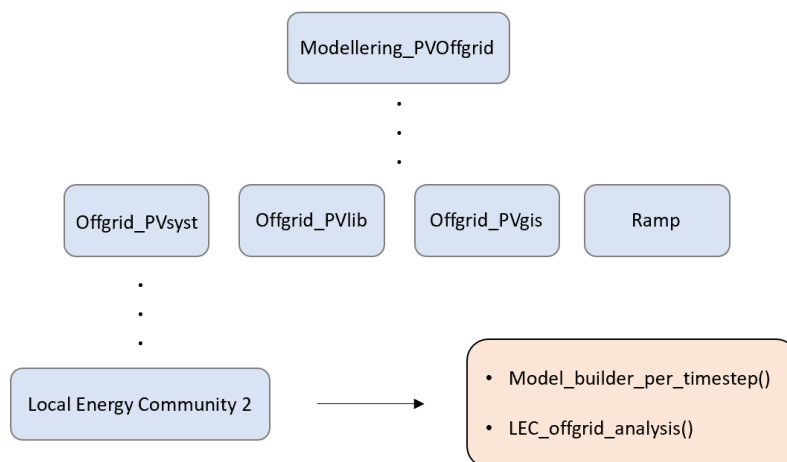
I det videre arbeidet bør det rettes større fokus på innhenting av forbruksdata, samt gjøre utbedringer i modellen knyttet til forenklingene og antagelsene som ble lagt frem i seksjon 5.1. Et hovedfokus bør være å inkludere effektbegrensninger og tapsbetraktninger direkte inn i modellen. Det bør også gjøres en beregning (eventuelt lastflytanalyse) der det beregnes hvor mye det er å forvente i overføringstap mellom hyttene. Simuleringsresultatene bør også valideres opp mot faktisk produksjon og forbruksscenario.

I stedet for å gjøre simuleringer for et helt år, kan det være nyttig i senere arbeid å snevre seg inn på å undersøke beste tidsperioder, eksempelvis påskeferien (som det ikke er modellert for i masteroppgaven).

I senere arbeid kan det også tenkes at energidelingsmodellen kan brukes for hyttefelt tilkoblet svakt nett. I modellen trengs det kun små modifikasjoner for at den også skal kunne brukes i sammenheng med nett-tilkoblede hyttefelt. Tilgang til nettet forenkler mange aspekter i arbeidet. Når nettet er tilkoblet vil blant annet all “lost_load“ kunne hentes herfra, og hver deltaker vil også kunne selge sin energi ut på nettet uten at det oppstår urettferdighet og skjeve fordelinger innad i det lokale energi-samfunnet.

Videre bør det også gjøres en prisbetraktnings-analyse der det studeres kostnader og lønnsomhet rundt å bygge å drifte et slikt off-grid hyttefelt. Dette er en pris som bør veies opp mot “vanlig pris ved hyttebygging“, verdien av å bygge offgrid og miljømessige besparelser for å innhente realismen i prosjektet.

Som nevnt tidligere i oppgaven, ligger energidelingsmodellen åpen på github for videre arbeid [40]. For å orientere seg frem til filene som tilhører energidelingsmodellen i github, illustrerer figur 9.1 mappestrukturen som leder frem til de to viktigste funksjonene; “model_builder_per_timestep“ og “LEC_offgrid_analysis“. Førstnevnte funksjon modellerer energiflytsverdier og energihandel, og sistnevnte kjører simuleringen,



Figur 9.1: Mappestruktur i koden

Mappene “Offgrid_PVlib“, “Offgrid_PVgis og “Ramp“ inneholder filene som bearbeider input dataene.

Bibliography

- [1] Global Solar Atlas 2.0. *Solenergipotensiale*. URL: <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/world> (sjekket 26.01.2023).
- [2] Zaitsev - Rehbindler - Heimdahl - Abbas. *Solkraft i Norge – Fremtidige muligheter for verdiskaping*. URL: https://media.wwf.no/assets/attachments/solkraft_i_norge___fremtidige_muligheter_for_verdiskaping1.pdf (sjekket 20.05.2023).
- [3] Bhatia og Angelou. *Multi-Tier Framework for Measuring Access to Electricity*. URL: <https://mtfenergyaccess.esmap.org/methodology/electricity> (sjekket 18.01.2023).
- [4] Kari Thorset Lervik og Anja Waitz. *Techno-Economic Analysis of Rural Microgrid at Eco Moyo Education Centre in Kenya*. URL: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/3024775> (sjekket 20.05.2023).
- [5] Sunwind AS. *Solcelleregulator*. URL: <https://www.sunwind.no/alle-produkter/energi/solcelleregulator> (sjekket 01.12.2022).
- [6] Sunwind AS. *Solcelleregulator*. URL: <https://sunwind.no/alle-produkter/energi/victron-vekselretter-lader> (sjekket 04.12.2022).
- [7] Bad.no. *Nexans milimat*. URL: <https://bad.no/products/nexans-millimat100-varmekabelmatte> (sjekket 20.05.2023).
- [8] European Commission. *PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM*. URL: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/ (sjekket 26.04.2023).
- [9] Lennart Deike. *Connecting Prosumer Households in a Local Energy Community for Improved Energy Balancing - An Agent-Based Simulation Model*. URL: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/3030247> (sjekket 27.03.2023).
- [10] A. P. Dobos. *PVWatts Version 5 Manual*. URL: <https://www.osti.gov/biblio/1158421> (sjekket 18.05.2023).
- [11] Julie Gørbitz. *Bærekraftig lokal energiforsyning til et nytt hyttekonsept*. URL: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/3024775> (sjekket 20.05.2023).
- [12] Hassan Gholami og Harald N. Røstvik. *Solenergi i et nøtteskall*. URL: <https://www.tu.no/artikler/solenergi-i-norge-i-et-notteskall/512114> (sjekket 23.03.2023).
- [13] Joakim Hirsch. *Choice of Liquid Electrolytes In Anode Free Lithium Metal Batteries and its Impact on Lithium Morphology*. URL: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/3002456/no.ntnu%3ainspera%3a106166281%3a49965622.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (sjekket 18.01.2023).
- [14] Hyttetorget. *Solcelle kraftpakke 230V Victron 4kW PowerWall 18,4kWt*. URL: <https://www.hyttetorget.no/4kw-victron-powerwall-18-4kv?parent=11406> (sjekket 20.05.2023).
- [15] IRENA. *Renewable Mini-grids, innovation landscape brief*. URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Sep/IRENA_Renewable_mini-grids.2019.pdf?la=en&hash=CFE9676B470A96F7A974CB619889F5810A06043E (sjekket 27.04.2023).
- [16] Quolini og Kavvadias. *prosumpy - Energy prosumer analysis toolkit for python*. URL: <https://github.com/energy-modelling-toolkit/prosumpy> (sjekket 25.03.2023).
- [17] Berg - Rana - Degef -, L'oschenbrand. *Modelling and Simulation Approaches for Local Energy Community Integrated Distribution Networks*. URL: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/3047432> (sjekket 11.02.2023).
- [18] Quoilin og Colombo Lombardi Balderrama. *Generating high-resolution multi-energy load profiles for remote areas with an open-source stochastic model*. URL: <https://tinyurl.com/yyc2my> (sjekket 18.01.2023).
- [19] Quolini og Colombo Lombardi Balderrama. *Generating high-resolution multi-energy load profiles for remote areas with an open-source stochastic model*. URL: https://www.researchgate.net/publication/332549647_Generating_high-resolution_multi-energy_load_profiles_for_remote_areas_with_an_open-source_stochastic_model (sjekket 24.03.2023).
- [20] 2009 Mark Fedkin. *Cellekonfigurasjoner*. URL: <https://www.e-education.psu.edu/eme812/node/595> (sjekket 26.01.2023).

