

Innvirkninger av distribuert produksjon i svake distribusjonsnett, lokalisert i nordområdene

Hvordan påvirker plusskunder det omkringliggende lavspente distribusjonsnettet.

Leif Inge Krogstad Johannessen

Masteroppgave i elektroteknikk juni 2017

<i>Tittel (norsk): Innvirkninger av distribuert produksjon i svake distribusjonsnett, lokalisert i nordområdene</i>	<i>Dato: 11.06.2018</i>
<i>Title (english): Effects of distributed production in weak distribution grids, in Nordic areas</i>	<i>Gradering: Åpen</i>
<i>Kandidatnr: 530393</i>	<i>Antall sider: 87</i>
<i>Veileder: Terje Gjengedal / Bjarte Hoff</i>	<i>Vedlegg: 10</i>

<i>Oppdragsgiver: UiT, campus Narvik, ved institutt for elektroteknologi</i>
<i>Oppdragsgivers kontaktperson: Terje Gjengedal</i>

Sammendrag:

I denne rapporten undersøkes det hvilke innvirkninger introduksjon av lokal produksjon fra plusskunder, vil ha i et svakt lavspent distribusjonsnett. Utfordringene knyttet til dette, er sett fra både plusskundens og nettselskapets perspektiv. Det har blitt utført simuleringer med lokal produksjon, i et eksisterende lavspent distribusjonsnett. Simuleringene ble gjort med en senariobasert fremgangsmåte. Med sesongvariasjoner for last i nettet, og varierende lokalisering av plusskunden. Resultatene viste en tydelig sammenheng mellom spenningsproblematikk, og plusskundens lokalisering i nettet. Avslutningsvis ble det diskutert hvilke nye muligheter AMS-måling og plusskunder vil gi, i et svakt lavspent distribusjonsnett.

Abstract:

This report examines which impacts the introduction of local production from plus customers will have in a weak low-voltage distribution grid. The challenges associated with local production, have been seen from both the plus customers and the grid owner's perspective. Simulations with local production have been conducted, in an existing low-voltage distribution grid. These were done with a scenario-based approach. The simulations were conducted with seasonal variation in regards of loading in the network, and various location of the plus-customer. The results showed a clear connection between voltage issues, and the plus customer location in the network. Finally, the new possibilities with AMS-measurement and plus customers in a weak low-voltage distribution network was discussed.

Sammendrag

I denne rapporten har virkninger av plusskunder i svake, lavspente distribusjonsnett blitt undersøkt.

Gjennom en informasjonsinnsamling, ble de største utfordringer for fremtidige plusskunder identifisert. Herunder aktuelle teknologier, energiresuser, regelverk og tekniske forhold.

Det ble undersøkt hvilke utfordringer et nettselskap kan forvente seg, ved introduksjon av lokal produksjon i et distribusjonsnett. Ettersom en plusskunde også vil påvirke forholdene i det omkringliggende distribusjonsnettet. Sentrale forskrifter knyttet til leveringskvalitet ble undersøkt. De viktigste momentene i det tekniske regelverket, knyttet til tilkobling av lokal produksjon i lavspente distribusjonsnett ble også gjennomgått.

Beregningsverktøy som Netbas og Powerfactory ble benyttet, for å granske hvilke innvirkninger lokal produksjon gir i et lavspent distribusjonsnett. Det ble utført simuleringer i et eksisterende svakt distribusjonsnett. Der det allerede var kjente utfordringer knyttet til lave spenninger i ytterpunktene. Det ble benyttet en senariobasert fremgangsmåte. Som tar hensyn til sesongvariasjoner av last i nettet. Forskjellige plasseringer av plusskunden ble undersøkt, med innmating fra både trefaset og enfaset produksjon.

Resultatene fra de utførte beregningene, viser tydelig at plusskundens plassering i nettet var helt avgjørende for hvilke utfordringer som oppstår. I ytterpunktene, vil spenningen i nettet raskt bli høy. Selv med lav produksjon. Simuleringer med enfaset produksjon avdekket at usymmetriske spenninger, sannsynligvis vil bli et problem.

