

# Teknisk-økonomisk planlegging av mikronett

En studie av i hvilken grad ulike systemgrenser, driftsmetoder og rammevilkår påvirker teknisk løsning og økonomi for et konkret mikronett på Brattøra

**Mari Andrea Pedersen**

Master i energi og miljø

Innlevert: april 2018

Hovedveileder: Kjell Sand, IEL

Medveileder: Gøril Forbord, TrønderEnergi

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Institutt for elkraftteknikk



## Forord

Denne masteroppgaven er skrevet som en avslutning på masterstudiet Energi og Miljø ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, NTNU. Oppgaven vektlegges 30 studiepoeng.

Oppgaven har vært å se på hvordan ulike reguleringer kan påvirke valget av løsninger for mikronett, og spesielt hvordan dette påvirker bruken av energien produsert på Powerhouse Brattøra. Oppgaven er skrevet i samarbeid med TrønderEnergi og har inkludert meg i arbeidet med Enovas konseptutredning på Brattøra.

Jeg vil rekke en stor takk til veileder Kjell Sand ved institutt for elkraftteknikk for god hjelp og veiledning. Takk til Anniken Auke Borge og medveileder Gøril Forbord i TrønderEnergi for all hjelp og for å inkludere meg i dette spennende prosjektet. Jeg vil også takke John Kristian Evjen for hans evne til å vise viktigheten av å se ting fra flere sider.

Til slutt vil jeg takke alle som har støttet meg, både familie og venner. Tusen takk for en fin tid på Gløshaugen til alle mine medstudenter. En spesiell takk til Katrine Utvik og Trond Klakken som har vært til god hjelp under hele prosessen.



Mari Andrea Pedersen  
Trondheim, April 2018



# Sammendrag

Denne masteroppgaven studerer hvordan rammevilkår påvirker planleggingen av mikronett. Den har som målsetning å se på hvilke konsekvenser rammevilkårene har i et økonomisk perspektiv. Oppgaven er skrevet i tre deler, hvor den første delen er innføring til mikronett og rammevilkår, den andre en gjennomgang av metodikk for å planlegge mikronett, før det i den tredje delen gjennomføres et casestudie med denne metodikken for Brattøra i Trondheim.

Et mikronett er et lokalt kraftnett med distribuerte energikilder og laster innenfor klare definerte elektriske grenser. Det kan driftes enten isolert fra andre kraftnett eller tilkoblet. Rammevilkårene i Norge baserer seg på de norske lovene. Det er spesielt energiloven som er relevant for anleggelse av mikronett.

Planleggingsmetodikken er basert på SINTEF sin planleggingsbok for kraftnett og IEC sine retningslinjer for planlegging av mikronett. Metodikken består av fire faser. Første fase er å etablere forutsetningene for mikronett ved å se på potensiale for distribuert produksjon og på områdets muligheter med laster. Det blir innhentet informasjon om energipriser og hvilke konsesjoner som er nødvendige, for å så sette opp ulike systemgrenser som mikronettet kan ha. I den andre fasen skal energiresurser bestemmes og ulike driftsstrategier skal etableres. De ulike driftsstrategiene skal evalueres med tanke på energibalanse, kjøp, salg og struping av energi. I tredje fase skal det kontrolleres at de ulike alternativene funnet i de foregående fasene overholder tekniske krav, og tekniske analyser skal gjennomgås. Den fjerde fasen går gjennom alle vurderingskriteriene, og skal komme med en anbefaling for beste alternative løsning.

Ved å se på Brattøra som aktuelt område for mikronett ble det funnet 12 ulike systemgrenser som var mulige. Området kan få fritak fra konsesjoner ved å bruke plusskundeløsning. I fase to ble det sett på ulike driftsstrategier med og uten batteri. Energiressursene var forhåndsbestemt til å være solceller på to av bygningene. I fase tre ble det funnet at de ulike alternativene sto likt med tanke på tekniske analyser. I fase fire ble de ulike løsningene vurdert opp mot kriterier bestemt i fase 1. Forskjellen mellom alternativene var økonomisk lønnsomhet og energi brukt lokalt. Alternativene som inneholdt batteri hadde større investeringskostnader enn nytteverdi. Driftsstrategien som kom ut best var plusskunde med 100kW grense. Systemgrensen som inkluderer alle de fire bygningene har en inntekt på 3,5 millioner mer enn neste systemgrense på listen over levetiden på 25år. Det ble også funnet at denne løsningen gir god bruk av energien lokalt, selv om den må strupe 40 000 kWh i året.

Casestudiet viste at batteriløsninger ikke er lønnsomme med dagens energi- og batteripriser. Ved å ha 500kW grense for plusskundeordningen kan eier av mikronettet tjene 2,7 millioner mer enn ved å ha 100 kW grense. I området for dette mikronettet er det ikke behov for ekstra oppgraderinger av kraftnettet ved å utvide plusskundegrensen. Ved å la systemgrensene inkludere flere bygninger minskes den totale forbrukseffekten for det området slik at kraftnettet kan dimensjoneres på et lavere nivå eller en kan unngå utbygging. Hvordan utbygging påvirker ovenforliggende nett er individuelt i hvert enkelt tilfelle, og det bør beregnes om mikronettet er en fordel eller ulempe for overforliggende nett.



# Abstract

This master thesis studies how planning of microgrid are affected by the framework given by the government. The objective is to look how the framework affect the economical perspective. The thesis is split in three parts. The first part cover an introduction to microgrids and frameworks. The second part is guideline for planning of microgrid and the last part is a case study for a microgrid in Brattøra in Trondheim, Norway.

Microgrids are local electricity distribution systems containing loads and distributed energy resources. It can operate in both grid-connected or island-mode. The framework covered in this thesis is the Norwegian laws. The most important law for microgrid planning is “Energiloven”.

The guideline for planning of microgrid is based on IEC Guidelines for microgrid projects planning and specification and on SINTEF guide for planning of power grid. The guideline contains four main topics. The first topic is a preliminary study where the area for the microgrid is investigated. The second topic is covering energy resource planning and different operation strategies for the microgrid. The third topic looks on technical requirements and electrical parameter calculations. The last topic evaluates the different alternatives for establishment of microgrid.

In the case study it was found 12 different system boundaries which is current for establishment of a microgrid. For being allowed to sell the energy the microgrid can use simplified terms called “Plusskunde”. By using this terms the microgrid is allowed to sell up till 100kW. The different system boundaries was looked at with different operation strategies, with and without batteries. In the evaluation of the different alternatives it was found that the difference between them was based on economic profitability and use of energy. The batteries had higher investment cost than income. The operation strategy with 100kW limit was the most economic profitable. By using the system boundary that includes all the four loads the income is 3,5 MNOK more than the next options trough the life time of 25 years.

The case study shows that the operations strategies with battery not are profitable with the energy and battery price of today. By using an 500 kW limit for selling the energy, the grid owner can earn 2,8 MNOK more than by using 100 kW limit. In the area where the microgrid is established the grid is strong, and there is no need to upgrade the grid to handle the 500 kW limit. By letting the system boundaries include more buildings the total power is decreased. This can save the grid company for upgrades. How an establishment of a microgrid affects the power grid is individual for each case, and it should be calculated if the microgrid is an advantage or a disadvantage for the power grid.





# Innhold

Figurer	viii
Tabeller	ix
<b>I Innledning</b>	<b>1</b>
<b>1 Innledning</b>	<b>1</b>
1.1 Motivasjon . . . . .	1
1.2 Problemstilling . . . . .	1
1.3 Metoder og verktøy . . . . .	1
<b>2 Introduksjon</b>	<b>3</b>
2.1 Mikronett . . . . .	3
2.1.1 Definisjon av mikronett . . . . .	3
2.1.2 Oppbygging av et mikronett . . . . .	3
2.2 Lovverk i Norge . . . . .	4
2.2.1 Hierarki . . . . .	4
2.2.2 Lover med betydning for mikronett . . . . .	4
2.2.3 Energiloven . . . . .	5
<b>II Metodikk</b>	<b>7</b>
<b>3 Fase 1 - Etablering av forutsetninger</b>	<b>9</b>
3.1 Motivasjon . . . . .	9
3.1.1 Typer mikronett . . . . .	10
3.1.2 Driftstilstander . . . . .	11
3.2 Målsetning, kriterier og restriksjoner . . . . .	11
3.3 Områdeoversikt . . . . .	12
3.3.1 Ulike systemgrenser . . . . .	12
3.3.2 Eksisterende nett . . . . .	12
3.3.3 Lovgivende begrensninger . . . . .	12
3.4 Lastanalyse . . . . .	13
3.5 Energiressurser . . . . .	14
3.5.1 Sol . . . . .	15
3.5.2 Vind . . . . .	16
3.5.3 Vann . . . . .	16
3.6 Energilagring . . . . .	17
3.6.1 Svinghjul . . . . .	18
3.6.2 Superkondensator . . . . .	18
3.6.3 Batteri . . . . .	18
3.6.4 Hydrogen . . . . .	18
3.7 Konesjonsplikt . . . . .	18
3.7.1 Plusskundeavtale . . . . .	19

3.7.2	Kraftleverandør . . . . .	20
3.8	Energipriser . . . . .	20
3.9	Egenforbruk . . . . .	21
3.10	Nabolagsprofil . . . . .	22
<b>4</b>	<b>Fase 2 - Bestemmelse av energiressurser og driftsalternativ</b>	<b>23</b>
4.1	Valg av energiressurser . . . . .	23
4.2	Langsiktig evaluering . . . . .	24
4.2.1	Årstidsevalueringer . . . . .	24
4.3	Kortsiktig evaluering . . . . .	25
4.4	Ulike driftsmetoder . . . . .	25
4.4.1	Plusskundeordning . . . . .	26
4.4.2	Batteriløsning . . . . .	26
4.4.3	Kombinerte løsninger . . . . .	26
4.4.4	Laststyring . . . . .	27
4.4.5	Effektstyring . . . . .	27
4.5	Kostnad og inntekt . . . . .	27
<b>5</b>	<b>Fase 3 - Tekniske krav og analyser</b>	<b>29</b>
5.1	Tekniske analyser . . . . .	29
5.1.1	Lastflytanalyse . . . . .	29
5.1.2	Kortslutningsanalyse . . . . .	29
5.2	Tekniske krav . . . . .	30
5.2.1	Distribuert energikilder . . . . .	30
5.2.2	Distribusjonslinjer og kabler . . . . .	30
5.2.3	Tilkoblingspunkt til ovenforliggende nett . . . . .	31
5.2.4	Kontrollsystem . . . . .	31
5.2.5	Vern . . . . .	31
5.2.6	Kommunikasjonssystem . . . . .	32
<b>6</b>	<b>Fase 4 - Evaluering</b>	<b>33</b>
6.1	Forsyningssikkerhet . . . . .	33
6.2	Miljø og estetikk . . . . .	33
6.3	Integrasjon til andre kraftnett og fremtidig utvidelser . . . . .	34
6.4	Økonomi . . . . .	34
6.5	Samfunnsmessig rasjonelt . . . . .	36
6.6	Usikkerhet . . . . .	37
6.7	Måloppnåelse og diskusjon . . . . .	37
6.8	Sluttdokumentasjon . . . . .	37
<b>III</b>	<b>CASE</b>	<b>38</b>
<b>7</b>	<b>Case Brattøra mikronett</b>	<b>38</b>
<b>8</b>	<b>Fase 1</b>	<b>38</b>
8.1	Motivasjon . . . . .	38
8.2	Målsetninger . . . . .	39
8.3	Områdeoversikt . . . . .	40

8.3.1	Powerhouse Brattøra - PHB	42
8.3.2	BI-bygget	42
8.3.3	Brattørkaia 15 - BK15	42
8.3.4	Busslading	42
8.4	Nabolagsprofil	42
8.5	Lastanalyse	44
8.5.1	Powerhouse Brattøra	44
8.5.2	Brattørkaia 16: BI-bygget	45
8.5.3	Brattørkaia 15: BK15	46
8.5.4	Busslading	47
8.6	Energiressurser	48
8.6.1	Sol	48
8.6.2	Vind	49
8.6.3	Vann	49
8.6.4	Drivstoff	49
8.7	Energilagring	49
8.8	Konsesjonsplikt	49
8.8.1	Plusskundeordning	49
8.8.2	Energileverandør	50
8.9	Energipriser	50
8.10	Egenforbruk	51
8.11	Fase 1 oppsummering	51
<b>9</b>	<b>Fase 2 - Bestemmelse av distribuerte energiressurser</b>	<b>52</b>
9.1	Langsiktig evaluering av energiressurser	53
9.1.1	Evaluering på ukensnivå	54
9.2	Kortsiktig evaluering av energiressurser	55
9.3	Plusskundeordning	57
9.3.1	Plusskunde 100kW	57
9.3.2	Plusskunde 500kW	58
9.4	Batteri	59
9.4.1	Uendelig	59
9.4.2	500kWh	61
9.4.3	1000kWh	62
9.5	Batteri og plusskunde	64
9.5.1	Batteri 500kWh og plusskundeavtale 100kWh	65
9.5.2	Batteri 1000kWh og plusskunde 100kW	65
9.6	Batteri og prioritert plusskunde	66
9.7	Kostnad og inntekt	67
9.8	Laststyring	70
9.9	Effektstyring	72
<b>10</b>	<b>Fase 3 - Tekniske krav og analyser</b>	<b>74</b>
10.1	Tekniske analyser	74
10.1.1	Lastflytanalyse	74
10.1.2	Kortslutningstrømmer	74
10.1.3	Stabilitetskalkulasjoner	74
10.2	Tekniske krav	74
10.2.1	Distribuerte energikilder	74

10.2.2	Distribusjonslinjer og kabler . . . . .	75
10.2.3	Tilkoblingspunkt . . . . .	75
10.2.4	Kontroll, vern og kommunikasjonssystemer . . . . .	75
<b>11</b>	<b>Fase 4 - Evaluering</b>	<b>76</b>
11.1	Forsyningssikkerhet . . . . .	76
11.2	Miljø og estetikk . . . . .	76
11.3	Integrasjon . . . . .	76
11.4	Økonomi . . . . .	76
11.5	Samfunnsmessig rasjonelt . . . . .	79
11.6	Usikkerhet . . . . .	79
11.7	Måloppnåelse og diskusjon . . . . .	79
11.8	Sluttdokumentasjon . . . . .	80
<b>12</b>	<b>Diskusjon</b>	<b>82</b>
12.1	Ulike systemgrenser . . . . .	82
12.2	Ulike driftsstrategier . . . . .	82
<b>13</b>	<b>Konklusjon</b>	<b>85</b>
<b>14</b>	<b>Videre arbeid</b>	<b>85</b>
Referanser		
<b>IV</b>	<b>Vedlegg</b>	<b>A-1</b>
<b>Tillegg A</b>	<b>Matlab</b>	<b>A-1</b>
A.1	Plusskunde . . . . .	A-2
A.2	Batteri . . . . .	A-2
A.3	Kombinasjon . . . . .	A-3
<b>Tillegg B</b>	<b>Resultat</b>	<b>A-4</b>

## Figurer

1	Mikronettets komponenter [1] . . . . .	3
2	Hierarki for lover, forskrifter og standarder . . . . .	4
3	Metodikk for planlegging av mikronett . . . . .	8
4	Hovedmotivasjon for mikronett [2] . . . . .	10
5	Årsprofil for ulike energikilder [3] . . . . .	15
6	Årsprofil for vindkraft i Norge [4] . . . . .	16
7	Sammenligning av ulike energilagringmetoder [5] . . . . .	17
8	Samfunnsøkonomisk kostnad for avbrudd i elforsyningen [6] . . . . .	35
9	Konsekvenser av solproduksjon for netteier [7] . . . . .	36
10	Oversiktsbilde over Brattørkaia [8] . . . . .	38
11	Energibruk over livsløpet [8] . . . . .	39
12	Powerhouse Brattøra, BI-bygget, Brattørkaia 15 og busslading på samme trafostasjon . . . . .	41
13	Kart over Brattøra . . . . .	43
14	Forbruk i Powerhouse Brattøra over en uke . . . . .	44
15	Forbruk i BI-bygget over en uke . . . . .	45
16	Forbruk i Brattørkaia 15 over en uke . . . . .	46
17	Forbruk for busslading over en uke . . . . .	47
18	Forbruk over en uke . . . . .	48
19	Energibalanse for årstidene . . . . .	54
20	Andel last fra egenprodusert og kjøpt energi . . . . .	56
21	Andel produsert energi til egenforbruk og overskudd . . . . .	56
22	Andel last fra egenprodusert og kjøpt energi . . . . .	58
23	Andel produsert energi til egenforbruk, salg og struping . . . . .	58
24	Andel last fra egenprodusert og kjøpt energi . . . . .	59
25	Andel produsert energi til egenforbruk, salg og struping . . . . .	59
26	Batteristatus per time for Powerhouse Brattøra ved uendelig kapasitet . . . . .	60
27	Batteristatus og last ved bruk av 500kWh batteri i tilfelle Powerhouse Brattøra . . . . .	61
28	Last ved bruk av 500kWh batteri . . . . .	62
29	Produksjon ved bruk av 500kWh batteri . . . . .	62
30	Batteristatus ved Powerhouse Brattøra i august og september . . . . .	63
31	Last ved bruk av 1000kWh batteri . . . . .	63
32	Produksjon ved bruk av 1000kWh batteri . . . . .	64
33	Last ved bruk av 500kWh batteri og 100kW plusskunde . . . . .	65
34	Produksjon ved bruk av 500kWh batteri og 100kW plusskunde . . . . .	65
35	Last ved bruk av 1000kWh batteri og 100kW plusskunde . . . . .	66
36	Produksjon ved bruk av 1000kWh batteri og 100kW plusskunde . . . . .	66
37	Lastfordeling ved batteri og prioritert plusskunde . . . . .	67
38	Produksjonsfordeling ved batteri og prioritert plusskunde . . . . .	67
39	Inntekt i mikronettet for Powerhouse Brattøra som energikilde . . . . .	69
40	Inntekt i mikronettet for BI-bygget som energikilde . . . . .	69
41	Inntekt i mikronettet for Powerhouse Brattøra og BI-bygget som energikilde . . . . .	69
42	Last ved bruk av laststyring . . . . .	70
43	Produksjon ved bruk av laststyring . . . . .	70
44	Effekt ved laststyring og orginal Powerhouse og Brattøra . . . . .	71

45	Inntekter ved bruk av laststyring . . . . .	71
46	Effektstyring for januar . . . . .	72
47	Effektstyring for februar . . . . .	73
48	Effektstyring for november . . . . .	73
49	Effektstyring for desember . . . . .	73
50	Total inntekt over 25år for Powerhouse Brattøra . . . . .	77
51	Total inntekt over 25år for BI-bygget . . . . .	77
52	Total inntekt over 25år for Powerhouse Brattøra og BI . . . . .	78
53	Totale inntekter over 25år . . . . .	78
54	Totale inntekter over 25år med plusskunde 100kW avtale . . . . .	79
55	Totale inntekter for Powerhouse Brattøra over 25år . . . . .	83
56	Last og total effektforbruk for systemgrense 12 . . . . .	84

## Tabeller

1	lover av interesse for planlegging av mikronett [9,10] . . . . .	5
2	Lasttype og deres karakteristikk . . . . .	13
3	De ulike typene omsetningskonsesjoner perioden 2015-2018 [11] . . . . .	20
4	Oversikt over alternativ for kraftbalanse . . . . .	23
5	Fleksibilitet i laster . . . . .	27
6	Tilgjengelig areal for solcellepanel på bygningene . . . . .	48
7	Effektpris for nettleie . . . . .	50
8	Planlagt solcellepanel på Powerhouse Brattøra og BI-bygget . . . . .	52
9	Langsiktig vurdering av energiresurser . . . . .	53
10	Langsiktig vurdering på ukensnivå . . . . .	55
11	Analyse med timesverdier . . . . .	55
12	Maks innmatet og maks forbrukseffekt . . . . .	57
13	Uendelig batteristørrelse . . . . .	61
14	Lagret energi for 500kWh og 1000kWh batteri . . . . .	64
15	Effektstyring . . . . .	72
16	Verdier for de ulike kriteriene gitt i fase 1 . . . . .	80
17	Systemgrenser rangert etter kriteriene . . . . .	80
18	Samlet data for PHB + BI + BK15 + Buss med driftsalternativ plusskunde 100kW . . . . .	81
19	Original . . . . .	A-4
20	Plusskundeavtale 100kW og 500kW . . . . .	A-5
21	Batteri 500kWh og 1000kWh . . . . .	A-6
22	Plusskunde og batteri . . . . .	A-7
23	Batteri og plusskunde optimalisert . . . . .	A-8
24	Inntekter for et år . . . . .	A-9
25	Netto nåverdi med 25års levetid . . . . .	A-10

## Begrep og ordliste

PHB	Powerhouse Brattøra
BI	Handelshøyskolen BI
BK15	Brattørkaia 15
Buss	Bussladestasjon
IEC	International Electrotechnical Commission
REN	Rasjonell Elektrisk Nettvirksomhet
NEK	Norsk Elektroteknisk Komite
NVE	Norges vassdrags- og energidirektorat
NOK	Norske kroner
POC	Tilkoblingspunkt for mikronett (Point of common coupling)
FoL	Forskrift om Leveringskvalitet
KILE	Kostnad ikke levert energi
Mikronett	Et lokalt kraftnett med distribuerte energikilder og laster innenfor klare definerte elektriske grenser.
Isolert mikronett	Mikronett uten tilkobling til ovenforliggende nett
Tilkoblet mikronett	Mikronett med tilkobling til ovenforliggende nett
Øydrift	Et tilkoblet mikronett som i øyeblikket er frakoblet ovenforliggende nett
Konsesjon	Tillatelse gitt fra en offentlig myndighet
Plusskunde	En sluttbruker som kan levere overskuddsproduksjon til kraftnett uten konsesjon
Systemgrense	Fysisk grense for hvor mikronettet skal være.
Driftsmetode	Metode mikronett kan opereres på, for eksempel med batteri, plusskunde osv.
Overskuddsenergi	Energi som ikke blir brukt av egne laster i det øyeblikket den blir produsert
Overskuddsproduksjon	Energi som ikke blir brukt av egne laster i det øyeblikket den blir produsert

# Del I

# Innledning

## 1 Innledning

### 1.1 Motivasjon

I Europa er det en økende interesse for bruk av fornybar energi. Det er en stor økning i bruken av solcellepanel på hustak ettersom solcellepanelene begynner å bli billigere. Også i Norge er det økt interesse for å ha egen produksjon, og ved hjelp av plusskundeavtalen kan privatkunder levere strøm til kraftnettet [12]. Denne nye distribuerte energiproduksjonen gir nye utfordringer for dagens kraftnett siden kraftnettet er dimensjonert for distribusjon av energi i en retning. Ved distribuert energiproduksjon går energien nå i begge retninger, og dette kan være utfordrende for kraftnettet [13]. I tillegg til dette begynner deler av kraftnettet å bli klart for å fornyes [14]. Noen områder trenger dyre oppgraderinger for å kunne levere en relativt liten mengde energi.

Ved å opprette et mikronett kan noen av disse utfordringene løses. I et mikronett er det distribuert energi i samhandling med kundenes laster og distribusjonsnett. Mikronettet er et smart kraftnett. Det kan handle uavhengig av det ovenforliggende kraftnettet og energiselskapene, men kan også samarbeide for å løse dagens utfordringer. Et mikronett kan styrke leveringssikkerheten i et område, hindre dyre oppgraderinger i nettet og minske belastningene for ovenforliggende nett ved distribuert energi.

En av de store utfordringene i dag er at det norske lovverket ikke er tilpasset et slikt system. Det norske lovverket ble skrevet for å fremme få, store og lønnsomme kraftverk [15]. Dette hindrer utbyggingen av mikronettet som et smart og samhandlende kraftnett. Denne oppgaven vil se på noen av de utfordringene som lovverket gir, og hvordan dette hindrer et økonomisk lønnsomt mikronett.

### 1.2 Problemstilling

Opgaven ser på ulike løsninger for hvordan mikronett kan designes og integreres i urbane strøk. Spesielt vil det bli sett på i hvilken grad dagens juridiske rammevilkår påvirker løsningene og om rammevilkårene fremmer samfunnsøkonomisk effektivitet. Det vil bli gjort et casestudie for å se på ulike konsepter for tilknytning hvor de teknisk-økonomiske og regulatoriske konsekvenser vil bli belyst. Det blir sett på ulike systemgrenser og ulike driftsmetoder og hvordan disse kan påvirke den økonomiske lønnsomheten i prosjektet.

### 1.3 Metoder og verktøy

For å kunne undersøke hvordan et mikronett kan designes og integreres i urbane strøk må et mikronett planlegges. Det vil først bli laget en metodikk for hvordan et mikronett kan



planlegges, før det vil bli gjennomført et casestudie.

Oppgaven vil inneholde tre deler:

- Innledning og introduksjon
- Metodikk
- Case

Innledning og introduksjon vil gi en kort innføring i mikronett, lover og regelverk. I metodikken vil det være en fremgangsmåte for hvordan et mikronett bør planlegges. Metodikken er delt opp i fire deler. I caset vil den samme metodikken bli gjennomført for et område på Brattørkaia i Trondheim. Til slutt vil det være en diskusjon for å se hvordan reguleringer kan påvirke den økonomiske lønnsomheten, og om det er samfunnsmessig rasjonelt å bygge mikronett. Målet er at caset vil vise noen av de utfordringene som ligger i dagens regelverk.

For å gjennomføre casestudiet med ulike beregninger er MATLAB benyttet. All kode brukt i denne oppgaven er egenlaget for dette formålet.

## 2 Introduksjon

### 2.1 Mikronett

Et mikronett er et lokalt kraftnett. De elektriske grensene i et mikronett kan sammenlignes med en øy, der vannet rundt øyen gir klare grenser for hvor de elektriske grensene går, og hvor den ene broen over til land representerer tilkobling til ovenforliggende nett. På denne øyen er det forskjellige laster og produksjon av energi basert på fornybare energikilder. Det er et mål om at et slikt mikronett skal kunne opereres selvstendig sett ut fra resten av kraftnettet. I litteraturen finnes forskjellige definisjoner av mikronett. Felles for definisjonene er at et mikronett kan defineres ut i fra funksjon og oppførsel, og ikke ut i fra størrelse [16].

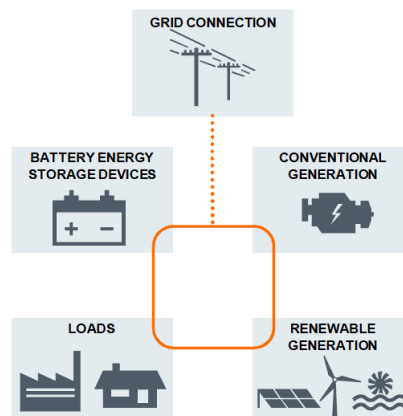
#### 2.1.1 Definisjon av mikronett

Basert på definisjonene i litteraturen [16–18] er denne definisjonen brukt i denne masteroppgaven:

Et mikronett er et kraftnett basert på distribuerte fornybare energikilder og sammenkoblede laster innenfor klare definerte elektriske grenser. Mikronettet er enten isolert fra kraftnettet, eller kan opereres i både øydrift eller tilkoblet drift. Fra distribusjonsnettet vil mikronettet sees på som en kontrollerbar enhet, altså en nettkunde.

#### 2.1.2 Oppbygging av et mikronett

I figur 1 er mulige komponenter i et mikronett presentert. De to viktigste bestanddelene i mikronettet er laster og distribuert energiproduksjon. I tillegg kan batteri og andre energiressurser som for eksempel dieselgeneratorer hjelpe mikronettet med å opprettholde leveringskvaliteten i tider når det er lite fornybar energi [2].



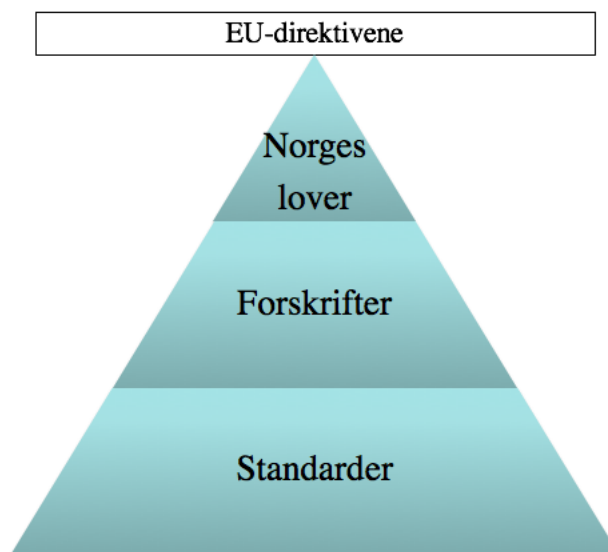
Figur 1: Mikronettets komponenter [1]

## 2.2 Lovverk i Norge

Denne planleggingsmetodikken tar med rammevilkår for mikronett. Rammevilkår kan være forskjellig i ulike land. I denne planleggingsmetodikken er rammevilkårene for mikronett i Norge sett på. For å kunne forstå hvor rammevilkårene kommer fra kan det være nyttig med en kort innføring i lovverket som gjelder for Norge.

### 2.2.1 Hierarki

Rammevilkårene i Norge er basert på et hierarki. De rammevilkårene som ligger lengre ned i hierarkiet må følge de rammevilkårene som er høyere oppe for å være gyldige. En oversikt over hierarkiet er vist i figur 2. Øverst i hierarkiet ligger Norges lover som er vedtatt av Stortinget. Under lovene ligger forskriftene som skal utfylle lovene. De kan spesifisere kravene som lovene regulerer [19]. Forskriftene er utarbeidet av andre instanser enn Stortinget, som i energisektoren hvor Norges vassdrag- og energidepartement (NVE) er ansvarlig. Disse forskriftene er juridisk bindende på samme måte som lovene [20]. For å klare å følge lover og forskrifter på en god måte er det utarbeidet standarder. Ved å følge en standard godkjent av NEK i Norge skal produktet være godkjent etter norske lover. I tillegg til disse rammevilkårene som er bestemt i Norge er Norge gjennom sin EØS-avtale pålagt å følge direktiver gitt av EU. Disse overgår da lovene i hierarkiet [21].



**Figur 2:** Hierarki for lover, forskrifter og standarder

### 2.2.2 Lover med betydning for mikronett

Det er en rekke lover som kan ha innvirkning på rammevilkårene for mikronett i Norge. Lover av interesse for planlegging av mikronett er gjengitt i tabell 1. Disse 12 lovene er gitt i Norges lovverk, og omfatter alt fra spesifikke deler av det elektriske anlegget til bruk av områder der det ferdes rein. Disse vil i forskjellig grad ha en påvirkning på planleggingen av mikronettet [22].

**Tabell 1:** Lover av interesse for planlegging av mikronett [9, 10]

Navn på lov	Spesiell interesse:
Energiloven	Anleggskonsesjon. Områdekonsesjon Leveringsplikt Tilknytningsplikt Organisatoriske prinsipper
Plan og bygningsloven	Plandelen (§§3-1 - 5-6) §20-6 Unntak fra søknadsplikt for visse tiltak som behandles etter andre lover
Veglova	§32: Regler om nærføring ved elektriske kabler med mer §57: Regler om graving, sprenging osv. ved offentlig vei §29 og §30 Regler om byggegrense til offentlig vei
Jernbaneloven	§10: Behov for avtale med "kjøreveiens eier" ved nærføring av kabler med mer. Rettigheter etter denne bestemmelsen kan eksproprieres.
Tinglysingsloven	Regler knyttet til tinglysning av dokumenter knyttet til fast eiendom Tinglysning av rettigheter til linjer, kabler og nettstasjoner på annen matts grunn
Kulturminneloven	Vern og sikring av kulturminner og kulturmiljø Må ivaretas ved arbeid i eller på grunnen
Servituttloven	Sentrale bestemmelser er i første rekke §§ 5-8.
Oreigningslova	Tvangsmessig erverv av annen matts eiendom og rettigheter over annen matts eiendom (ekspropriasjon) §2: Oreigningsinngrep kan settes i verk hvis det trengs til/for varmekraftverk, vindkraftverk, kraftlinjer, transformatorstasjoner og andre elektriske anlegg.
Skjønnsprosessloven	Prosessuelle regler knyttet til rettslige skjønn Verdsettelse av eiendom/eiendomsinngrep
Ekspropriasjonserstatningsloven	Prinsipper som skal anvendes når ekspropriasjonsinngrep vedtatt med hjemmel i oreigningsloven skal verdsettes
Reindriftsloven	Sikre bærekraftig utnyttning av reinbeiteressursene i og utenfor reindriftsarealene i de samiske reinbeiteområdene.
El-tilsynsloven	Sikkerhets- og elektriske forstyrrelseskrav for el. anlegg/utstyr. Krav om kvalifikasjoner til arbeidsutførende person.

### 2.2.3 Energiloven

Den viktigste loven for mikronett er energiloven. Det fulle navnet til energiloven er Lov om produksjon, omforming, overføring, omsetning, fordeling og bruk av energi m.m. I energilovens § 1-2.(Formål) står det [23]:

Loven skal sikre at produksjon, omforming, overføring, omsetning, fordeling og bruk av energi foregår på en samfunnsmessig rasjonell måte, herunder skal det tas hensyn til allmenne og private interesser som blir berørt.

Loven dekker store deler av alt som har med produksjon, overføring og bruk av energi å gjøre og er derfor en veldig viktig lov for mikronett. De mer spesifikke kravene relatert til energiloven er regulert av forskriftene. Noen av de relevante forskriftene som ligger under energiloven er [20]:

- Forskrift om produksjon, omforming, overføring, omsetning, fordeling og bruk av energi m.m. (energilovforskriften)
- Forskrift om elektriske forsyningsanlegg
- Forskrift om elektriske lavspenningsanlegg

- Forskrift om leveringskvalitet i kraftsystemet (FoL)
- Forskrift om økonomisk og teknisk rapportering, inntektsramme for nettselskaper, nettvirksomheten og tariffer
- Forskrift om måling, avregning og samordnet opptreden ved kraftomsetning og fakturering av netjtjenester

## Del II

# Metodikk

Denne masteroppgaven omhandler planleggingsmetodikk for et mikronett. Ved å lage en planleggingsmetodikk lages en oppskrift på hvordan en skal gå fram for å planelegge et mikronett.

Denne oppgaven tar utgangspunkt i IEC sin planleggingsmetodikk [17] og SINTEFs Planleggingsbok for kraftnett [24]. I tillegg har masteroppgaven ”Planlegging av mikronett” av Mariell Hermansen [25] og prosjektoppgaven ”Planleggingsmetodikk for mikronett på øyer og i grisgrente strøk i Norge” av Katrine Utvik [26] vært en inspirasjon.

Metodikken som er laget for denne oppgaven er delt i fire faser, hvor hver del har fokus på ulike deler av planleggingen. En oversikt over fasene kan sees i figur 3. Den første fasen er etablering av forutsetninger. Her vil alle faste aspekt for etableringen av et mikronett bli funnet. Fasen skal gi et grunnlag for å si hvor og hvor mye energiresurser som er mulig å ha i mikronettet. I tillegg vil fasen finne ulike systemgrenser gitt av området. I fase 2 skal energiresurser velges, og det skal sees på energibalansen i mikronettet. Også ulike driftsmetoder som påvirker energibalansen kan bli evaluert her. I fase 3 blir de tekniske kravene sett på og vurdert, mens fase 4 skal gi en helhetlig vurdering av de ulike alternativene som er for mikronett.

I fase 1 blir det satt opp ulike systemgrenser for mikronettet, og i fase 2 blir det satt opp ulike energiresurser og driftsmetoder. De ulike sammensetningene av disse kalles alternativ for mikronett. I hver av fasene blir de ulike alternativene evaluert opp mot krav eller ønsker. Om alternativet ikke er godkjent blir det forkastet eller modifisert.