- [21] Hamid MN. *Solcelleregulator*. URL: <https://www.otovo.no/blog/solcellepanel-solceller/vekselretter-slik-fungerer-det/> (sjekket 04.12.2022).
- [22] Nasjonalparken Næringshage. *Grønn hyttelab 2021 del 1*. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=Gi7MHaF5Npwfeature=youtu.be> (sjekket 20.05.2023).
- [23] Nasjonalparken Næringshage. *Grønn hyttelab 2022*. URL: <https://youtu.be/N4L01U%20LeLY> (sjekket 20.05.2023).
- [24] Ida Fuchs - Anja Myhre Waitz - Kari Thorset Lervik - Steve Völler - Ole-Morten Midtgård - Jayaprakash Rajasekharan. *OPTIMAL DESIGN AND INSTALLATION OF SOLAR HOME SYSTEMS FOR BOTTOM-UP GRIDS: COMPARATIVE CASE STUDIES FROM KENYA AND NORWAY*. URL: https://www.researchgate.net/publication/369384482_Optimal_Design_and_Installation_of_Solar_Home_Systems_for_Bottom-up_Grids_Comparative_Case_Studies_from_K%20enya_and_Norway (sjekket 20.05.2023).
- [25] Kristian Rød. *Solceller og halvledere*. URL: <http://web.phys.ntnu.no/~stovngeng/FY1303/prosjekt/solceller.pdf> (sjekket 07.12.2022).
- [26] Shree Raj Shakya. *Training Manual for Engineers on Solar PV System*. URL: https://www.researchgate.net/publication/268387350_Training_Manual_for_Engineers_on_Solar_PV_System (sjekket 20.05.2023).
- [27] Dag F. Slålien. *Bruk av DC for energiframføring i husstander med solcelleanlegg og batterilagringsring*. URL: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2824806> (sjekket 20.05.2023).
- [28] Solbraa. *Casestudie av hyttebygging i Stryn kommune (2016)*. URL: https://www.vestforsk.no/sites/default/files/migrate_files/vf-rapport-2-2016-berekraftig-hyttebygging.pdf (sjekket 20.05.2023).
- [29] Solar square. *MPPT SOLAR CHARGE CONTROLLER: FEATURES, APPLICATION AND PRICE*. URL: <https://www.solarsquare.in/blog/mppt-solar-charge-controller/> (sjekket 24.04.2023).
- [30] SSB. *Hytter og fritidsboliger*. URL: <https://www.ssb.no/bygg-bolig-og-eiendom/faktaside/hytter-og-ferieboliger> (sjekket 20.05.2023).
- [31] SSB. *Strømproduksjon fra solcelleanlegg i norske husholdninger*. URL: <https://www.ssb.no/energi-og-industri/energi/artikler/stromproduksjon-fra-solcelleanlegg-i-norske-%20husholdninger/attachment/inline/16df%20b4f%205%E2%88%92bd2e%E2%88%9240c4%E2%88%92b517%E2%88%9248e1a3624118%20:%20b634a22b2b1f%20be60284da%201eaf%203c40e271601c5f%204/RAP%20P%202022%20%E2%88%92%2025.pdf> (sjekket 20.05.2023).
- [32] Klungervik og Langseth Stiansen Hansen. *Energibånd i faste stoffer med anvendelser*. URL: http://web.phys.ntnu.no/~stovngeng/FY1013_2005/prosjekt/energiband.pdf (sjekket 18.01.2023).
- [33] Mohammed Sultan. *IV-Karakteristikk*. URL: https://www.researchgate.net/figure/I-V-and-P-V-Characteristics-of-Solar-Cell_fig5_280628239 (sjekket 26.01.2023).
- [34] Sunwind. *Slik velger du riktig batteri til hytta*. URL: <https://sunwind.no/enjoy/energi/slik-velger-du-riktig-batteri-til-hytta> (sjekket 18.01.2023).
- [35] Ann Mari Svensson. *Hvordan fungerer litiumholdige batterier?* URL: <https://www.tu.no/artikler/hvordan-fungerer-litiumholdige-batterier-br/454352/> (sjekket 18.01.2023).
- [36] Birgitta Ericsson Thor Flognfeldt. *Fritidshusene og deres brukere*. URL: https://www.ostforsk.no/wp-content/uploads/2018/10/201809-Fritidshusene_og_deres_brukere.pdf (sjekket 20.05.2023).
- [37] Tibber. *Mill panelovn 400W*. URL: https://tibber.com/no/store/produkt/mill-panelovn-stal-400w?variant=778457&utm_source=googleadwords_int&utm_medium=cpc&utm_content=15766786556_132555481380_572754684647&utm_id=g_&keyword=&gclid=Cj0KCQjw7aq%20kBhDPARIsAKGa0oJTL6zPestaMUxZ-iK7Kx89KVY37DS70Ran0BDPItt7Rc74kl7e6YAAAtW%20HEALw_wcB (sjekket 20.05.2023).
- [38] Tibber. *Mill panelovn 700W*. URL: https://tibber.com/no/store/produkt/mill-panelovn-stal-700w?variant=504339&utm_source=googleadwords_int&utm_medium=cpc&utm_content=15766786556_132555481380_572754684647&utm_id=g_&keyword=&gclid=Cj0KCQjw7aqBh%20DPARIsAKGa0o133gCigVQcHL8voFgOuW0ewaYVFCaVKftx-QCDknH1bqDhNtT3j0aAvEtE%20ALw_wcB (sjekket 20.05.2023).

-
- [39] Halgrim Ove Tørrisplass. *Forbruksanalyse, studie og kategorisering av norske hytter*. URL: <https://tinyurl.com/3ky2pcac> (sjekket 18.01.2023).
- [40] Halgrim Ove Tørrisplass. *PVsim_{HalgrimOT}*. URL: https://github.com/halgrimove/PVsim_HalgrimOT (sjekket 20.05.2023).
- [41] UngEnergi. *Solcelleregulator*. URL: <https://ungenergi.no/energikilder/solenergi/solceller/> (sjekket 07.12.2022).
- [42] Clifford W. Hansen William F. Holmgren og Mark A. Mikofski. *Pv modeling*. URL: <https://pvlib-python.readthedocs.io/en/stable/reference/> (sjekket 18.05.2023).
- [43] Clifford W. Hansen William F. Holmgren og Mark A. Mikofski. *PVLIB*. URL: <https://github.com/pvlib/pvlib-python> (sjekket 21.04.2023).

Appendix

A Appendices

Last	Lastnivå	Vindu [min]	Brukstid
Mobillading	2	510-600	39 min
Belysning	1	1380-420	6 timer
Oppvarming	1	1080-480	7 timer
Kjøleskap	1	24 timer	35% Duty cycle
Ovn	1	1020-1140	30 min
Varmtvann	1	540-600, 900-960, 1140-1200	43 min
Vannpumpe	1	540-600, 720-840, 1020-1140	2 timer
TV	1	510-540, 1200-1260	60 min

Tabell A.1: Komponenter i hyttekategori 2

Last	Lastnivå	Vindu [min]	Brukstid
Mobillading	2	510-600	39 min
Belysning	2	1380-420	6 timer
Oppvarming	2	1080-480	7 timer
Kjøleskap	2	24 timer	35% Duty cycle
Ovn	2	1020-1140	30 min
Varmtvann	2	540-600, 900-960, 1140-1200	43 min
Vannpumpe	2	540-600, 720-840, 1020-1140	2 timer
TV	2	510-540, 1200-1260	60 min

Tabell A.2: Komponenter i hyttekategori 3

Last	Lastnivå	Vindu [min]	Brukstid
Mobillading	4	510-630	39 min
Kjøleskap	2	24 timer	35% DC
Ovn	2	1020-1140	45 min
Platetopp	2	1020-1140	40 min
Kaffetrakter	2	450-480	12 min
Belysning	3	1380-420, 1080-480	6 timer,“ 14 timer
Vannpumpe	3	540-600, 720-840, 1020-1140	4 timer
Oppvarming	3	1080-660, 24t (varmekabler)	7 timer, 35% DC 50% DC
TV	3	510-540, 1200-1320	120 min
Varmtvann	2	540-600, 900-960, 1140-1200	172 min

Tabell A.3: Komponentene i hyttekategori 4

Last	Effekt	Type	Kilde	Vindu	Brukstid
Oppvarming 1	2x400W	Mill panelovn stål 6m ²	Tibber.com	18-08 Duty Cycle 50%	7 timer
Oppvarming 2	3x700W, 400W	Mill panelovn stål 12m ² , 6m ²	Tibber.com	18-08, 08-11, 18-22 Duty Cycle 50%	7 timer, 3,5 timer
Oppvarming 3	4x700W, 400W, 1500W	Mill panelovn stål 12m ² , 6m ² Nexans milimat (15 m ²)	Tibber.com, Bad.no	18-08, 08-11, 18-22 24t Duty Cycle 50%	7 timer, 3,5 timer