Avslutningsvis ble det diskutert hvordan en plusskunde, kan bidra positivt i et svakt distribusjonsnett. Herunder ble det foreslått å utnytte noe av den nye funksjonalitet i de nye AMS-målere, til å bidra for å bedre leveringskvaliteten i nettet.

Innholdsfortegnelse

1	Innledning.....	1
1.1	Bakgrunn for problemstillingen	1
1.2	Utførelse og oppbygging av rapporten	2
2	Utfordringer en plusskunde står ovenfor	3
2.1	Aktuelle teknologier	4
2.1.1	Solceller for energiproduksjon	4
2.1.2	Mikrovind-anlegg for energiproduksjon	7
2.2	Potensiale for småskala energiproduksjon i Nord-Norge.....	9
2.2.1	Solenergi i Nord-Norge	9
2.2.2	Vindenergi i Nord-Norge	12
2.3	Plassering	14
2.4	Installasjon og dokumentasjon	15
2.5	Tilknytningspunkt	16
2.5.1	Anleggsbidrag	16
2.5.2	Vekselretter	17
2.6	Batterilagring.....	19
2.7	Økonomi og tilskuddsordninger.....	20
2.7.1	Investeringskostnad	20
2.7.2	Støtteordninger	20
2.7.3	Energiutveksling.....	21
3	Utfordringer knyttet til plusskunder sett fra nettselskapets perspektiv.....	22
3.1	Forhold i distribusjonsnettet.....	23
3.1.1	Langsomme spenningsvariasjoner.....	23
3.1.2	Spenningsusymmetri	24
3.1.3	Spenningsprang.....	25
3.1.4	Overharmoniske	26
3.1.5	Endringer i lastflyt.....	27
3.1.6	Kortslutningseffekter.....	28
3.2	Krav til vernetrusting for produksjonsanlegget.....	29
3.2.1	Spenningsvern	29
3.2.2	Over- eller underfrekvens.....	29
3.2.3	Innkobling	30
3.2.4	Frakobling	30
3.2.5	Automatisk gjeninnkobling etter feil.....	31

4	Simuleringer med trefaset innmating av distribuert produksjon.....	32
4.1	Teoridel	33
4.1.1	Spenningsfall	33
4.1.2	Marginaltap	34
4.2	Beskrivelse eksempelnett: NS0295-Tårnvik Nord.....	36
4.3	Scenario beskrivelser	38
4.3.1	Aktuelle scenarioer.....	38
4.3.2	Begrensinger i simuleringene	43
4.4	Resultater - scenario 1	44
4.4.1	Lett-last.....	44
4.4.2	Tung-last.....	46
4.5	Resultater - scenario 2.....	48
4.5.1	Lett-last.....	48
4.5.2	Tung-last.....	50
4.6	Resultater - scenario 3.....	52
4.6.1	Lett-last.....	52
4.6.2	Tung-last.....	54
4.7	Resultater - scenario 4.....	56
4.7.1	Lett-last.....	56
4.7.2	Tung-last.....	58
4.8	Delkonklusjon – trefaset innmating av distribuert produksjon	60
4.8.1	Spenningsforhold.....	61
5	Simuleringer med innmating av enfaset distribuert produksjon.....	63
5.1	Teoridel	64
5.2	Utførelse av beregninger med enfaset innmating	66
5.3	Resultater - Innmating av enfaset distribuert produksjon.....	70
5.3.1	Scenario 1.....	70
5.3.2	Scenario 2.....	72
5.3.3	Scenario 3.....	73
5.3.4	Scenario 4.....	74
5.4	Oppsummering og delkonklusjon - innmating av enfaset distribuert produksjon.....	75
6	Diskusjonsdel om plusskunders bidrag i et lavspent distribusjonsnett.....	77
6.1	Reduserte tap i nettet	78
6.2	Muligheter for å balansere usymmetriske spenninger	79
6.3	Spenningsregulering ved hjelp av reaktiv effekt	81