### Fase 1 - Etablering av forutsetninger

- Motivasjon
- Målsetninger, kriterier og restriksjoner
- Områdeoversikt
- Lastanalyse
- Energiressursanalyse
- Energilagring
- Konesjonsplikt
- Energipriser
- Egenforbruk
- Nabolagsoversikt

### Fase 2 - Valg av energiressurser og driftsmetoder

- Valg av energiressurser
- Langsiktig evaluering
- Kortsiktig evaluering
- Driftsmetoder
- Kostnad og inntekt

### Fase 3 - Tekniske krav og analyser

- Tekniske analyser
  - Lastflytanalyse
  - Kortslutningsanalyse
- Tekniske krav
  - Distribuerte energiressurser
  - Tilkoblingspunkt
  - Distribusjonslinjer og kabler
  - Vern, kontroll- og kommunikasjonssystem

### Fase 4 - Evaluering av alternativ

- Forsyningsikkerhet
- Miljø og estetikk
- Integrasjon til ovenforliggende nett
- Økonomi
- Samfunnsmessig rasjonelt
- Usikkerhet
- Måloppnåelse
- Sluttdokumentasjon

**Figur 3:** Metodikk for planlegging av mikronett

## 3 Fase 1 - Etablering av forutsetninger

I fase 1 skal forutsetningene for prosjektet fastsettes. Denne fasen er et mulighetsstadium som skal fremlegge hvilke muligheter området for mikronettet gir og hvordan en ønsker at mikronettet skal være. Mål for fase 1 er:

- Ha oversikt over kriterier for mikronettet
- Fastsette område og eventuelle begrensninger
- Sette opp systemgrenser
- Fastsette konsesjonsplikt
- Oversikt over laster
- Oversikt over mulige energiresurser
- Oversikt over mulige energilagringsmuligheter














































### 3.1 Motivasjon


I dagens samfunn er det en økende bruk av distribuerte energikilder som solceller på taket og andre mindre energikilder. Dette gir en utfordring for kraftnett som ikke er dimensjonert for slik type bruk [13]. Ved å etablere et mikronett kan en minske belastningen på det ovenforliggende nettet ved bruk av distribuerte energikilder. For å vite hvordan en skal prosjektere mikronettet er det viktig å vite motivasjonen bak mikronettet. Fire hovedmotivasjoner for mikronett er [2]


- elektrifisering av et område
- miljø
- økonomi
- leveringssikkerhet


Figur 4 viser de ulike hovedmotivasjonene utfra hvor mikronettet skal etableres og hvilket bruksområde mikronettet skal ha.




	 Europe	 North America	 Latin America	 Asia Pacific	 Africa
Commercial and industrial	 	 			
Government institutions and campuses		 			
Community	 	 		 	
Remote villages				 	 
Islands	 	 			
Remote mines and constructions	 	 	 	 	 
Military		 			

 Electrification

 Environment

 Cost

 Reliable & secure power supply

**Figur 4:** Hovedmotivasjon for mikronett [2]

### 3.1.1 Typer mikronett

Bruksområdene til et mikronett kan også bli klassifisert som forskjellige typer mikronett. Ved å klassifisere ulike typer mikronett kan man forenkle prosedyrene ved planlegging av mikronettet [17]. For å kunne dele opp i ulike typer mikronett er det viktig å vite hva som er formålet med mikronettet. Behovet kan være forskjellig utfra om en skal se på spenningskvalitet eller kostnader. Inndelinger kan varieres med hensyn på lokasjon, størrelsesorden på energibruk og størrelse på området i folketall og areal. En oppdeling kan være å dele det opp i fire kategorier [13]:

- **Institusjonsmikronett:** Tilknyttet kraftnett, og er typisk et universitetsområde, fengsel eller militært område. Hovedsaklig for å gi stabil krafttilførsel og sikkerhet ved strømbrydd.
- **Off-grid mikronett:** Øyer, avsidesliggende områder og andre steder som ikke har tilkobling til det overordnede strømnettet
- **Nanogrid:** Et lite kraftnett med kapasitet til å operere selvstendig, for eksempel en bygning. (Plusskunde)
- **”Community microgrid”:** Tilknyttet strømnettet og forsyner flere sluttbrukere. Hovedmotivasjon kan være miljø og økonomi.

### 3.1.2 Driftstilstander

Et mikronett kan være bygd på to måter. Enten er det et helt isolert og selvstendig kraftverk uten tilknytning til ovenforliggende nett, eller så har mikronettet en tilkobling til distribusjonsnettet. Når mikronettet har en tilkobling til distribusjonsnettet kan det driftes i to tilstander, tilkoblet drift og øydrift [17].

I tilkoblet drift fungerer mikronettet som et hvilket som helst annet kraftnett og tilkoblingen til distribusjonsnettet brukes. Det spesielle med et mikronett er at det blir sett på som en enkelt nettkunde sett fra distribusjonsnettet sin side. Dette kan bety at mikronettet blir en kontrollerbar enhet som blant annet kan levere energi til nettet ved behov.

Ved øydrift er mikronettet ikke tilkoblet til distribusjonsnettet. Dette kan være av ulike grunner, som for eksempel at det er en feil på distribusjonsnettet. I disse tilfellene ville gjerne området der mikronettet er lokalisert vært uten strøm om det ikke hadde vært oppdrettet et mikronett. For et mikronett er det ingen tall på hvor lenge man skal klare å opprettholde øydrift uten at man må prioritere laster. Mikronettet kan ha batterikapasitet til å levere energi til lastene i området i lengre tid, selv om det ikke klarer å produsere nok effekt over den bestemte tidsperioden.

Ved isolert drift er det ingen fysisk kobling til distribusjonsnettet. Dette vil si at mikronettet selv er ansvarlig for leveringssikkerhet og leveringskvalitet i nettet. Dette vil typisk være aktuelt for områder som ligger langt unna all annet nettverk og energibehovet er lite. Ved å velge denne løsningen kan man spare kostnadene ved å koble til ovenforliggende nett.

## 3.2 Målsetning, kriterier og restriksjoner

For å finne best mulig løsning for mikronettet er det viktig å sette ned definerte mål og kriterier for mikronettet. Ved å lage målsetninger for hva man vil oppnå med mikronettet er det lettere å sette konkrete mål for hvordan mikronettet skal anlegges. De overordnede målene går gjerne på det samme som hovedmotivasjonene bak mikronettet:

- Mindre miljøpåvirkning
- Bedre elsikkerhet
- Økonomsik lønnsomhet
- Elektrifisere området

Det kan også være mer spesifikke mål bestemt for hvert enkelt mikronett, som for eksempel utnyttelse av en bestemt energiressurs eller bestemte estetiske mål. For å ta beslutningen av hvilket alternativ for mikronett som er det beste er det viktig å lage konkrete, målbare kriterier. Disse kan lages utfra målsetningene, og en kan bestemme hvor mye en vil at hvert enkelt kriterie skal vektlegges. I tillegg til kriterier er det viktig å få frem hvilke restriksjoner som gjelder for mikronettet.

### **3.3 Områdeoversikt**

En områdeoversikt er viktig i planleggingen av mikronett. I første omgang for å finne ut hvor systemgrensene i mikronettet kan være, men også for å finne ut hvilke ressurser og potensialer som ligger i området. Det er også viktig å kartlegge hva som allerede finnes i området, og hva som er planene for området i fremtiden.

#### **3.3.1 Ulike systemgrenser**

I noen mikronett defineres systemgrensene omtrent av seg selv, mens i andre områder kan det være vanskelig å vite hvilke systemgrenser som skal velges. Ved isolerte mikronett er gjerne grensene for mikronettet mer naturlig enn for tilkoblede mikronett. Det kan være utfordrende å vite hvor mange bygninger eller laster som er optimalt å ta med i mikronettet om mikronettet etableres i et område med mange bygninger. Det kan da være nyttig å etablere ulike systemgrenser og undersøke de ulike alternativene nærmere.

#### **3.3.2 Eksisterende nett**

For å finne ut hvordan området kan utvikles og hva som er nødvendig å anskaffe er det viktig å vite hva området allerede har av elektrisk infrastruktur. Dette kan være avgjørende for investeringskostnadene for mikronettet.

#### **3.3.3 Lovgivende begrensninger**

Området mikronettet skal etableres på kan ha begrensninger gitt av lovverket. Den viktigste delen å undersøke på dette tidspunktet er om lovverket gir begrensninger for bruk av arealet i området mikronettet skal anlegges. Det kan påvirke hvilke muligheter det er for fornybar energiproduksjon i området.

#### **Naturmangfoldloven**

Lov om forvaltning av naturens mangfold må tas hensyn til ved planlegging av mikronett. Naturmangfoldloven inneholder også rettslige virkemidler slik som artsforvaltning og områdevern [27]. RENblad 8004 og 8005 omhandler saksbehandlingsprosessen rundt dette [28].

#### **Kulturminneloven**

Kulturminner er beskyttet etter "Lov om kulturminner" og de kan deles i to hovedgrupper, registrerte og ikke-registrerte kulturminner. Alle spor etter menneskelig virksomhet før 1537 og samiske kulturminner som er eldre enn 100år er automatisk fredet. En oversikt over registrerte kulturminner kan finnes på [www.miljostatus.no](http://www.miljostatus.no). Uten definert sikringssone rundt kulturminnet er det en sikringssone på minst fem meter rundt kulturminnets yttergrense. Ikke-registrerte kulturminner er det ingen oversikt over, men alle kulturminner

er fredet på samme måte. Bygges det i områder med kulturminner er det viktig å avklare med kulturminnemyndigheten i tidlig fase. RENblad 8005 gir nærmere beskrivelse av saksbehandling i slike tilfeller. Ved overtredelse av kulturminneloven er det tiltakshaver som er ansvarlig og kan risikere strenge straffer [28].

## Reindriftsloven

Reindriftsloven gjelder i de samiske reinbeiteområdene. Den gir både regler om internforvaltning av reinbeiteområdet og regler om forholdet mellom reindriftsutøverne, og regler om forholdet mellom reindriften og omverdenen [29].

## 3.4 Lastanalyse

I et mikronett kan det være ulike typer laster, og de har ulik prioritet og fleksibilitet. I tabell 2 kan man se fire ulike lasttyper [30,31].

**Tabell 2:** Lasttype og deres karakteristikk

Lasttype	Krav til energitilgjengelighet	Eksempel:
Fleksibel last	Kan endre energibehovet til en viss grad momentant	Elektriske biler Oppvarming
Flyttbar last	Kan flyttes ved forhåndsplanlegging	Oppvaskmaskin, Tørketrommel
Ikke-fleksibel last	Må normalt være tilgjengelig	Lys Underholdning
Kritisk last	Må alltid være tilgjengelig	Nøddlys Varslingssystem

Fleksibel last er laster som kan endres når som helst. Lasten kan skrues av, eller minskes på øyeblikkelig varsel. Selv om denne type last er fleksibel kan den ikke sette ned lastbehovet over lang tid. Fleksibel last kan for eksempel være romoppvarming, varmtvannstank, i tillegg til lading av batteridrevne laster.

Flyttbare laster er laster som ikke må ha energiforsyning akkurat da, men som trenger den samme mengde energi innenfor et visst tidsrom. Når en slik last er planlagt og startet er den ikke lenger fleksibel. En slik type last kan flyttes til tidspunkt det er mer gunstig. For eksempel kan vaskemaskinen begynne å vaske kl 19.00 i stedet for 17.00. Denne gruppen med laster er relativt stor. Den omfatter vaskemaskin, oppvaskmaskin, tørketrommel og andre husholdningsmaskiner. Dette er maskiner som i dag gjerne kan styres med tidsur.

Ikke-fleksibel last er laster som ikke kan flyttes på. Det er energi som trengs her og nå av forbrukeren. Dette kan for eksempel være lys, tv, komfyr, datamaskin eller lignende. For å endre på disse lastene må forbrukeren tilpasse sine vaner [25].

Kritisk last er laster som trenger kontinuerlig energi, og som ville være skadelig eller svært uheldig om det ikke hadde strømforsyning. Dette kan for eksempel være nøddlyssystem,

alarmsystem eller datasystem som krever kontinuerlig energiforsyning. Slike type laster har gjerne egne backupsystem [31].

For områder som allerede eksisterer kan data fra tidligere år være nyttig for å finne energi og effektbehov. For nybygg må energibehovet estimeres. Dette kan gjøres ved hjelp av program som for eksempel SIMIEN [32] .

Lastprognoser er inndelt i langsiktige, mellomlangsiktige og kortsiktige prognoser. Langsiktige har varighet på et år og lengre. Mellomlangsiktige har varighet mellom en måned og et år, mens kortsiktige prognoser skal dekke timer, dager og ukentlige prognoser [17].

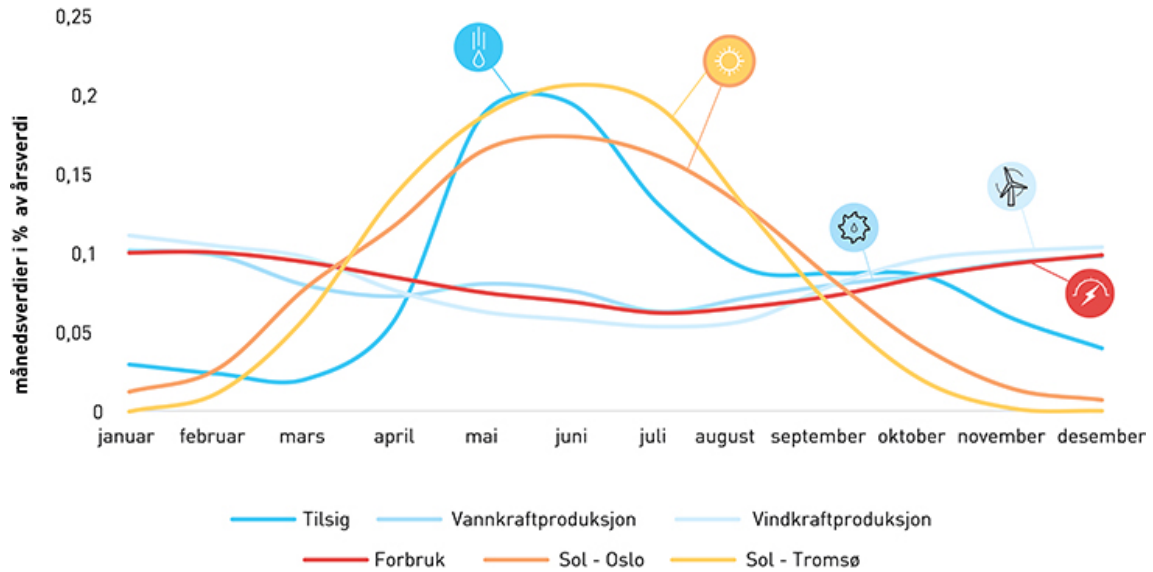
Langsiktige prognoser er nyttige for kapasitetsberegning og økonomisk beregninger og vurderinger. Her ser man på hvor mye energi det er forventet av systemet å bruke i løpet av året, og det er nyttig for å ha en overordnet bestemmelse av energibehov. Kortsiktige prognoser gir informasjon om topplast og daglig og ukentlig systemlast. Disse brukes til å planlegge optimal energibalanse i mikronettet [26].

### 3.5 Energiressurser

I definisjonen av mikronett i denne oppgaven skal mikronett baseres på fornybare energiressurser. Derfor vil det bli fokusert på fornybare energiressurser i denne oppgaven. Det kan regnes med tre hovedkilder som er aktuelle i et mikronett:

- Sol
- Vind
- Vann

De fornybare energikildene kan også deles i to kategorier, regulerbare og ikke-regulerbare kilder. Sol og vind er ikke-regulerbare og vann og drivstoff kan regnes som regulerbare. Figur 5 viser de ulike fornybare ressursene sin årsprofil. Vannkraft har størst tilsig i sommermånedene, men regulerer produksjonen til å være størst i vintermånedene for å dekke behovet [3]. Vindkraft og solproduksjonen er ikke-regulerbar og må brukes i det tidspunktet det produseres.



**Figur 5:** Årsprofil for ulike energikilder [3]

For hver energiressurs kan det være nyttig å vite følgende:

- Hvordan utnyttes energikilden
- Hvordan ser årsproduksjonen ut
- Hva påvirker energiproduksjonen
- Hvilke utfordringer gir energikilden

### 3.5.1 Sol

Solkraft kan utnyttes som energikilde både gjennom termisk energi og fotonpotensialet. Ved å bruke solceller omgjøres sollys til elektrisk energi. Solfangere utnytter den termiske energien i sollyset og kan for eksempel brukes til oppvarming av boliger.

Solkraft har størst effekt om sommeren, og lavere om vinteren som man kan se i figur 5. Profilen endrer seg også utfra hvor i landet man befinner seg. I nord er det lavere produksjon på sommeren enn i sør, men til gjengjeld mer produksjon på vinteren.

Energiproduksjonen påvirkes av

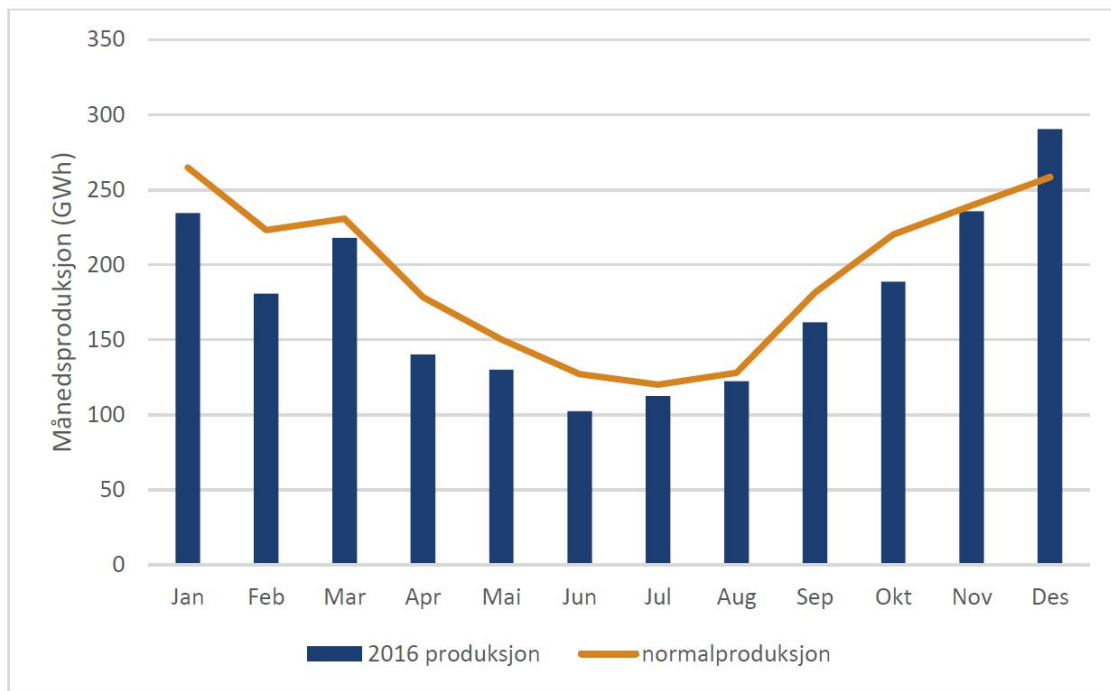
- solinnstrålingens intensitet
- årstid, døgn og time
- lokale værforhold

Hovedutfordringene ved integrasjon av solcellepanel er spenningsvariasjonene ved varierende produksjon og de harmoniske strømmene forårsaket av kraftelektronikk [33]

### 3.5.2 Vind

Vind kan utnyttes som elektrisk energi ved at vinden skaper en rotasjon av turbinblader i en vindturbin.

Årsprofilen til vindkraft viser høyere produksjon i vintermånedene og lavere på sommeren som visst i figur 6. Dette gjør at vindkraft og solkraft utfyller hverandre bra med høyest produksjon på ulike tider av året.



Figur 6: Årsprofil for vindkraft i Norge [4]

Energiproduksjonen påvirkes av

- vindhastighet
- vindretning

Hovedutfordringen ved integrasjon av vindkraft er de samme som ved integrasjon av solceller. Den er vanskelig å forutse, ustabil og kan dermed føre til spenningsvariasjoner [33].

### 3.5.3 Vann

Det er flere ulike metoder å utnytte vann som energikilde. De mest kjente er vannkraft, bølgekraft og tidevann. For et mikronett som er på land er vannkraftverk det mest aktuelle.

Ved å utnytte den potensielle stillingsenergien i vannet kan et vannkraftverk produsere elektrisk energi ved at vannet skaper rotasjon av turbinblader tilkoblet en generator.

Energiproduksjonen påvirkes av

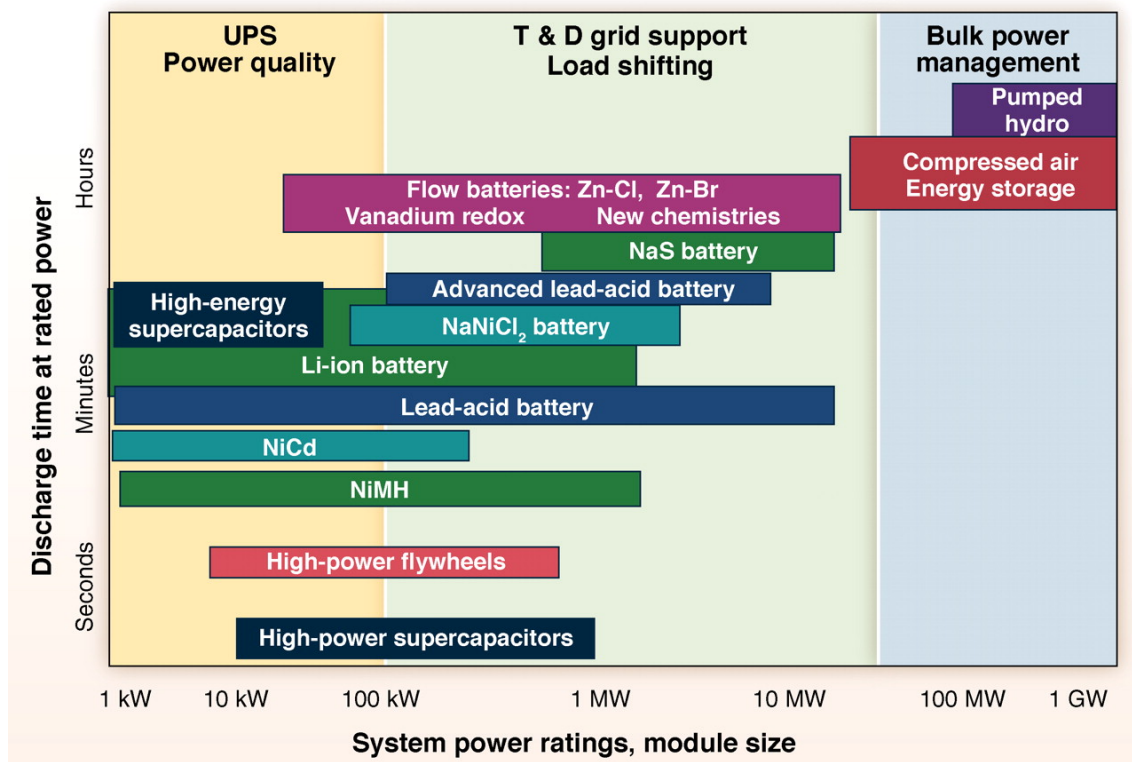
- fallhøyde
- magasin størrelse
- tilsig

I et mikronett er små vannkraftverk mest aktuelle. De er ofte etablert i bekker og mindre elver uten reguleringsmagasin. Da er energikilden like uforutsigbar som solkraft og vindkraft, og kan skape noen av de samme utfordringene for mikronettet. Det kan være en stor fordel å ha et magasin i vannkraftverk knyttet til mikronett [25].

### 3.6 Energilagring

Det finnes en rekke ulike teknologier for energilagring, og valg av teknologi er avhengig av bruksområde. Noen energilagringsteknologier er trege, men har høy kapasitet på mengde energi lagret, mens andre er raske, men har en liten kapasitet. Energilagring er viktig i et mikronett for å øke forsyningssikkerheten i isolerte mikronett. For tilkoblede mikronett kan energilagring hjelpe til med å maksimere økonomisk profitt og sikre energiforsyningen under øydrift.

For mikronett regnes batterier, svinghjul, superkondensatorer og hydrogenlagring med brenselcelle som fire gode teknologier for energilagring [34]. svinghjul og superkondensator er passende for kortvarig energilagring og kan bidra til høy effekt. Batteri og hydrogenlagring kan lagre mer energi og kan brukes over en lengre periode. En oversikt over de ulike energilagringsteknologiene kan sees i figur 7



Figur 7: Sammenligning av ulike energilagringsteknologier [5]



### 3.6.1 Svinghjul

Svinghjul er en mekanisk lagringsenhet som lagrer kinetisk energi i form av roterende masse. Ved å ha et stålhjul koblet til en maskin som kan operere i både generator- og motormodus kan hjulet lagre energi ved overskuddsenergi og fungere som en generator ved underskudd av energi. Svinghjul har høye friksjonstap og egner seg ikke til lagring over lengre tid. Det brukes som korttids energikilde med høy effekt [35].

### 3.6.2 Superkondensator

En superkondensator er en elektrokjemisk lagringsenhet som lagrer energi i to kondensatorer skilt av et elektrisk dobbeltlag. Superkondensator brukes som korttids energikilde med høy effektkapasitet [36].

### 3.6.3 Batteri

Batteri lagrer energi i elektrokjemisk form. I batteri er det battericeller som kan kobles sammen i serie eller parallell for å få ønsket karakteristik på spenningsnivå og lagringskapasitet. Batteri lagrer likestrøm og trenger omformer for å være tilkoblet mikronett. Det finnes mange ulike typer batterier som bruker ulike materialer, som for eksempel blybatteri og litiumbatteri. Batterier blir målt etter spesifikk energi, som er kapasiteten i batteriet delt på vekt, og spesifikk effekt, som er den nominelle effekten delt på vekt. Ufra valgt karakteristik kan batteri ha både høy effektkapasitet og høy energilagring [5].

### 3.6.4 Hydrogen

Hydrogen er en kjemisk lagringsmetode. Hydrogen blir dannet ved elektrolyse av vann og kan konverteres i en brenselcelle for å produsere elektrisk energi. Det kan lagres store mengder energi i hydrogen, og den kan brukes som en langtids energikilde [37].

## 3.7 Konesjonsplikt

Ved etablering av mikronett trengs det konesjonsplikt i henhold til Energiloven [23]. Et mikronett som skal levere energi til ovenforliggende nett kan bli klassifisert på to måter:

- Plusskunde
- Kraftleverandør

I denne oppgaven vil det primært bli sett på tilkoblede mikronett med en uavhengig eier av mikronettet. For isolerte mikronett kan vilkårene for konesjoner være litt annerledes selv om det er mye som er likt. Mer om konesjoner for andre tilfeller kan sees i prosjektoppgaven Rammevilkår for mikronett [22].

I henhold til energiloven er det to ulike konesjoner som er aktuelle for driften av et mikronett:

- Konsesjon for drift av fysisk anlegg
- Konsesjon for salg av energi

I §3 i energiloven står det:

Anlegg for produksjon, omforming, overføring og fordeling av elektrisk energi, kan ikke bygges, eies eller drives uten konsesjon. Det samme gjelder ombygging eller utvidelse av bestående anlegg [23].

Anlegg kan dermed ikke bygges, eies og drives uten konsesjon. Konsesjon for elektriske anlegg heter anleggskonsesjon og må søkes for hver gang et nytt elektrisk anlegg skal etableres. Formålet er å ha kontroll på om anlegget som skal etableres er samfunnsmessig rasjonelt [15]. I energilovforskriften §3-1 gis det unntak for anleggskonsesjon for kundespesifikke anlegg i [38]. Produksjonsanlegg som solcellepanel kan gå som kundespesifikke anlegg. Nettselskap i et område innehar en områdekonsesjon. Denne innebærer at de kan bygge og drifte de anlegg som trengs for å fordele elektrisk energi innad i sitt område. De slipper da å søke om individuell anleggskonsesjon for hvert enkelt anlegg [15].

Konsesjon for salg av energi kalles for omsetningskonsesjon. Den skal fremme et effektivt kraftmarked. Det er ulike konsesjonstyper utfra hvilke formål den skal gjelde for.

### 3.7.1 Plusskundeavtale

Plusskundeavtalen ble laget av NVE for å oppmuntre til installasjon av lokal produksjon. En plusskunde er i følge definisjonen fra 1. januar 2017:

Sluttbruker med forbruk og produksjon bak tilknytningspunkt, hvor innmattet effekt i tilknytningspunktet ikke på noe tidspunkt overstiger 100 kW. En plusskunde kan ikke ha konsesjonspliktig anlegg bak eget tilknytningspunkt eller omsetning bak tilknytningspunktet som krever omsetningskonsesjon [12].

Dispensasjonsordningen skal forenkle lovverket for plusskunder. NVE forutsetter at produksjon i hovedsak er ment for å dekke eget forbruk. Siden lovverket opprinnelig er laget for få og store kraftprodusenter er det vanskelig og dyrt å følge for små kraftprodusenter. Ved å bruke plusskundeavtale vil plusskunden være som en vanlig sluttbruker hos netteieren, med unntak av at den innimellom innmater effekt på nettet. Ordningen gir fritak for konsesjonsplikt for kraftproduksjon. Plusskunden kan ikke levere elektrisk energi til andre sluttforbrukere [12].

Ved anleggelse av et mikronett med plusskundeavtale skal det være samme juridiske eier av anlegget sett fra netteier sin side, altså et tilknytningspunkt. Dette innebærer at for eksempel borettslag kan bli en slik kunde. I tillegg så åpner NVE for at boligselskap med flere enkeltmålere også kan benytte seg av plusskundeavtalen [39]. Det er en tolkning hos NVE at anlegget ikke kan gå over annen manns eiendom for å kunne bli akseptert som en plusskunde. Dette innebærer at to eiendommer som ikke er direkte tilknyttet ikke kan være en plusskunde om elektrisk utstyr må gå over andres eiendom. Ellers så har en eier lov til å koble sine eiendommer sammen til et enkelt tilknytningspunkt [40].

For omsetning innad i et mikronett som er anlagt ved hjelp av plusskundeavtalen kommer det an på hvem som er eierene av anlegget. Med flere eiere av anlegget kan eierene

få fratrekk fra sin andel produsert energi på strømregningen. For utleiery som eier produksjonsanlegg står utleier fritt til å omsette energi etter fritak for omsetningskonsesjon i henhold til energilovforskriften [38].

### 3.7.2 Kraftleverandør

Som ordinær kraftleverandør er det krav om konsesjoner. Mikronettet vil da trenge både anleggskonsesjon og omsetningskonsesjon. Ved å bruke denne løsningen kan det være flere ulike eiere og driftsansvarlige i mikronettet.

Som anleggskonsesjon kan det enten søkes om å få være områdekonsesjonær i det området som mikronettet skal opprettes i, eller så må anleggskonsesjon søkes om for alle anlegg som ikke er til forbruk hos sluttkunde.

Det er finnes flere ulike typer omsetningskonsesjoner. En oversikt over disse kan finnes i tabell 3. Den mest aktuelle konsesjonen for et mikronett er konsesjon på forenklete vilkår. Denne konsesjonen gis ofte til industrivirksomhet og eiendomsselskap med et lavt antall kunder. Ved å benytte seg av forenklete vilkår unntas en fra del 2 og 4 i kontrollforskriften. Disse delene er de mest fordyrende for små kraftverk. En må fremdeles ha balanseavtale, enten med Statnett direkte, eller via en balanseansvarlig. Balanseavtalen skal sørge for at anskaffelser og forpliktelsersamsvarer fra time til time [11]. Ved å benytte denne ordningen er mikronettet omfattet av omsetningskonsesjonen og må følge omsetningskonsesjonens regler i forbindelse med kjøp og salg av energi.

**Tabell 3:** De ulike typene omsetningskonsesjoner perioden 2015-2018 [11]

Type konsesjon	Virkeområde/virksomhet til konsesjonær
Omsetningsvirksomhet	Selskaper som har omsetning og/eller kraftproduksjon.
Forenklete vilkår	Selskaper som har kraftproduksjon med årsproduksjon under 1GWh og/eller konsesjonspliktig virksomhet av begrenset omfang.
Kommune	Kommuner som videreselger konsesjonskraft til energiverk hvor de ikke har eierandeler.
Nettvirksomhet	Selskaper som eier fordelings- og eller overføringsnett som og/eller har omsetningsvirksomhet.
Nettvirksomhet i konsern	Ved sammenslåinger, kjøp/oppkjøp, annen ervervelse eller etablering hvor både nettvirksomhet og konkurranseutsatt virksomhet er involvert, kan NVE stille krav til organisering. En løsning som NVE har akseptert er en konsernorganisering hvor monopolvirksomheten organiseres i et eget datterselskap.
Utenlandske foretak	Utenlandsk foretak som vil drive kraftomsetning i Norge.

## 3.8 Energipriser

Energiprisene som gjelder i området hvor mikronettet skal anlegges kan si noe om hvilke kostnader og inntekter mikronettet vil få. I et isolert mikronett er energiprisene i markedet

mindre viktig siden mikronettet ikke er tilkoblet markedet med mulighet for å kjøpe og selge energi, mens for et tilkoblet mikronett kan energiprisene være avgjørende for om det er lønnsomt eller ikke å anlegge mikronettet.

Energiprisene er delt opp i tre deler:

- Nettleie
- Strømpris
- Salgspris

Nettleie er betaling for bruk av infrastrukturen som fører energien til sluttbruker. Nettleien bestemmes av områdekonsesjonær, som er forpliktet til å følge strenge reguleringer for hvilke inntekter de kan ha [22]. Nettselskapenes utforming av nettleie er regulert med hjemmel i energiloven. I tråd med formålet i energiloven er det et mål at nettleien så langt som mulig utformes slik at de bidrar til en effektiv ressursbruk på kort og lang sikt [41]. Nettleien kan være ulike utfra hvilken type kunde det er. Skillet går ofte på om det er privat- eller bedriftskunde, i tillegg til størrelsen på hovedsikringen. Nettleien kan være delt opp i flere deler [42] :

- Fastledd - Gis per år. Avhengig av størrelse på hovedsikring [kr/år]
- Energiledd - Basert på energibruk [øre/kWh]
- Effektledd - Baseres på maks effekttopp i en gitt periode [kr/kW]
- Avgifter - Forbruksavgifter og MVA som faktureres sammen med nettleien

Fastledd, energiledd og avgifter er gjeldende for alle, mens effektleddet ofte blir brukt for større hovedsikringer. Denne avgiften skal bidra til en mer effektiv ressursbruk ved å motivere kundene til å bidra til mindre effekttopper.

I tillegg til nettleie må en betale for strømmen som blir forbrukt. Dette er styrt av konkurransemarkedet og det finnes mange ulike selskap man kan velge å kjøpe strømmen fra. Det finnes også mange ulike avtaler for kjøp av strøm med alt fra fastpris for en bestemt mengde strøm til å følge den gjeldende spotpris gitt av Nord Pool.

For salg av energi må en også betale nettleie, såkalte innmatingstariffer. Innmatingstariffen består av to deler:

- Energiledd - Bestemmes utfra innmatet effekt. Differensiert for ulike årstider.
- Andre tariffledd - Uavhengig av innmatet effekt. Baseres på midlere årsproduksjon.

Ved installert effekt under 1MW kan en få spesielle vilkår for andre tariffledd ved å ha omsetningskonsesjon på forenklede vilkår, og ved bruk av plusskundeavtale utgår dette leddet totalt [43].

### 3.9 Egenforbruk

Ved å være egen produsent av energi er egenforbruk og selvforsyning to viktige begrep. Egenforbruk angis av hvor mye forbrukt energi som blir dekket av egenprodusert energi, mens selvforsyning angis av hvor stor del av produsert energi som går til eget forbruk. Ved å forbruke energien selv trengs det mindre oppgraderinger på kraftnettet. Egenforbruk kan

økes ved å installere energilagringmetoder eller ved å tilpasse produksjonen til forbruket. Det kan for eksempel gjøres ved å vinkle solcellene slik at de får høyest solinnstråling når behovet for energi er høyest, selv om dette ikke nødvendigvis er den optimale vinklingen for mest mulig produsert energi [44].

For å lage gode alternativ til driftsmetoder og systemgrenser kan det være nyttig å se på fordelene en får av å øke egenforbruket versus å selge energien på nettet.

### **3.10 Nabolagsprofil**

For å se på mikronettet i en større sammenheng kan det være nyttig å se på nabolaget hvor mikronettet skal opprettes. Ved å ha et bilde av hvilken type laster som finnes i området kan en lettere se om mikronettet kan hjelpe lokale forhold eller om energien må transporteres ut av området. I tillegg kan det være nyttig for å se om det er enkelte laster som kan være interessante å inkludere i mikronettet.

## 4 Fase 2 - Bestemmelse av energiresurser og driftsalternativ

I fase 2 av planleggingen skal ulike driftsalternativ til løsninger bli evaluert. Etter denne fasen skal følgende være klart for hvert alternativet:

- Energiproduksjonsmetode
- Driftsmetode
- Mengde energi produsert
- Mengde energi forbrukt
- Mengde egenforbruk
- Kostnad og inntekt

### 4.1 Valg av energiresurser

I fase 1 ble det undersøkt hvilke energiresurser som finnes i området hvor mikronettet skal anlegges. I fase 2 skal det bestemmes hvilken type energiresurs og hvor stor produksjonsenhet en ønsker av de ulike ressursene. Ved å lage en tabell som tabell 4 kan man få en oversikt over ulike alternativ som er aktuelle for prosjektet.