Tabell A.4: Effekt til oppvarming

Last	Effekt	Type	Kilde	Vindu	Brukstid
Lys 1	3Wx4, 3,6Wx4	Taklampe stål Mona, vegglampe stål LED	Hyttetorget.no	07-23	6 timer, 6 timer
Lys 2	40W, 28Wx6, 3,6Wx6	Taklampe Manchester, Taklampe pendant 310 Vegglampe stål LED	Bohus.no Hyttetorget.no	07-23	6 timer, 6 timer
Lys 3	40Wx2, 28Wx6, 3,6Wx6 15Wx4	Taklampe Manchester, Taklampe pendant 310 Vegglampe stål LED Karlstad takarmatur	Bohus.no Hyttetorget.no	07-23 18-08	8 timer, 6 timer, 14 timer

Tabell A.5: Effekt til lys

Last	Effekt	Type	Kilde	Vindu	Brukstid
Varmtvann 1	2kW—	Vera varmtvannstank	Hyttetorge.no	09-10, 15-16, 19-20	43min
Varmtvann 2	2kW	Vera varmtvannstank	Hyttetorge.no	09-10, 15-16, 19-20	172min

Tabell A.6: Effekt til varmtvann

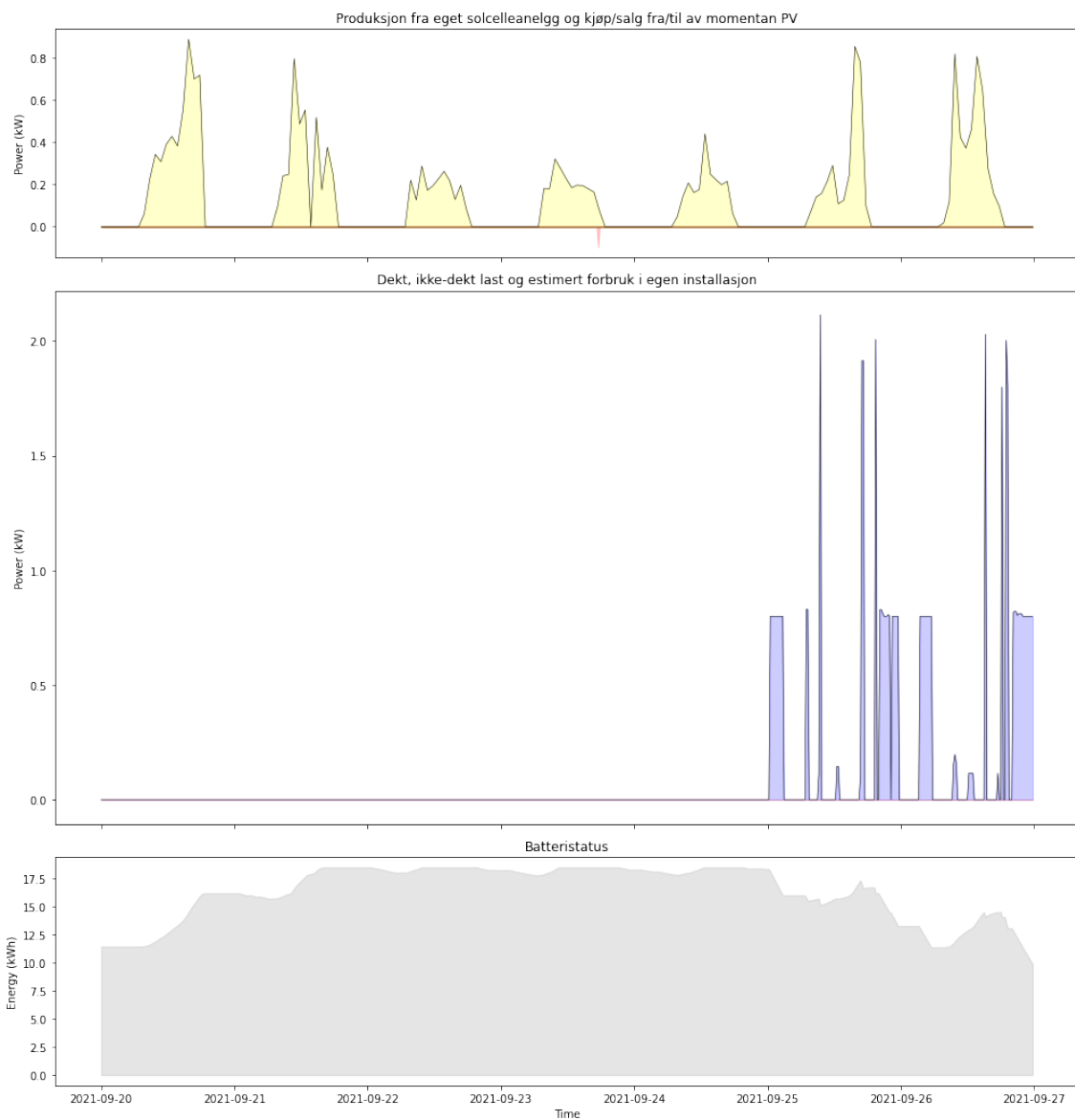
Last	Effekt	Type	Kilde	Vindu	Brukstid
Vannpumpe 1	115W	Aquatec Hyttepumpe 230V	Hyttenorge.no	9-10, 12-14, 17-19	2 timer
Vannpumpe 2	800W	Hyttepumpe Maxi	Hyttetorge.no	9-10, 12-14, 17-19	2 timer
Vannpumpe 3	800W	Hyttepumpe Maxi	Hyttetorget.no	9-10, 12-14, 17-19	4 timer

Tabell A.7: Effekt til vannpumpe

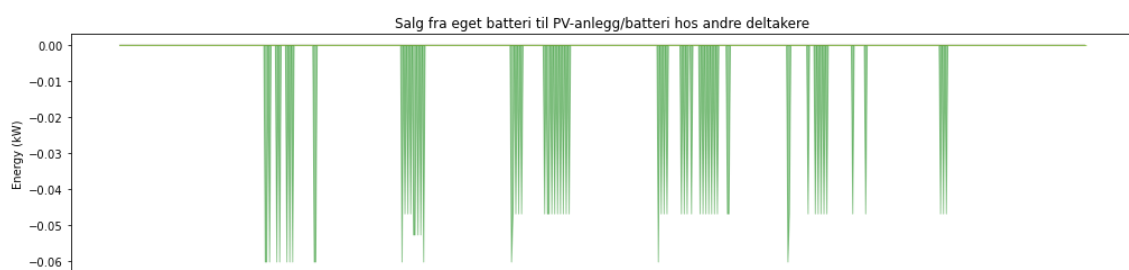
Last	Effekt	Type	Kilde	Vindu	Brukstid
Lader 1	20Wx2	Mobillader	Elkjøp.no	. 08:30-09:30 .	39min
Lader 2	20Wx3	Mobillader	Elkjøp.no	. 08:30-10:00 .	39min
Lader 3	20Wx4	Mobillader	Elkjøp.no	. 08:30-10:00 .	39min
Lader 4	20Wx5	Mobillader	Elkjøp.no	. 08:30-10:30 .	39min
TV 1	17W	Finlux 22"	Hyttetorget.no	. 08:30-09:00 20:00-21:00 .	1 time
TV 2	29W	Finlux 43"	Hyttetorget.no	. 08:30-09:00 20:00-21:00 .	1.5 time
TV 3	93W	Samsung Q-led Smart TV 55"	Samsung.no	. 08:00-09:00 20:00-22:00 .	2 timer
Kaffetrakter 1	1080W	Electrolux 7000	Elkjøp.no	. 07:30-08:00 .	6 min
Kaffetrakter 2	1080W	Electrolux 7000	Elkjøp.no	. 07:30-08:00 .	12 min
Ovn 1	1800W	Vera elektrisk komfyr	Hyttetorget.no	. 17:00-19:00 .	30 min
Ovn 2	1800W	Vera elektrisk komfyr	Hyttetorget.no	. 17:00-19:00 .	45 min
Platetopp 1	2900W	Vera elektrisk komfyr	Hyttetorget.no	. 17:00-19:00 .	15 min
Platetopp 2	2900W	Vera elektrisk komfyr	Hyttetorget.no	. 17:00-19:00 .	40 min
Kjøleskap 1	30,3Wp	Liebherr 155L	Liebherr.com	. 35% Duty cycle .	24 timer
Kjøleskap 2	37,2Wp	Electrolux 600 Dyamic air 311L	Electrolux.no	. 35% Duty cycle .	24 timer