6.4	Drift av mikro-nett ved utfall	81
7	Konklusjon.....	84
	Referanseliste	85
	Vedlegg	87

Tabelliste

Tabell 2.1	Viktige parametere for solceller/solcellepanel	5
Tabell 3.1	Total tillatt harmonisk spenningsforvrengning.	26
Tabell 3.2	Forutsetninger for automatisk gjeninnkobling.	31
Tabell 4.1	Eksempel marginaltap.....	35
Tabell 4.2	Verdier for sesongjustering av forbruk i Netbas	38
Tabell 4.3	Senariobeskrivelser	39
Tabell 4.4	Eksempel på struktur i beregningene som skal utføres.	41
Tabell 4.5	Kortslutningseffekter og spenninger ved aktuelle punkter i nettet.....	42
Tabell 4.6	Oppsummering av spenningsforhold ved trinning av fordelingstrafo i NS-0295.	42
Tabell 4.7	Oppsummering av beregningsresultater senario 1 lett-last	44
Tabell 4.8	Oppsummering av beregningsresultater senario 1 tung-last	46
Tabell 4.9	Oppsummering av beregningsresultater senario 2 lett-last	48
Tabell 4.10	Oppsummering av beregningsresultater senario 2 tung-last	50
Tabell 4.11	Oppsummering av beregningsresultater senario 3 lett-last	52
Tabell 4.12	Oppsummering av beregningsresultater senario 3 tung-last	54
Tabell 4.13	Oppsummering av beregningsresultater senario 4 lett-last	56
Tabell 4.14	Oppsummering av beregningsresultater senario 4 tung-last	58
Tabell 5.1	Senarioer for simuleringer utført i Powerfactory 2018	66
Tabell 5.2	Sammenlikning av spenninger fra Netbas og PF	69
Tabell 5.3	Enfasesimuleringer senario 1. 2kW innmating mellom fase 1 og 2.....	70
Tabell 5.4	Enfasesimuleringer senario 2. 25kW innmating mellom fase 1 og 2.....	72
Tabell 5.5	Enfasesimuleringer senario 3. 9kW innmating mellom fase 1 og 2.....	73
Tabell 5.6	Enfasesimuleringer senario 4. 3kW innmating mellom fase 1 og 2.....	74
Tabell 5.7	Sammenlikning av resultater fra enfaset og trefaset innmating	76

Figurliste

Figur 2.1	Prinsippskisse for nett-tilkoblet solcelleanlegg	4
Figur 2.2	Strøm og effektkurve for en solcelle.....	5
Figur 2.3	Prinsippskisse - plusskunde med PV-anlegg	6
Figur 2.4	Hovedkomponenter i en vindmølle.....	7
Figur 2.5	Illustrasjon vertikalakslet vindturbin, t.v. sett ovenfra. t.h. sett fra siden.	8
Figur 2.6	Spredningsdiagram m. trendlinje.....	10
Figur 2.7	Linjediagram med registrerte soltimer ved Bodø Lufthavn.....	11
Figur 2.8	Kartutsnitt deler av ytre Salten. [20].....	12
Figur 2.9	Utsnitt fra vindkartbok for årsmiddelvind ved 50m høyde [21]. Gjengitt med tillatelse fra NVE.....	13
Figur 2.10	Forskjellige koblinger av vekselrettere.....	18