**Tabell 4:** Oversikt over alternativ for kraftbalanse

	Alternativ 1	Alternativ 2	Alternativ 3	Alternativ 4
<b>Energiproduksjon:</b>				
Solcelle				
Vindmølle				
Små vannkraftverk				
<b>Energilagring:</b>				
Batteri				
Annet:				
<b>Laststyring</b>				

Ved analyse av kraftbalansen i mikronettet blir det simulert behov for energi og simulert levert energi av de valgte energiresursene. Dette blir da sett i sammenheng med hvilket behov mikronettet skal dekke. Om mikronettet er isolert skal kraftbalansen være i balanse, men om mikronettet er tilkoblet ovenforliggende nett må det bestemmes i hvor stor grad mikronettet skal kunne forsyne seg selv, og eventuelt i hvilke situasjoner dette skal være. Det er uansett nyttig å vite kraftbalansen i mikronettet.

## 4.2 Langsiktig evaluering

En langsiktig analyse av kraftbalanse ser på kraftbalansen over en lengre periode. I denne planleggingen vil det bli sett på årlig energibalanse. Ved å utarbeide prognoser for produksjon i forskjellige situasjoner kan årlig energiproduksjon kalkuleres. Typisk vil være å se på et typisk sommerdøgn, vinterdøgn, høstdøgn og vårdøgn. I denne analysen neglisjeres tap og dynamisk variasjon gjennom året. For årlig kraftbalanse blir ikke energilagring eller laststyring evaluert siden dette kun flytter energibruken til et annet tidspunkt. Det regnes med at dette forbruket flyttes innenfor året. Denne langsiktige analysen skal gi et bilde om alternativet som er funnet er en løsning som bør undersøkes videre, eller om det eventuelt trenger å gjøres endringer i valg av energiproduksjon.

Et isolert mikronett er avhengig av å være selvforsynt. Produksjonen årlig må da være større enn forbruket i området. Dette er visst i formel 4.1. Om summen av produksjon i de forskjellige teknologiene minus summen av all last i området er null eller større er det produsert nok energi i løpet av året, og alternativet kan gå videre til neste steg. Om ligningen ikke stemmer må nye alternativ for produksjon eller last utredes [26].

$$\sum_{i=1}^n W_{i,prod} - \sum_{i=1}^n W_{i,last} \geq 0 \quad (4.1)$$

hvor

$i$  tidsenhet

$W$  effekt

For et ikke-isolert mikronett trenger ikke produksjonen innad i mikronettet å dekke hele behovet for energi. Dekningsprosenten i mikronettet gies av formel 4.2. For ikke-isolerte mikronett er det vanskeligere å si noe konkret om størrelsesorden på produksjonsenhetene, da mikronettet ikke er avhengig av produksjonen for å kunne levere energi til lastene sine. En dekningsprosent vil i så måte kun si noe om andel levert energi, og kan brukes for å finne minimum dekningsprosent ønsket i mikronettet.

$$Dekningsprosent = \frac{\sum_{i=1}^n W_{i,prod}}{\sum_{i=1}^n W_{i,last}} \cdot 100\% \quad (4.2)$$

### 4.2.1 Årstidsevalueringer

I tillegg til vurdering på årnivå kan man med de samme verdiene si noe om hvordan energiproduksjonen ser ut i ulike årstider. Ved å bruke de samme formlene, men kun samle energi og produksjon for en uke for hver av de fire årstidene kan man få energibalansen gitt utfra årstid. Dette gir en fin indikasjon på om energiproduksjonen er jevn over året, eller om den har stor overproduksjon i noen årstider og underproduksjon i andre årstider. Hvis en bruker kun solceller som energiproduksjon er det typisk stor overskuddsproduksjon på sommeren, mens det er underskuddsproduksjon på vinteren. Ved anleggelse av isolerte mikronett er dette en viktig analyse, og om mikronettet ikke klarer å levere nok energi i

de ulike årstidene må energiresursene revurderes. For ikke-isolerte mikronett gir denne analysen et bilde på hvilken produksjonsprofil mikronettet får.

### 4.3 Kortsiktig evaluering

I kortsiktig kraftbalanseanalyse vil kraftbalansen over en kortere tidsperiode bli analysert. Det er her mål om å ta hensyn til timesvariasjoner i last og produksjon. I denne fasen blir løsninger som var tilfredsstillende i langsiktig analyse sett videre på. I analysen av kraftbalansen på kortsiktig tidsperiode blir ikke energilagring og laststyring vurdert, men denne analysen legger grunnlag for behov for energilagring og laststyring som vil bli analysert i neste ledd. I mikronettet kan det være både ikke-fleksibel produksjon og fleksibel produksjon. Fleksibel produksjon vil typisk være et dieselaggregat eller annen produksjon med drivstoff. Ved denne analysen er denne produksjonen på maksimalt, siden hensikten er å se hvordan mikronettet klarer å håndtere energitopper.

For et ideelt isolerte mikronett må produksjon per time kunne dekke last til en hver tid som visst i ligning 4.3. Uten å inkludere energilagring og laststyring vil dette være en veldig krevende oppgave, og vil mest trolig føre til en unødvendig høy produksjon. Ligning 4.4 vil vise kraftubalansen i mikronettet med både overskudd og underskudd av energi. Denne kraftubalansen kan reguleres ved hjelp av energilagring eller laststyring.

$$W_{i,prod} - W_{i,last} \geq 0 \quad (4.3)$$

$$W_{i,ubalanse} = W_{i,prod} - W_{i,last} \quad (4.4)$$

For ikke-isolerte mikronett gjelder de samme formlene som for isolert mikronett, men det er ikke krav om å kunne dekke forbruket til en hver tid. Ved uplanlagt frakobling kan det settes krav til at mikronettet skal klare å forsyne prioriterte laster i en viss tid, for eksempel 24 timer. Det er derimot vanskelig å si når et uplanlagt avbrudd oppstår. En løsning kan være å se på verste mulige tidspunkt og prosjektere for det. Det kan derimot være en dyr løsning, og om mikronettet ikke har som formål å øke påliteligheten og sikkerheten er det ikke sikkert at dette er det mest hensiktsmessige.

### 4.4 Ulike driftsmetoder

I tillegg til den enkle driften av mikronett med forbruk når energien produseres som evalueres i punktene over kan mikronettet driftes etter ulike metoder. Ulike metoder kan være bruk av:

- Plusskundeavtalen
- Batteriløsninger
- Laststyring
- Effektstyring



Disse metodene kan også kombineres i ulike sammensetninger. Ved å sette opp ulike alternativ for drift av mikronettet kan det sees på hvilke metoder som er best egnet for de kriterier som er gitt i fase 1. Det er viktig å finne ut hvilken informasjon som er nyttig for å kunne evaluere de ulike alternativene. Nyttig informasjon kan være:

- Egenforbruk av energi
- Salg av energi
- Kjøp av energi
- Overskuddsenergi
- Maks effektforbruk

#### 4.4.1 Plusskundeordning

Plusskunden er som beskrevet i fase 1 en ordning for å la forbrukere kunne selge energi ut på kraftnettet. I ordningen er det i dag 100kW grense for hvor mye energi som kan leveres på nettet. Ved overskuddsproduksjon kan plusskunden, som i dette tilfellet er mikronettet, selge resten av energien opptil 100kW per time for salgspris funnet i fase 1. Ordningen kan brukes på forskjellige måter, ved å prioritere salg eller prioritere egenforbruk av energien. Hvilken løsning som er best kommer an på energiprisene. Med dagens priser er den mest naturlige løsningen å prioritere egenforbruk først, for så å selge resten av energien for å maksimere inntekten gitt av energiproduksjonen i mikronettet.

#### 4.4.2 Batteriløsning

Ved å installere batteri i mikronettet kan man lagre energi til senere forbruk. Det finnes mange ulike måter å utnytte et batteri på når det kommer til energibalansen. Styringsalgoritmer for når batteriet skal lades og utlades kan være veldig enkle eller veldig avanserte. En enkel algoritme er at batteriet lades når det er overskuddsproduksjon, og utlades når det er underskuddsproduksjon. Andre algoritmer kan styre tidspunkt for lading og utlading. Det finnes også avanserte algoritmer som tar hensyn til værvarsel, batteristatus, energipris og annet for å kunne utnytte batteriet best mulig. I prinsippet vil batteriet fungere som en last når den trekker energi fra overskuddsproduksjonen og som en produksjonsenhet når det leverer energi til mikronettet.

#### 4.4.3 Kombinerte løsninger

For å utnytte produsert energi best mulig kan en kombinere de to tidligere metodene. Ved å bruke plusskundeordningen for å selge energi og batteriet for å lagre energi kan algoritmene optimeres for å få størst mulig inntjening. En enkel algoritme for en slik løsning er å selge energi når det er produksjon opp til 100kW, for så å lagre overskuddet i batteriet. Overskuddet i batteriet blir da kun brukt til eget forbruk. En annen algoritme kan være å selge overskuddsenergi opp til 100kW for så å lagre resten i batteriet. I timer det ikke selges 100kW kan batteriet mate ut slik at solgt energi er 100kW for alle timer inntil batteriet er tomt. Det finnes mange ulike algoritmer for hvordan en slik løsning kan brukes, og algoritmen bør tilpasses hvert enkelt tilfelle.

#### 4.4.4 Laststyring

Ved å benytte fleksibiliteten i forbruket funnet i fase 1 kan mikronettet simuleres med laststyring. I denne driftsmetoden kan forbruket flyttes fra tider hvor det er høy effektbruk, som midt på dagen, til tider hvor det er lav effektbruk. Dette kan minske belastningen på nettet og er således samfunnsmessig rasjonelt. For bygninger uten egen produksjon er en slik laststyring relativt enkel, siden det er ønske om å minske effekttoppene. I et mikronett med egen produksjon kan det være vanskeligere å vite hvordan produksjonen vil bli, og dermed klare å flytte lastene utfra produksjon. I verste tilfelle kan laststyring sørge for at man må strupe mer energi fordi lastene er flyttet fra et tidspunkt med overskuddsproduksjon. De ulike type lastene har ulik fleksibilitet. En oversikt over disse kan sees i tabell 5 [30].

**Tabell 5:** Fleksibilitet i laster

Kritisk last	Ikke flyttbar.
Ikke-fleksibel last	Ikke flyttbar. Kan ofres for å dekke kritisk last.
Flyttbar last	Kan flyttes til andre tidspunkt før den er satt i gang. Kan brukes til å balansere energibehovet i løpet av døgnet.
Fleksibel last	Kan justeres øyeblikkelig. Kan fungere som reservekraft i det øyeblikket det er nødvendig. Kan planlegges for å sette ned energibehovet over en kortere periode.

#### 4.4.5 Effektstyring

En annen metode for å hindre effekttopper kan være å bruke batteri. Ved å benytte kapasiteten i batteriet kan batteriet levere strøm når effekttoppene er størst, og således minske effekttoppene sett fra kraftnettets side. Også dette kan gjøres med ulike algoritmer, fra helt enkle algoritmer som lader batteriet når det er lavt forbruk og leverer energi når forbruket er over et visst nivå, til avanserte algoritmer som tar hensyn til vær og vind [45].

### 4.5 Kostnad og inntekt

Siste delen av denne fasen er å evaluere kostnader og inntekter gjennom et år ved bruk av de ulike løsningene. I denne fasen fokuseres det hovedsaklig på hvilke kostnader og inntekter mikronettet vil få i løpet av et år. Denne analysen er foreløpig for å gi et bilde om løsningene går med overskudd eller underskudd. Om løsningene ikke er lønnsomme kan det være nyttig å gå tilbake og se om det er mulig med andre alternative produksjonsmetoder.

Inntekten i mikronettet kommer fra to kilder, nettkundene i mikronettet og salg utenfor mikronettet. Løsning for hvordan kundene i mikronettet skal faktureres må være bestemt. Hvordan dette kan gjøres er avhengig av hvem som er eier av mikronettet. Ved mikronett som eies av en byggherre med leietaker er byggherre fritatt for omsetningskonsesjon og kan

selv bestemme hvordan energikostnader skal fordeles [38]. Hvis eier har omsetningskonsepsjon må den følge lovene gitt i denne. En løsning kan være å fakturere kundene på samme måte som de ville blitt gjort om de ikke var innlemmet i et mikronett. I boligselskap med felles solcellepanel og individuelle målere på hver husstand legges det opp til at hver boenhet kan få avskrevet sin del av produksjonen i den individuelle strømrregningen [39]. Inntektene fra salg av energi kan lett beregnes fra energiprisene funnet i fase 1. Utgifterne i mikronettet vil være kostnader til drift av mikronettet i form av drivstoff, som for eksempel diesel til dieselaggregat og kjøp av energi fra ovenforliggende nett.

Om det er mange ulike løsninger kan denne foreløpige analysen gi et hint om hvilke løsninger som bør vurderes videre, og hvilke som kan ligge på vent. Det er viktig å huske på at denne analysen ikke tar hensyn til ulike investeringskostnader for ulike alternativer. Det blir først gjort i fase 4.

## 5 Fase 3 - Tekniske krav og analyser

Denne fasen skal undersøke de ulike løsningene med hensyn på tekniske krav og analyser. Målet er å undersøke om de ulike løsningene er gjennomførbare og hvilke komponenter som trengs i løsningene. Tekniske krav og tekniske analyser henger sammen. Plassering og behov for utstyr kan påvirke de tekniske analysene, og de tekniske analysene påvirker behov for utstyr. Det er viktig å huske på at denne metodikken kun er forprosjektering. Det er ikke meningen at alle alternativene skal prosjekteres fullt ut under denne fasen, men heller gi en oversikt over hvilke krav som finnes, om det er mulig å gjennomføre alternativet etter gjeldende krav og om det er spesielle kostnader tilknyttet til kravene. Der det i fase 2 ble bestemt hvilke løsninger for produksjon og lagringer som skal inkluderes i mikronettet blir her de andre komponentene funnet. Disse komponentene er:

- generator
- linjer og kabler
- tilkoblingspunkt
- vern
- kontrollsystem
- kommunikasjonssystem
- jordingssystem

### 5.1 Tekniske analyser

Ved å utføre tekniske analyser i mikronettet kan man se om mikronettet klarer å opprettholde gjeldene krav i driftsituasjonene som kan oppstå. Det er i forskrifter og standarder lagt føringer for hva som kreves for å ha en god og sikker strømforsyning [22]. En slik teknisk analyse gir grunnlag for etablering av kostnadsdata og kan gi ideer til nye alternativer [24].

#### 5.1.1 Lastflytanalyse

I Forskrift om leveringskvalitet (FoL) er det gitt en rekke krav om hvordan spenningskvaliteten i kraftnettet skal være. Dette gjelder også innad i mikronettet [22]. Ved å utføre en lastflytanalyse kan en se på hvordan spenningen vil oppføre seg i ulike situasjoner som kan oppstå i mikronettet. Lastflytanalysen kan også hjelpe til med å si noe om hvor de ulike enhetene bør plasseres [46]. I mikronett med ulike alternativ for energiproduksjon som er plassert på ulike steder kan en slik analyse hjelpe til med å finne det beste alternativet for best mulig spenningskvalitet.

#### 5.1.2 Kortslutningsanalyse

Når distribuert energiproduksjon tilkobles i mikronettet endrer dette strømmene som går i mikronettet. Energiflyten kan nå gå i begge retningene. Da er det viktig å gjøre gode

kortslutningsanalyser slik at riktig vern kan bli installert for mikronettet. Ved kortslutningsanalyse undersøkes blant annet trepolt kortslutning, topolt kortslutning og jordfeil [47].

## 5.2 Tekniske krav

Lover og forskrifter regulerer også hvordan komponentene i mikronettet skal være. I tekniske krav blir det sett på hvilke krav som settes til de ulike komponentene. Ved å bruke resultatene fra tekniske analyser kan riktig komponenter finnes, og valg av komponent kan endre utfallet til analysene.

### 5.2.1 Distribuert energikilder

Distribuerte energikilder i mikronettet kan være solceller og vindkraft. Felles for energikildene er at de har en generator før tilkobling til mikronettet. Dette kan være synkrongeneratorer, asynkrongeneratorer eller konverterbaserte generatorer. For disse generatorene er det utviklet egne krav i IEC/TS 62786 som sier hvilke funksjoner en slik generator skal ha. For kontroll av generatorer er det krav til [17]

- Spenning-og frekvenskontroll muligheter
- Aktiv og reaktiv effektregulering
- Frakobling og gjeninnkobling til mikronettet
- Immunitet mot frekvensforandringer
- ”Fault ride through capability”

Kravene til generatorene i et mikronett er mer komplekse enn i et vanlig kraftnett siden generatorene skal kunne tilpasse seg ulike operasjonsforhold i øydrift, tilkoblet og isolert drift, men også i mellomfaser av disse driftstilstandene.

For mikronett i tilkoblet tilstand er det lettere å regulere frekvens og spenning ved hjelp av det tilkoblede ovenforliggende nettet. I øydrift og isolert drift er mikronettet selvforsynt med energi. Det betyr at generatorene må klare å levere nok energi til å opprettholde de funksjonene som er bestemt for disse driftstilstandene. Siden mikronettet nå ikke er tilkoblet et ovenforliggende kraftnett er det nå krav om at minst en av generatorene kan kontrollere frekvens og spenning i mikronettet [17].

I tillegg til dette kan det være krav gitt til hver enkelt type energikilder. I NEK 400 er det egne deler som omhandler solcellepanel, og NEK-EN 62446:2009 omhandler dokumentasjon og verifikasjon for solcelleanlegg [22].

### 5.2.2 Distribusjonslinjer og kabler

Distribusjonslinjene i mikronett sine krav er avhengig av eierform og spenningsnivå for mikronettet. Om distribusjonsnettet ikke er eid av nettselskap gjelder forskrift om lavspenningsanlegg [25]. For mikronett med store avstander kan valg av distribusjonslinjer

og kabler ha betydning for spenningsfallet i mikronettet. Distribusjonslinjene bør følge IEC 60364 og IEC 61936 i tillegg til lokale nasjonale regler [17].

### 5.2.3 Tilkoblingspunkt til ovenforliggende nett

For ikke-isolerte mikronett er det satt krav til tilkoblingen mellom mikronettet og ovenforliggende nett. Denne tilkoblingen kalles "Point of Coupling" (POC). Tilkoblingen av et mikronett til ovenforliggende nett skal ikke påvirke sikkerhet eller pålitelighet for kraftnettet og strømkvaliteten skal følge standarden fra IEC. I tilkoblingspunktet er det en hovedbryter som skal kunne bli styrt både manuelt og automatisk. Det er krav til en bryter som er visuell, slik at kretsen er synlig åpen. Bryterkapasiteten til hovedbryteren blir bestemt av den høyeste strømmen av maksimum kortslutningsstrøm i mikronettet i øydrift eller maksimum kortslutningsstrøm ved tilkoblingspunktet gitt av distribusjonsnettet [17]. I tillegg til slike ovenforliggende krav må mikronettet tilfredstille kravene satt fra nettselskapet som har områdekonsesjon i området. REN-blad 340 er et rammeavtaledokument for tilknytning av innmatningskunder i lavspenningsnettet [22].

### 5.2.4 Kontrollsystem

Kontrollsystemet skal sørge for kontinuerlig og økonomisk drift av mikronettet. Optimal drift er oppnådd ved å analysere de lokale energiresursene, energikostnader og miljøpåvirkninger. Kontrollsystemet skal også sørge for at tilkoblede mikronett kan skifte operasjonsmodus fra tilkoblet til frakoblet mikronett og tilbake på en sømløs måte [17]. Ved kontroll av tilkoblede mikronett er det hovedsaklig "steady state" kontroll som er nødvendig, mens kontroll av frakoblede og isolerte mikronett er mer avansert med både transient-, dynamisk og "steady state" kontroll. Det er forskjellige nivå for kontroll av mikronettet, fra lokale kontrollere på hver enkelt enhet til en overordnet kontroll som skal sørge for at hele mikronettet operer i optimal tilstand [25]. Ved å benytte kommersielle mikronettkontrollere levert av for eksempel ABB og Siemens kan en få kontrollenheter som kan kommunisere godt sammen og opprettholde en god energiforsyning uten å måtte bygge opp et eget kontrollsystem [22].

### 5.2.5 Vern

Vern av mikronett er mer utfordrende enn i det tradisjonelle kraftnettet siden feilstrømmene er vanskeligere å kalkulere. I mikronett er det også ofte kun konverterbaserte produksjonsheter, og da må kortslutningsstrømmene kalkuleres for å finne ut om de løser ut. I tilkoblede mikronett vil også feilstrømmene være forskjellig utfra om mikronettet driftes i tilkoblet drift eller øydrift. I et tilkoblet mikronett vil det ovenforliggende nettet bidra til kortslutningsstrømmen i tillegg til de lokale produksjonshetene i mikronettet. Dette gir mye høyere kortslutningsstrøm enn når det kun er produksjonsheten i mikronettet som bidrar. For konverterbaserte mikronett er feilstrømmen 1,5-2 ganger merkestrøm. Derfor må det være ulike verninstillinger til de forskjellige driftstilstandene [17].

### 5.2.6 Kommunikasjonssystem

Kommunikasjonssystemene innad i mikronette bør følge IEC 61850. Ved kommunikasjon innad i mikronettet er det viktig å tenke på sikkerhet ved å benytte egne private kommunikasjonssystemer. I tilfeller hvor det ikke er kontrollmuligheter i mikronettet kan offentlig trådløs nettverk benyttes så lenge det er tatt hensyn til informasjonssikkerhet [17].

Kommunikasjonssystem mellom mikronett og ovenforliggende nett bør følge IEC 61968 og IEC 61970. Ved anleggelse av slik kommunikasjon er det netteier som har ansvar for å velge kommunikasjonssystem slik at dette sammenfaller med de eksisterende systemene. Ved drift av et tilkoblet mikronett bør kommunikasjonssystemet kunne formidle [17]:

- Status for tilkoblingspunkt - Tilkoblet eller frakoblet drift
- Spennning, frekvens og strøm i tilkoblingspunkt
- Aktiv og reaktiv effekt i tilkoblingspunkt
- Status for energilagringen i mikronettet

## 6 Fase 4 - Evaluering

I fase 4 er målet å finne grunnlag for å velge et av alternativene som er funnet for anleggelsen av mikronett. Med et mål om teknisk innovasjon, effektiv energiforsyning og sosialøkonomiske. Denne fasen bør ta utgangspunkt i de kriterier som er satt i fase 1, men bør også inneholde følgende deler:

- Forsyningssikkerhet
- Miljø og estetikk
- Integrasjon til andre kraftnett
- Økonomi
- Samfunnsmessig rasjonelt
- Usikkerhet

### 6.1 Forsyningssikkerhet

En av hovedmotivasjonene for å anlegge mikronett er forsyningssikkerhet. Det er viktig å inkludere dette i grunnlaget for vurdering av alternativ. Den forventede forsyningssikkerheten kan finnes ved å studere sannsynligheten for feil og hvilke konsekvenser disse feilene kan få. I et mikronett kan det være ulike feilkilder som

- distribusjonsnett
- kommunikasjonssystemer
- IT-systemer
- produksjonsenheter

For å kunne anta forsyningssikkerhet kan en gjøre pålitelighetsanalyser og risikoanalyser av anleggets komponenter. En metodikk for pålitelighetsanalyse kan for eksempel være RELRAD-metoden [48].

### 6.2 Miljø og estetikk

Et mikronett kan innebære store utbyggelser som kan påvirke både miljø og estetikk. Konsekvensene for miljø og estetikk må vurderes opp mot nytteverdien til mikronettet, og spesielt i en sammenligningsfase er dette et viktig punkt [25]. Det er viktig å se på miljøpåvirkningen fra mikronettet ved drift, men også ved anleggelse av mikronettet [17]. Noen av disse konsekvensene er begrenset ved lov i henhold til utredningen i fase 1, men det kan være store lokale forskjeller for hvor store miljøkonsekvenser og estetiske endringer som godtas i området [25].



### 6.3 Integrasjon til andre kraftnett og fremtidig utvidelser

I planleggingen av mikronett må det tas høyde for om det er behov for at mikronettet skal kunne utvides. Om det er sannsynlig at det trengs å utvides i framtiden bør det sees på hvilke kostnader det vil være forbundet med eventuelle utvidelser. Det kan også være nyttig å se på at komponenter i ulike systemer er compatible med hverandre. Om det kan være aktuelt å koble til isolerte mikronett i framtiden bør muligheten for integrasjon til ovenforliggende nett undersøkes [17].

### 6.4 Økonomi

For å finne alle kostnadene relatert til mikronettet kan følgende kostnader inkluderes i analysen [49]:

- Investeringskostnader
- Driftskostnader og vedlikeholdskostnader
- Tapskostnader
- Avbruddskostnader
- Flaskehalskostnader

Investeringskostnadene inkluderer materiell, arbeidskraft, transport og grunnerstatninger. Det er naturlig å ta utgangspunkt i nettselskap og kraftselskapers tidligere erfaringer og gjeldene priser i markedet [49].

Drift- og vedlikeholdskostnader inkluderer materiell, transport og arbeidskraft, og skal beregnes for hele analyseperioden. Det er naturlig å ta utgangspunkt i tidligere erfaringer fra tilsvarende anlegg og fra prosjektet behov for drivstoff der dette er aktuelt. Et annet alternativ er å ta en proSENTSATS av investeringskostnadene. Driftskostnadene for mikronettet inkluderer også kostnadene for kjøp av energi til mikronettet. Tapskostnader er tilknyttet differansen mellom innmatet energi/effekt og uttatt energi/effekt. For å finne tap i overføring av elektrisk energi via kabler og linjer kan formel 6.1 brukes.

$$K_{tap} = (k_p + k_{wekv}T_t)\Delta P_{maks} \quad (6.1)$$

hvor

$k_p$  kostnad av maksimale effekttap [kr/kWår]

$k_{wekv}$  ekvivalent årskostnad av energitap

$T_t$  brukstid for tap [timer/år]

$\Delta P_{maks}$  maksimale effekttap [kW]

Avbruddskostnader er samfunnets økonomiske tap ved avbrudd i leveransen av elektrisk kraft [6]. Avbruddskostnadene er delt i flere undergrupper som

- kunders kostnader ved kortvarig avbrudd ( $\leq 3\text{min}$ ), varslede og ikke varslede
- kunders kostnader ved langvarige avbrudd ( $\geq 3\text{min}$ ) varslede og ikke varslede

- netteiers kostnader ved feil
- netteiers kostnader ved planlagte utkøplinger.



**Figur 8:** Samfunnsøkonomisk kostnad for avbrudd i elforsyningen [6]

For å finne estimerte fremtidige avbruddskostnader for en gitt løsning kan en bruke pålitelighetsanalyse for å kartlegge leveringspåliteligheten. Årlig avbruddskostnad for et rapporteringspunkt kan finnes ved bruk av formel 6.2.

$$K_{\dot{a}r} = \lambda \cdot k_{P,ref}(r) \cdot f_{K,P} \cdot P_{ref} \quad (6.2)$$

hvor

- $K_{\dot{a}r}$     årlig avbruddskostnad for rapporteringspunktet [kr]
- $k_p$     årlig gjennomsnittlig spesifikk avbruddskostnad [kr/kW avbrutt effekt]
- $\lambda$     gjennomsnittlig antall avbrudd pr år for rapporteringspunktet
- $r$     gjennomsnittlig avbruddsvarighet [timer/avbrudd]
- $P$     gjennomsnittlig belastning over året [kWh/h]
- $k_{P,ref}$     spesifikk avbruddskostnad på referansetidspunktet [kr/kW avbrutt effekt]
- $f_{K,P}$     korr. faktor for årlig gjennomsnittlig spesifikk avbruddskostnad.

Flaskehalskostnader er en skyggepris som oppstår når det er knapphet på overføringskapasitet i nettet. De er særlig relevant for høyere spenninger, og vil derfor ikke bli sett mer nøye på i planlegging i mikronett.

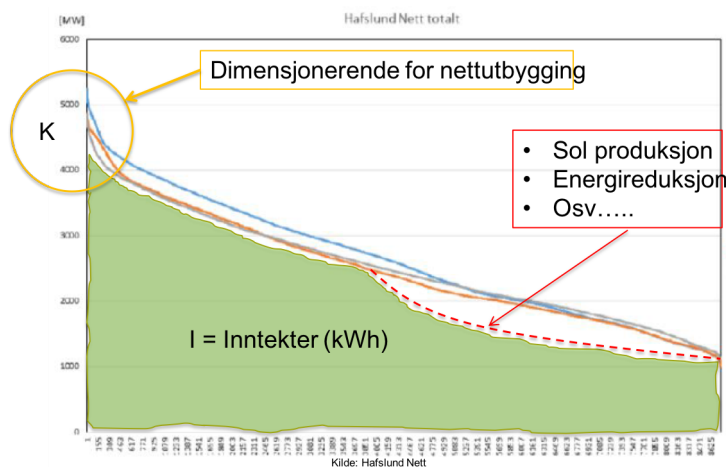
For å beregne total kostnad ved et mikronett må alle kostnadene inkluderes. Noen kostnader er per år og noen kostnader er engangskostnader. For å kunne inkludere alle kostnadene benyttes netto nåverdi-prinsippet. Ved å benytte netto-nåverdi (NNV) vil alle utgifter for hele analyseperioden regnes om til dagens valutakurs. Ved å beregne dette for alle de forskjellige alternativene kan de enkelt sammenlignes [49].

## 6.5 Samfunnsmessig rasjonelt

I energilovens formålsparagraf står det at loven skal forvalte energi på en samfunnsmessig rasjonell måte. Riktig ressursbruk og generell effektivisering av kraftsektoren vektlegges i forarbeidene til loven. Hovedmålsetning er å ivareta hensyner til riktig ressursbruk i produksjon og fordeling av energi og å legge rettslig grunnlag for effektivisering av kraftmarkedet. Sikre kostnadseffektiv drift av nettsystemer er et viktig mål for myndighetene [15].

Monopolkontrollen fremheves som et av virkemidlene for å bidra til samfunnsmessig rasjonell drift av kraftnettet. I forarbeidene er det et klart fokus på samfunnsøkonomisk effektivitet, men det er ikke like mye fokus på klare virkemidler som kan brukes. De fleste formålsuttalelsene i forarbeidet er myntet på kraftmarkedet og ikke på reguleringen av nettmonopolet, og det er fokus på å tilrettelegge for sikker kraftforsyning med tilgang på konkurransemarkedet. Utjevning av kraftprisene har vært et av formålene for formålsparagrafen [15]. Utfra dette kan det leses at hovedformålet er en sikker kraftforsyning med konkurransedyktige priser.

Mikronett i områder som ikke er elektrifisert eller områder som ellers må oppgraderes er således i tråd med formålsparagrafen sålenge energiprisen er konkurransedyktig. En annen utfordring er tilkoblede mikronett hvor det kun er produksjon på noen tider av året. Som man kan se i figur 9 er det den høyeste effektbruken som er dimensjonerende for nettutbyggingen. Solcelleproduksjon reduserer gjerne effektbruken på andre tidspunkt enn de mest kritiske. Det innebærer mindre inntekt i form av nettleie til områdekonsesjonær. Siden kostnaden er den samme må inntekten økes, og dermed må nettleien økes. Denne kostnaden blir da høyere for de som ikke er en del av mikronettet. I praksis må da andre kunder i områdekonsesjonærens område betale for den nettleien mikronettet ikke lenger betaler for. Dette er ikke samfunnsmessig rasjonelt [7]. En utfordring for mikronettet er å endre effektkurven sin slik at de minsker effekttoppene og nettselskapet får en lavere dimensjonerende effekt. Denne delen kan være viktig å tenke på i anleggelse av mikronett, siden formålsbestemmelsen vil bli tillagt vekt i forbindelse med NVEs og departementets behandling av enkeltsaker [15].



Figur 9: Konsekvenser av solproduksjon for netteier [7]

## 6.6 Usikkerhet

I en slik fremtidig analyse er det mange faktorer man kun kan gjøre antagelser for. Noen sentrale usikkerhetsmomenter for mikronettet kan være:

- Nord pool spotpris
- nettleiestruktur og pris
- produksjonsdata
- forbruksdata

Det er mulig å gjøre ulike sensitivitetsanalyser og scenarioanalyser for å belyse hvor følsom resultatene for mikronettet er med hensyn til endring i sentrale parameter og forutsetninger. Lønnsomheten for prosjektet kan da vurderes ved å bruke pessimistiske parameter for å se på verste mulighet [49].

## 6.7 Måloppnåelse og diskusjon

Alle alternativene for anleggelse av mikronett må vurderes opp mot hverandre for å finne best mulig løsning. Ved å bruke kriteriene funnet i fase 1 kan alternativene settes opp mot hverandre med de kriterier som er viktig for det enkelte mikronett. Noen ganger kan flere alternativ vurderes til å være like. Da kan det være nyttig å ta med flere alternativ videre for grundigere analyse. I denne analysen blir både kvantifiserbare, som økonomi, og ikke-kvantifiserbare, som estetikk, løsninger medregnet [49].

## 6.8 Sluttdokumentasjon

Sluttdokumentasjon er av verdi for videreføring av kunnskap og kan brukes som veiledning til fremtidig planlegging av mikronett. Det kan også brukes som beslutningsgrunnlag under prosjektets gang. Et sluttdokument kan inneholde [26]:

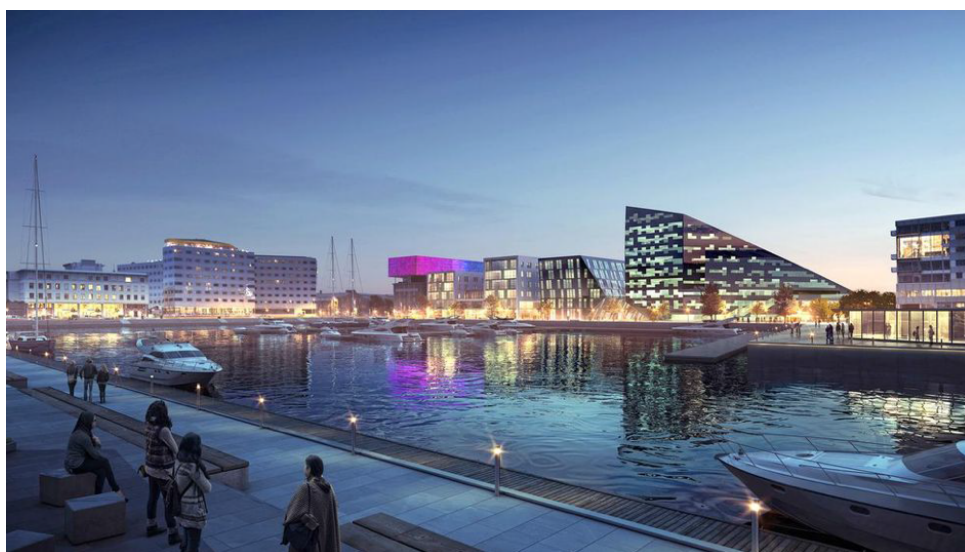
- Oppsummering med forutsetninger
- Analysedokumentasjon
- Planleggingsrapport

## Del III

# CASE

## 7 Case Brattøra mikronett

Brattørkaia er et område i Trondheim som er i stor utvikling. Med Norges største innendørs badeanlegg, et av Skandinavias største kongresshotell og nasjonalt museum for rock og pop er dette område med mye spennende aktivitet. Brattøra er også et område som møter tilreisende til byen med både togstasjon, hurtigruteterminal og hurtigbåtterminal. Nå bygges i tillegg verdens nordligste plusshus, Powerhouse Brattøra [50]. Powerhouse Brattøra er utgangspunktet for dette casestudiet. Plusshuset produserer i perioder mye større mengder energi enn det klarer å forbruke selv. I tillegg til Powerhouse Brattøra bygges det et nytt undervisningsbygg til BI på nabotomten. Også dette bygget produserer mer energi enn det forbraker på sommertid. Det er ønskelig å se på hvordan denne energien kan utnyttes best mulig. En måte er å anse området som et mikronett, og dermed bruke metodikken tidligere visst for dette området.