Tabell A.8: Effekt til diverse stikk

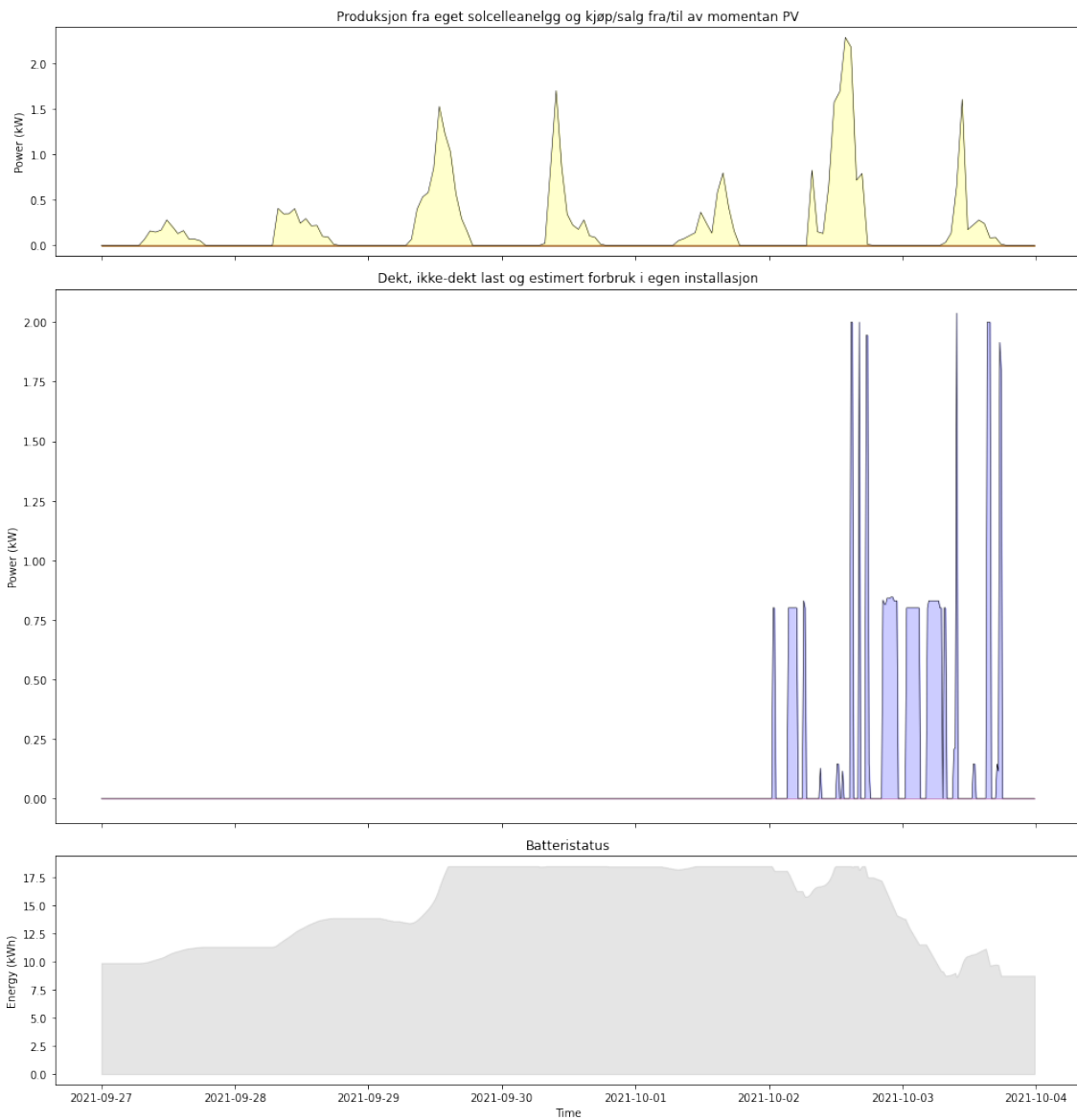
Simuleringsresultater fra 10 påfølgende uker for en hytte med kategori 1 og bruksmønster “hver helg”. Simulert for flex-case 2 og scenario 3.