Figur 3.1 Lastflyt ved introduksjon av plusskunde	27
Figur 3.2 Krav til utkoplingstider ved over eller underspenning i tilknytningspunktet	29
Figur 3.3 Frekvensnivå med tilhørende tiltak.....	30
Figur 4.1 Forenklet illustrasjon av overføring med last	33
Figur 4.2 Viserdiagram for spenningsfall i en overføring	33
Figur 4.3 Forenklet illustrasjon av overføring med last og lokal produksjon	34
Figur 4.4 Kartutsnitt Tårnvika m.omegn. [20]	36
Figur 4.5 Nettskjema og kart over NS-0295.	37
Figur 4.6 Nettskjema med oversikt over scenarioer.....	40
Figur 4.7 Spenningsfall og marginaltap senario.1 lett-last.....	45
Figur 4.8 Spenningsfall og marginaltap senario.1 tung-last.....	47
Figur 4.9 Spenningsfall og marginaltap senario.2 lett-last.....	49
Figur 4.10 Spenningsfall og marginaltap senario.2 tung-last.....	51
Figur 4.11 Spenningsfall og marginaltap senario.3 lett-last.....	53
Figur 4.12 Spenningsfall og marginaltap senario.3 tung-last.....	55
Figur 4.13 Spenningsfall og marginaltap senario.4 lett-last.....	57
Figur 4.14 Spenningsfall og marginaltap senario.4 tung-last.....	59
Figur 4.15 Nettskjema med øvre effektbegrensinger for hvert senario.	60
Figur 4.16 Illustrasjon av spenningsfall i nettet, uten lokal produksjon.....	61
Figur 4.17 Illustrasjon av spenningsfall i nettet, med lokal produksjon i 134200150001.....	61
Figur 4.18 Illustrasjon av spenningsfall i nettet, med lokal produksjon i 134200070001.....	62
Figur 5.1 Viserdiagram med usymmetri i målestokk	64
Figur 5.2 Illustrasjon av forenklinger i distribusjonsnettet.	67
Figur 5.3 Forenklet nettskjema fra Powerfactory	68
Figur 5.4 Viserdiagram med fasespenninger fra lokal innmating av 2kW mellom fase a – b	71
Figur 5.5 Nettskjema med påførte verdier for usymmetri for hvert senario.....	75
Figur 6.1 Kurve for tap i nettet som funksjon av innmatet effekt.	78
Figur 6.2 Vekselretter for balansering av usymmetrisk last.....	79
Figur 6.3 Skisse for løsning.....	80
Figur 6.4 Forslag på signalskjema.....	82

Forord

Denne rapporten er den siste og avsluttende del av masterutdanningen innen elektroteknikk ved Universitetet i Tromsø, campus Narvik.

Årsaken til at jeg valgte nettopp denne oppgaven, var personlig interesse og nysgjerrighet for dette nye fenomenet med plusskunder. Det viste seg at det fantes relativt mye utført og pågående forskning rundt temaet. Dermed var det en utfordring å spisse inn problemstillingen, slik at den kunne ta opp et nytt tema.

Med egne førstehanderfaringer knyttet til utfordringer med svake lavspente distribusjonsnett, fra rollen som energimontør ved et lite e-verk. Øynet jeg en mulighet for å kunne kombinere tidligere erfaringer, med fordypning i et tema som stadig blir mer aktuelt. Derfor ble fokuset valg til å omhandle plusskunder i svake, lavspente distribusjonsnett. Noe som forventes å bli en aktuell problemstilling for de fleste nettselskaper i Norge i fremtiden.

Det var en lang prosess for å finne et godt utgangspunkt for problemstillingen. Derfor vil jeg gjerne takke Terje Gjengedal, som har vært min veileder ved UiT. Han har gitt meg nesten frie tøyler for å utforme min egen problemstilling. Samtidig som jeg har blitt rettleidet utenom de største fallgruvene.

En annen stor takk vil jeg rette til Nordlandsnett AS, og spesielt ved Bjørn B. Pedersen. De viste stor imøtekommenhet og velvilje, for å kunne bidra til min oppgave. Beregningsverktøy, nettdata og resurspersoner ble velvilligst stilt til disposisjon. Dette har bidratt til at resultatene utarbeidet i rapporten, faktisk har tilknytning til reelle forhold.

Avslutningsvis ønsker jeg å takke noen øvrige personer. Som har svart vært utfyllende på henvendelser, bidratt med informasjon, veiledning eller støtte gjennom det siste halve året.

- Bjarte Hoff, ved UiT Narvik
- Trond Eivind Åmo, ved Bodø Kommune
- Clara Good, ved UiT Tromsø
- Min samboer, og øvrig familie

1 Innledning

I denne rapporten blir innvirkningene fra distribuert produksjon i svake distribusjonsnett undersøkt. Kort oppsummert innebærer dette, en undersøkelse av vesentlige utfordringer som følger introduksjonen av lokal produksjon. Sentrale tekniske krav knyttet til små produksjonsanlegg skal beskrives. Utføre simuleringer med implementasjon av lokal produksjon, i et reelt lavspent distribusjonsnett. Til slutt diskutere hvordan en plusskunde kan bidra positivt i et svakt, lavspent distribusjonsnett.