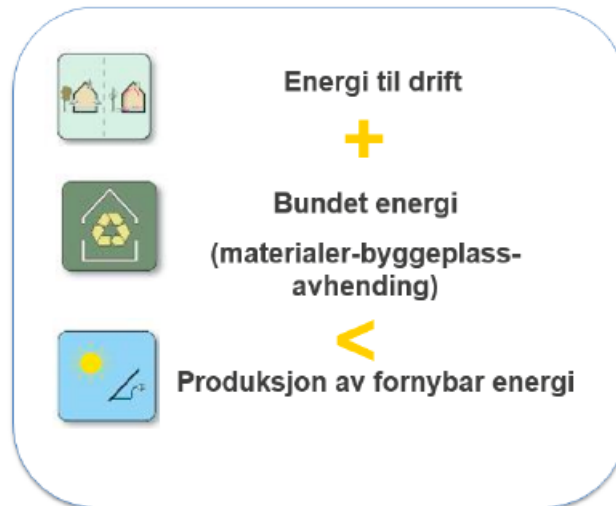


**Figur 10:** Oversiktsbilde over Brattørkaia [8]

## 8 Fase 1

### 8.1 Motivasjon

Powerhouse Brattøra blir bygget som verdens nordligste plusshus. Bygget skal være et miljøprosjekt i verdensklasse. At bygget er et plusshus betyr at det gjennom sin levetid skal produsere mer energi enn det bruker. Bygget skal over livsløpet på 60 år generere mer fornybar energi enn det som blir brukt til produksjon og transport av byggevarer, oppføring, drift og avhending av bygget [8].



**Figur 11:** Energibruk over livsløpet [8]

På Brattørkaia 16 skal det nye undervisningsbygget til Handelshøyskolen BI ligge. Bygget er inspirert av plusshus. Det trenger ikke å dekke hele sitt forbruk, men det er gjort tiltak for å minske det elektriske forbruket og det blir energiproduksjon i bygningen.

Begge bygningene skal klassifiseres i BREEAM-NOR. BREEAM er en internasjonal sertifisering som skal sikre miljøeffektive løsninger. Målet for Powerhouse Brattøra er høyeste sertifisering "Outstanding". Mindre enn 1% av nye bygninger skal kunne oppnå denne graden. Brattørkaia 16 har som mål å komme i den nest høyeste sertifiseringen "Excellent" [51].

Hovedmotivasjonen for anleggelse av mikronettet på Brattøra er inspirert av hovedmotivasjonen for å bygge Powerhouse Brattøra og BI-bygget. Utfra informasjonen gitt er det klart at miljø er en stor motivasjon for etablering av mikronettet. I tillegg er det en målsetning at utvikling av området skal gi nye konseptløsninger på kommersielle vilkår. Dermed blir også økonomi sett som en motivasjon. Området ligger midt i Trondheim sentrum så det er god elektrisk infrastruktur. Da faller elektrifisering av området som motivasjon ut. I tillegg er området kun tiltenkt kontorlokaler og undervisning, og har dermed ikke behov for forhøyet leveringssikkerhet.

Mikronettet kan klassifiseres som et "Community microgrid". Det er tilknyttet strømmettet og forsyner flere sluttbrukere. En kan også si at det passer inn som et institusjonsmikronett siden BI skal ha lokaler i det ene bygget, men for institusjonsmikronett ligger fokus mer på stabil krafttilførsel og sikkerhet enn hva som er behovet for dette mikronettet.

Brattøra ligger midt i Trondheim. Det kan derfor antas en stabil krafttilførsel til området. Mikronettet skal være tilkoblet ovenforliggende nett, og blir derfor regnet som et ikke-isolert mikronett med lavt behov for øydrift.

## 8.2 Målsetninger

I området på Brattøra kan det antas god leveringssikkerhet og god spenningskvalitet. Bygningene på Brattøra har ikke laster som er spesielt kritiske, og det kan av denne

grunn ikke regnes som målsetning for mikronettet.

For prosjektet med Powerhouse Brattøra er det uttalt noen målsetninger for arbeidet [52]:

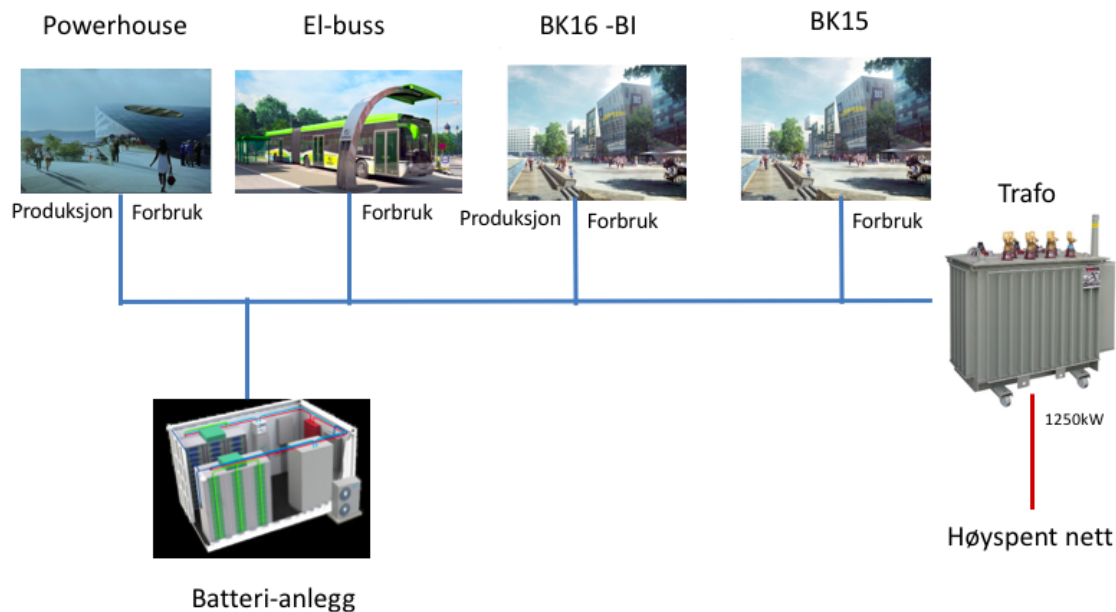
- Utvikling av systemer for forvaltning av grønn energi.
- Jevnere belastning for nettet ved buss-lading.
- Størst mulig andel av energien fra solcellene er utnyttet lokalt på Brattøra og på en mest mulig optimal måte både teknisk og økonomisk.
- Utarbeide modell(er) for forvaltning og drift som tar hensyn til både bedriftsøkonomiske og samfunnsøkonomiske perspektiv og aktuelle reguleringer.

For å evaluere de ulike alternativene opp mot hverandre gir målsetningene disse kriteriene:

- Miljøpåvirkning
- Økonomisk lønnsomhet
- Utnyttelse av energien lokalt
- Overførbare løsninger til andre mikronett

### 8.3 Områdeoversikt

For å velge systemgrenser for mikronett er det naturlig å se hvilke bygninger og hvilke potensialer som ligger i tilknytning til den eller de bygningene som er ønskelig å se på. Powerhouse Brattøra og BI-bygget ligger begge innenfor samme transformatorstasjon. Innenfor denne transformatorstasjonen ligger også Brattørkaia 15. Alle disse tre bygningene eies av Entra gjennom ulike aksjeselskap. Entra er et stort eiendomsselskap som bygger og forvalter bygninger og eier store deler av kairekken ved Brattørkaia [52]. I tillegg til disse bygningene planlegges det busslading for de nye elektriske bussene i Trondheim innenfor samme transformatorstasjon. En oversikt over området innenfor transformatoren kan sees i figur 12. Disse bygningene med sine laster og produksjonsenheter er valgt som potensielt område for mikronett i denne oppgaven.



**Figur 12:** Powerhouse Brattøra, BI-bygget, Brattørkaia 15 og busslading på samme trafostasjon

Innenfor transformatorstasjonen er det planlagt tre bygninger og en bussladestasjon. Det er foreløpig kun den ene bygningen som er ferdigstilt, de to andre er under oppføring og ladestasjonen er under planlegging. Infrastrukturen i området er planlagt med kabler lagt i felles kjeller for byggene. Transformatorstasjonen som står der er dimensjonert for å tåle de nye lastene som bygges.

Det er ingen klare begrensninger i området gitt av lovverket. Verken naturmangfoldloven eller reindriftsloven er aktuell for området som er potensielt for mikronettet. Store deler av Trondheim sentrum er berørt av kulturmangfoldloven, men Brattøra er utenfor dette området [53].

For å kunne ha et mikronett i området har er det valgt å se på ulike systemgrenser med de fire ulike lastene som ligger innenfor denne transformatorstasjonen:

- Powerhouse Brattøra (PHB)
- BI-bygget (BI)
- Bussladestasjon (Buss)
- Brattørkaia 15 (BK 15)

Ved å bruke de fire ulike lastene, og alle skal ha minst en produksjonsenhet kommer man frem til 12 ulike systemgrenser som vil bli undersøkt videre:

1. PHB
2. PHB + Buss
3. PHB + BK15
4. PHB + Buss + BK15
5. BI



6. BI + Buss
7. BI + BK15
8. BI + BK15 + Buss
9. PHB + BI
10. PHB + BI + Buss
11. PHB + BI + BK15
12. PHB + BI + Buss + BK 15

### **8.3.1 Powerhouse Brattøra - PHB**

Powerhouse Brattøra er lokalisert i Brattørkaia 17a. Bygningen skal ferdigstilles i begynnelsen av 2019, og blir et plusshus. Bygningen skal brukes som et kontorbygg med velkomstsenter, møterom og auditorium i første etasje. Totalt areal blir  $18200m^2$  [8].

### **8.3.2 BI-bygget**

Handelshøyskolen BI vil bli lokalisert i nabobygget til Powerhouse Brattøra, Brattørkaia 16. Bygningen ferdigstilles i mai 2018. Hele bygget vil bli leid ut til BI og det vil inneholde auditorium, undervisningsrom, kontorer og kantine. Bygget vil bli bygget som et passivhus med strenge krav. Totalt areal er  $10500m^2$  [51].

### **8.3.3 Brattørkaia 15 - BK15**

Brattørkaia 15 er kontorlokale leid ut til ulike leietakere gjennom Entra AS. Det er bygget som et passivhus og har BREEAM-klassifiseringen "Very Good". Bygget har to fløyer med 5 og 6 etasjer og totalt areal er  $14105m^2$  [54].

### **8.3.4 Busslading**

Trondheim har planlagt en bussflåte på 35 elektriske busser [55]. Disse skal ha ladestasjon på endeholdeplassene, og den ene av disse er planlagt mellom Powerhouse Brattøra og BI-bygget. Bussene er planlagt å starte fra august 2019.

## **8.4 Nabolagsprofil**

Nabolaget på Brattøra er i utvikling. Det består hovedsaklig av kontorbygg og industri, og det er lite bolighus. I området finnes både jernbane og bussterminal, i tillegg til hurtigbåtterminal og en større cruise-og hurtigrute terminal. Området har et stort hotell med kongressenter og byens badeland, Pirbadet, ligger ytterst ved vannkanten med en fin utsikt over fjorden. Dette nabolaget kan regnes som et litt utypisk med tanke på lastprofil. Det har en relativt konstant profil hele året, med mye forbruk på dagtid når kontorene er i bruk, og mindre på ettermiddagstid og i helger. Området er i utvikling og det er diskutert

både landsstrøm for cruiseterminalen og hurtigruten. Det er flere store laster i området som krever energi hele året.



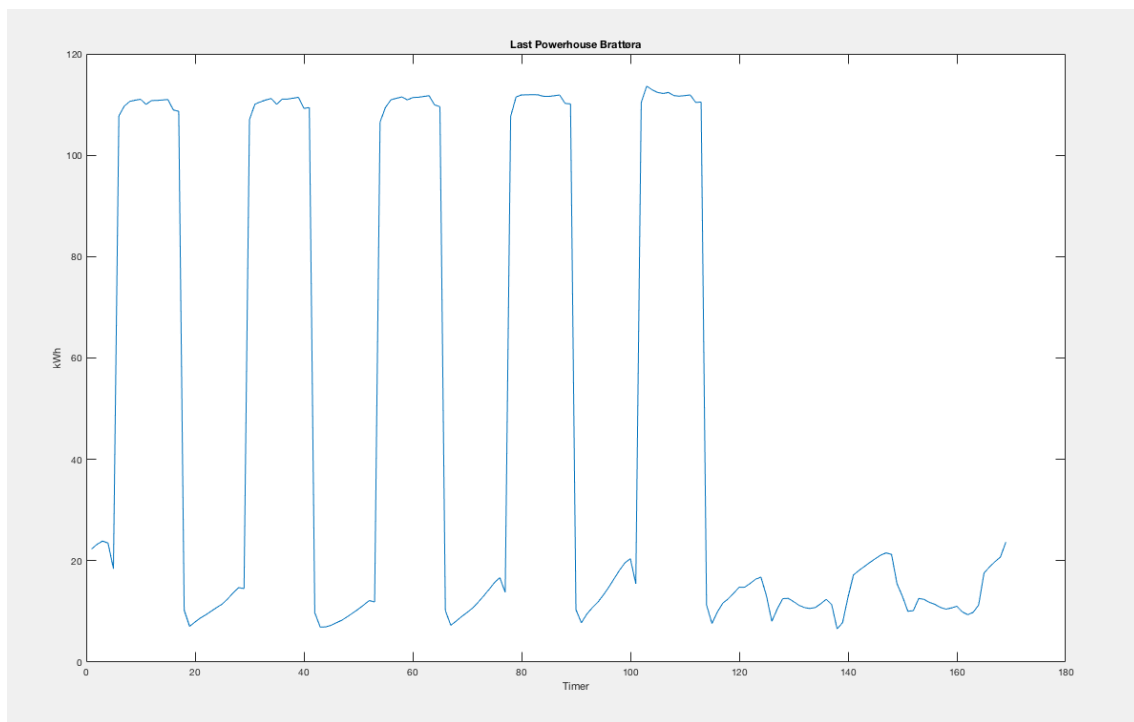
Figur 13: Kart over Brattøra

## 8.5 Lastanalyse

For å kunne analysere ulike alternative løsninger for de ulike sammensetningene er det hentet inn lastdata gitt per time for de ulike bygningene og lastene i mikronettet.

### 8.5.1 Powerhouse Brattøra

Powerhouse Brattøra er enda ikke ferdigstilt, og lastprognosene er beregnet for 2019 ved hjelp av SIMIEN. En typisk uke for last i Powerhouse Brattøra er som i figur 14. Det er høyt forbruk på dagtid når det er folk i bygget, og lavt på ettermiddagstid. Forbruket øker utover natten for å varme opp bygningen igjen før en ny arbeidsdag, før oppvarming minsker forbruket sitt når alt brukerutstyret blir slått på om morgenen. Også i helgene er forbruket lavt.

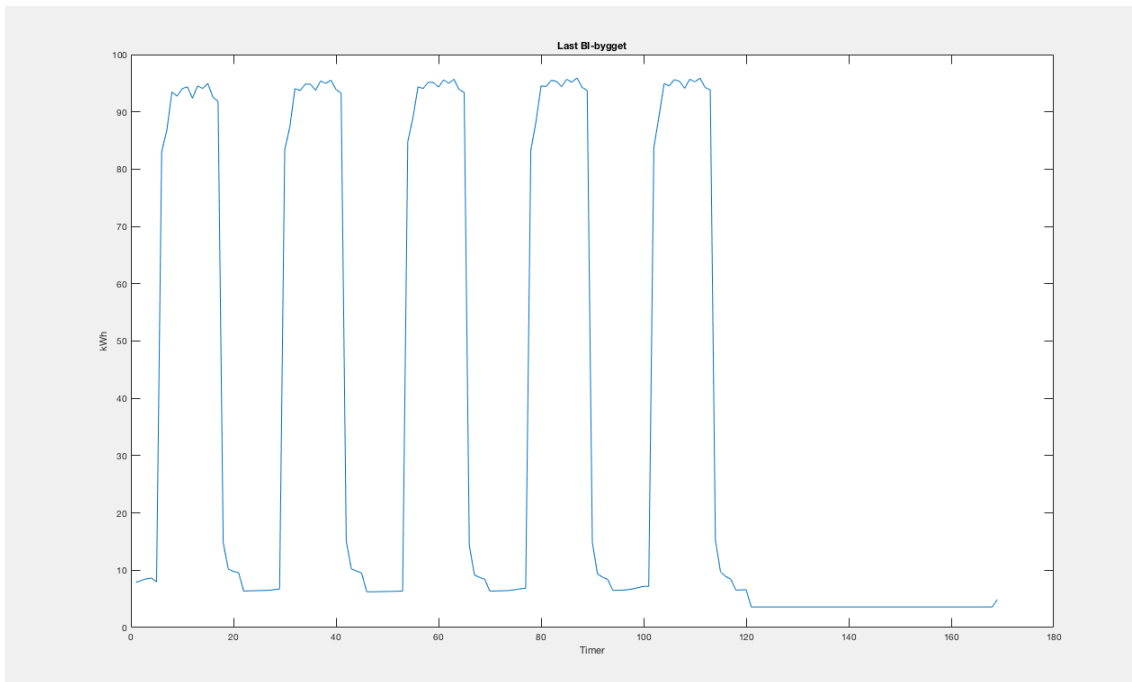


**Figur 14:** Forbruk i Powerhouse Brattøra over en uke

Powerhouse Brattøra har mulighet for laststyring av blant annet oppvarming som er en justerbar last. Den største delen av lasten på dagtid for Powerhouse Brattøra er forbrukerstyrt last og lys, som er ikke er mulig å flytte på. Det er ingen kritiske laster i Powerhouse Brattøra. Flyttbare laster kan også regnes til å være neglisjerbar.

## 8.5.2 Brattørkaia 16: BI-bygget

BI-bygget er heller ikke ferdigstilt, og lastprognosene er også her beregnet for 2019 ved hjelp av SIMIEN. En typisk uke for last i BI-bygget er som i figur 15. På samme måte som Powerhouse Brattøra er lasten her høyest på dagtid og lavere på kveldstid og natt. Også her er forbruket lavt i helgene.

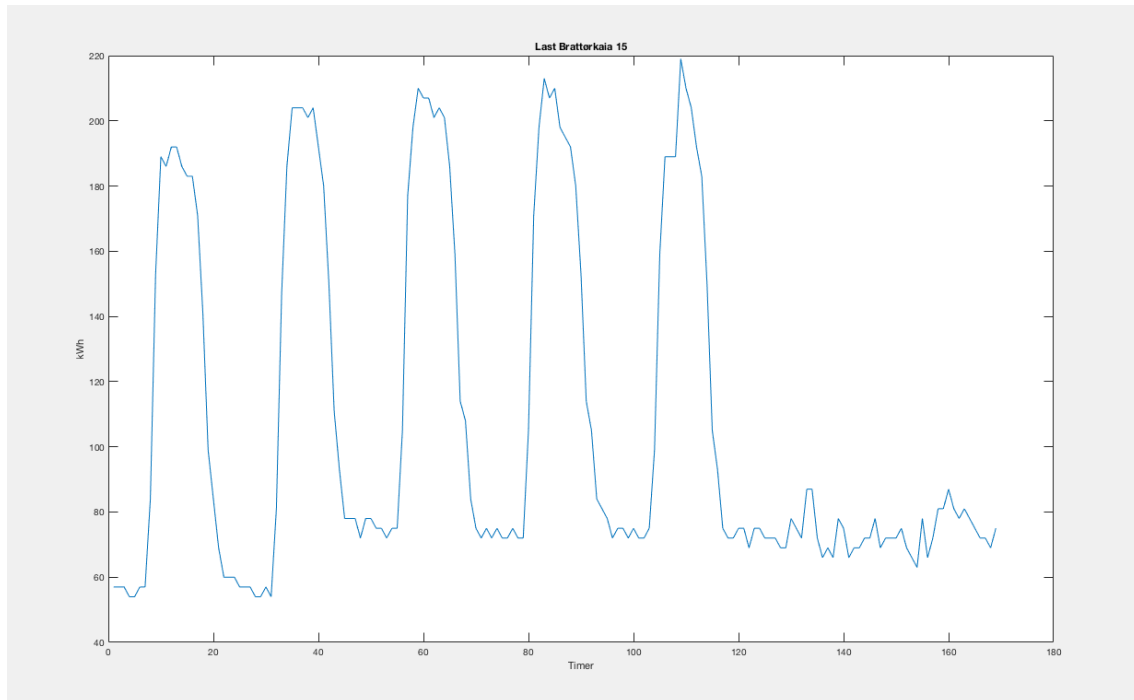


**Figur 15:** Forbruk i BI-bygget over en uke

BI-bygget har mulighet for å etablere laststyring på samme måte som Powerhouse Brattøra. Forbrukerlaster og lys er de største lastene i løpet av dagen og disse er ikke flyttbare. Det er ingen kritiske laster og man kan regne flyttbare laster til å være neglisjerbare.

### 8.5.3 Brattørkaia 15: BK15

Brattørkaia 15 er ferdigstilt og forbruksdata er innhentet fra tidligere forbruk for år 2017. En typisk uke for last i BK15 er som i figur 16. Vi kan her se de samme tendensene som for de to forrige lastene, med høyt forbruk på dagtid og lavt på kveld, natt og helg. Det kan her sees at det er mer lokale variasjoner i forbruket for hver time. Dette kan skyldes at dataene som er brukt her er faktiske målte verdier for Brattørkaia 15.

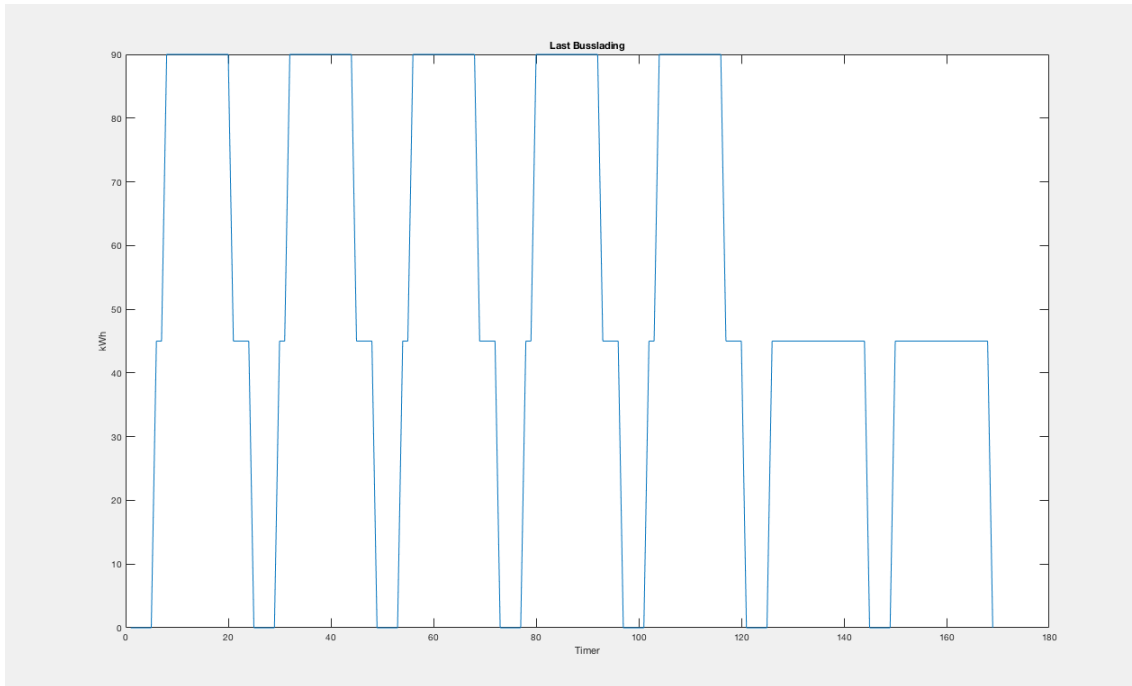


**Figur 16:** Forbruk i Brattørkaia 15 over en uke

Brattørkaia 15 har ikke samme mulighet for laststyring som Powerhouse Brattøra installert per i dag. I denne oppgaven regnes Brattørkaia 15 som en ikke-fleksibel last uten kristiske laster.

### 8.5.4 Busslading

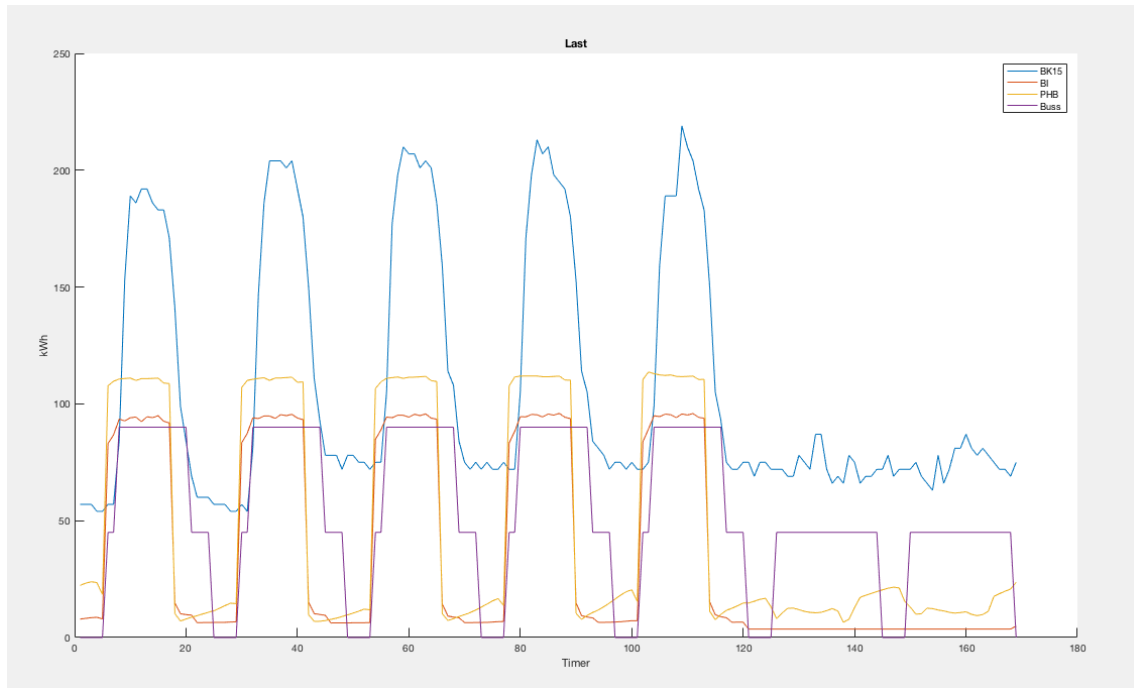
For beregning av forbruket til busslading er det tatt utgangspunkt i antall minutter ladetid og en effekt på 450kW i løpet av en time. Bussen har forskjellige ruter i rushtid, kveld og natt, og får dermed ulik last utfra det. I rushtid er effekt forbrukt 90kWh/h, på morgen og kveld er det 45kWh/h og natt er det ingen lading. I helg er det samme sats som på morgen og kveld. Selv om effekt ved lading er 450kW er det i denne oppgaven tatt utgangspunkt i maks effekt på 90kW. Det antas at det installeres et batteri for utjevning av effekttoppene som denne ladingen vil gi et par minutter i timen.



**Figur 17:** Forbruk for busslading over en uke

Busslading er i utgangspunktet ikke-fleksibel, men siden det er antatt at det trengs et batteri for å jevne ut effekttoppene kan dette brukes. Det antas likevel at det ikke er mulig å flytte lasten ut av sin opprinnelige time, slik at maks timesverdi forblir den samme.

En ting som kan være interessant å se på størrelsesforholdet til lastene. I figur 18 kan man se at Powerhouse Brattøra har det minste forbruket, selv om bygningen er den største. BI-bygget ligger litt over i forbruk, mens BK15 har et forbruk som er dobbelt så høyt. Det er også påfallende å se at hvileforbruket til BK15 nesten er like stort som de høyeste forbrukene til Powerhouse Brattøra. Bussladingen viser seg å kreve nesten like mye energi som Powerhouse Brattøra.



**Figur 18:** Forbruk over en uke

## 8.6 Energiressurser

### 8.6.1 Sol

Det er et stort potensiale for å anlegge solproduksjon på bygningene. Det planlagt solcellepanel på Powerhouse Brattøra og BI-bygget allerede. Tilgjengelig areal for solcellepanel kan sees i tabell 6. For Brattørkaia 15 og BI-bygget er det snakk om takareal, mens på Powerhouse Brattøra er det mulighet for installasjon av solceller på veggene i tillegg. Solpotensialet i Trondheim er ikke det høyeste, og det kan også være en utfordring med snø som legger seg på panelene på vinterstid. Det vil derfor bli antatt at det ikke er solproduksjon i de tre vintermånedene.

**Tabell 6:** Tilgjengelig areal for solcellepanel på bygningene

Tilgjengelig areal for solcellepanel	$[m^2]$
PHB	3198
BI	1020
BK15	2026

### 8.6.2 Vind

Vindmøller ble vurdert som et alternativ til energiproduksjon, men det ble utfordrende å anlegge med tanke på tillat byggehøyde og plassering i bybildet. Vindkraft er dermed ikke et alternativ.

### 8.6.3 Vann

Det er ingen naturlige plasser å anlegge vannkraftproduksjon på Brattørkaia da det ikke er naturlig høydeforskjell.

### 8.6.4 Drivstoff

Å lage anlegg for produksjon av energi ved hjelp av drivstoff er ikke nødvendig siden mikronettet er et tilkoblet mikronett. Det er antatt at det ikke er kritiske laster og at området har en stabil kraftforsyning.

## 8.7 Energilagring

Området har muligheter for energilagring. I Powerhouse Brattøra er det satt av et rom på  $20m^2$  for energilagring. Den mest aktuelle lagringsmetoden er elektrokjemisk lagring ved å bruke batterier. Det er ikke lagt opp mekanisk eller termisk lagring av elektrisk energi. Et alternativ til batteri kan være kjemisk lagring gjennom hydrogen. På nabotomten er det hurtigbåtterminal som kan være aktuelle brukere av hydrogen. I denne oppgaven er batteri brukt som energilagring.

## 8.8 Konesjonsplikt

Når man skal vurdere hvilke konsesjoner som er nødvendig for anleggelse av dette mikronettet er det to ulike scenarier. Det ene er at mikronettet blir oppfattet som en plusskunde, og går under de spesialordningene, og den andre er at mikronettet skal opptre som en energileverandør. De to løsningene krever ulike konsesjoner. I denne oppgaven er det valgt å bruke plusskundeordningen som et utgangspunkt.

### 8.8.1 Plusskundeordning

For å kunne gå under plusskundeordningen er det krav om at det er en eier sett fra nettselskapet sin side. I tilfelle som dette hvor bygningene er registrert som ulike aksjeselskap er det i utgangspunktet ikke mulig å innlemme alle bygningene i et mikronett uten å ha et felles aksjeselskap som eier. Anlegget regnes som kundespesifikt anlegg og er dermed untatt fra anleggskonsesjon. Byggherre er fritatt for anleggskonsesjon ved salg av energi til egne leietakere.



Plusskundeordningen har en grense på maks 100kW innmatet effekt, men det er diskusjoner om å øke denne grensen. Det er derfor også beregnet med 500kW grense i denne oppgaven.

### 8.8.2 Energileverandør

Som energileverandør er det ikke lenger et kundespesifikt anlegg siden det leveres energi til nettet. Da trenger anlegget anleggskonsesjon. Total energiproduksjon i mikronettet er under 1 MW, og da kan mikronettet få omsetningskonsesjon på forenklete vilkår.

## 8.9 Energifriser

Energifrisene er delt opp i tre deler:

- Nettleie
- Energifris
- Salgspris

På Brattøra er det TrønderEnergi Nett som er områdekonsesjonær. Nettleien fra området er gitt fra deres bestemmelser. For bygningene i mikronettet er nettleien beregnet etter denne kategorien: NMT Effektmålt næring, lavspenning. Hovedsikring større enn 125A ved 230V eller 80A ved 400V [56]. Dette gir en nettleie med flere ledd:

Fastbeløp	8 800 kr/år
Energifris	5,0 øre/kWh
Forbruksavgift	16,58 øre/kWh
Effektpris	gitt av tabell 7. Regnes ut fra høyeste effekt i måneden [kr/kW/mnd]

**Tabell 7:** Effektpris for nettleie

	0-200 kW	200-500 kW	500-800 kW	>800 kW
Vinter (jan, feb, nov, des)	60	53	47	40
Sommer (mars - okt)	45	40	35	30

Beregnet gjennomsnitt Nord Pool spotpris er 0,25kr/kWh for 2018 [57], og den er brukt for hele året i denne oppgaven. Total innkjøpspris per kWh vil da bli 0,466kr/kWh, som beregnet i ligning 8.1. I tillegg kommer kostnaden for fastledd og effektpris. Beregnet med disse kostnadene med Powerhouse Brattøra som utgangspunkt vil total innkjøpspris ligge på rundt 66øre/kWh.

$$Innkjøpspris_{kWh} = energipris + forbruksavgift + spotpris \quad (8.1)$$

For å selge energien som en plusskunde må man i TrønderEnergi betale en nettleie på 5% av spotprisen.inntekten man får er spotpris minus 1 øre [58]. Det vil gi en salgspris på 22øre/kWh.

## 8.10 Egenforbruk

Siden differansen mellom innkjøpspris og salgspris er på 44øre/kWh sier det seg selv at det i dette tilfelle vil være mest økonomisk å bruke mesteparten av energien selv fremfor å selge den.

## 8.11 Fase 1 oppsummering

Videre i prosjektet er det tre ting som er viktig å ta med: Kriterier for mikronettet, konsesjonsordning og systemgrensene som resten av oppgaven baserer seg på.

Kriterier for mikronettet:

- Miljøpåvirkning
- Økonomisk lønnsomhet
- Utnyttelse av energien lokalt
- Overførbare løsninger til andre mikronett

Valg av konsesjonsløsning er å bruke plusskundeordning for salg av energi.

Ved å bruke de fire ulike lastene, og alle skal ha minst en produksjonsenhet kommer man frem til 12 ulike systemgrenser som vil bli undersøkt videre:

1. PHB
2. PHB + Buss
3. PHB + BK15
4. PHB + Buss + BK15
5. BI
6. BI + Buss
7. BI + BK15
8. BI + BK15 + Buss
9. PHB + BI
10. PHB + BI + Buss
11. PHB + BI + BK15
12. PHB + BI + Buss + BK 15

I tabeller videre vil også systemgrense 13, 14 og 15 forekomme. Disse viser hva som vil skje ved laststyring og ved de to lastene uten produksjon.

## 9 Fase 2 - Bestemmelse av distribuerte energiresurser

I fase 2 skal det bestemmes hvilke energiresurser som skal brukes, og om energilagring og laststyring er aktuelt.

I dette caset er energiresursene alt bestemt. I fase 1 ble det bestemt at det ikke var aktuelt med andre energiresurser enn solcellepanel i dette området. Mengden solcellepanel er i dette caset fastsatt før denne planleggingen ble gjennomført. På Powerhouse Brattøra er menden solcellepanel bestemt utfra hva som er nødvendig for at bygningen skal bli ansett som et plusshus. På BI-bygget er det meste av ledig areal på tak benyttet til solcellepanel.

På BI-bygget er det installert 601 panel med en total ytelse på 195kW. På Powerhouse Brattøra er det planlagt ca 1747 panel med en total ytelse på 629kW. Mer informasjon kan sees i tabell 8.

**Tabell 8:** Planlagt solcellepanel på Powerhouse Brattøra og BI-bygget

Brattørkaia	Areal	Antall paneler	Ytelse	Total	Beregnet årsproduksjon	Maks effekt
16 - BI	1020 m <sup>2</sup>	601	325 W	195 kW	150 MWh	150 kW
17a - PHB	3198 m <sup>2</sup>	1747	360 W	629 kW	484 MWh	500 kW

Det er denne solcelleproduksjonen denne prosjekteringen vil ta utgangspunkt i. Ved å se på de ulike systemgrensene av området som ble funnet i fase 1 på ulike måter kan en se hvilke alternativ som er mest fornuftige i etableringen av et mikronett på Brattøra. Bruk av forskjellige grenser på plusskundeordningen, ulik størrelse på batteri, ulik sammensetning på batteri og plusskundeordning, og ved laststyring kan påvirke hvilken løsning som er mest lønnsom.

I denne oppgaven vil følgene ulike driftsmetoder bli sett på:

- Original
  - Kan selge energi
  - Kan ikke selge energi
- Plusskundeordning
  - 100kW
  - 500kW
- Batteri
  - 500kWh
  - 1000kWh
  - Uendelig
- Batteri og plusskunde

- Batteri og plusskunde optimalisert
- Laststyring

## 9.1 Langsiktig evaluering av energiresurser

Å analysere produksjon og last for et helt år kan være tidkrevende. Ved å analysere fire uker fordelt utover året og bruke disse som et estimat for energibalansen i mikronettet kan det fortelle mye om profilen til mikronettet.