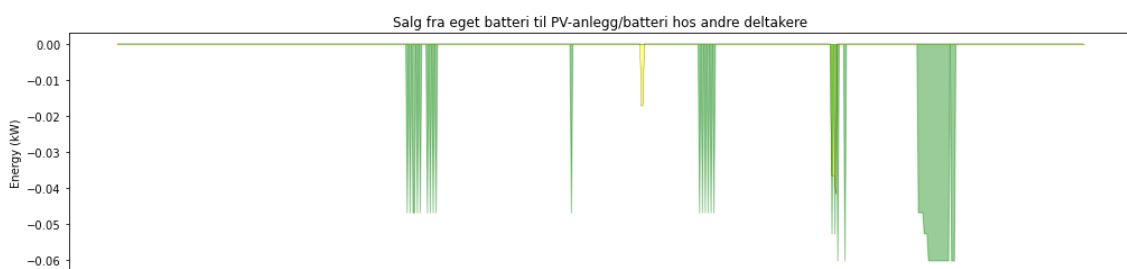
Figur A.1: Uke 38



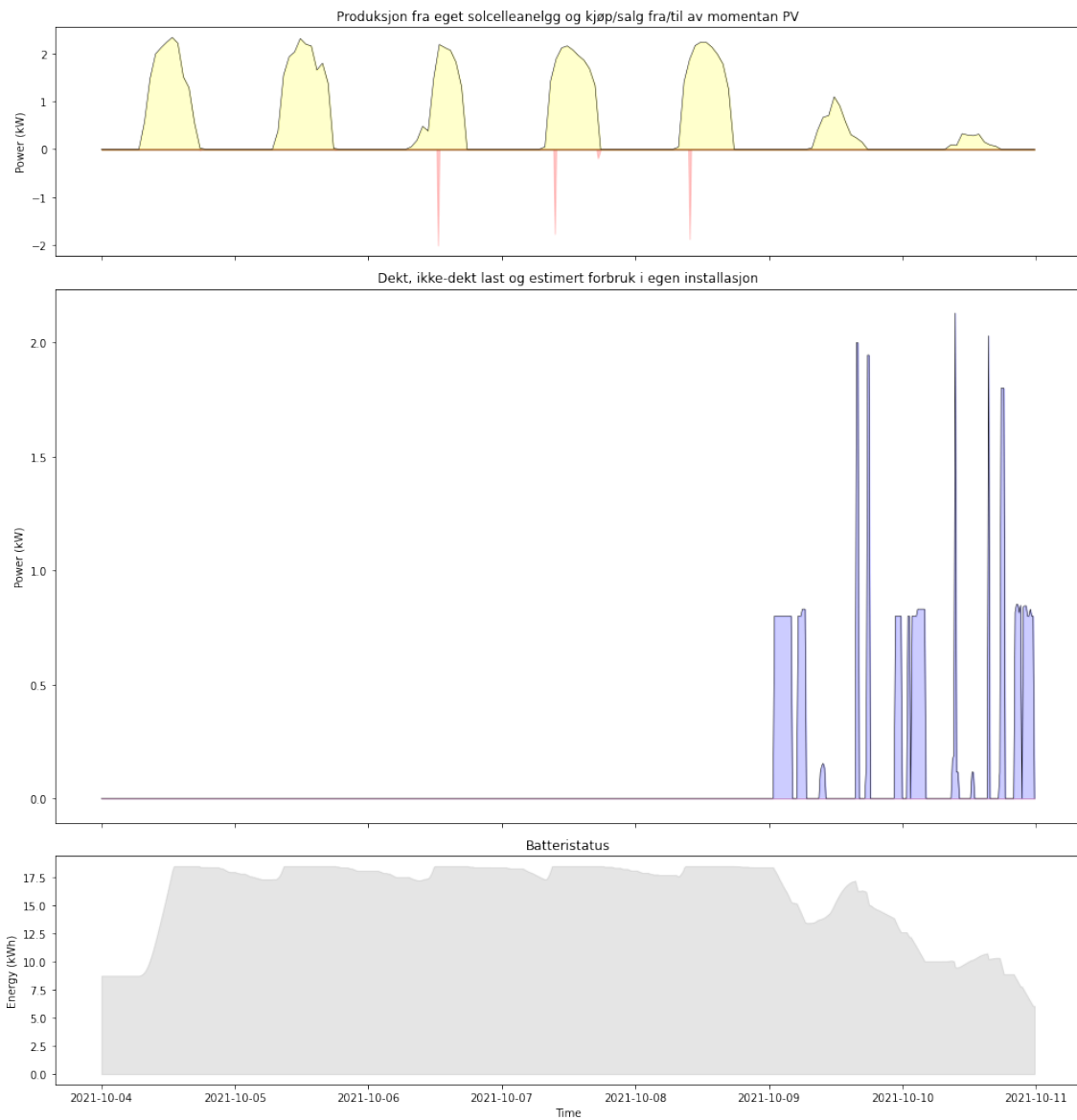
Figur A.2: Uke 38



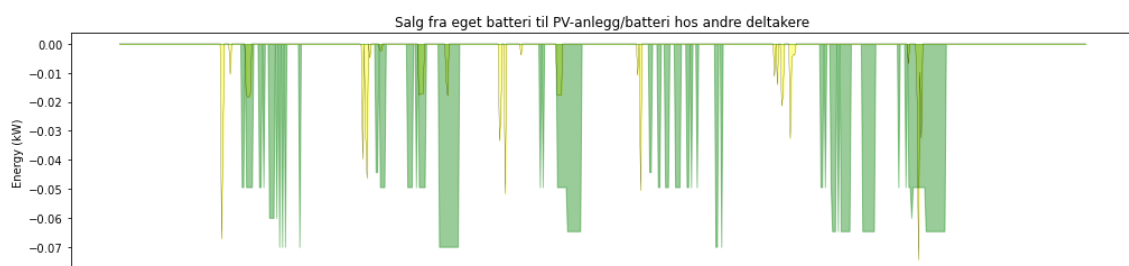
Figur A.3: Uke 39



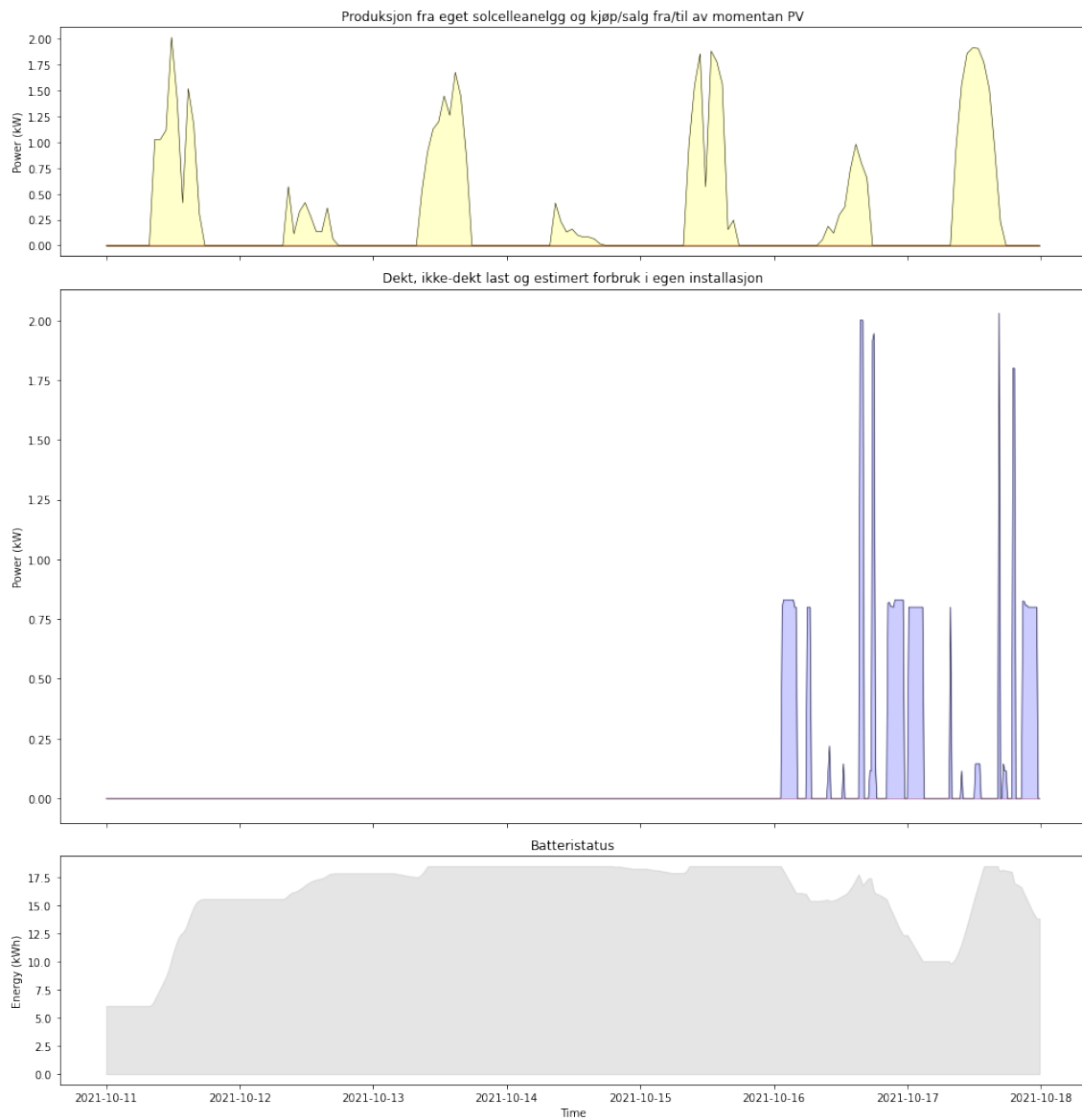
Figur A.4: Uke 39



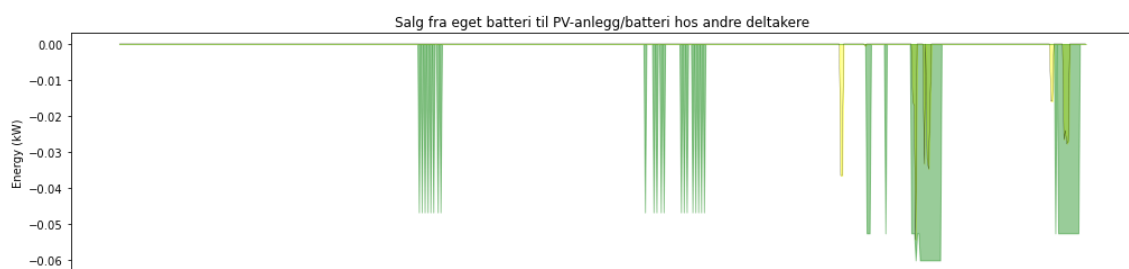