Det har blitt etablert et samarbeid med et lokalt nettselskap, Nordlandsnett AS. Firmaet er et av fylkets største netteiere, og har sitt kjerneområde i Salten. Målet med samarbeidet, er å jobbe tett opp mot reelle problemstillinger og utfordringer. Slik rapporten på best mulig vis gjenspeiler den virkeligheten nettselskapene og fremtidige plusskunder, står ovenfor.

1.1 Bakgrunn for problemstillingen

Effektbehovet for elektrisk kraft er stadig økende i Norge [1]. Større miljøfokus, og stigende strømpriser har resultert i at stadig flere nærings- og husholdnings-forbrukere installerer eget utstyr for energiproduksjon. Mesteparten av denne energien går direkte til å dekke hele, eller deler av eget forbruk. I enkelte tilfeller er produksjonen større enn forbruket. Da har produsenten to valg, lagre energien i batteribanker til senere bruk. Eller sende energien ut i det øvrige distribusjonsnettet. I det siste tilfellet har man gått fra å være forbruker, til å bli en plusskunde. Altså en forbruker som produserer, og tidvis selger sin egen overskuddsenergi tilbake til nettet.

Flere forhold gjør at vi i Norge skiller oss ut fra resten av verden energimessig. Vi har lave strømpriser, og høyt forbruk av elektrisk energi. Landets utstrekning og topografi er relativt unik. I Nord-Norge forsterkes disse faktorene ytterligere. Landsdelen er langstrakt, med høye fjell, dype fjorder og spredt befolkning. Tar man også hensyn til det faktum at man enkelte steder i fylket har flere måneder med mørketid, blir det hele enda mer unikt.

Det eksisterer allerede mye forskning på distribuert produksjon. Nettselskapene i Norge har også blitt kjent med problematikken rundt distribuert produksjon. Spesielt i det høyspente distribusjonsnettet, fra de siste tjue års massive utbygging av små vannkraftverk her i landet. I lavspente distribusjonsnett, er lokal produksjon fortsatt en relativt ny problemstilling.

1.2 Utførelse og oppbygging av rapporten

Problemstillingen inneholdt opprinnelig de følgende fire hovedpunktene.

- Vurder og diskuter hvilke utfordringer som oppstår ved tilknytning av plusskunder i et svakt distribusjonsnett. Både fra kunden, og nettselskapets perspektiv.
- Beskriv kravene en plusskunde står ovenfor i grensesnittet mot nettselskapet.
- Modeller og simuler hvilken innvirkning distribuert produksjon har i et svakt lavspent distribusjonsnett.
- Vurder og diskuter hvordan plusskunder kan spille en rolle i svake distribusjonsnett i dag, og i fremtiden.

Deler av disse punktene har blitt omarbeidet noe. Slik at rapporten bygges opp av de følgende fem hovedkapitler, foruten innledning og konklusjon.

- Kapittel 2 - Utfordringer en plusskunde står ovenfor.
 - Innhold: Her beskrives kort hva som er de største utfordringen for en fremtidig plusskunde, med hovedfokus på planleggingsfasen.
 - Avgrensninger: Kun sol- og vindenergi blir beskrevet. Det blir ikke gjort komplette økonomiske beregninger.
- Kapittel 3 - Utfordringer knyttet til plusskunder sett fra nettselskapets perspektiv
 - Innhold: Det undersøkes hvilke utfordringer en plusskunde tilkoblet i et svakt lavspent distribusjonsnett, bringer med seg. Sentrale tekniske krav i grensesnittet mellom plusskunde og nettselskap spesifiseres i dette kapittelet.
 - Avgrensninger: Kun de største utfordringene knyttet til stasjonære forhold blir beskrevet.
- Kapittel 4 - Simuleringer med trefaset innmating av distribuert produksjon
 - Innhold: Det utføres senariobaserte simuleringer, for henholdsvis lett- og tunglastperioder. I et eksisterende svakt 230V lavspent distribusjonsnett, med trefaset symmetrisk distribuert produksjon.
 - Avgrensninger: Kun stasjonære forhold blir undersøkt.
- Kapittel 5 - Simuleringer med innmating av enfaset distribuert produksjon
 - Innhold: Det utføres senariobaserte simuleringer, for lett-lastperioder. I et eksisterende svakt 230V lavspent distribusjonsnett, med enfaset usymmetrisk distribuert produksjon.
 - Avgrensninger: Kun stasjonære forhold blir undersøkt.
- Kapittel 6 - Diskusjonsdel om plusskunders bidrag
 - Innhold: Lokal produksjon vil kunne bidra til bedre drift av lavspente distribusjonsnett. Det åpner seg flere muligheter ved innføring AMS-målere i slike nett. Herunder beskrives et par av disse, på et informativt nivå.
 - Avgrensninger: Kun bidrag som kan ansees som positivt for netteier diskuteres.