For å beregne energibalansen i denne oppgaven er uke 2, 15, 28 og 41 blitt brukt. I bakgrunnsdata er verdier for produksjon og forbruk gitt per time for et helt år. Det vil allikevel kun bli sett på verdien for disse fire ukene. Ved å bruke disse ukene kan man få et estimat på hvor stor produksjon, hvor stort forbruk og hvordan energibalansen er i løpet av et år.

Ved å finne total forbruk og total produksjon gjennom disse fire ukene, og bruke disse som estimat på hvor mye forbruk og produksjon det vil bli i løpet av året kan en få et godt bilde på hvordan energibalansen vil være. Energibalansen er hvor stor andel av forbruket som blir dekket av lokal produksjon.

For Powerhouse Brattøra er energibalansen 111,14%. Dette stemmer godt overrens med målet om å produsere mer energi enn forbrukt energi i løpet av hele byggets levetid. BI har en energibalanse på 42,98%. Det er ganske mye lavere enn Powerhouse Brattøra. Dette bygget har ikke like gode energiløsninger og det har mye mindre installert effekt enn Powerhouse Brattøra. Samlet har de to bygningene en energibalanse på 81,81%.

For etableringen av et isolert mikronett er denne energibalansen viktig. Ved energibalanse under 100% klarer ikke mikronettet å levere nok energi til alle lastene i løpet av året. For et ikke-isolert mikronett som Brattøra er dette av mindre betydning, da mikronettet vil være forsynt fra ovenforliggende nett. I tabell 9 ser en at den årlige energibalansen strekker seg fra 8,15% til 111,14%. Løsningen med 8% vil ikke gi utnytte den store produksjonen i Powerhouse Brattøra. Denne evalueringen kan kun brukes som et estimat på hvor mye energi mikronettet bruker og produserer i løpet av et helt år. Den sier ingenting om produksjonen sammenfaller med forbruket. I verste fall kan all produksjon skje i en kort tidsperiode, og måtte lagres for resten av året.

**Tabell 9:** Langsiktig vurdering av energiresurser

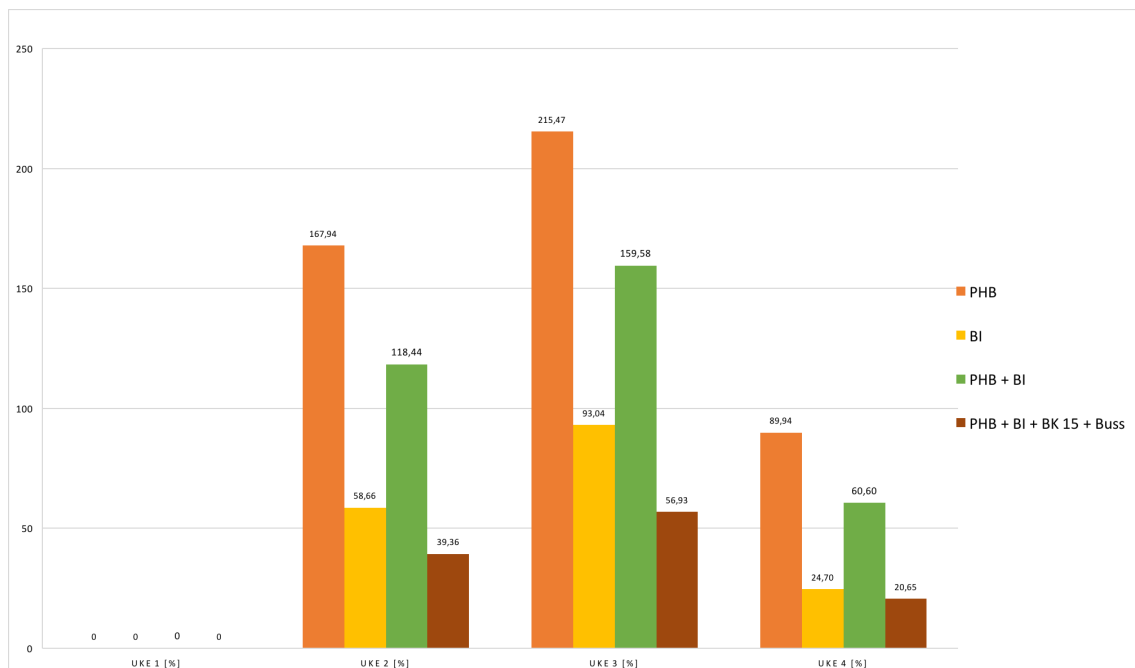
	Systemgrense	Total forbruk [kWh]	Total produksjon [kWh]	Årlig energibalanse [%]
1	PHB	423 810	471 050	111,14
2	PHB + Buss	887 130	471 050	53,10
3	PHB + BK15	1 412 300	471 050	33,35
4	PHB + BK15 + Buss	1 875 700	471 050	25,11
5	BI	339 930	146 100	42,98
6	BI + Buss	803 250	146 100	18,19
7	BI + BK15	1 328 500	146 100	11,00
8	BI + BK15 + Buss	1 791 800	146 100	8,15
9	PHB + BI	763 740	617 160	80,80
10	PHB + BI + Buss	1 227 100	617 160	50,30
11	PHB + BI + BK15	1 752 300	617 160	35,22
12	PHB + BI + BK 15 + Buss	2 215 600	617 160	27,86

### 9.1.1 Evaluering på ukensnivå

Siden det er valgt å se på fire ulike uker utover året kan en bruke disse for å finne energibalansen gitt fra årstid. Dette vil gi en større indikasjon på om valgte energiresurser passer med energiforbruket i mikronettet. Som en kan se i tabell 10 gir en slik vurdering store forskjeller i energibalansen i løpet av året.

For Powerhouse Brattøra viser denne evalueringen at det er et stort sprik mellom energibalansen på vinterstid i periode 1 og på sommerstid i periode 3. Som visst i figur 19 er energibalansen 0 i de kaldeste månedene, mens den på sommeren er 215%. Dette kan gi utfordringer med fordeling av energi, som vil bli sett på senere i oppgaven. BI-bygget kan vi se at dekker 93% på sommerstid. Det gjør at energien lettere kan fordeles utover dagen ved hjelp av energilagring. Ved å se på Powerhouse Brattøra og BI sammen er det igjen overproduksjon sommerstid med 160%, men om Brattørkaia 15 og busslading også blir inkludert er energibalansen godt under 100% igjen. Da er det lettere å forbruke energien som blir produsert selv.

Igjen er denne vurderingen viktigere for isolerte mikronett. Denne løsningen med kun solproduksjon vil da være vanskelig å gjennomføre siden det trengs energilagring for hele vinteren. For ikke-isolerte mikronett handler det mer om hvilken profil man vil at mikronettet skal ha, og med kun en energikilde er det vanskelig å få produksjon og forbruk til å sammenfalle.



Figur 19: Energibalanse for årstidene

**Tabell 10:** Langsiktig vurdering på ukesnivå

Langsiktig	Systemgrense	Uke 1 [%]	Uke 2 [%]	Uke 3 [%]	Uke 4 [%]
1	PHB	0	167,94	215,47	89,94
2	PHB + Buss	0	77,37	99,49	41,88
3	PHB + BK15	0	47,95	68,35	26,71
4	PHB + BK15 + Buss	0	35,94	49,90	19,92
5	BI	0	58,66	93,04	24,70
6	BI + Buss	0	24,31	38,96	10,28
7	BI + BK15	0	14,59	26,12	6,34
8	BI + BK15 + Buss	0	10,79	18,79	4,66
9	PHB + BI	0	118,44	159,58	60,60
10	PHB + BI + Buss	0	72,20	97,69	37,14
11	PHB + BI + BK15	0	50,00	73,55	26,32
12	PHB + BI + BK 15 + Buss	0	39,36	56,93	20,65

## 9.2 Kortsiktig evaluering av energiresurser

I kortsiktig evaluering trengs det mer data for å analysere alternativene videre. Ved å bruke estimerte og tidligere gitte verdier for et helt år kan de samme analysene som for langsiktig evaluering gjennomføres. Dette er vist i tabell 11. De faktiske verdiene etter å ha brukt et helt år er relativt like som for den langsiktige analysen. Energibalansen til Powerhouse Brattøra er her et par prosent under det som ble analysert i langsiktig analyse. Langsiktig analyse kan altså gi en god pekepinn på de ulike løsningene.

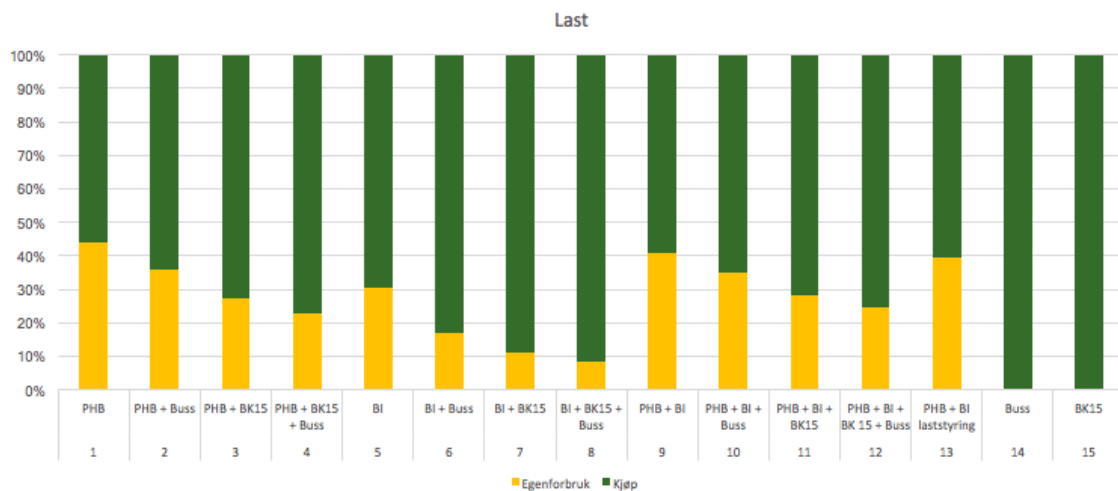
**Tabell 11:** Analyse med timesverdier

Systemgrense	Total forbruk[kWh]	Total produksjon [kWh]	Årlig energibalanse [%]
PHB	440 942	482 380	109,40
PHB + Buss	905 702	482 380	53,26
PHB + BK15	1 411 505	482 380	34,17
PHB + BK15 + Buss	1 876 265	482 380	25,71
BI	344 686	148 776	43,16
BI + Buss	809 446	148 776	18,38
BI + BK15	1 315 249	148 776	11,31
BI + BK15 + Buss	1 780 009	148 776	8,36
PHB + BI	785 628	631 156	80,34
PHB + BI + Buss	1 250 388	631 156	50,48
PHB + BI + BK15	1 756 191	631 156	35,94
PHB + BI + BK 15 + Buss	2 220 951	631 156	28,42
PHB + BI laststyring	776 659	631 156	81,27
Buss	464 760	0	0
BK15	970 563	0	0

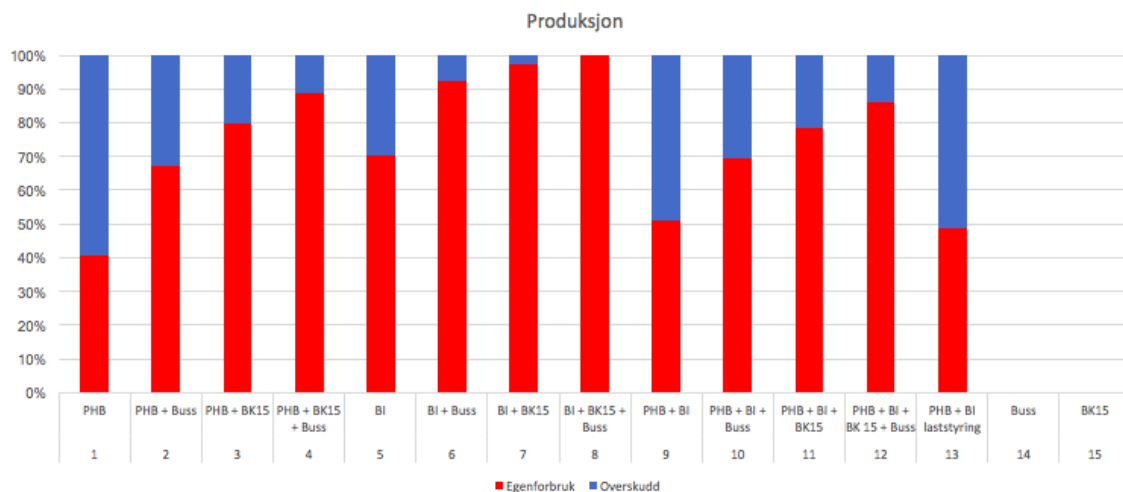
I en slik timesanalyse kan en også se på hvorvidt energiproduksjon og forbruk faktisk sammenfaller. I figur 20 kan man se hvor energien til forbruk kommer fra. Siden vi ikke har mulighet for lagring kommer energien enten fra ovenforliggende nett (kjøpt) eller fra egenprodusert energi (egenforbruk). Egenforbruk her kan sammenstilles med energibalansen. På Powerhouse Brattøra er den 44%, mens det i tilfelle 8 med BI, BK15 og Busslast

er på kun 8,35%. Dette samsvarer lite med den energibalansen som er regnet for et helt år. Dette er fordi det nå blir sett på hvor mye energi som blir produsert og brukt i løpet av den samme timen.

Figur 21 viser hvordan energiproduksjonen fordeler seg. For Powerhouse Brattøra er det kun 40% av produsert energi som blir brukt til eget forbruk. I tilfelle 8 er det nesten 100% av produsert energi som går til egenforbruk. Det ligger mye energi i overskudd i de ulike tilfellene. En utfordring i mikronett er hvordan man skal håndtere dette overskuddet. Det er tre alternativ for håndtering av overskudd, energilagring, salg og struping. Dette vil bli sett nærmere på senere i oppgaven.



Figur 20: Andel last fra egenprodusert og kjøpt energi



Figur 21: Andel produsert energi til egenforbruk og overskudd

En slik analyse kan også fortelle om hvor stor sammenfallingseffekt mikronettet har. Dimensjonering av transformatorstasjonen til mikronettet blir basert på hvor stor maks forbrukseffekt og hvor stor maks innmatet effekt er. Ved å plassere flere laster sammen er det en tydelig trend at maks innmatet effekt blir lavere som kan sees i tabell 12. Det følger av at mer av energien blir brukt innad i mikronettet. Den samme trenden ser en også på

forbrukseffekt. Hvis en plusser PHB og BI sammen får en maks effekt på 252,4kW, mens i tilfelle 9, med PHB og BI i et mikronett sammen er maks effekt 246,88kW. I tilfelle 12 er alle lastene sammen. Separat er total forbrukseffekt på disse 624,4kW, mens det som et mikronett kun vil være 588,84kW

**Tabell 12:** Maks innmatet og maks forbrukseffekt

		Maks innmatet effekt [kW]	Maks forbrukseffekt [kW]
1	PHB	423,73	144,08
2	PHB + Buss	378,73	234,05
3	PHB + BK15	360,39	392,76
4	PHB + BK15 + Buss	315,39	482,76
5	BI	129,85	108,32
6	BI + Buss	84,85	198,32
7	BI + BK15	62,09	368,11
8	BI + BK15 + Buss	17,09	458,11
9	PHB + BI	551,39	246,88
10	PHB + BI + Buss	506,39	336,88
11	PHB + BI + BK15	485,48	498,84
12	PHB + BI + BK 15 + Buss	440,48	588,84
13	PHB + BI laststyring	555,83	214,17
14	Buss	0,00	90,00
15	BK15	0,00	282,00

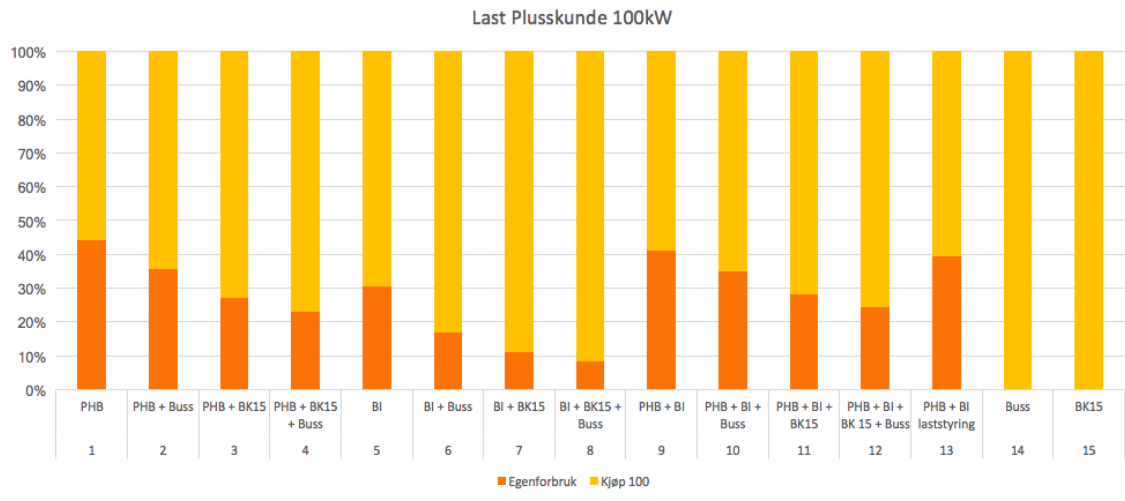
### 9.3 Plusskundeordning

Plusskundeordningen gjør det mulig for mikronettet å selge energien sin. I dette alternativet blir energien solgt med en øvre grense på 100kW og 500kW. Produsert energi blir først prioritert til eget forbruk, og så til salg. Om det fremdeles er mer energi igjen må denne energien strupes siden det ikke er energilagring i mikronettet.

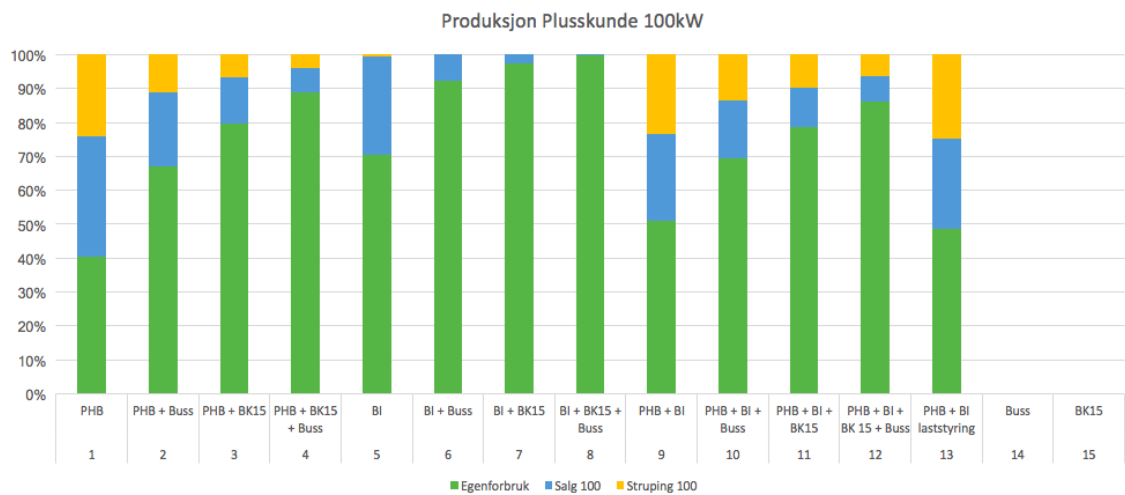
#### 9.3.1 Plusskunde 100kW

Lastfordelingen mellom kjøpt og egenforbruk i figur 22 er lik som i den originale fordelingen siden det ikke er mulig å flytte energien til andre tidspunkt og all mulig energi på sammenfallende tidspunkt alt blir brukt. I figur 23 vises det hvor stor andel av energien som blir solgt gjennom plusskundeordningen. For Powerhouse Brattøra er det hele 35% av energien som blir solgt, mens BI alene er på en god andreplass med nesten 30% solgt energi. For Powerhouse Brattøra og PHB + BI (tilfelle 1 og 8) er det rundt 23% av energien som strupes, mens for tilfellene med kun BI som produksjonsenhet(5,6,7 og 8) ikke trenger å strupe energi.





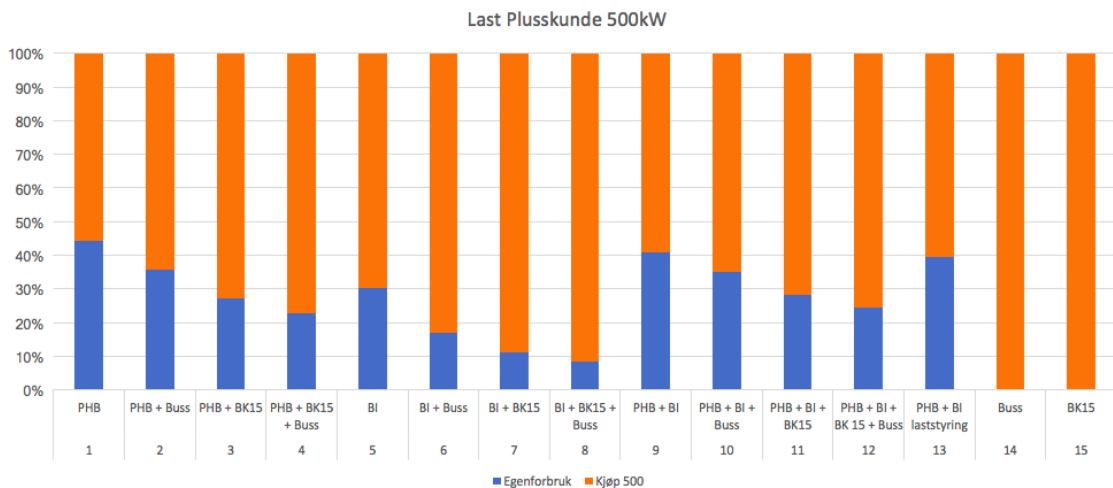
**Figur 22:** Andel last fra egenprodusert og kjøpt energi



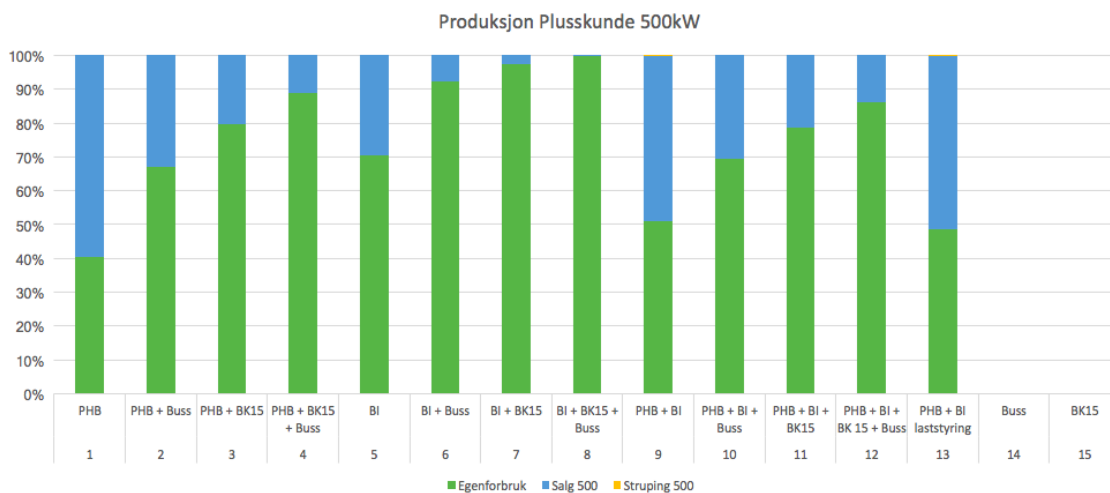
**Figur 23:** Andel produsert energi til egenforbruk, salg og struping

### 9.3.2 Plusskunde 500kW

Ved å ha en grense på plusskundeordningen på 500kW minsker struping av energi betraktelig. Lastfordelingen vil være den samme som tidligere. Produksjonsfordelingen i figur 25 endrer seg fra å ha 23% struping til å nesten ikke ha behov for struping. Dette henger tydelig sammen med maks innmatet effekt fra den originale fordelingen hvor det kun er tilfelle 9, PHB+BI og 10, PHB+BI+Buss, som har innmatet effekt over 500kW. Disse to har maks innmatet effekt på 551,39kW og 506,39kW. Disse tilfellene gir struping på 570,44kWh og 23,74kWh i løpet av året.



Figur 24: Andel last fra egenprodusert og kjøpt energi



Figur 25: Andel produsert energi til egenforbruk, salg og struping

## 9.4 Batteri

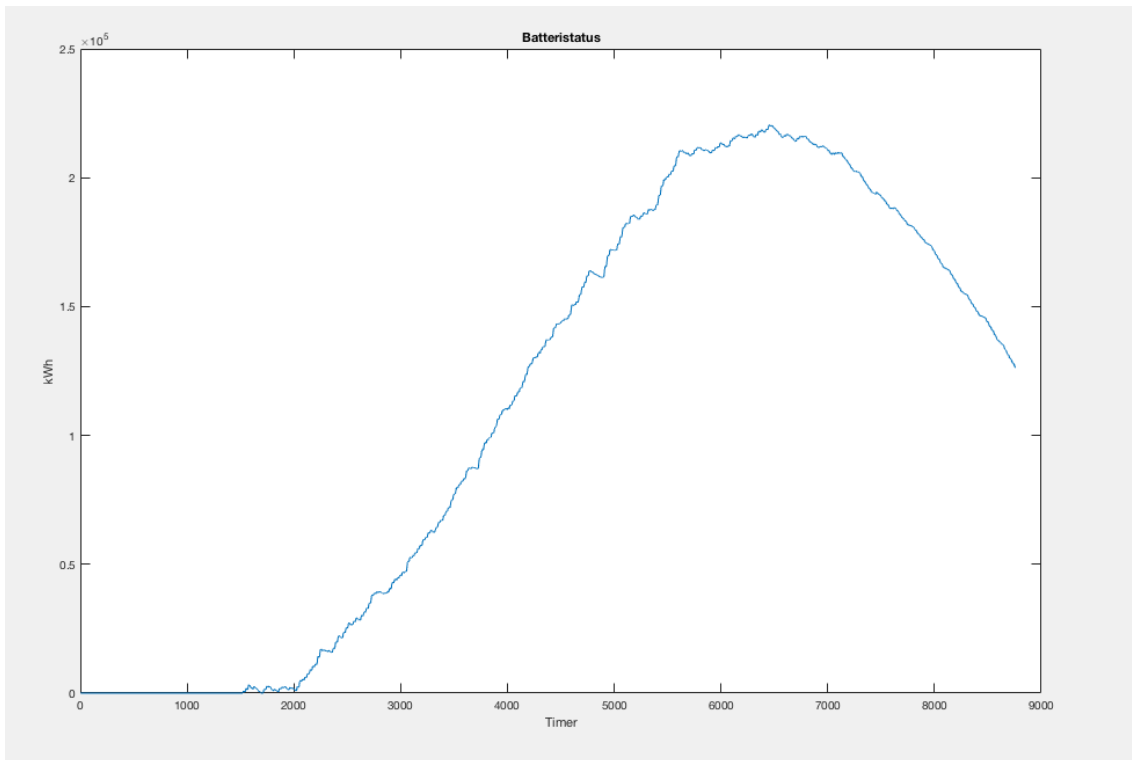
For å se på energilagring ble det i dette caset bestemt å bruke batteri. Batteriet er simulert som et ideelt batteri uten tap, og det er ikke tatt hensyn til effektbegrensning.

### 9.4.1 Uendelig

Ved å sette et uendelig stort batteri inn i systemet kan en se hvor stor kapasitet batteriet trenger for å lagre all energien produsert som ikke går til egenforbruk istedenfor å strupe den.

For Powerhouse Brattøra krever dette et veldig stort batteri. Som figur 26 viser klarer ikke forbruket i Powerhouse Brattøra å lade ut batteriet når det er produksjon i anlegget, siden maks forbruk er mye mindre enn maks produksjon. Om all energien i Powerhouse Brattøra skal lagres kreves det et batteri med kapasitet på 220,5MWh. I løpet av året

lagrer det totalt 287,5MWh. Det gir et forholdstall på 1,3. Det tilsvarer total utlading 1,3 ganger. 287,5MWh er også større enn behovet for energi for Powerhouse Brattøra. Dette samsvarer bra med en dekningsprosent på over 100%.



**Figur 26:** Batteristatus per time for Powerhouse Brattøra ved uendelig kapasitet

For de andre tilfellene varierer størrelsen på batteriet fra 50kWh til 195MWh som vist i tabell 13. Forholdstallet ligger mellom 1,3 til 16,5, noe som vil si at utnyttelsen av batteristørrelsen ikke er særlig stor. Tilfelle 6,7 og 8 kan ha en overkommelig størrelse på batteriet, men forholdstallene er relativt lave også på disse og det er mest synlig ikke lønnsomt å etablere en slik batteriløsning.

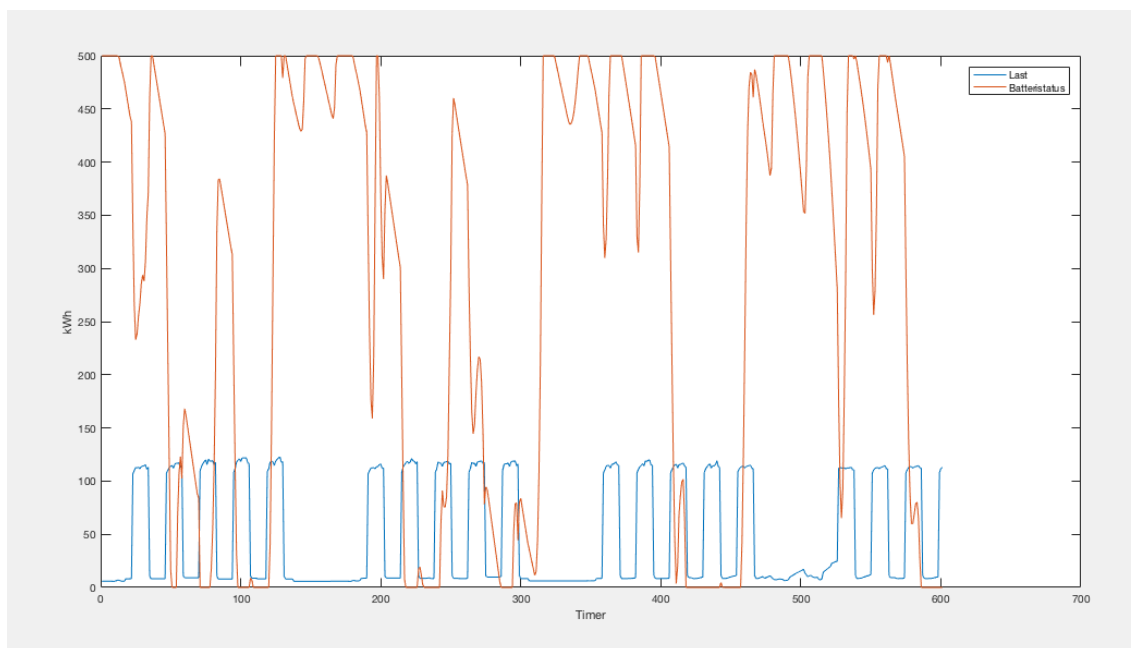
**Tabell 13:** Uendelig batteristørrelse

		Maks batteristatus [kWh]	Totalt lagret energi [kWh]	Forholdstall
1	PHB	220 416	287 466	1,30
2	PHB + Buss	28 182	158 822	5,64
3	PHB + BK15	5 809	97 613	16,80
4	PHB + BK15 + Buss	4 350	53 632	12,33
5	BI	4 195	44 158	10,53
6	BI + Buss	955	11 536	12,08
7	BI + BK15	393	3 977	10,11
8	BI + BK15 + Buss	50	149	2,95
9	PHB + BI	195 123	308 910	1,58
10	PHB + BI + Buss	29 100	193 091	6,64
11	PHB + BI + BK15	8 193	135 042	16,48
12	PHB + BI + BK 15 + Buss	6 725	86 751	12,90
13	PHB + BI laststyring	215 496	323 986	1,50
14	Buss	0	0	0
15	BK15	0	0	0

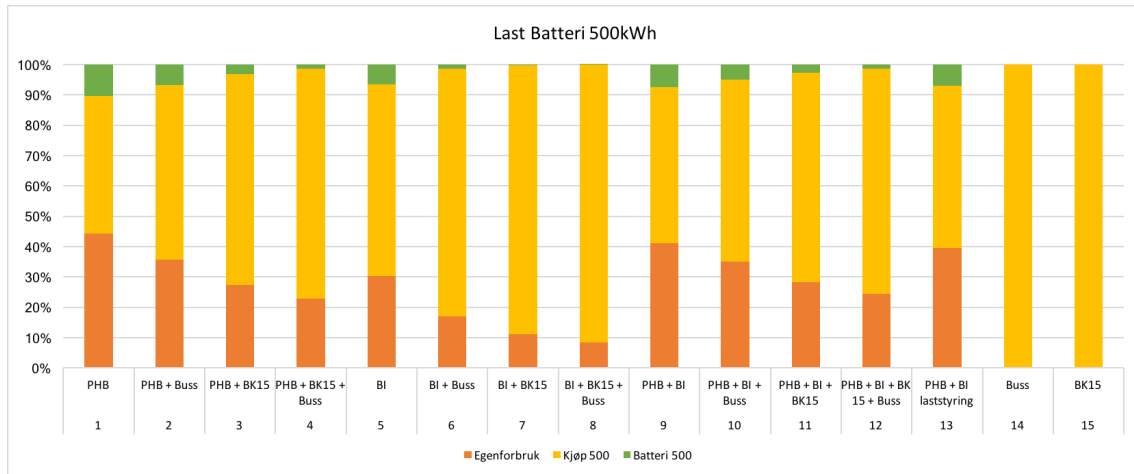
#### 9.4.2 500kWh

Ved å sette en begrensning på batteriet på 500kWh vil batteriet stoppe å lade når batteristatus når 500kWh, og utlades av forbruket på et senere tidspunkt.

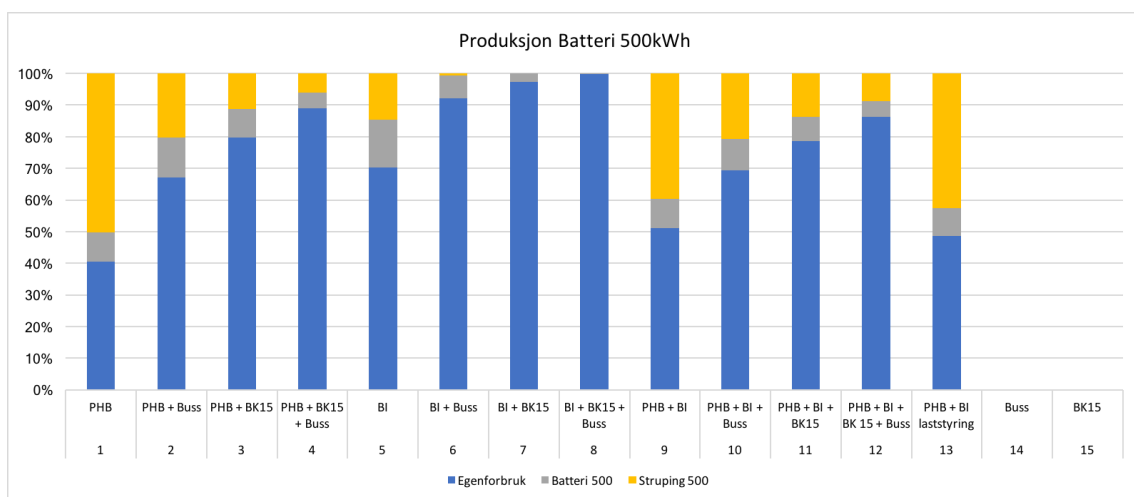
Karakteristikken til batteristatus ved tilfelle 1, Powerhouse Brattøra er i figur 27. Figuren viser hvordan batteristatusen er fra 22. august til 16. september. Her klarer batteriet å utlades i løpet av ukedagene. De tre toppene på batteriet, hvor lasten er lav, er helger. Da er ikke forbruket i Powerhouse Brattøra stort nok til å tømme batteriet. En kan se at i de fleste tilfeller av utladet batteri blir batteriet ladet opp igjen med en gang etterpå. Da har batteriet akkurat nok kapasitet til å levere energi for tiden det ikke er solproduksjon.