Figur A.5: Uke 40



Figur A.6: Uke 40



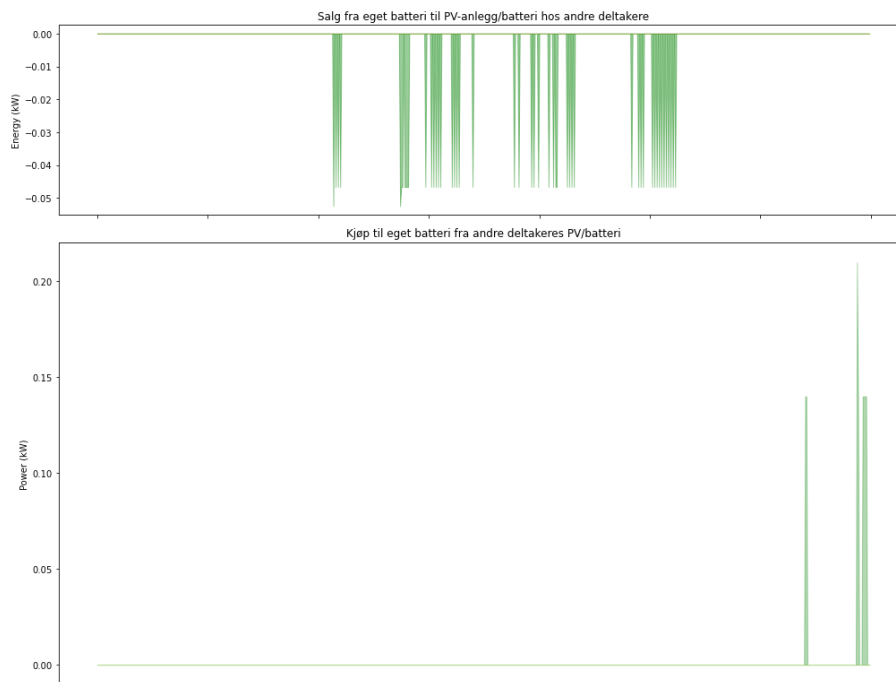
Figur A.7: Uke 41



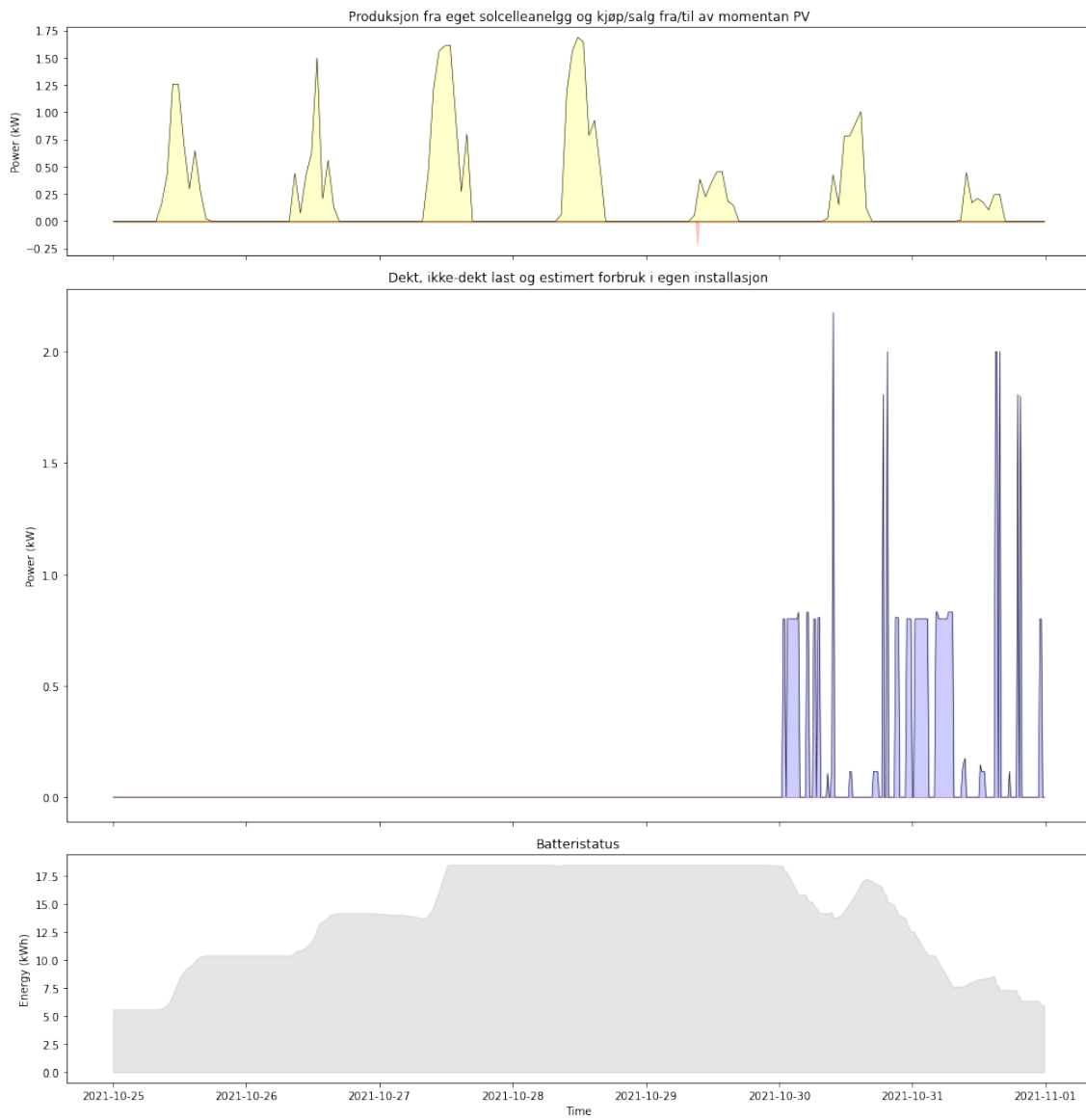
Figur A.8: Uke 41



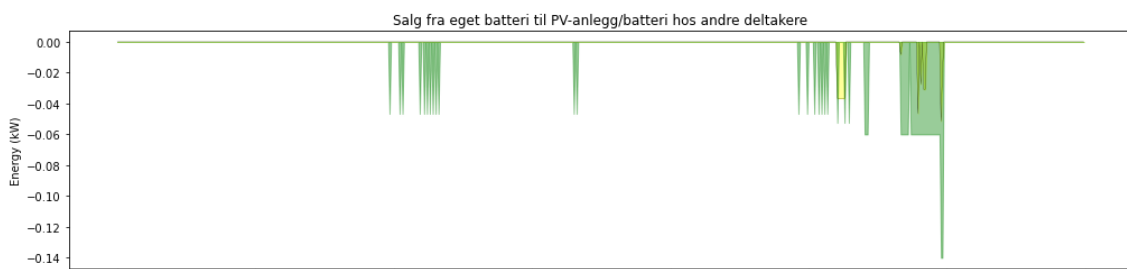
Figur A.9: Uke 42



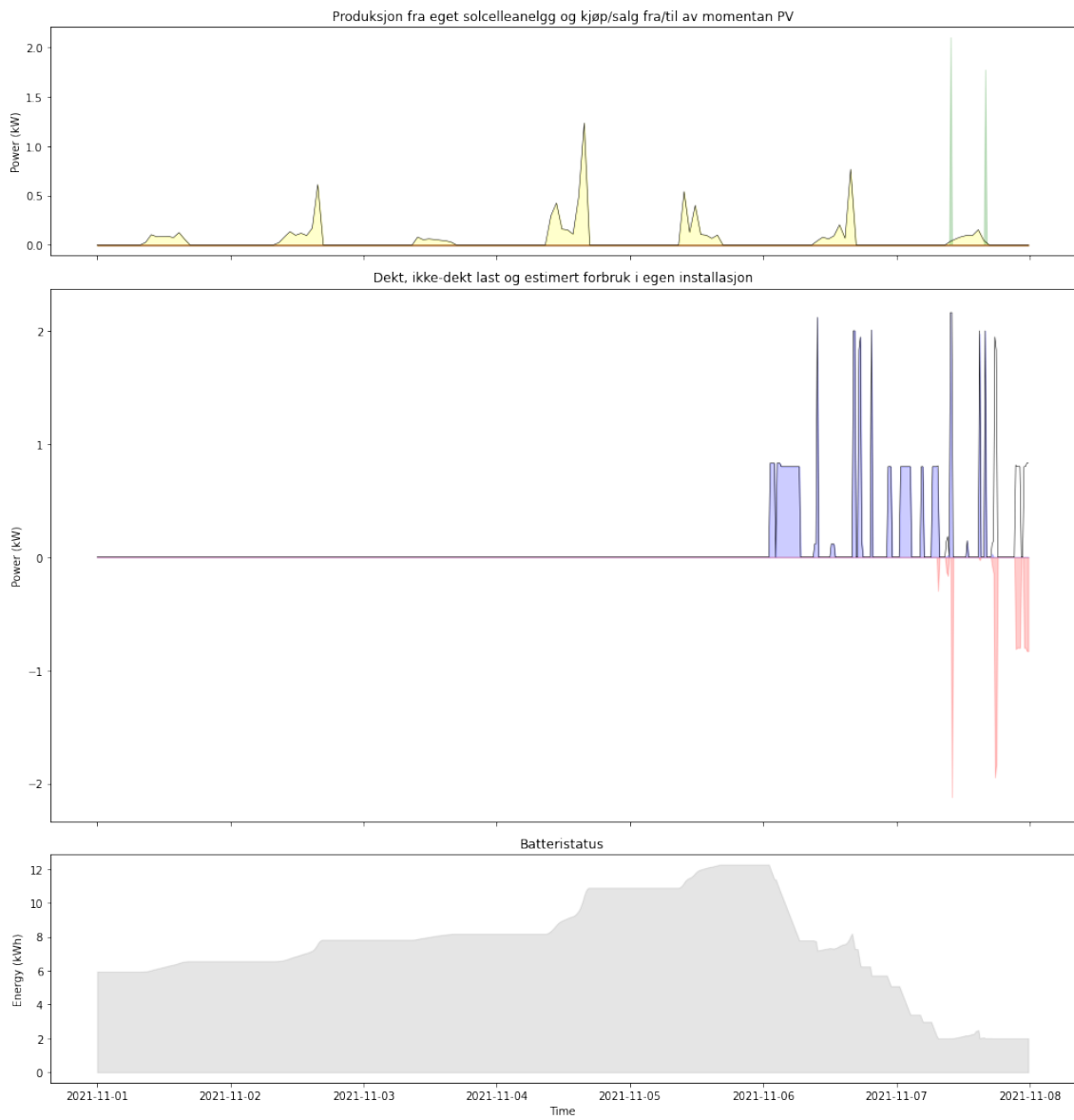