2 utfordringer en plusskunde står ovenfor

Introduksjon av plusskunder i et eksisterende distribusjonsnett, kan ofte innebære flere utfordringer. I de første kapitlene deles disse utfordringene inn i to deler. I første del, kapittel 2, sees det på hvilke utfordringer en forbruker som ønsker å bli plusskunde møter. Den andre delen som tar for seg utfordringene til nettselskapet, følger i kapittel 3.

En forbruker som ønsker å produsere egen elektrisk energi, må navigere seg gjennom store mengder av informasjon. Det må gjøres mange forskjellige valg og vurderinger, som vil ha stor innvirkning på utbyttet av produksjonsanlegget. Både med hensyn på økonomi og energiproduksjon. Noen av disse valgene innebærer ofte over gjennomsnittet høy teknisk innsikt i fornybare kilder, og tilhørende elektriske anlegg. Å gjøre de rette valgene av kilde og teknologi er ofte utfordrende, spesielt i en bransje som vokser relativt raskt. Det sees her kun på energiproduksjon fra sol- og vindkraft.

Historisk sett er forsyningsnettet bygd for sentral energiproduksjon. Med andre ord, enveis energiflyt fra kraftverket til forbrukeren [2]. Dette innebærer at man vil kunne støte på utfordringer knyttet til stabilitet og leveringskvalitet, ved å introdusere flere energikilder i eksisterende nett.

NVEs definisjon av plusskunder inkluderer alle forbrukere som også har produksjonsutstyr tilkoblet sitt anlegg, bak tilknytningspunktet. Det er satt en øvre grense på maks 100kW innmatet effekt i tilknytningspunktet [3]. Større anlegg, eller anlegg som av andre årsaker krever konsesjon omfattes ikke av plusskundeordningen. Dersom en eller flere av anleggsdelene har en høyere spenning enn 1000V, vil man måtte søke om konsesjon [4].

De viktigste momentene som bør undersøkes og avklares er som følger:

- Kapittel 2.1 Aktuelle teknologier
- Kapittel 2.2 Potensiale for småskala energiproduksjon i Nord-Norge
- Kapittel 2.3 Plassering
- Kapittel 2.4 Installasjon og dokumentasjon
- Kapittel 2.5 Tilknytningspunkt
- Kapittel 2.6 Batterilagring
- Kapittel 2.7 Økonomi og tilskuddsordninger