**Figur 27:** Batteristatus og last ved bruk av 500kWh batteri i tilfelle Powerhouse Brattøra

Ved å se på statistikken over hvor produsert energi går ser vi at det kun er en liten andel som går til batterilagring. På Powerhouse Brattøra er denne nede i 10%, mens på BI er den rundt 15%. Det er fremdeles en betydelig andel av energien som må strupes. Det er kun i tilfelle 6 og 7 en batteriløsning forhindrer struping av energi.



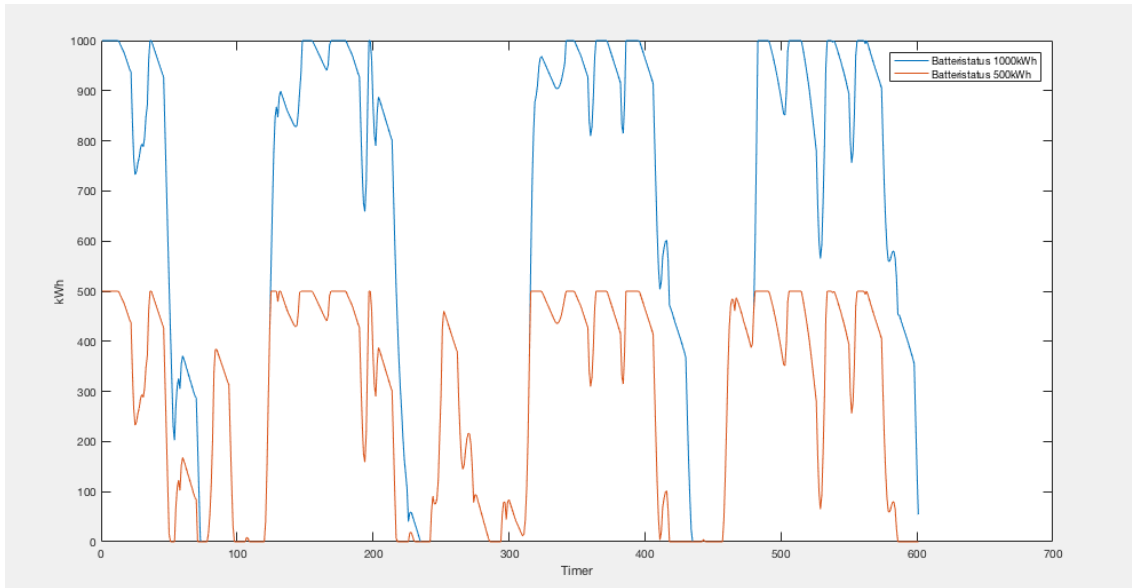
Figur 28: Last ved bruk av 500kWh batteri



Figur 29: Produksjon ved bruk av 500kWh batteri

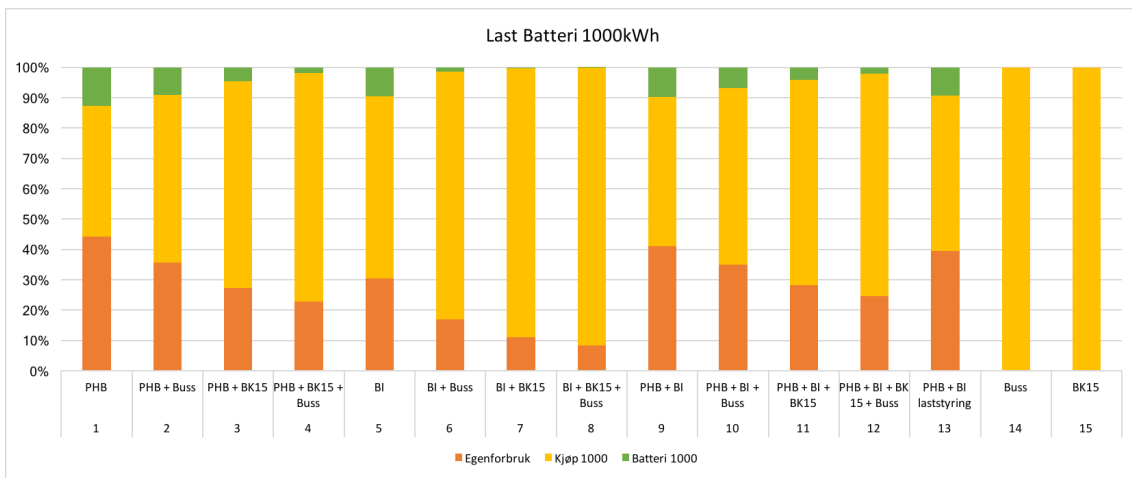
### 9.4.3 1000kWh

Ved å sette inn et dobbelt så stort batteri er målet at batteriet skal klare å utnytte energien mer. Som man ser i figur 30 klarer ikke batteriet å lades ut like fort som 500kWh. Batteriet blir da ikke utnyttet til det fulle.

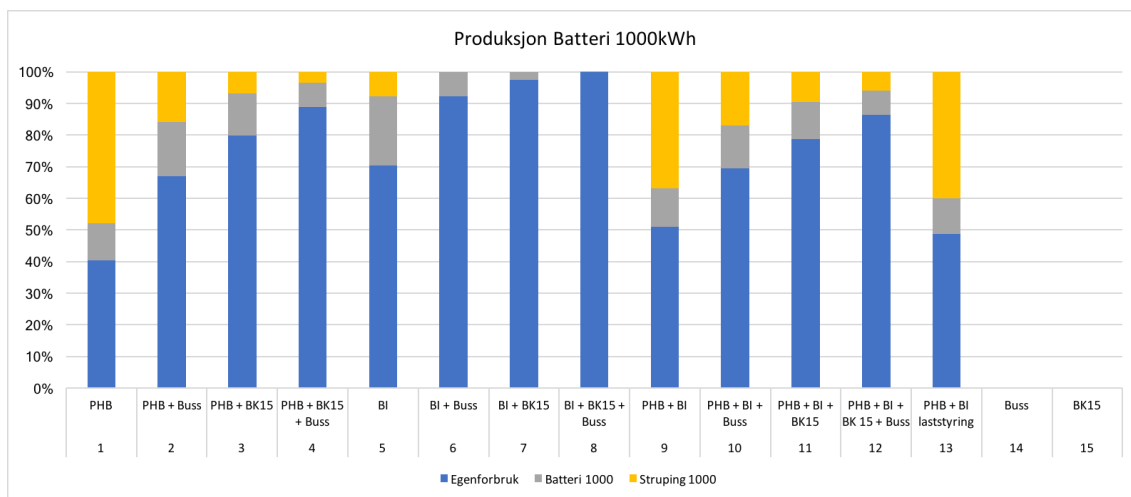


**Figur 30:** Batteristatus ved Powerhouse Brattøra i august og september

Ved å se på statistikken i figur 32 ser vi at andelen produsert energi til batteri er økt til 11% for Powerhouse Brattøra og 20% for BI. Det er fremdeles en liten del av den totale produksjonen, og mye energi må fremdeles strupes i mange av tilfellene.



**Figur 31:** Last ved bruk av 1000kWh batteri



**Figur 32:** Produksjon ved bruk av 1000kWh batteri

Ved å sammenligne de to ulike batteristørrelsen og lagret effekt i disse kan en se hvordan batteriet blir utnyttet. Tabell 14 viser hvor mye energi ekstra et 1000kWh batteri lagrer i forhold til et 500kWh batteri. Et 1000kWh batteri klarer her maks å lagre 54% mer energi enn 500kWh batteriet klarer. I tilfelle 7 og 8 er 500kWh batteriet stort nok for systemet og da klarer ikke batteriet å lagre mer energi selv om det er dobbelt så stort. For andre tilfeller er det lastprofilen som gjør at batteriet ikke klarer å lagre mer.

**Tabell 14:** Lagret energi for 500kWh og 1000kWh batteri

		Batteri 500kWh [kWh]	Batteri 1000kWh [kWh]	Endring
1	PHB	45 427	56 177	24 %
2	PHB + Buss	61 254	81 807	34 %
3	PHB + BK15	43 714	64 292	47 %
4	PHB + BK15 + Buss	24 239	37 051	53 %
5	BI	22 505	32 649	45 %
6	BI + Buss	10 602	11 536	9 %
7	BI + BK15	3 977	3 977	0 %
8	BI + BK15 + Buss	149	149	0 %
9	PHB + BI	59 100	76 327	29 %
10	PHB + BI + Buss	62 602	85 573	37 %
11	PHB + BI + BK15	48 257	74 305	54 %
12	PHB + BI + BK 15 + Buss	31 754	48 952	54 %

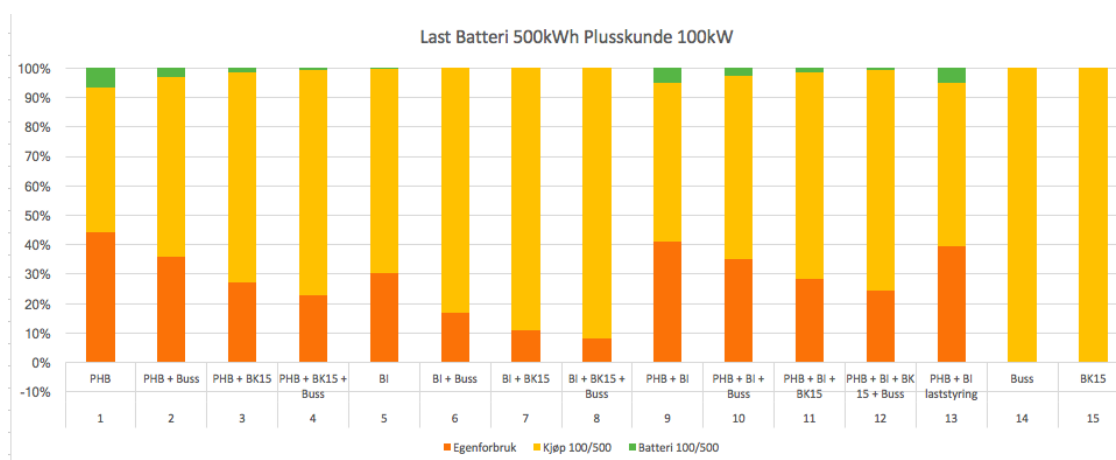
## 9.5 Batteri og plusskunde

Ved å kombinere batteri og plusskunde kan en utnytte energien i mikronettet enda bedre. I denne modellen er det kun salg til plusskunde direkte fra produksjon, og ikke fra batteriet.

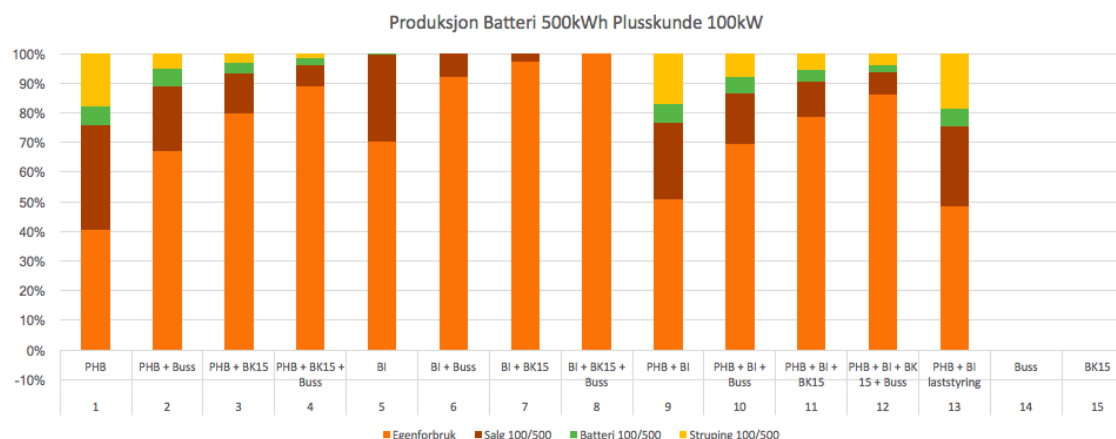
### 9.5.1 Batteri 500kWh og plusskundeavtale 100kW

Ved å sette inn et batteri på 500kWh og bruke plusskundeavtale med 100kW maks innmatet effekt får en grafene i figur 33 og 34. Lastprofilen vil ha mindre energi levert fra batteriet enn når en kun har batteri.

Produksjonsprofilen viser en mindre andel til batteriet enn for kun batteridrift. Dette er fordi 100kW av hver time med produsert effekt blir solgt på nettet istedenfor lagret i batteriet. Batteriet klarer da ikke å lades opp like fort. Batteridelen for Powerhouse Brattøra er på rundt 5%, mens for kun batteridrift var den på 10%. Salgsandelen vil være nøyaktig lik som i grafen for kun plusskunde, siden systemet kun leverer energi når den produseres og ikke fra batteriet. Struping minsker for Powerhouse Brattøra fra 24% med kun plusskundeavtale til 18% ved hjelp av batteriet.



Figur 33: Last ved bruk av 500kWh batteri og 100kW plusskunde

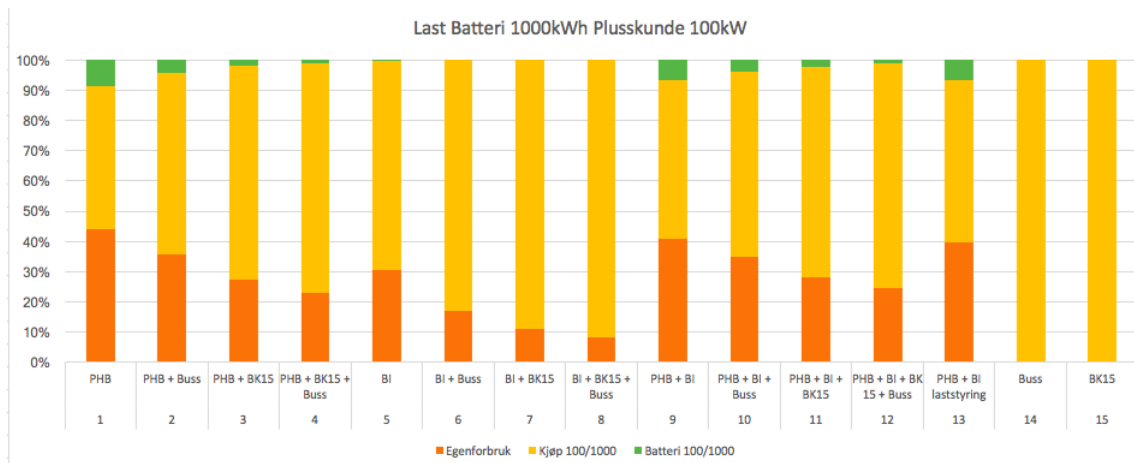


Figur 34: Produksjon ved bruk av 500kWh batteri og 100kW plusskunde

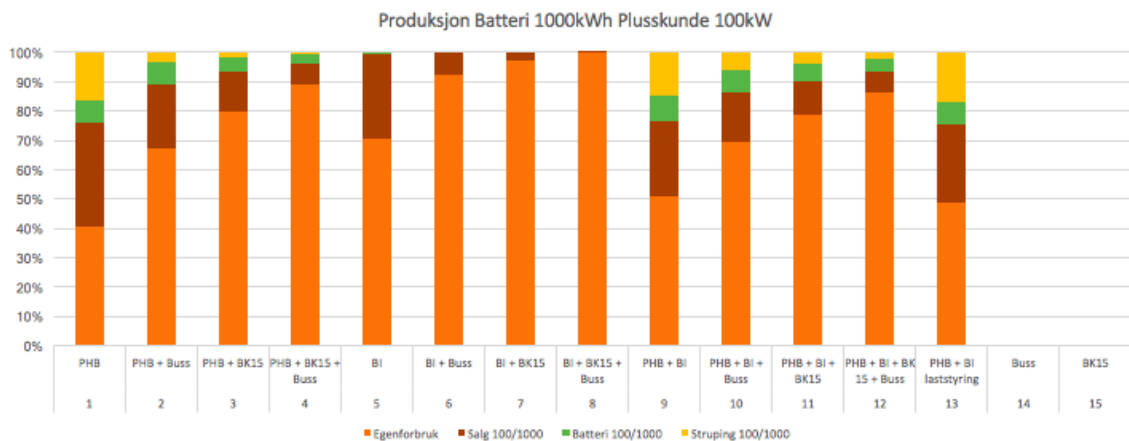
### 9.5.2 Batteri 1000kWh og plusskunde 100kW

Ved å plassere inn et batteri på 1000kWh istedenfor 500kWh vil andelen lagret energi øke igjen, men for de fleste tilfeller kun med få prosent.





Figur 35: Last ved bruk av 1000kWh batteri og 100kW plusskunde

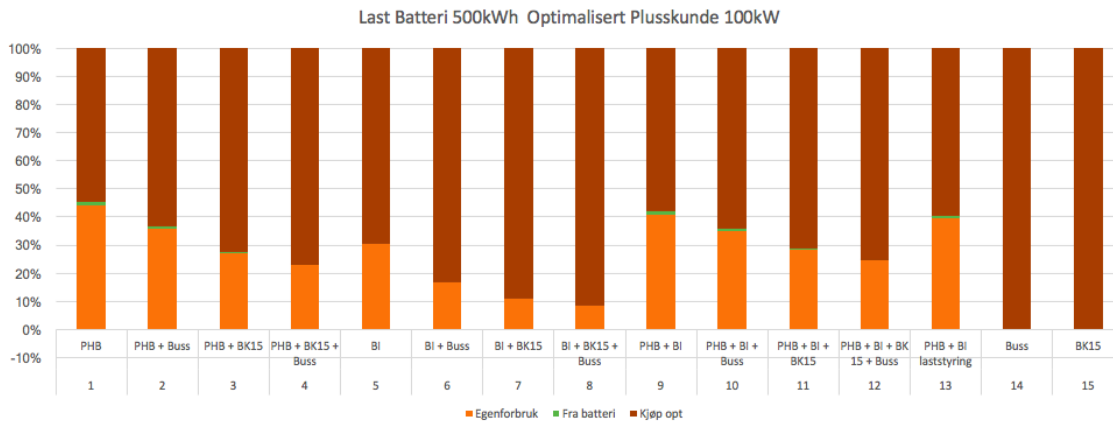


Figur 36: Produksjon ved bruk av 1000kWh batteri og 100kW plusskunde

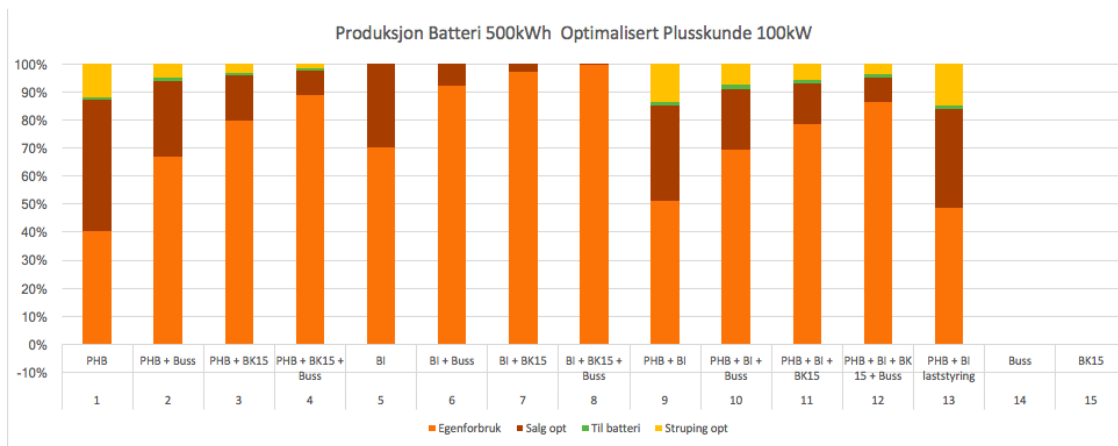
## 9.6 Batteri og prioritert plusskunde

Ved å programmere batteriet slik at det alltid vil levere energi til nettet om det er mulig kan en få et høyere salg enn i løsningen hvor kun energi som er produsert der og da kan leveres. Det blir brukt et 500kWh batteri og plusskunde 100kW ordning.

I figur 37 og 38 vises fordelingen for denne løsningen. Mindre energien produsert går til struping enn i det normale plusskunde og batterisystemet. Energien vist som lagret i batteri er energi til egenforbruk. I tillegg til den energien vist der brukes også batteriet til å øke mengden energi til salg, uten at dette illustreres i grafen. Dette gjør at produsert energi til salg er høyere enn i den normale løsningen, og mengden energi lagret i batteri er mindre. I lastfordelingen er det mer energi kjøpt og mindre energi som kommer fra batteriet enn i den normale løsningen. Denne løsningen er ikke optimal siden innkjøpsprisen for energi er høyere enn salgsprisen. En mer optimalisert modell ville kunne regulere om den burde spare energien til eget forbruk eller selge så mye som mulig utifra værmelding eller lignende for optimal utnyttelse av batterilagrings.



Figur 37: Lastfordeling ved batteri og prioritert plusskunde



Figur 38: Produksjonsfordeling ved batteri og prioritert plusskunde

## 9.7 Kostnad og inntekt

For estimering av kostnad og inntekter i mikronettet er det antatt at alle laster i mikronettet er kunder som skal betale samme energipris som om det ikke var et mikronett.

Mikronettet har en kostnad beregnet utfra kjøp fra kraftnettet med nettleie fra TrønderEnergi og Nord Pool spotpris som energipris. Det har inntekter fra de tilkoblede lastene som er Powerhouse Brattøra, BI-bygget, Buss-last og BK15. Ved å samle inntekter og kostnader kan en se hvilket overskudd det forventes at mikronettet vil gi i løpet av et år med dagens priser.

I figur 39, 40 og 41 er forventet inntekt vist. De to første søylene viser hvordan inntekten blir om en ikke kan selge energi til ovenforliggende nett, og hvordan det blir om man kan selge all overskuddsenergi til ovenforliggende nett. Plusskunde 500 vil gi samme inntekt som for å selge all energi. I alle systemgrensene bortsett fra PHB+BI og PHB+BI+Buss går all overskuddsenergi til salg, akkurat som i alternativet for å selge all energi.

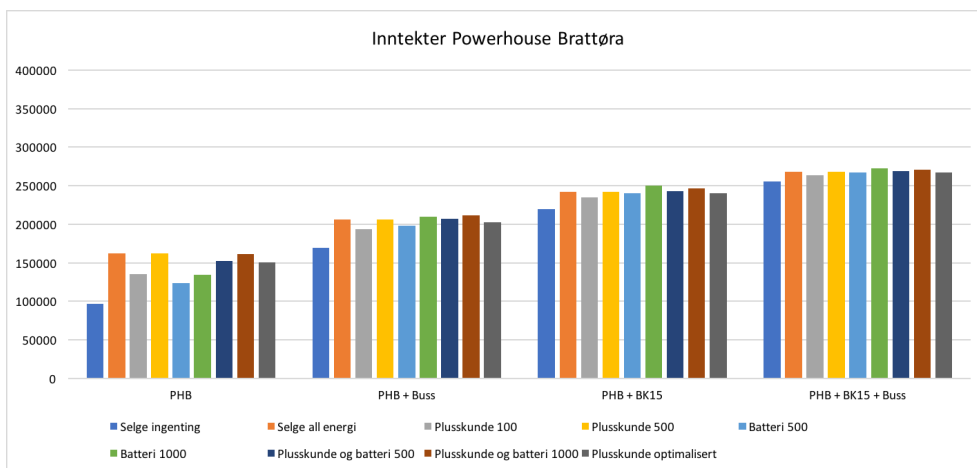
Det er en tydelig tendens til at inntekten øker jo flere laster en har samlet. Dette er på grunn av at det er større andel egenforbruk. Det er også en tendens at de ulike vilkårene har

større betydning for færre laster. Også dette skyldes mindre egenforbruk i disse tilfellene. Når det er mindre egenforbruk øker betydningen av rammevilkårene.

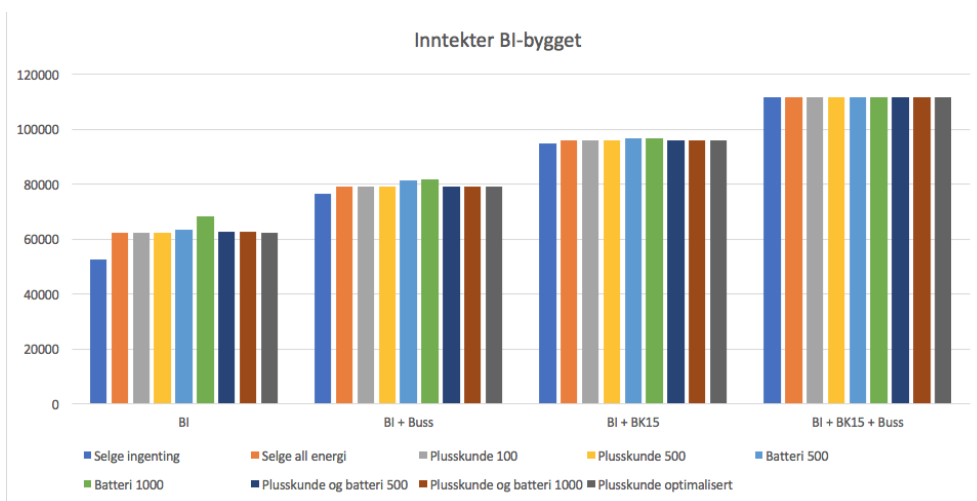
Ved å se på grafen til Powerhouse Brattøra i figur 39 kan man se tydelig at systemgrense 1 med kun Powerhouse Brattøra blir påvirket av de ulike casene. Inntekten blir kraftig påvirket av å ikke kunne selge energien sin versus å kunne selge alt. Det er en forskjell på ca 65 400kr i året. Powerhouse Brattøra bruker kun 40 % av energien som blir produsert til egen forbruk direkte. Ved å ha plusskundeordning med 100kW grense minsker det energien som blir strupet fra 60% til 24%, og det øker dermed inntekten med 39 000kr. Ved plusskunde 500kW ordning kan Powerhouse Brattøra selge all overskuddsenergien sin. For batterilagring med 500kWh kapasitet minsker strupingen fra 60% til 50%, og det øker inntekten med 27 000kr, og økes batterikapasiteten til 1000kWh minsker strupingen til 49%. Det øker inntekten med ca 10 000kr og viser at selv om batterikapasiteten er doblet så klarer ikke mikronettet å utnytte denne kapasiteten. Å tilføye et 500kWh batteri til plusskundeordningen øker inntekten med 17 000kr i året. Å øke batterikapasiteten øker inntekten med ytterlige 8000kr. Det gir nesten samme inntekt som å kunne selge all overskuddsenergi direkte. Ved å optimalisere batteriet slik at det alltid vil selge energi om ikke 100kW-grensen er nådd minsker inntekten i forhold til samme oppsett uten optimalisering. Selv om en slik optimalisering minsker struping av produsert energi fra 19% til 11% er inntekten for egenforbrukt energi mye høyere enn for solgt energi. I noen av tilfellene, som PHB+BK15 (systemgrense 7) og PHB+BK15+Buss (systemgrense 8) er løsningen med et 1000kWh batteri det mest lønnsomme, til og med mer lønnsomt enn å selge all overskuddsenergien sin direkte. Det er fordi denne løsningen øker egenforbruket, og eget forbruk er mer lønnsomt enn salg.

I figur 40 vises inntekten for BI-bygget som energikilde. Med BI-bygget som energi er inntekten nesten det samme uansett hvilken løsning som velges. Det er fordi mesteparten av produsert energi brukes til egenforbruk. For løsningene med BI og BI+Buss øker inntekten ved bruk av batteri siden dette kan øke egetforbruket ytterligere. Det har ingen effekt å inkludere batteri sammen med plusskundeavtalen, siden overskuddsproduksjonen er lavere enn grensen for plusskundeavtalen. Ved tilfellene med BI+BK15+Buss brukes all energi til egetforbruk direkte, og det vil derfor ikke ha noe effekt med de ulike løsningene.

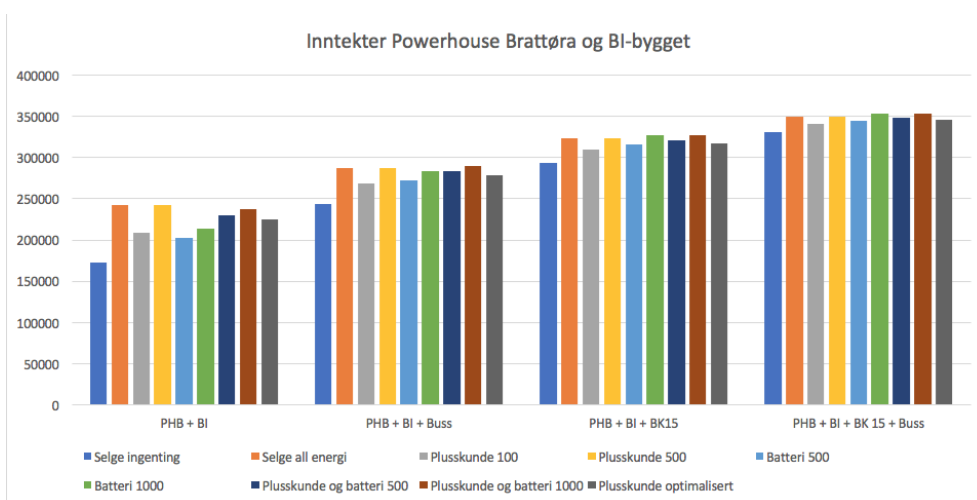
For inntekter med Powerhouse Brattøra og BI kombinert som energikilde i figur 41 er det de samme tendensene som for Powerhouse Brattøra.



**Figur 39:** Inntekt i mikronettet for Powerhouse Brattøra som energikilde



**Figur 40:** Inntekt i mikronettet for BI-bygget som energikilde

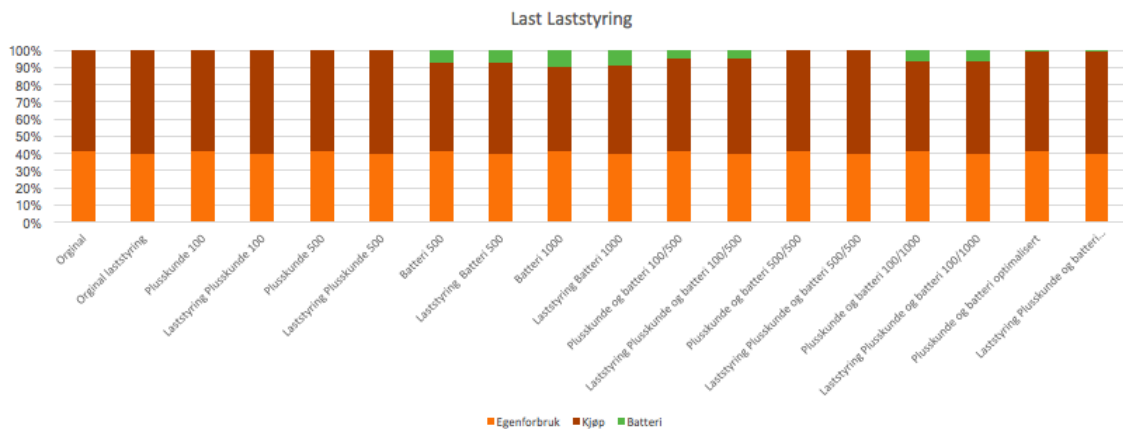


**Figur 41:** Inntekt i mikronettet for Powerhouse Brattøra og BI-bygget som energikilde

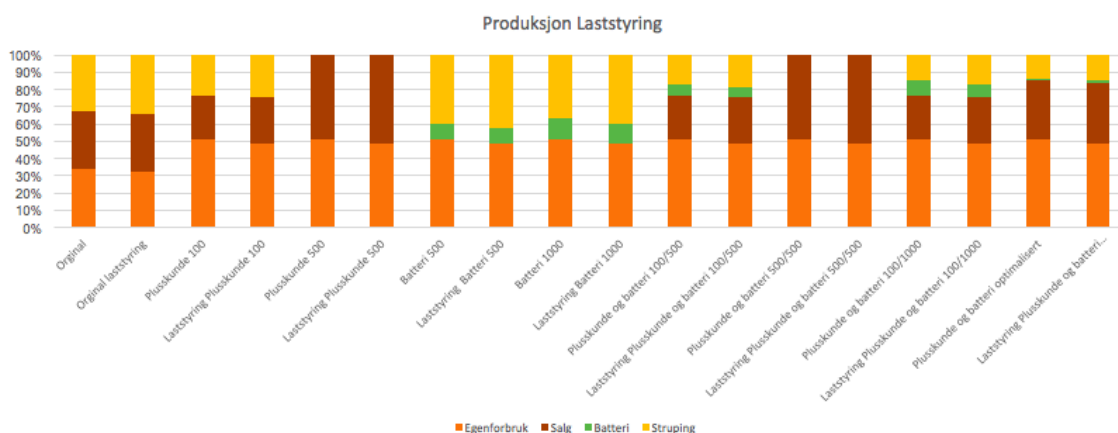
## 9.8 Laststyring

I Powerhouse Brattøra og BI er det muligheter for laststyring av enkelte laster som for eksempel oppvarming. Ved å flytte laster fra midt på dagen til natt eller ettermiddag kan de høyeste lasttoppene forminskes. For Powerhouse Brattøra og BI er store deler av lastene på dagtid ikke flyttbare siden dette er brukerstyrte laster.

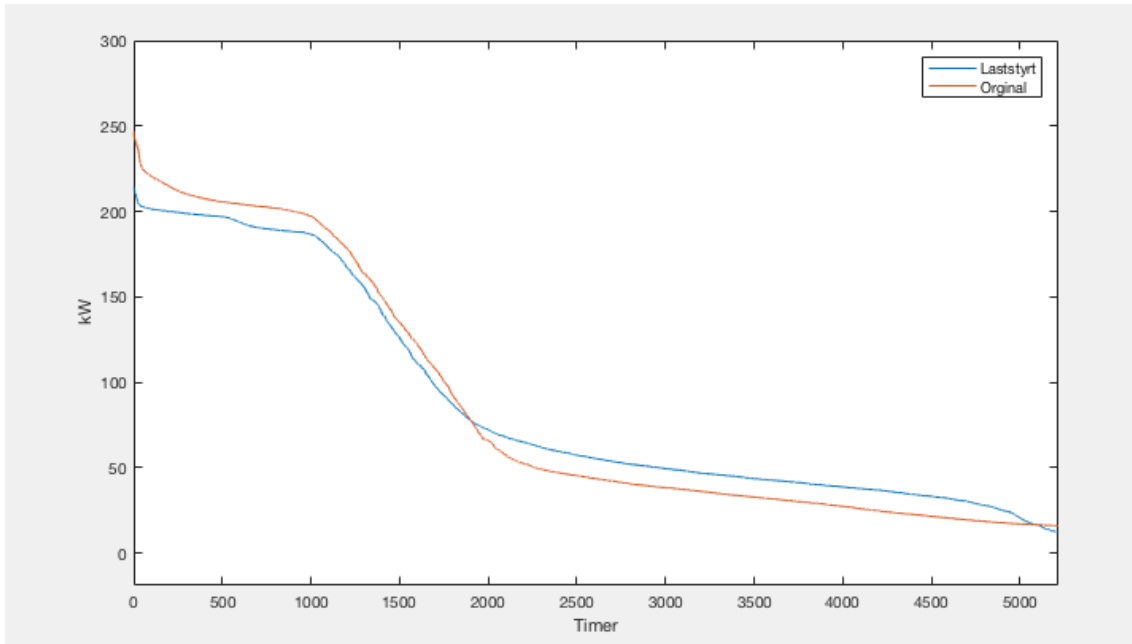
Ut i fra fordelingen i figur 42 og 43 kan man se at laststyringen ikke gir mye forskjell fra det originale tilfellet med Powerhouse Brattøra og BI. Den største forskjellen ligger i egenforbruk hvor det originale tilfellet hadde 15 076kWh mer egenforbruk enn det laststyrte. I det laststyrte tilfellet blir energienbruken flyttet fra midt på dag, når produksjon er høyest, til kveld og natt. Dette slår negativt ut på sommerstid når det er solproduksjon på dagtid. Dette er derimot gjort for å hindre effekttopper. Ved å gjøre denne endringen går høyeste effekttopp fra 247kW til 214kW. Som en kan se i figur 44 vil laststyringsalternativ ha lavere effekter enn den originale ved de høyeste effektene, og omvendt på de lavere. Dette er fordi laststyringen er dimensjonert for å hindre effekttopper.