Figur A.10: Uke 42



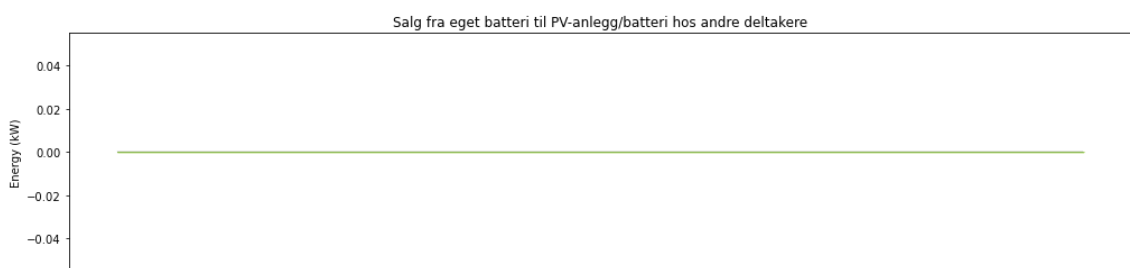
Figur A.11: Uke 43



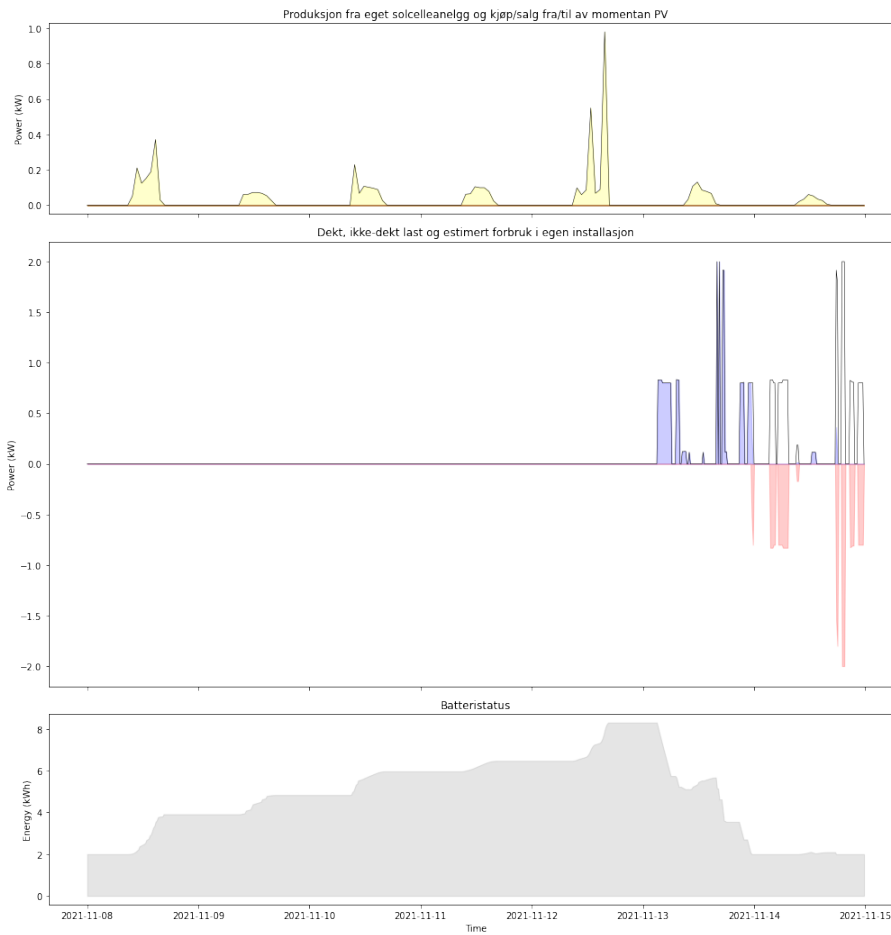
Figur A.12: Uke 43



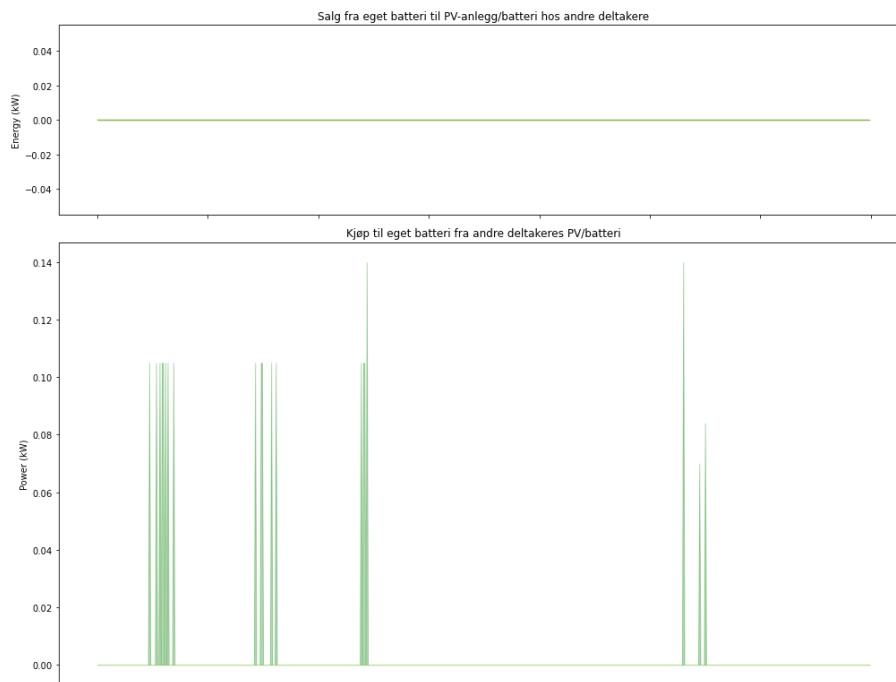
Figur A.13: Uke 44



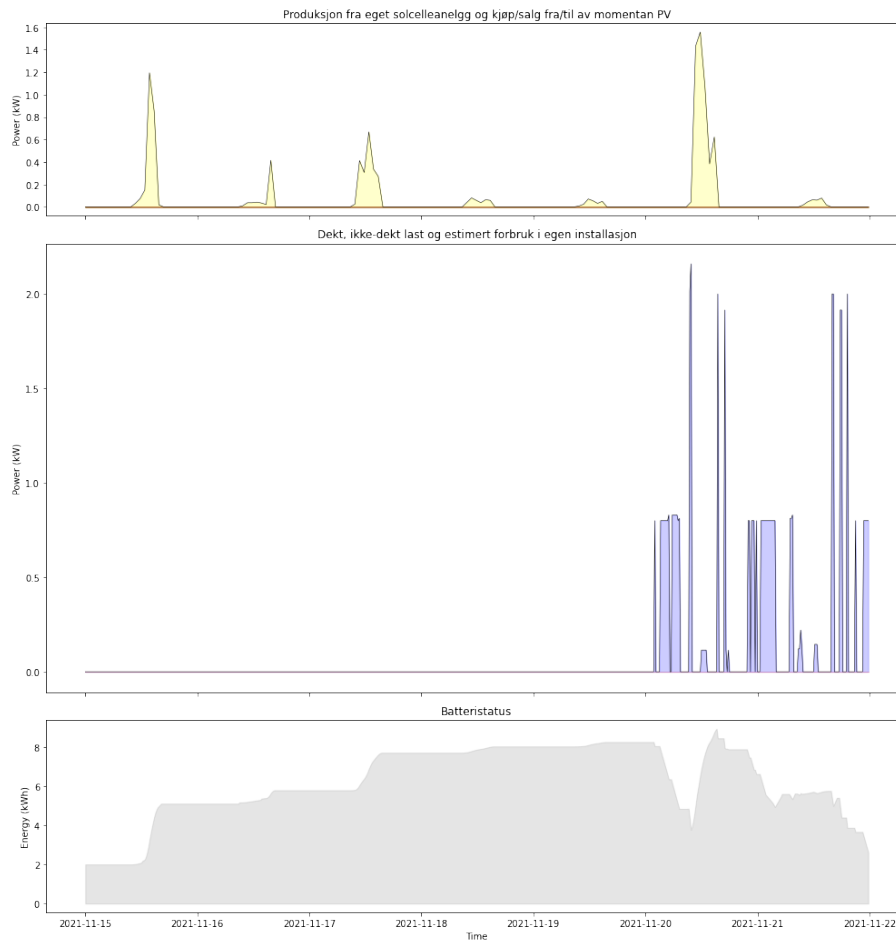