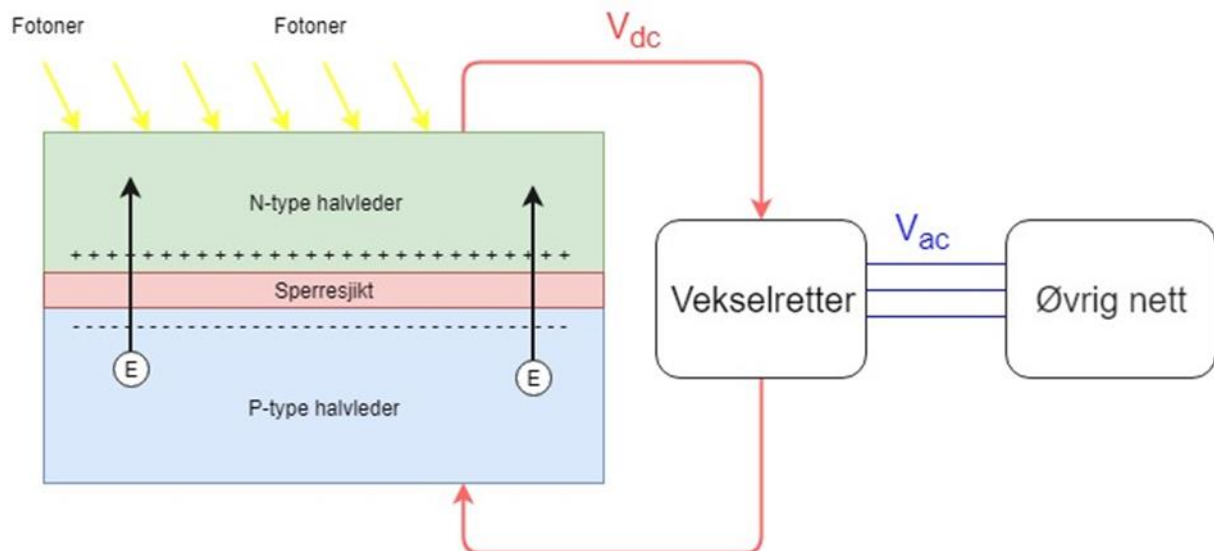
Dette gjøres på et informativt nivå, og er ment for å skape en oversikt. Tekniske krav til vern og produksjonsutstyr beskrives i under kapittel 3.

2.1 Aktuelle teknologier

Det er flere likheter i regelverket, tilskuddsordninger og deler av teknologien knyttet til energiproduksjon fra sol og vind. Derfor behandles flere tema likt for begge energikilder. I de tilfeller der det er vesentlige forskjeller, vil temaene behandles uavhengig hverandre av. Dette spesifiseres i hvert delkapittel.

2.1.1 Solceller for energiproduksjon

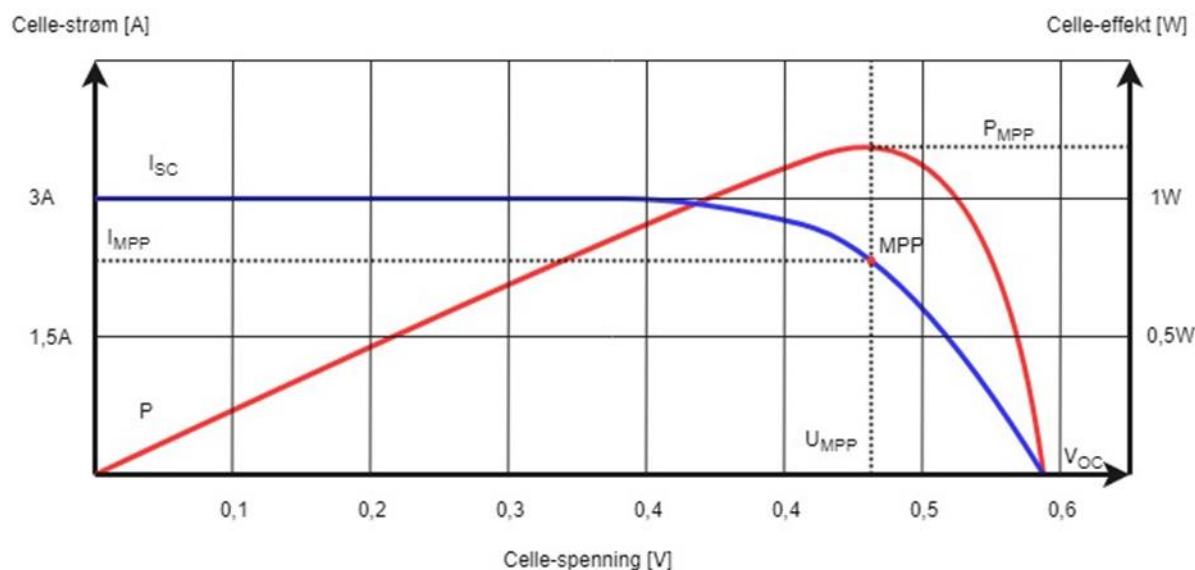
Rapportens hovedfokus ligger ikke på oppbygging og virkemåte til solcellen. Men det er viktig å forstå grunnprinsippene for fotovoltarisk energiproduksjon for å kunne velge korrekt anlegg ut fra lokale forutsetninger.