Figur 42: Last ved bruk av laststyring

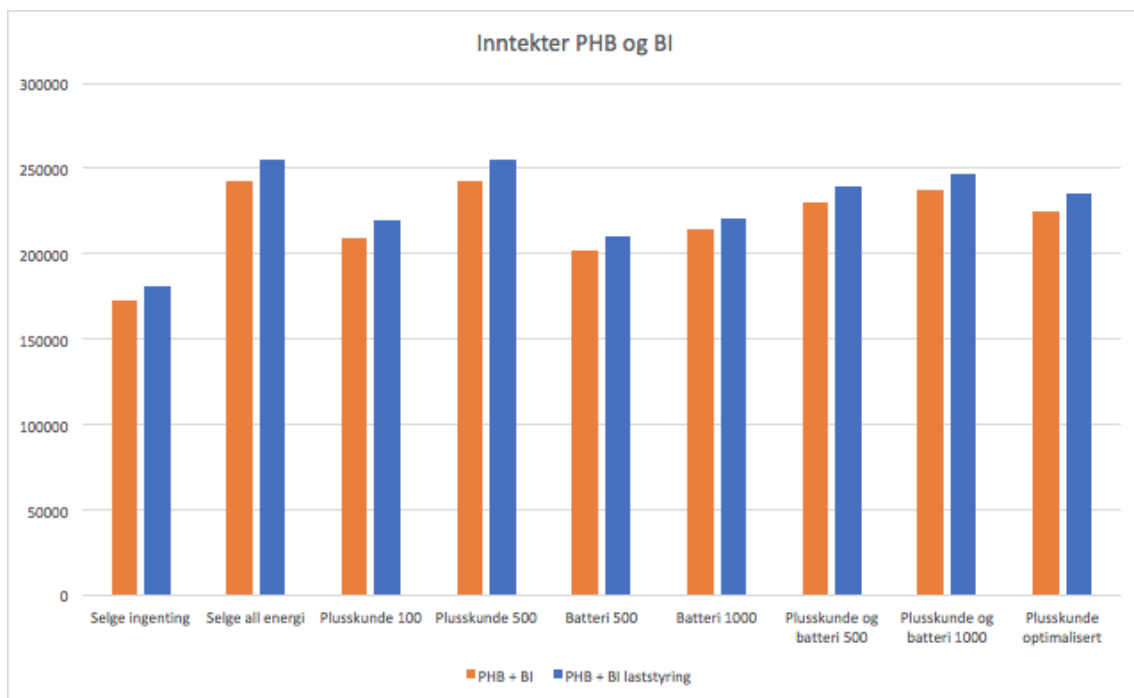


Figur 43: Produksjon ved bruk av laststyring



**Figur 44:** Effekt ved laststyring og orginal Powerhouse og Brattøra

Selv om egenforbruket minsker ved bruk av laststyring viser figur 45 at inntekten for laststyrt system er høyere enn det orginale med inntektsøkning på mellom ca 7 000-13 000kr per år. Dette er mest sannsynlig på grunn av effektprofilen som kan sees i figur 44. Ved laststyring unngår en de høyeste effektene, og dette kan føre til at effektleddet i kjøpskostnadene minsker betraktelig.



**Figur 45:** Inntekter ved bruk av laststyring

## 9.9 Effektstyring

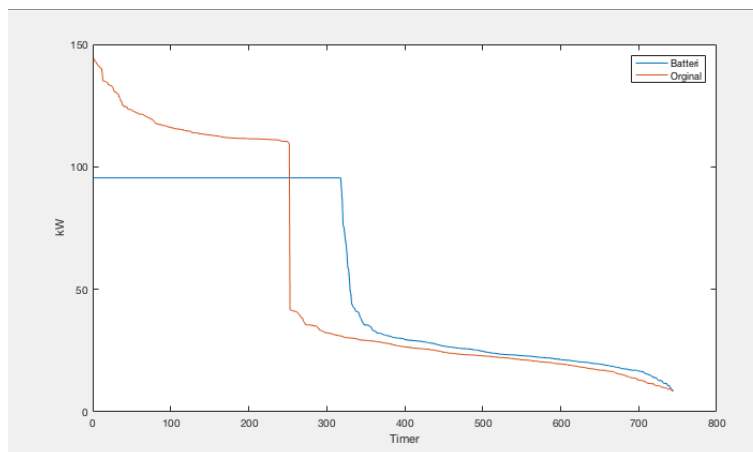
I en samfunnsmessig rasjonell analyse er det interessant å se på effekttoppene som oppstår. De ulike tilfellene og alternativene gir ulike effekttopper i nettet, og det er disse det ovenforliggende nettet er dimensjonert etter. Ved å minske effekttoppene kan man unngå en oppgradering av kraftnettet. Ved sammenslåing av laster, som tidligere vist i tabell 12, kan effekttoppene minske. Det samme kan også laststyring gjøre, som vist i figur 44. En annen måte å unngå effekttopper er ved å bruke batteristyring aktivt for å kunne levere energi også på vinteren når effekttoppene er store. Ved å lade batteriet når det er lite forbruk, og utlade det når det er høyt forbruk kan effekttoppene minske betraktelig.

I denne analysen vil det bli sett på Powerhouse Brattøra med et 500kWh batteri. Det vil bli sett på de månedene som har høyest tariff for effektleddet, januar, februar, november og desember. Jeg tar utgangspunkt i den verste dagen i måneden, og dimensjonerer makseffekt utfra den.

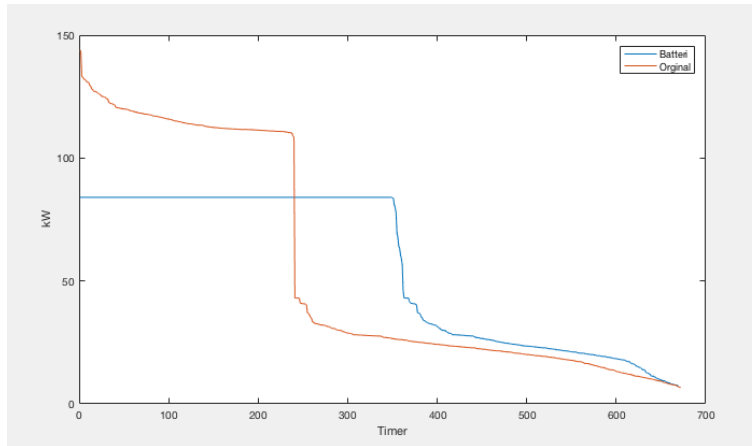
Den høyeste effekttoppen i året er den 15. januar med en effekttopp på 144,08kW. Det er en ekstra kald uke i Trondheim og effekttoppene er høye hele uken. Ved å benytte batteriets kapasitet og sette makseffekten på 95,5kW i løpet av måneden, vil en få effektprofil som i figur 46. Denne effektprofilen viser antall timer med hver makseffekt. I nettleiesatsene for Brattøra er det med et effektledd som beregnes per måned, der maksimum effekt er dimensjonerende. Ved å minske maksimum effekt fra 144kW til 95,5kW kan en spare 2 915kr for januar. Tabell 15 viser hvilke effektgrenser som er valgt for de andre månedene og hvilke besparelser dette gir. Ved å benytte batteriet på denne måten kan en spare over 13 000kr på disse fire månedene.

**Tabell 15:** Effektstyring

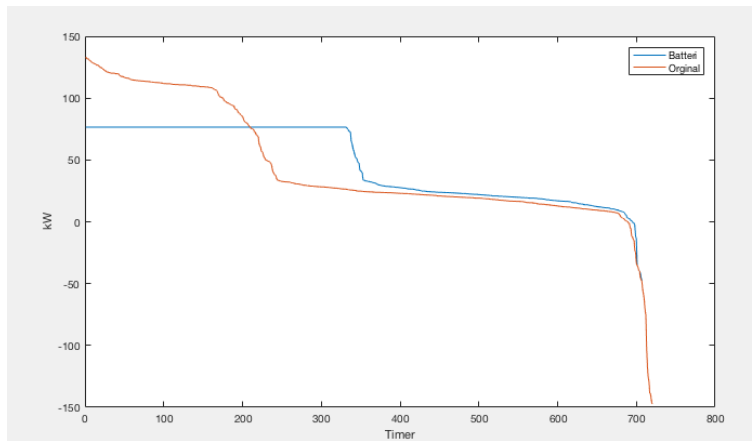
	Maks effekt før [kW]	Maks effekt etter [kW]	Differanse [kW]	Kostnadssparing [kr]
Januar	144,08	95,5	48,58	2 914,8
Februar	144,05	84	60,05	3 603
November	133,36	76,5	56,86	3 411,6
Desember	139,53	86,5	53,03	3 181,8



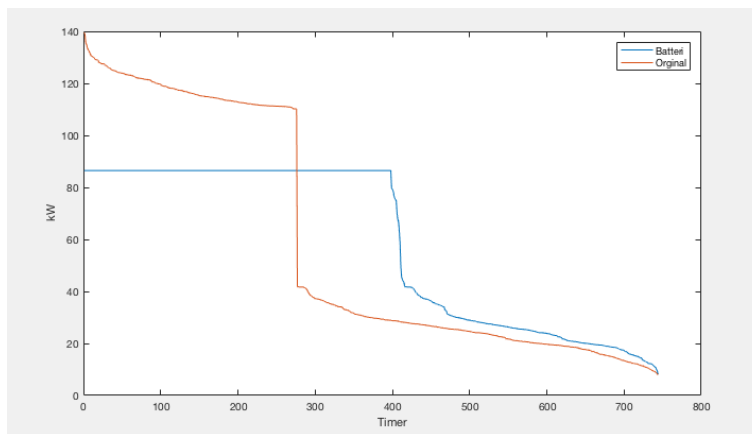
**Figur 46:** Effektstyring for januar



**Figur 47:** Effektstyring for februar



**Figur 48:** Effektstyring for november



**Figur 49:** Effektstyring for desember



## 10 Fase 3 - Tekniske krav og analyser

I denne caseoppgaven vil ikke tekniske analyser eller tekniske krav bli nøye gjennomgått, men de ulike delene vil bli kommentert uten å gjøre analyser. Siden mikronettet hovedsakelig vil bli operert i tilkoblet tilstand blir frakoblet tilstand ikke vurdert her.

### 10.1 Tekniske analyser

#### 10.1.1 Lastflytanalyse

I lastflytanalyse er det spenningskvaliteten som blir undersøkt. Kravet er at spenningen skal holdes innenfor 10% av spenningen satt i mikronettet. I mikronettet på Brattøra er det relativt korte avstander mellom alle lastene så det er ingen store tap over linjer som kan føre til store frekvensforskjeller. All produksjon har også transformatorer som kan hjelpe til med å holde rett spenningsnivå. Det er ingen store motorer som kan starte og forstyrre spenningskvaliteten, men det har derimot start av alle laster på samme tidspunkt som kan gi en utfordring med spenningsfall om ikke tilknytningspunktet til mikronettet er dimensjonert for dette. Det kan også være en ulempe med den ustabile produksjonen som solcellepanel kan gi. Siden mikronettet er tilkoblet ovenforliggende nett vil det mest trolig ikke gi store utfordringer i lastflytanalysen.

#### 10.1.2 Kortslutningstrømmer

Ved tilkobling av distribuert energiproduksjon kan dette endre kortslutningstrømmene i mikronettet. I mikronettet er det her to produksjonsenheter som trenger å ta hensyn til at det er strømflyt i to retninger, mens de to andre lastene kan regnes som tradisjonelle laster. Kortslutningsberegningene vil være utgangspunkt for valg av vern senere i fasen.

#### 10.1.3 Stabilitetskalkulasjoner

Siden mikronettet er tilkoblet ovenforliggende nett er det antatt at ovenforliggende nett vil hjelpe det interne mikronettet med å holde stabil spenningskvalitet.

### 10.2 Tekniske krav

De tekniske kravene for mikronettet er like for alle ulike systemgrenser og driftsmuligheter. Eneste tekniske forskjellen er at det i noen driftsmuligheter er installert et batteri. Med det samme utstyret vil ikke tekniske krav gi større kostnader for enkelte alternativ.

#### 10.2.1 Distribuerte energikilder

Distribuerte energikilder i mikronettet er solceller. Gjeldende standarder for solceller er NEK-EN 62446:2009 for vedlikehold og verifikasjonstester og REN 342 som omhandler tekniske krav til PV-enheten.

## 10.2.2 Distribusjonslinjer og kabler

Distribusjonslinjene i mikronettet ligger hovedsaklig i kjeller. Det er mulig at det er behov for omstrukturering av distribusjonslinjene om det blir valgt systemgrenser som ikke inkluderer alle lastene i området.

## 10.2.3 Tilkoblingspunkt

I tilkoblingspunktet er det en transformatorstasjon med kapasitet på 1250kW. Ved denne transformatoren er det med de tilkoblede lastene i dag prosjektert med ledig kapasitet på 216kW. Ved å benytte systemgrenser som inkluderer flere laster kan det frigi mer kapasitet på transformatorstasjonen. Gjeldende standarder for tilkoblingspunkt er NEK-EN 50438:2013 og REN-blad 340 Rammeavtale for tilknytning av innmatningskunder i lavspenningsnett.

## 10.2.4 Kontroll, vern og kommunikasjonssystemer

Behovet for kontrollenhet i dette mikronettet er ikke like stor som i et isolert mikronett. Mikronettet har ingen kontrollerbare produksjonsenheter, men det kan være nyttig med kontrollere i forbindelse med batteridrift. Det kan også være aktuelt for kontroll av styrbare laster i Powerhouse Brattøra og BI-bygget. Ved å ha kontrollsystem bør dette ha kommunikasjonssystem med øvrige enheter i mikronettet og med distribusjonsnettet. Dette bør følge standardene IEC 61850 innad i mikronettet og IEC 61968 og IEC 61970 mellom mikronett og distribusjonsnett [17].

## 11 Fase 4 - Evaluering

### 11.1 Forsyningssikkerhet

Det er antatt at forsyningssikkerheten i området alt er god, og at anlegging av mikronett ikke har stor påvirkning på forsyningssikkerheten.

### 11.2 Miljø og estetikk

Det har vært diskusjoner rundt byggingen av Powerhouse Brattøra, og det har tatt flere år før planene har blitt godkjent [59]. Diskusjonen har i utgangspunktet gått på at bygningen er for høy og at den ikke passer inn i området. Bygningsmassen i området er lik for alle alternativene for anleggelse av mikronett og all infrastruktur for mikronettet er skjult i kjeller. Anleggelsen av mikronett har dermed ingen estetisk effekt.

### 11.3 Integrasjon

Videre utbygging av mikronettet er mulig med ledig kapasitet på transformatoren. Det er ikke plass til bygging av flere bygninger i området etter dagens planer, men det er plass til flere ladestasjoner for buss. Ved behov for mer energi er det også ledig plass for å installere mer solceller, spesielt på BK15 hvor det i dag ikke er solcellepanel installert. Eventuell utbygging eller ekspansjon av mikronett er også mulig ved å flytte systemgrensen utenfor transformatorstasjonen. Da kan blant annet Pirbadet og hotellet inkluderes i et mikronett. I et slikt tilfelle kan det være utfordrende å være godkjent som plusskunde, men det er mulig å anlegge et mikronett som kraftleverandør.

### 11.4 Økonomi

Den økonomiske analysen gjøres her på et forenklet grunnlag. For å evaluere de økonomiske fordelene og ulempene må det velges en analyseperiode. Siden mikronettet baserer seg på solcellepanel med en levetid på 25år er det naturlig å velge 25 år som analyseperiode [60].

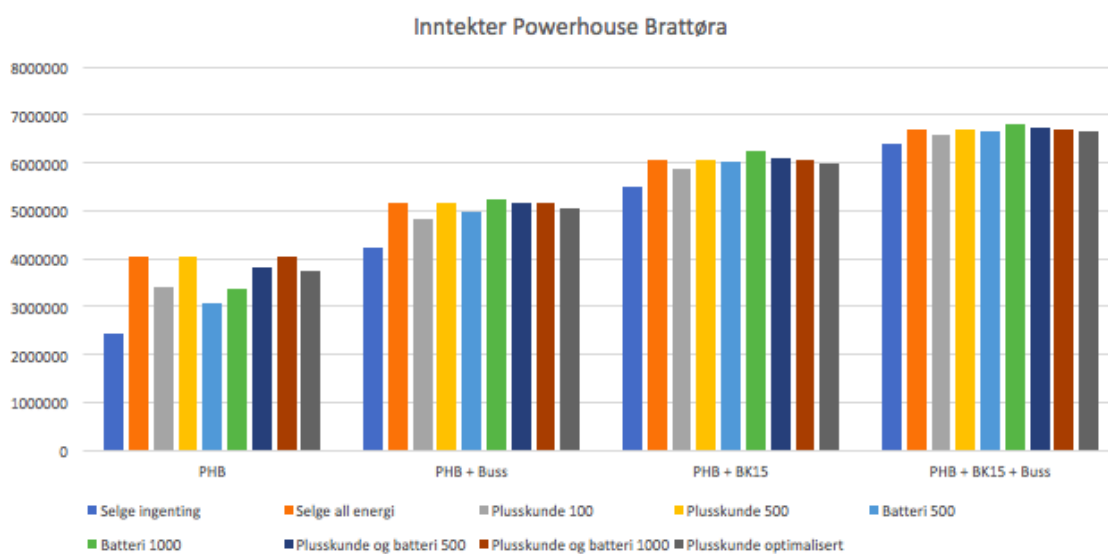
Kostnaden ved å anlegge solcellepanel på Powerhouse Brattøra og BI-bygget er lik ved alle de forskjellige sammensetningene, og vil derfor ikke bli tatt med i denne analysen. De ulike sammensetningene kan kreve noe ulikt utstyr. Kostnaden bak eventuelle ekstra distribusjonslinjer blir ikke integrert i analysen. Driftsalternativene med batteri krever innkjøp av batteri. Standard kostnad gitt av ABB er 10 000kr/kWh for et batteri med levetid 10år. Siden det opereres med 500kWh og 1000kWh batteri blir kostnaden da 5 000 000kr og 10 000 000kr. Kostnader og inntekter for energikjøp og salg er funnet i fase 2. Ellers antas det at driftskostnader for alle alternativene er like gjennom livsløpet, siden det i utgangspunktet er samme installasjoner i alle de ulike alternativene.

Anleggelse av et mikronett på Brattørkaia antas å ikke påvirke tapskostnader, avbruddskostnader og flaskehalskostnader nevneverdig.

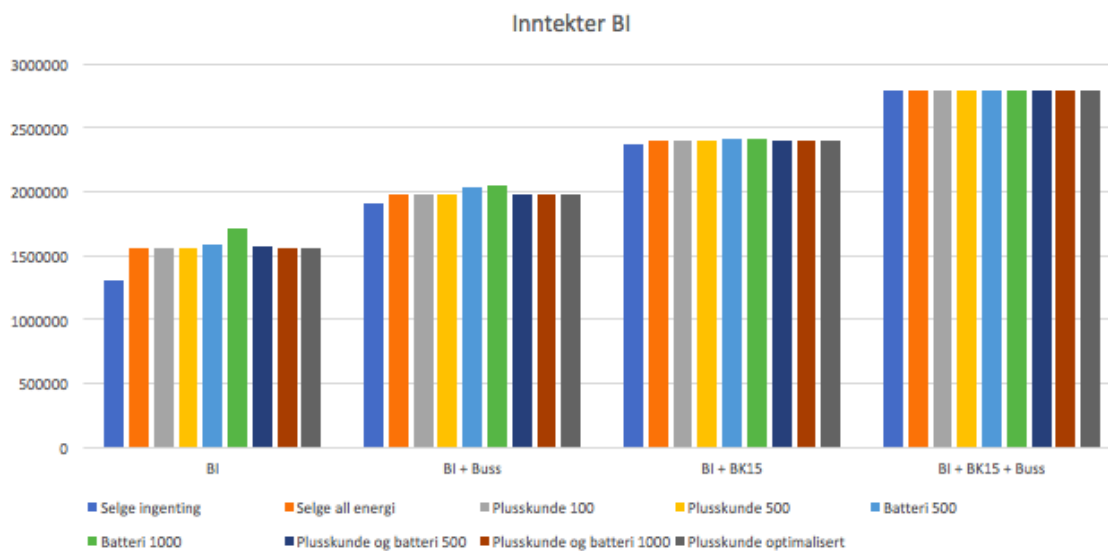
For å finne totale kostnader og inntekter bør netto nåverdi-prinsippet brukes på de ulike delene. I denne analysen er alle kostnader unntatt energikostnadene og inntektene gitt i dagens verdi siden det kun er investeringskostnader som blir sett på.

Investeringskostnadene er primert kun batterikostnadene. Med en levetid på 10år gjøres en forenkling til at man trenger 2,5 batteri for anleggets levetid. Fremtidig energipris er usikker. I denne oppgaven antas det at den øker med det samme som konsumprisindeksen. Regnet i dagens kroneverdi vil derfor inntekten per år bli den samme som i år. Ideelt sett ville det vært naturlig å ta med forventet endring i Nord Pool spotpris og i nettleie.

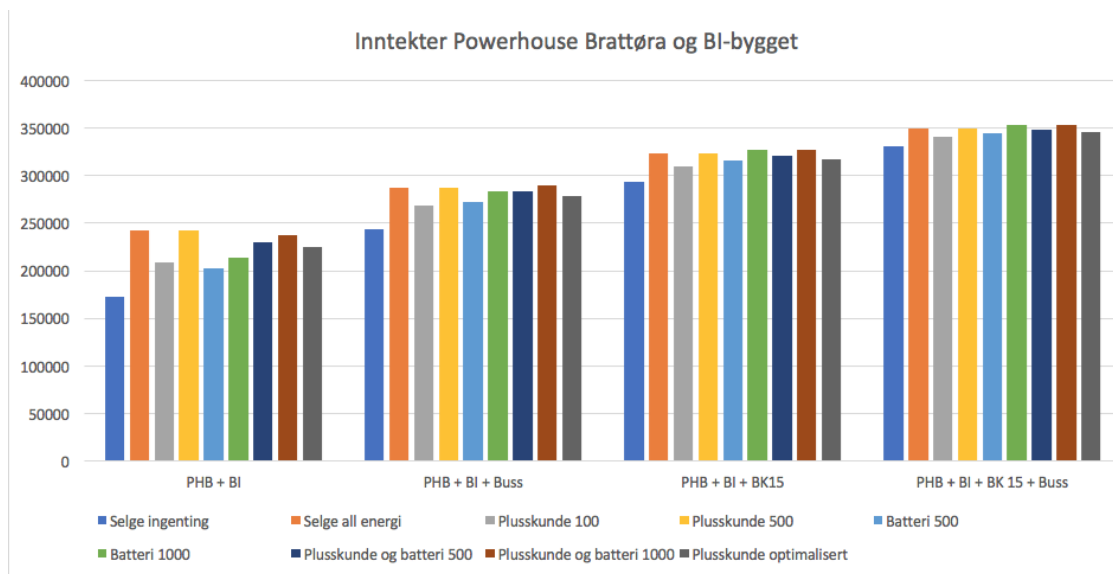
Om en ikke tar med investeringskostnaden til batteri vil inntektene i mikronettet bli som i figur 39, 40 og 41. Ingen av inntektene overgår kostnaden ved å installere et batteri, og de vil dermed få negativ netto nåverdi. For at batteriløsningen skulle vært lønnsom måtte prisen på batteri vært under 1000kr/kWh.



Figur 50: Total inntekt over 25år for Powerhouse Brattøra

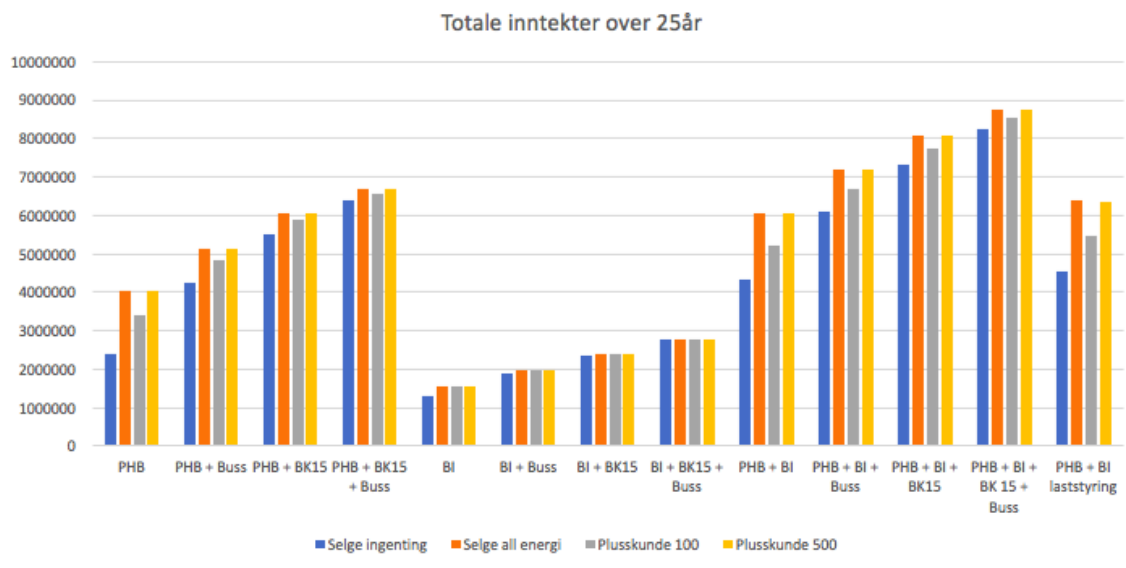


Figur 51: Total inntekt over 25år for BI-bygget



**Figur 52:** Total inntekt over 25år for Powerhouse Brattøra og BI

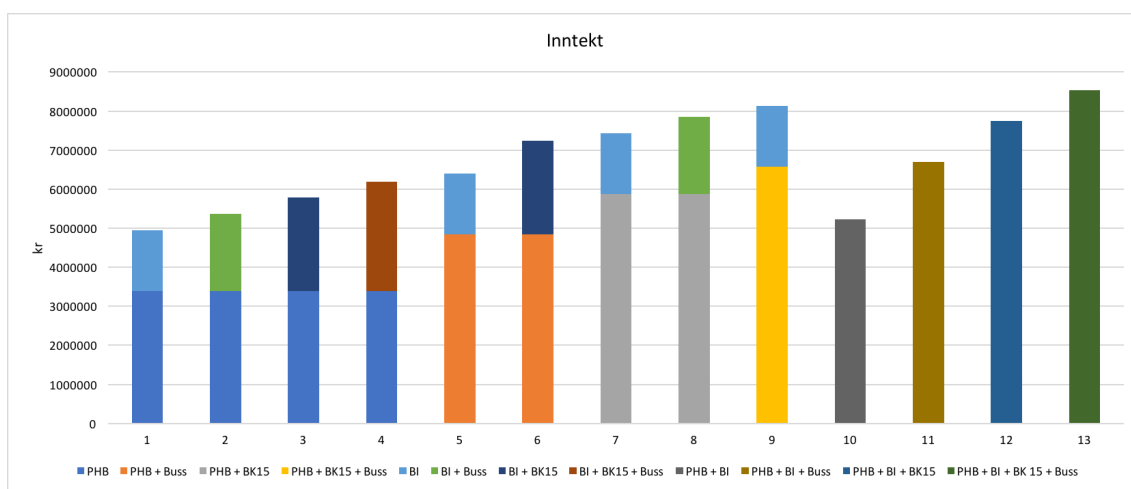
I figur 53 er alle positive inntekter over 25år tatt med. Da er alle batterialternativene borte. Igjen står alternativene med å ikke selge overskuddsenergi, selge all overskuddsenergi, plusskundeavtale med 100kW grense og plusskundeavtale med 500kW grense. Av disse alternativene er det kun plusskundeavtale med 100kW grense og å ikke selge overskuddsenergi som er tillatt av rammevilkårene. Av disse er det alltid plusskundeavtalen som er den mest lønnsomme for de ulike systemgrensene. Det er tydelig at inntekten øker jo flere laster som er sammen. Det mest lønnsomme alternativet er å bruke systemgrensen som inkluderer alle fire lastene med en inntekt på 8,5 millioner.



**Figur 53:** Totale inntekter over 25år

Denne grafen kan gi et litt skjevt bilde på inntektene siden den ikke inkluderer total inntekt fra Powerhouse Brattøra og BI når de opereres uavhengig av hverandre. Ved å sette alle de tidligere systemgrensene sammen er det 13 nye alternative systemgrenser for

mikronettet I figur 54 er de totale inntektene for disse sammensetningene. Det er fremdeles alle fire lastene sammen som er mest lønnsomt, med PHB+Buss+BK15 og BI separat som neste på listen.



Figur 54: Totale inntekter over 25år med plusskunde 100kW avtale

## 11.5 Samfunnsmessig rasjonelt

Et mikronett anlagt på denne måten vil minske inntektene til nettselskapet som driver i området. Samtidig vil en samlokalisering forhindre oppgradering av kraftnettet. Mikronettet vil ta noen effekttopper, men siden mesteparten av lasten ikke sammenfaller med lasttoppene i resten av Trondheim er det begrenset hvor mye dette hjelper det sentrale kraftnettet. Batteriløsninger kan flytte effekttoppene ytterligere til å ikke sammenfalle med effekttopp i samfunnet.

## 11.6 Usikkerhet

Det er en rekke usikkerhetsmoment i denne analysen. Det er usikkerhet i fremtidige strømpriser og nettleie. Produksjon og last for Powerhouse Brattøra og BI-bygget er kun simulert, så det er ikke sikkert at det blir de reelle verdiene når bygningene er satt i drift. I tillegg er verdiene for Powerhouse Brattøra og BI beregnet for 2019, mens verdiene fra BK15 er fra 2017 og det kan da være ulike dager med ekstra kulde som kan gi utslag på forbruket og lasttoppene. Usikkerheten er i stor grad lik for alle de ulike alternativene.

## 11.7 Måloppnåelse og diskusjon

For å velge hvilket alternativ man skal gå for i mikronettet må kriteriene til mikronettet tas frem igjen. For de ulike alternativene kan kriteriene vurderes, og alternativene kan sammenlignes.

Kriterier for Brattørkaia mikronett:

- Miljøpåvirkning
- Økonomisk lønnsomhet
- Utnyttelse av energien lokalt
- Overførbare løsninger til andre mikronett

For alle de ulike alternativene er miljøpåvirkningen den samme og alle løsningene er i utgangspunktet overførbare til andre områder hvor det er en eier med flere bygninger. Da står det igjen to kriterier som kan skille alternativene: økonomisk lønnsomhet og utnyttelse av energien lokalt. Økonomisk lønnsomhet har allerede sett at mikronettet bør driftes som en plusskunde med 100kW grense. Videre vil det bli sett på hvilken systemgrense som er den beste.

De fire systemgrensene med høyest inntekt fra figur 53 er systemgrense 8,9,12 og 13. For å kunne se på utnyttelse av energien lokalt bør mengde energi strupet og mengde energi som er egenforbrukt sees på. Tabell 16 viser verdier for de ulike kriteriene for alle de fire systemgrensene. Inntekt og egenforbruk er i samme størrelsesorden, mens strupingen i alternativ 12 er det tredoble av alternativ 9.

**Tabell 16:** Verdier for de ulike kriteriene gitt i fase 1

Systemgrense:	Inntekt [kr]	Egenforbruk [kWh]	Struping [kWh]
8	7 846 306	522 015	32 856
9	8 138 724	533 375	19 727
12	7 749 599	496 126	60 519
13	8 526 077	544 418	40 163

Hvis alle de tre faktorene tillegges like stor verdi, og de blir rangert fra 1-4 vil resultatet bli som i tabell 17. Da vil systemgrense 13 og systemgrense 9 være likt rangert. Det kan da velges å gå videre med begge to alternativene. Om det ønskes et alternativ som vinner kan en rangere de ulike kriteriene ulikt. Siden egenforbruk og struping begge er under kriteriet om å bruke energien lokalt kan disse vektas halvparten av inntekt. Da vil systemgrense 13 være det beste alternativet. Det er altså Powerhouse Brattøra, BI-bygget, BK16 og busslading samlet i et mikronett som vil være det beste valget av systemgrense.

**Tabell 17:** Systemgrenser rangert etter kriteriene

Systemgrense	Inntekt	Egenforbruk	Struping	Total sum:
13	1	1	3	5
9	2	2	1	5
8	3	3	2	8
12	4	4	4	12

## 11.8 Sluttdokumentasjon

Valg av løsning er driftsalternativ plusskunde 100kW med systemgrense PHB+BI+BK15+Buss. Data for denne løsning er i tabell 18. Denne løsningen er valgt ut fra kriteriene om øko-

nomisk lønnsomhet og mest energi forbrukt lokalt.

**Tabell 18:** Samlet data for PHB + BI + BK15 + Buss med driftsalternativ plusskunde 100kW

Netto nåverdi for 25år [kr]	8 526 064
Total forbruk [kWh/år]	2 220 951
Total produksjon [kWh/år]	631 156
Egenforbruk [kWh/år]	544 405
Kjøp [kWh/år]	1 676 546
Salg [kWh/år]	46 602
Struping [kWh/år]	40 150



## 12 Diskusjon

Målet for oppgaven var å se på hvordan rammebetingelsene begrenser bruken av mikronett. I caset er det valgt ulike systemgrenser og ulike driftsmetoder som kan utfordre rammebetingelsene. I caset er alle systemgrensene i utgangspunktet eid av samme bedrift, men det er oppdrettet ulike aksjeselskap for de ulike bygningene. Det er derfor interessant å se på hva konsekvensene for de ulike systemgrensene er.

### 12.1 Ulike systemgrenser

Å bruke ulike systemgrenser kan gi ulike konsekvenser for hvordan mikronettet oppfører seg. Her er det valgt å se på konsekvensene for ulike systemgrenser ved bruk av plusskundeavtale med 100kW grense.

Ved å se på inntektene generert over 25år i figur 53 for de ulike systemgrensene er det klart at det er mest lønnsomt for eier av mikronettet å slå sammen flere laster til en plusskunde istedenfor å drive disse individuelt. Det er to grunner til at dette er mer lønnsomt for mikronetteier. Ved å slå sammen ulike laster blir den totale forbrukseffekten lavere enn om de er individuelt målt. Dette gjør at energiprisen blir lavere. I tillegg kan et mikronett med flere laster bruke mer av sin egen energi selv. Det sparer mikronetteier 44 øre/kWh på i forhold til å kjøpe energien fra kraftnettet. For mikronettet på Brattøra er det i praksis ingen forskjell for det ovenforliggende nettet om lastene blir arrangert som en eller fire nettkunder. Strømmen vil av natur gå minste motstands vei, og siden alle de fire lastene deler trafostasjon vil effekten ut av denne være det samme for alle valg av systemgrenser. For nettselskapet er det annerledes. Ved å ha flere nettkunder må kraftnettet dimensjoneres ut i fra maksimal forbrukseffekt i hver enkel last. Ved å ha en nettkunde kan nettselskapet dimensjonere ut fra den ene maksimale forbrukseffekten. Siden summen av de individuelle maksimale forbrukseffektene er høyere enn ved å samle de ulike sluttbrukerene til en kan nettselskapet måtte gjøre unødvendige oppgraderinger på nettet. Det bør gjøres en vurdering om denne fordelene kan veie opp for at det blir mindre nettleie til nettselskapet ved å sette sammen ulike laster.

Den ekstra inntekten det gir å inkludere alle lastene i systemgrensen er mulig i caset fordi alle bygningene eies av samme bedrift. De kan dermed være en juridisk eier. For mikronett i boligselskap er det også tilrettelagt for bruk av plusskundeavtalen, selv med ulike boenheter med separate målere. Om en husrekke derimot har ulike eiere kan ikke disse uten videre gå sammen og anlegge et mikronett med plusskundeavtale. De må da ha anlegg og områdekonsesjon. Om en slik sammenslåing kan gi mindre belastninger for ovenforliggende nett bør det vurderes muligheter for å kunne utvide plusskundeavtalen til også å gjelde områder med flere eiere.