Figur A.14: Uke 44



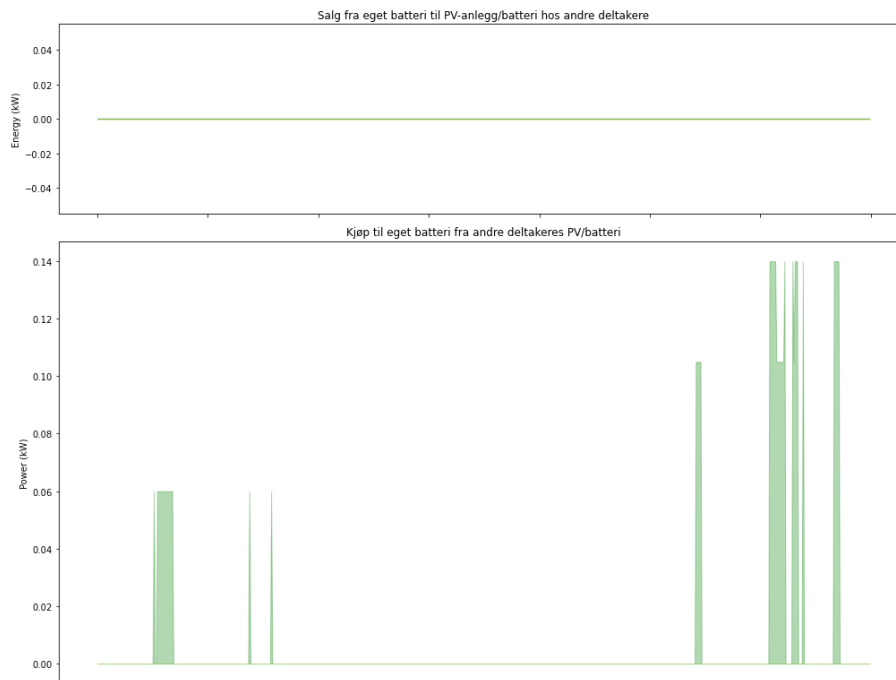
Figur A.15: Uke 45



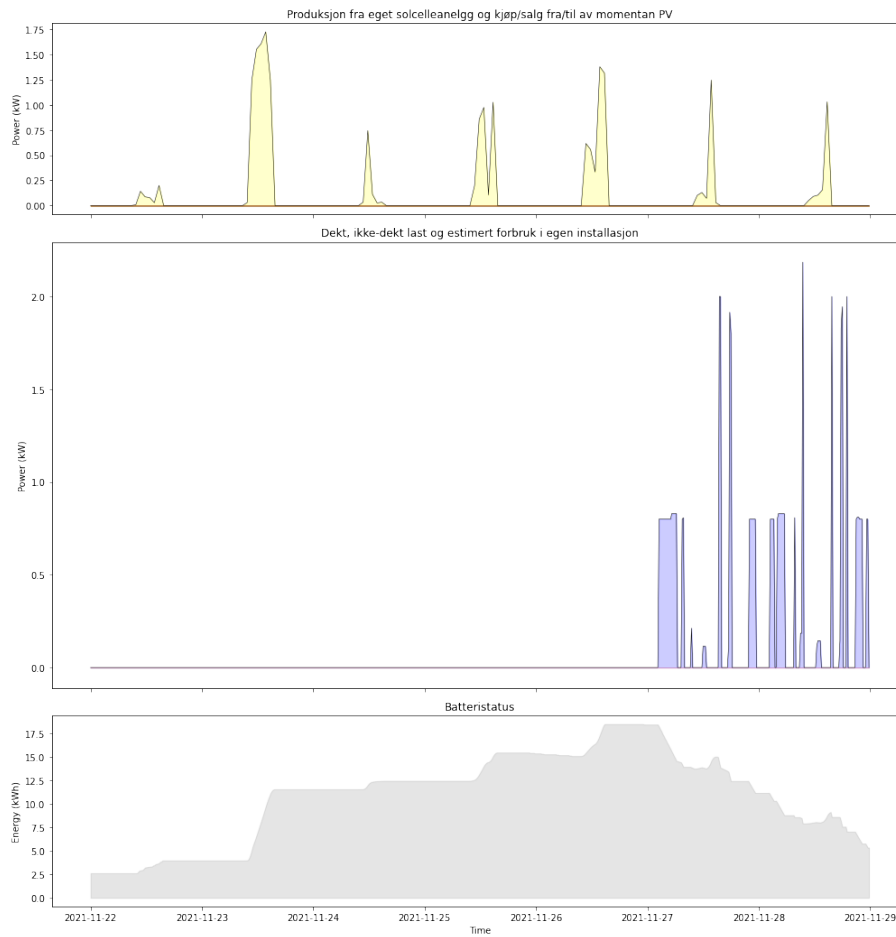
Figur A.16: Uke 45



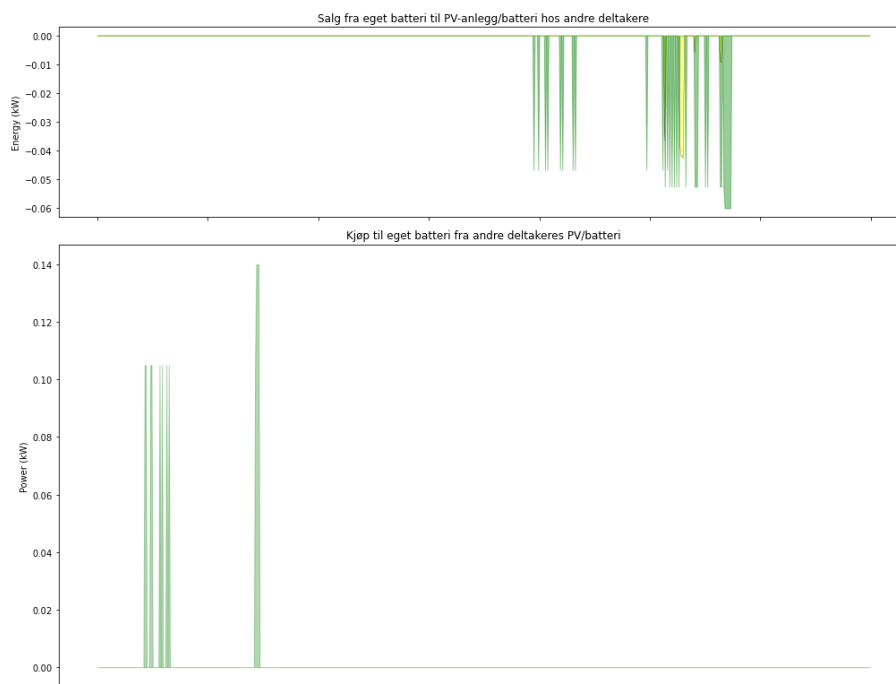
Figur A.17: Uke 46



Figur A.18: Uke 46



Figur A.19: Uke 47



Figur A.20: Uke 47