### 12.2 Ulike driftsstrategier

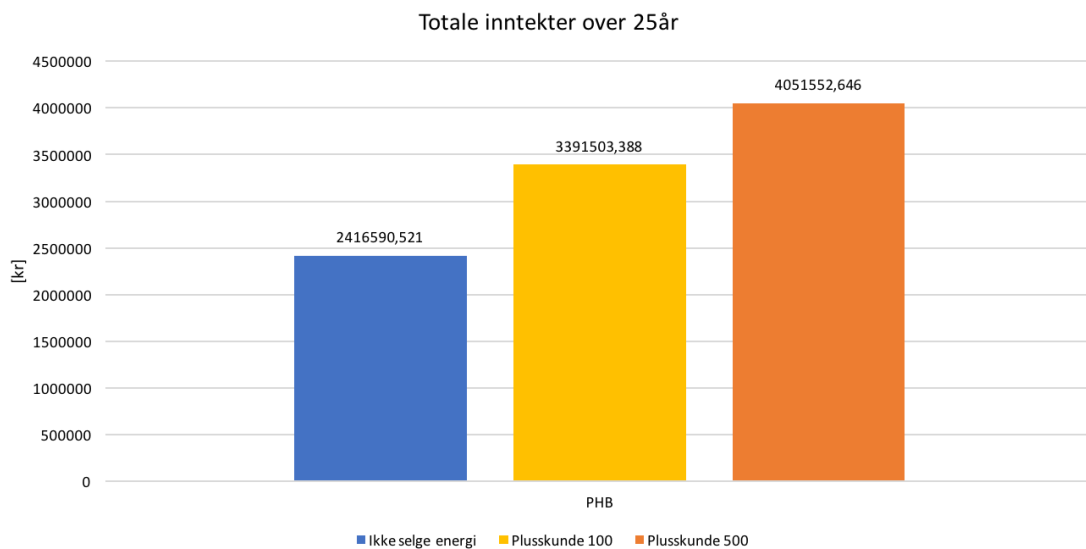
Ved å bruke Powerhouse Brattøra som systemgrense kan de ulike driftsstrategiene bli sett på. I caset er det sett på ulike driftsmetoder, men det er kun fire som viser seg lønnsom etter at investeringskostnadene er tatt med. De fire driftstrategiene er:

- Ikke selge overskuddsenergi

- Selge all overskuddsenergi
- Selge opptil 100kW via plusskundeavtale
- Selge opptil 500kW via plusskundeavtale

Av disse driftsstrategiene er det kun å ikke selge energi eller å selge opptil 100 kW via plusskundeavtalen som er tillatt uten konsesjon i dag. I caset er aldri maks innmatet effekt over 500kW, slik at å selge all overskuddsenergi og å selge opptil 500kW gir samme resultat.

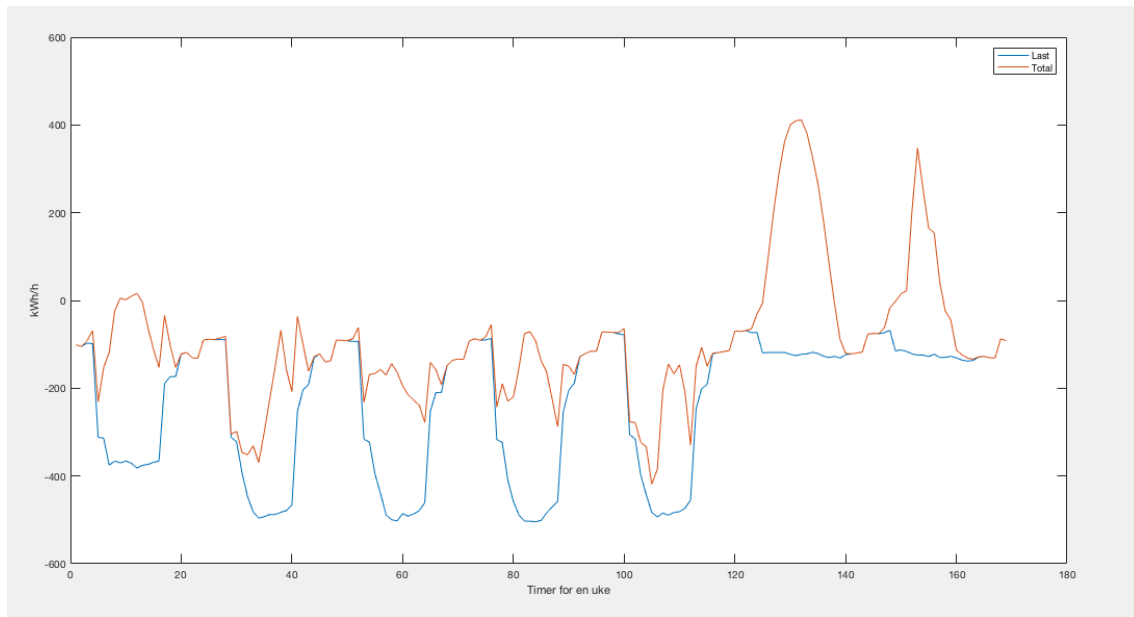
For et mikronett med tillatelse til å selge opptil 100kW øker inntekten med rundt en million i forhold til å ikke selge energi. Ved å utvide grensen til 500kW kan mikronettet tjene ytterligere 650 000kr som kan sees i figur 55. Energien blir som tidligere visst for det meste brukt innenfor samme trafo, og med den nabolagsprofilen som Brattøra vil ikke energien gå ut av området. Transformatorstasjonen på Brattøra er dimensjonert for 1250kW, og det er dermed dimensjonert for å tåle høyere effekter enn 100kW som er grensen i dag. Å tillate 500kW istedenfor 100kW grense vil dermed ikke belaste det ovenforliggende nettet nevneverdig. Ved å ha 100kW grense for plusskunde må Powerhouse Brattøra årlig strupe 116 053kWh. Dette er energi som kunne blitt brukt i nabobyggene. Ved å øke plusskundeordningen til 500kW vil nettselskapet tjene penger på nettleie for denne energien solgt til nabohuset uten at ovenforliggende nett blir berørt. I dette tilfellet er en økning av plusskundeordningen en fordel for både områdekonsesjonær og mikronetteier.



**Figur 55:** Totale inntekter for Powerhouse Brattøra over 25år

I dag er 100kW grensen gjeldende for alle plusskunder, uansett hva det ovenforliggende nettet er dimensjonert for. De fleste bolighus vil ikke ha mer enn rundt 10kW installert effekt på grunn av størrelsen på taket, og vil dermed aldri være i nærheten av denne grensen. Borettslag og byggherrer som Entra kan derimot lett komme opp i 100kW installert effekt. Som sagt i fase 1 forutsetter NVE at produksjon i hovedsak er ment for å dekke eget forbruk. Slik det er i dag kan en kunde med store areal og lite forbruk selge like mye energi ut på nettet som en kunde med stort forbruk. En nettkunde som normalt bruker all selvprodusert energi på hverdager, men som ikke har like stort forbruk i helgene vil i dag

bli ”straffet” for den overskuddsproduksjonen som er over 100kW og energien må strupes. Dette skjer i caset når alle de fire lastene er innenfor en systemgrense som kan sees i figur 56. Grafen viser last og det totale forbruket for systemgrense 12 i løpet av første uken i mai. Når grafen er under null bruker den all egenprodusert energi selv eller selger opptil 100kW. Når grafen er over 0 er overskuddsproduksjonen over 100kW. Denne energien må strupes. Grafen viser at fra mandag til fredag bruker mikronettet all egenprodusert energi selv, mens i helgen er det lave laster, og det klarer dermed ikke å bruke energien som blir produsert. Dette er et mønster for denne systemgrensen. Selv om mikronettets produksjon i hovedsak dekker sitt eget forbruk må altså denne systemgrensen strupe 40 150 kWh hvert år.



**Figur 56:** Last og total effektforbruk for systemgrense 12

Det å øke plusskundeavtalen til 500kW for alle kan bidra til at sluttbrukere med store areal tilgjengelig kan ønske å installere mer effekt enn hva kraftnettet er dimensjonert for og nabolaget forbruker. En slik løsning vil dermed ikke alltid være samfunnsmessig rasjonell. For saken på Brattøra er derimot en løsning med 500kW grense god. For å bidra til en plusskundeavtale som er samfunnsmessig rasjonell bør løsningen være mer fleksibel enn den er i dag. En løsning kan være å ha en fast grense på 100kW som i dag, men at områdekonsesjonær eller NVE kan gi fritak for grensen opp til 500kW i de områder dette ikke gir en merkostnad for samfunnet. Områdekonsesjonær kjenner sitt område godt og kan gjøre beregninger for hvilke konsekvenser en slik plusskunde kan gi i kraftnettet sitt.

## 13 Konklusjon

Rammevilkårene gir helt klart begrensninger i forventet inntekt for et mikronett. Ved å åpne for mer fleksible løsninger enn dagens regelverk kan både områdekonsesjonær og mikronetteier spare penger. Å åpne for større områder for en plusskunde og høyere effektgrense på plusskundeavtalen kan bidra til mindre inntekter eller høyere kostnader for nettselskapet, men det finnes områder, som Brattøra, hvor en slik løsning kan være samfunnsmessig rasjonell. Det burde være mulig å tilpasse regelverket til de lokale forholdene slik at kraftnettet kan driftes mest mulig rasjonelt.

## 14 Videre arbeid

Denne oppgaven har sett på planleggingsverktøy for mikronett som omfavner mange ulike temaer, i alt fra lovverk til simulering av kraftnett. Det er en rekke temaer som kunne vært spennende å se videre på. Noen aktuelle ting kan være å

- se på mulighetene for innsparing for byggherrer ved å slå sammen flere eiendommer til en nettkunde. Dette kan gi lavere total nettleiepris.
- undersøke videre grunnlag for plusskundeforholdene, både for systemgrenser og effektgrenser. På hvilket grunnlag er 100kW grensen satt?
- undersøke videre hvordan mikronett kan anlegges med konsesjoner og hvilke konsekvenser dette vil ha. Både omsetningskonsesjon og anleggskonsesjon gir større krav til eier av mikronettet.
- optimalisere batteriløsninger for mikronettet. Ved å sammenligne nytteverdi med pris kan mindre batteri vise seg lønnsomme for noen mikronett.
- se på konsekvensene i det ovenforliggende nett med anleggelse av mikronett på ulike plasser i kraftnettet. Ulike typer mikronett med ulike grenser for levert energi kan være både fordel og ulempe for det ovenforliggende nettet.
- lage en norsk standard for planlegging av mikronett.

# Referanser

- [1] Siemens. *SICAM Microgrid Controller - Functional Description*.
- [2] Celine Mahieux and Alexandre Oudalov. The mainstreaming of microgrids using abb technologies. *ABB review*, 4:54–60, 2014.
- [3] Olje- og energidepartementet. Kraft til endring. "<https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld.-st.-25-20152016/id2482952/>", 2016. Meld. St. 25 (2015–2016).
- [4] Camilla Aadland. SYSLA - fra rekordår for norsk vind til dårligste vindår på lenge. <https://sysla.no/gronn/fra-rekordar-for-norsk-vind-til-darligste-vindar-pa-lenge/>, 2017. Aksessert: 2018-04-20.
- [5] Bruce Dunn, Haresh Kamath, and Jean-Marie Tarascon. Electrical Energy Storage for the Grid: A Battery of Choices. *Science*, 334(6058):928–935, 2011.
- [6] SINTEF. Avbruddskostnader - Planleggingsbok for kraftnett, 21.06.2016.
- [7] John Kristian Evjen. Effekttariff.
- [8] SKANSKA. Miljøinformasjon PHB.
- [9] REN. Gjeldende lover, forskrifter og veiledninger. <http://www.ren.no/tema/rettigheter/lover-forskrifter-veiledninger>. Aksessert: 2017-08-30.
- [10] Justis- og beredskapsdepartementet. LOV-2015-06-19-65 : Lov om tilsyn med elektriske anlegg og elektrisk utstyr(El-tilsynsloven). <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/1929-05-24-4>, 1929-05-24.
- [11] Norges vassdrags-og energidirektorat. Konesjonsvilkår. <https://www.nve.no/elmarkedstilsynet-marked-og-monopol/omsetningskonesjon/konesjonsvilkaar/>, 2016. Aksessert: 2017-09-04.
- [12] Norges vassdrags-og energidirektorat. Plusskunder. <https://www.nve.no/elmarkedstilsynet-marked-og-monopol/nettjenester/nettleie/tariffer-for-produksjon/plusskunder/>. Aksessert: 2017-09-04.
- [13] Sandra Simonsen Hilseth. Planlegging og drift av mikronett. Master's thesis, NTNU, 2015.
- [14] Ole Andreas Brekke and Hogne Lerøy Sataøen. Ekspertise, politikk eller dialog? nettutvikling i norge, sverige og storbritannia. *Rapport*, 8:12, 2012.
- [15] Jens Naas-Bibow and Gunnar Martinsen. *Energiloven : med kommentarer*. Gyldendal akademisk, 2 edition, 2011.
- [16] Microgrid institute. About microgrids. <http://www.microgridinstitute.org/about-microgrids.html>, 2017. Aksessert: 2017-09-29.
- [17] International Electrotechnical Commission. IEC/TS 62898-1: Microgrids - guidelines for microgrid projects planning and specification, 2016.

- [18] U.S. Department of Energy. Microgrid definitions. <https://building-microgrid.lbl.gov/microgrid-definitions>, 2017. Aksessert: 2017-09-30.
- [19] Jon Christian F. Nordrum. Lover: struktur, anatomi og språk. DRI 2020 Rettskilder og informasjonssøking.
- [20] Hanne Sæle Kjell Sand, Henrik Kirkeby. Rammevilkår for plusskunder. *SINTEF*, 2015.
- [21] NRK. Norge best på EUs direktiver. <https://www.nrk.no/nyheter/norge-best-pa-eus-direktiver-1.13051218>, 2017. Aksessert: 2017-09-05.
- [22] Mari Andrea Pedersen. Rammevilkår for mikronett, 2017. Prosjektoppgave.
- [23] Olje og energidepartementet. *LOV-1990-06-29-50: Lov om produksjon, omforming, overføring, omsetning, fordeling og bruk av energi m.m. (energiloven)*. Lovdata, The address, 1990. An optional note.
- [24] SINTEF. Systematikk ved planlegging av kraftnett - Planleggingsbok for kraftnett.
- [25] Mariell Hermansen. Planlegging av mikronett. Master's thesis, NTNU, 2017.
- [26] Katrine Utvik. Planleggingsmetodikk for mikronett på øyer og i grisgrente strøk i Norge, 2018. Prosjektoppgave.
- [27] Trude Myhre. Maturmangfoldloven - store norske leksikon. <http://snl.no/naturmangfoldloven>, 2014. Naturmangfoldloven, Lov av 3. april 2009 Om forvaltning av naturens mangfold.
- [28] REN. REN-Blad 8000: Forprosjektering. <https://www.ren.no/web/guest/ren-blad>, 2015.
- [29] Susann Funderud Skogvang. Reindrifftsloven. i store norske leksikon. <https://snl.no/reindrifftsloven>, 2016. Aksessert: 2017-10-30.
- [30] J. Taneja, K. Lutz, and D. Culler. The impact of flexible loads in increasingly renewable grids. In *2013 IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm)*, pages 265–270, Oct 2013.
- [31] Aleksandra Roos. Potensiale for forbrukerfleksibilitet i bygninger: casestudie av høgskolen i østfold. Master's thesis, Norwegian University of Life Sciences, Ås, 2012.
- [32] ProgramByggerne. SIMIEN. <http://programbyggerne.no/#SIMIEN>. Aksessert: 2018-04-19.
- [33] GM Shafiullah, Amanullah MT Oo, ABM Shawkat Ali, Peter Wolfs, and Mohammad T Arif. Renewable energy integration: Opportunities and challenges. In *Smart Grids*, pages 45–76. Springer, 2013.
- [34] SX Chen, Hoay Beng Gooi, and MingQiang Wang. Sizing of energy storage for microgrids. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 3(1):142–151, 2012.
- [35] Björn Bolund, Hans Bernhoff, and Mats Leijon. Flywheel energy and power storage systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(2):235–258, 2007.
- [36] Fornybar.no. Superkondensatorer. <http://www.fornybar.no/andre-teknologier/elektrisitetstlagring/superkondensatorer>. Aksessert: 2018-04-20.

- [37] Kodjo Agbossou, Mohanlal Kolhe, Jean Hamelin, and Tapan K Bose. Performance of a stand-alone renewable energy system based on energy storage as hydrogen. *IEEE Transactions on energy Conversion*, 19(3):633–640, 2004.
- [38] Olje- og energidepartementet. Energilovforskriften (FOR-2018-01-31-124) - forskrift om produksjon, omforming, overføring, omsetning, fordeling og bruk av energi m.m. (energilovforskriften) - lovdata. <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/1990-12-07-959>. Aksessert: 2018-04-20.
- [39] Norges vassdrags-og energidirektorat. Mulig å bli plusskunde i boligselskap. <https://www.nve.no/nytt-fra-nve/nyheter-reguleringsmyndigheten-for-energi/mulig-a-bli-plusskunde-i-boligselskap/>. Aksessert: 2018-04-19.
- [40] Norges vassdrags-og energidirektorat. Håndtering av plusskunder og vedtak om dispensasjon fra forskrift 302 om økonomisk og teknisk rapportering m.v. 2010.
- [41] Norges vassdrags-og energidirektorat. Nettleie. <https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten-for-energi-rme-marked-og-monopol/nettjenester/nettleie/>. Aksessert: 2018-04-19.
- [42] Nettleie for forbruk, author = Norges vassdrags- og energidirektorat, howpublished = <https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten-for-energi-rme-marked-og-monopol/nettjenester/nettleie/nettleie-for-forbruk/>, note = Aksessert: 2018-04-19,.
- [43] Norges vassdrags-og energidirektorat. Innmatingstariffer. <https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten-for-energi-rme-marked-og-monopol/nettjenester/nettleie/tariffer-for-produksjon/innmatingstariffer/>, 2015. Aksessert: 2018-04-19.
- [44] Geert Litjens, Panos Moraitis, and Wilfried van Sark. On the influence of orientation on PV self-consumption. EUPVSEC 2015.
- [45] O. Lavrova, F. Cheng, S. Abdollahy, H. Barsun, A. Mammoli, D. Dreisigmayer, S. Willard, B. Arellano, and C. van Zeyl. Analysis of battery storage utilization for load shifting and peak smoothing on a distribution feeder in new mexico. In *2012 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies (ISGT)*, pages 1–6, Jan 2012.
- [46] M. Z. Kamh and R. Iravani. Unbalanced model and power-flow analysis of microgrids and active distribution systems. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 25(4):2851–2858, Oct 2010.
- [47] Eilif Hugo Hansen. Elektroinstallasjoner. *Classica, Trondheim*, 2010.
- [48] Gerd Kjolle and Kjell Sand. Relrad-an analytical approach for distribution system reliability assessment. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 7(2):809–814, Apr 1992.
- [49] SINTEF. Mål og rammebetingelser - Planleggingsbok for kraftnett, 27.01.2010.
- [50] Olav Hegvold. Klart for powerhouse på Brattøra. "<https://www.adressa.no/nyheter/sortrondelag/2017/01/06/Klart-for-Powerhouse-p%C3%A5-Bratt%C3%B8ra-14024794.ece>", 2017-06-01. Aksessert: 2018-04-21.
- [51] SKANSKA. Miljøinformasjon BK16.

- [52] Entra. Brattørkaia mikronett - optimal utnyttelse av energioverskuddet på Brattøra.
- [53] miljøstatus.no. Kart. <http://www.miljostatus.no/kart/>. Aksessert: 2018-04-21.
- [54] Entra. Brattørkaia 15 a, b. <https://entra.no/properties/slug/96>. Aksessert: 2018-04-21.
- [55] Embret Sæter. Kjøper inn elektriske busser - DN.no. <https://www.dn.no/privat/2017/09/19/1312/Motor/kjoper-inn-elektriske-busser>, 2017-09-19. Aksessert: 2018-04-21.
- [56] TrønderEnergi Nett. Nettleie bedrift 2018. <http://tronderenerginett.no/nettjenester/vilkar-og-nettleie/nettleie-bedrift-2018>. Aksessert: 2018-04-21.
- [57] Kjell Sand. Samfunnsøkonomiske tapkostnader ved dimensjonering av kraftnett. Dato: 2018-07-02.
- [58] TrønderEnergi Nett. Plusskunde. <http://tronderenerginett.no/nettjenester/plusskunde>. Aksessert: 2018-04-21.
- [59] Børge Sved, Agnethe Weisser, and Hermann Hansen. Vil bygge høyt på Brattøra -adressa.no. <https://www.adressa.no/nyheter/okonomi/2012/03/02/Vil-bygge-h%C3%B8yt-p%C3%A5-Bratt%C3%B8ra-3211022.ece>. Aksessert: 2018-04-20.
- [60] SunPower. SunPower® x-series commercial solar panels | x22-360-COM.



## Del IV

# Vedlegg

## A Matlab

Matlabkode brukt i oppgaven:

BK15last.m	Laster inn alle lastdata og produksjonsdata fra excelfiler og organiserer disse i ulike systemgrenser.
main2.m	Kjører alle de ulike simuleringene for alle systemgrenser.
tidsvektor.m	Lager en vektor som kan si hvilken dag, uke og måned de ulike timene har.
matrise_tid.m	Plukker ut verdier fra en matrise for valgfri dag, uke eller måned.
langsiktig.m	Beregner de langsiktige evalueringene.
plusskunde.m	Beregner plusskundeavtalen for en time.
plusskundeavtalen.m	Beregner plusskundeavtalen for en gitt periode.
batteri.m	Beregner batteri for en time.
batteriberegning.m	Beregner batteri for en gitt periode.
plusskundebatteri.m	Beregner plusskunde og batteriløsning for en gitt periode.
plusskundebatterioptimal.m	Beregner plusskunde og batteriløsning for en gitt periode. Optimalisert for å selge mest mulig energi.
effekterPHB.m	Ser på hvordan effekttoppene kan begrenses ved hjelp av batteri.
energipriser.m	Beregner energipriser for et alternativ.
kostnader.m	Beregner energipriser for alle alternativene.

## A.1 Plusskunde

### plusskunde.m

input	Total effekt for en time [kW]
	Grense plusskundeavtale [kW]
output	Ny total effekt for timen [kW]
	Effekt levert til nettet [kW]

Hvis energiproduksjonen er større enn forbruket leveres overskuddsenergi fra total til nettet inntil grensen for plusskundeavtalen.

### plusskundeberegning.m

input	Vektor med total effekt for hver time[kW]
	Grense plusskundeavtale [kW]
output	Ny vektor total effekt for timen [kW]
	Effekt levert til nettet [kW]

Går gjennom vektoren og kjører plusskundeavtale.m på hver verdi.

## A.2 Batteri

### batteri.m

input	Total effekt for en time [kW]
	Størrelse på batteri [kWh]
	Status på batteriet [kWh]
output	Ny total effekt for timen [kW]
	Effekt levert til batteri [kW]
	Ny status [kWh]
	Endring i batteriet [kWh]

Batteriet lades opp til batterikapasiteten er nådd om det er overskuddsproduksjon. Hvis det er underskuddsproduksjon blir batteriet brukt for å dekke underskuddet så lenge status er med enn 0 kWh. Status oppdateres til nåværende energimengde i batteriet.

### batteriberegning.m

input	Vektor med total effekt for hver time [kW]
	Størrelse på batteri [kWh]

Status på batteriet [kWh]  
 output Vektor med ny total effekt for hver time [kW]  
 Effekt levert til batteri [kW]  
 Ny status [kWh]  
 Endring i batteriet [kWh]

Går gjennom vektoren og kjører batteri.m på hver verdi.

### A.3 Kombinasjon

#### plusskundebatteri.m

input Vektor med total effekt for hver time [kW]  
 Størrelse på batteri [kWh]  
 Status på batteriet [kWh]  
 Max plusskunde  
 output Vektor med ny total effekt for hver time [kW]  
 Effekt levert til batteri [kW]  
 Ny status [kWh]  
 Vektor for effekt levert til plusskunde [kW]

Kjører gjennom effektvektoren med plusskunde.m, for så å levere resten av energien til batteriet ved å bruke batteri.m for hver av vektorverdiene.

#### plusskundebatterioptimal.m

input Vektor med total effekt for hver time [kW]  
 Størrelse på batteri [kWh]  
 Status på batteriet [kWh]  
 Max plusskunde  
 output Vektor med ny total effekt for hver time [kW]  
 Effekt levert til batteri [kW]  
 Ny status [kWh]  
 Vektor for effekt levert til plusskunde [kW]

Kjører gjennom effektvektoren med plusskunde.m, for så å levere resten av energien til batteriet ved å bruke batteri.m for hver av vektorverdiene. Om plusskundegrensen ikke er nådd for den timen vil batteriet levere effekt opptil denne grensen.

# B Resultat

**Tabell 19: Original**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	PHB	PHB + Buss	PHB + BK15	PHB + BK15 + Buss	BI	BI + Buss	BI + BK15	BI + BK15 + Buss	PHB + BI	PHB + BI + Buss	PHB + BI + BK15	PHB + BI + BK15 + Buss	PHB + BI laststyrtning
Total forbruk	-440942,13	-905702,13	-1411505,13	-1876265,13	-344685,70	-809445,70	-1315248,70	-1780008,70	-785627,83	-1250387,83	-1756190,83	-2220950,83	-776658,99
Total produksjon	482379,97	482379,97	482379,97	482379,97	148776,36	148776,36	148776,36	148776,36	631156,33	631156,33	631156,33	631156,33	631156,33
Eigenforbruk	194914,10	323558,31	384766,57	428747,67	104618,28	137240,35	144799,78	148627,31	322246,11	438064,93	496113,93	544405,03	307170,51
Kjøp	246028,03	582143,82	1026738,56	1447517,46	240067,42	672205,35	1170448,92	1631381,39	463381,72	812322,90	1260076,90	1676545,79	469488,47
Overskudd	287465,87	158821,66	97613,40	53632,30	44158,07	11536,01	3976,58	149,05	308910,22	193091,40	135042,40	86751,29	323985,81
Struping	287465,87	158821,66	97613,40	53632,30	44158,07	11536,01	3976,58	149,05	308910,22	193091,40	135042,40	86751,29	323985,81
Energibalans	44,20 %	35,72 %	27,26 %	22,85 %	30,35 %	16,95 %	11,01 %	8,35 %	41,02 %	35,03 %	28,25 %	24,51 %	39,55 %

**Tabell 20: Plusskundeavtale 100kW og 500kW**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	PHB	PHB + Buss	PHB + BK15	PHB + BK15 + Buss	BI	BI + Buss	BI + BK15	BI + BK15 + Buss	PHB + BI	PHB + BI + Buss	PHB + BI + BK15	PHB + BI + BK15 + Buss	PHB + BI laststyring
Total forbruk	-440942,13	-905702,13	-1411505,13	-1876265,13	-344685,70	-809445,70	-1315248,70	-1780008,70	-785627,83	-1250387,83	-1756190,83	-2220950,83	-776658,99
Total produksjon	482379,97	482379,97	482379,97	482379,97	148776,36	148776,36	148776,36	148776,36	631156,33	631156,33	631156,33	631156,33	631156,33
Eigenforbruk	194914,10	323558,31	384766,57	428747,67	104618,28	137240,35	144799,78	148627,31	322246,11	438064,93	496113,93	544405,03	307170,51
Kjøp 100	246028,03	582143,82	1026738,56	1447517,46	240067,42	672205,35	1170448,92	1631381,39	463381,72	812322,90	1260076,90	1676545,79	469488,47
Salg 100	171413,25	105038,93	64765,52	34572,63	43500,18	11536,01	3976,58	149,05	162019,51	108395,44	74535,29	46601,63	167945,86
Struping 100	116052,62	53782,73	32847,88	19059,67	657,89	0,00	0,00	0,00	146890,71	84695,96	60507,11	40149,67	156039,96
Kjøp 500	246028,03	582143,82	1026738,56	1447517,46	240067,42	672205,35	1170448,92	1631381,39	463381,72	812322,90	1260076,90	1676545,79	469488,47
Salg 500	287465,87	158821,66	97613,40	53632,30	44158,07	11536,01	3976,58	149,05	308339,78	193067,66	135042,40	86751,29	323320,58
Struping 500	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	570,44	23,74	0,00	0,00	665,23

**Tabell 21:** Batteri 500kWh og 1000kWh

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	PHB	PHB + Buss	PHB + BK15	PHB + BK15 + Buss	BI	BI + Buss	BI + BK15	BI + BK15 + Buss	PHB + BI	PHB + BI + Buss	PHB + BI + BK15	PHB + BI + BK15 + Buss	PHB + BI laststyring
Total forbruk	-440942	-905702	-1411505	-1876265	-344686	-809446	-1315249	-1780009	-785628	-1250388	-1756191	-2220951	-776659
Total produksjon	482380	482380	482380	482380	148776	148776	148776	148776	631156	631156	631156	631156	631156
Eigenforbruk	194914	323558	384767	428748	104618	137240	144800	148627	322246	438065	496114	544405	307171
Kjøp 500	200601	520889	983024	1423278	217562	661603	1166472	1631232	404282	749721	1211820	1644791	414363
Salg 500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Struping 500	242039	97567	53899	29393	21653	934	0	0	249811	130489	86786	54997	268861
Batteri 500	45427	61254	43714	24239	22505	10602	3977	149	59100	62602	48257	31754	55125
Kjøp 1000	189851	500337	962446	1410467	207419	660669	1166472	1631232	387054	726749	1185772	1627594	397591
Salg 1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Struping 1000	231289	77015	33321	16582	11509	0	0	0	232583	107518	60738	37800	252089
Batteri 1000	56177	81807	64292	37051	32649	11536	3977	149	76327	85573	74305	48952	71897

**Tabell 22:** Plusskunde og batteri

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Sammensetning	PHB	PHB + Buss	PHB + BK15	PHB + BK15 + Buss	BI	BI + Buss	BI + BK15	BI + BK15 + Buss	PHB + BI	PHB + BI + Buss	PHB + BI + BK15	PHB + BI + BK15 + Buss	PHB + BI laststyring
Total forbruk	-440942	-905702	-1411505	-1876265	-344086	-809446	-1315249	-1780009	-785628	-1250388	-1756191	-2220951	-776659
Total produksjon	482380	482380	482380	482380	148776	148776	148776	148776	631156	631156	631156	631156	631156
Egenforbruk	194914	323558	384767	428748	104618	137240	144800	148627	322246	438065	496114	544405	307171
Kjøp 100/500	216119	553801	1008718	1436128	239410	672205	1170449	1631381	424075	778107	1235151	1659865	431989
Salg 100/500	171413	105039	64766	34573	43500	11536	3977	149	162020	108395	74535	46602	167946
Struping 100/500	86143	25440	14828	7670	0	0	0	0	107584	50480	35581	23469	118540
Batteri 100/500	29909	28343	18020	11389	658	0	0	0	39307	34216	24926	16681	37500
Kjøp 100/1000	208537	544542	1001703	1430595	239410	672205	1170449	1631381	410537	764715	1223314	1649922	419250
Salg 100/1000	171413	105039	64766	34573	43500	11536	3977	149	162020	108395	74535	46602	167946
Struping 100/1000	78562	16181	7812	2137	0	0	0	0	94046	37088	23744	13526	105802
Batteri 100/1000	37491	37602	25036	16922	658	0	0	0	52844	47608	36763	26624	50238

**Tabell 23:** Batteri og plusskunde optimalisert

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Sammensetning	PHB	PHB + Buss	PHB + BK15	PHB + BK15 + Buss	BI	BI + Buss	BI + BK15	BI + BK15 + Buss	PHB + BI	PHB + BI + Buss	PHB + BI + BK15	PHB + BI + BK15 + Buss	PHB + BI laststyring
Total forbruk	-440942	-905702	-1411505	-1876265	-344686	-809446	-1315249	-1780009	-785628	-1250388	-1756191	-2220951	-776659
Total produksjon	482380	482380	482380	482380	148776	148776	148776	148776	631156	631156	631156	631156	631156
Egenforbruk	194914	323558	384767	428748	104618	137240	144800	148627	322246	438065	496114	544405	307171
Kjøp opt	241277	574520	1021919	1443401	240067	672205	1170449	1631381	455197	802006	1252640	1669725	461848
Salg opt	225932	128660	77966	41845	44158	11536	3977	149	215118	135803	92053	56462	223315
Struping opt	56783	22538	14828	7670	0	0	0	0	85607	46972	35553	23469	93031
Til batteri	4751	7623	4820	4117	0	0	0	0	8185	10317	7437	6821	7640
Fra batteri	4751	7623	4820	4117	0	0	0	0	8185	10317	7437	6821	7640



Tabell 24: Inntekter for et år

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	PHB	PHB + Buss	PHB + BK15	PHB + BK15 + Buss	BI	BI + Buss	BI + BK15	BI + BK15 + Buss	PHB + BI	PHB + BI + Buss	PHB + BI + BK15	PHB + BI + BK 15 + Buss	PHB + BI laststyring
Selge ingenting	96663,62	169653,89	219993,27	255399,66	52387,38	70500,05	94857,40	111560,27	172497,99	243401,46	293026,70	330440,70	181191,95
Selge all energi	162062,11	205785,82	242200,31	267601,01	62433,34	79124,50	95762,08	111594,18	242775,07	287329,76	323748,85	350176,62	254898,72
Plusskunde 100	135660,14	193550,25	234727,42	263264,94	62283,67	79124,50	95762,08	111594,18	209357,43	268061,43	309983,48	341042,57	219399,63
Plusskunde 500	162062,11	205785,82	242200,31	267601,01	62433,34	79124,50	95762,08	111594,18	242645,29	287324,36	323748,85	350176,62	254747,38
Batteri 500	123304,37	198292,14	240355,34	266690,25	63244,56	81438,66	96709,69	111629,69	202354,26	272581,03	315504,65	345231,85	210109,30
Batteri 1000	134267,54	209558,37	249940,62	272657,81	68231,48	81873,53	96709,69	111629,69	214165,80	283872,42	327637,78	353242,37	221210,99
Plusskunde og batteri 500	152696,03	206858,43	243121,21	268570,15	62590,12	79124,50	95762,08	111594,18	229728,24	284018,88	321593,90	348812,42	239430,47
Plusskunde og batteri 1000	160984,68	211264,41	246389,04	271147,30	62590,12	79124,50	95762,08	111594,18	237171,46	290256,93	327107,55	353443,81	246786,16
Plusskunde optimalisert	150276,11	202580,93	239975,63	266837,03	62433,34	79124,50	95762,08	111594,18	225259,66	279121,74	317432,74	346462,77	235592,42

**Tabell 25:** Netto nåverdi med 25års levetid

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<b>Total:</b>	<b>PHB</b>	<b>PHB + Buss</b>	<b>PHB + BK15</b>	<b>PHB + BK15 + Buss</b>	<b>BI</b>	<b>BI + Buss</b>	<b>BI + BK15</b>	<b>BI + BK15 + Buss</b>	<b>PHB + BI</b>	<b>PHB + BI + Buss</b>	<b>PHB + BI + BK15</b>	<b>PHB + BI + BK15 + Buss</b>	<b>PHB + BI laststyring</b>
Ikke selge energi	2416590,521	4241347,283	5499831,636	6384991,576	1306084,527	1912501,363	2371435,105	2789006,696	4312449,778	6085036,615	7325667,544	8261017,477	4529798,72
Selge all energi	4051552,646	5144645,464	6055007,872	6690025,29	1560833,573	1978112,408	2394051,895	2789854,406	6069376,651	7183243,961	8093721,191	8754415,457	6372468,039
Plusskunde 100	3391503,388	4838756,192	5868185,546	6581623,437	1557091,812	1978112,408	2394051,895	2789854,406	5233935,753	6701535,701	7749587,025	8526064,234	5484990,779
Plusskunde 500	4051552,646	5144645,464	6055007,872	6690025,29	1560833,573	1978112,408	2394051,895	2789854,406	6066132,269	7183108,929	8093721,191	8754415,457	6366684,517
Batteri 500	-9417390,731	-7542696,43	-6491116,42	-5832743,857	-10918886,06	-10464033,52	-10082257,64	-9709257,64	-7441143,579	-5685474,174	-4612383,848	-3869203,633	-7247267,399
Batteri 1000	-21643311,55	-19761040,76	-18751484,54	-18183554,76	-23294212,94	-22953161,83	-22582257,64	-22209257,64	-19645855,09	-17903189,53	-16809055,58	-16168940,82	-19469725,2
Plusskunde og batteri 500	-8682599,193	-7328539,137	-6421969,711	-5785746,256	-10935247,04	-10521887,59	-10105948,11	-9710145,594	-6756793,94	-5399527,882	-4460152,51	-3779689,494	-6514238,179
Plusskunde og batteri 1000	-2094847,35	-19855354,54	-18944992,13	-18309974,71	-23439166,43	-23021887,59	-22605948,11	-22210145,59	-18927224,95	-17816614,6	-16906278,81	-16245584,54	-18623568,83
Plusskunde optimalisert	-8743097,298	-7435476,779	-6500609,302	-5829074,262	-10939166,43	-10521887,59	-10105948,11	-9710145,594	-6868508,42	-5521956,376	-4564181,44	-3838430,872	-6610189,562