Figur 2.1 Prinsippkisse for nett-tilkoblet solcelleanlegg

I Figur 2.1 kan en forenklet prinsippkisse av et nett-tilkoblet solcelleanlegg sees. Selve solcellen består av to lag. Et positivt dopet halvlederlag som har overskudd av elektroner kalt, N-laget. Og et negativt dopet halvlederlag, med underskudd av elektroner kalt P-laget. Mellom disse to dopede lagene oppstår et sperresjikt, som gjør at elektronene kun kan flytte en vei. Fra P, til N laget. Når fotonene fra sollyset trenger ned gjennom disse lagene, vil det "slå" løs elektroner fra N laget. Disse elektronene vil søke tilbake til N -laget, men må da gå gjennom den eksterne kretsen før de kan returnere til sin opprinnelse. Slik at det hele danner en likestrøms krets. Det er disse elektronene på vandring som skaper flyten av elektrisk energi. Dermed vil levert energi være direkte avhengig av solens innstråling [5, 6].

Figur 2.1 er sterkt forenklet. Siden en solcelle typisk kun produserer 0,5V, er det vanlig å seriekoble flere til et større panel. Slik utgangspenningen blir mellom 24-50V, avhengig av størrelse og produsent.



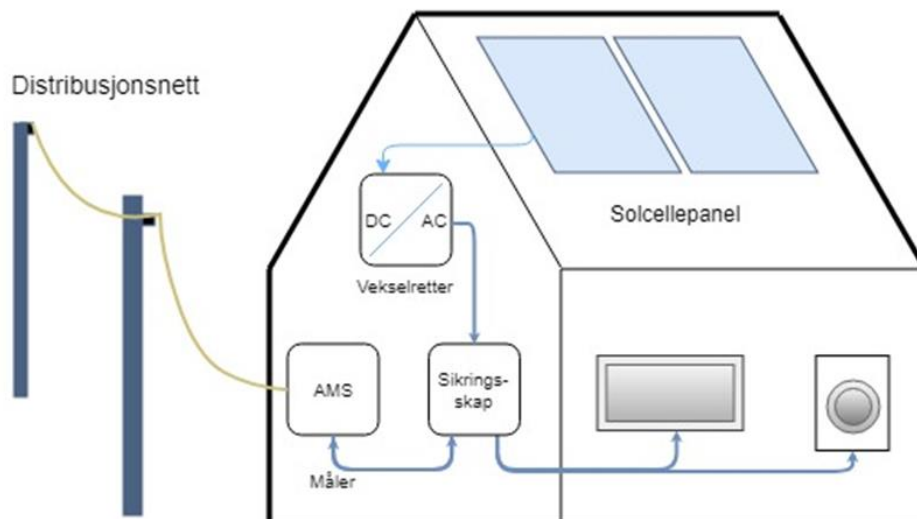
Figur 2.2 Strøm og effektkurve for en solcelle

Figur 2.2 viser typisk form på strøm- og effekt-karakteristikk til en enkelt solcelle. Punktet MPP (Maximum Power Point) er den optimale driftssituasjonen under gitte forhold. Endringer i temperatur eller solinnstråling vil endre kurvens karakteristikk [7]. I Tabell 2.1 finnes en oversikt over forkortelsene med beskrivelse.

Tabell 2.1 Viktige parametere for solceller/solcellepanel

Parameter	Forkortelse	Enhet	Kommentar
MPP	P_{MPP}	W_p	Nominell effekt
MPP spenning	V_{MPP}	V	Spenning ved MPP. Nominell spenning
Åpen krets spenning	V_{OC}	V	Spenning ved åpen krets
Kortslutningsstrøm	I_{SC}	A	Kortslutningsstrøm
MPP strøm	I_{PP}	A	Strøm ved MPP

For å sikre at et solcelleanlegg opererer optimalt ut fra omgivelsesforholdene, er det vanlig å benytte en Maximum Power Point Tracker. Dette er en DC-DC omformer, som hele tiden holder spenningen over cellene optimal, slik at de leverer maksimal effekt ut fra de aktuelle forhold [7].



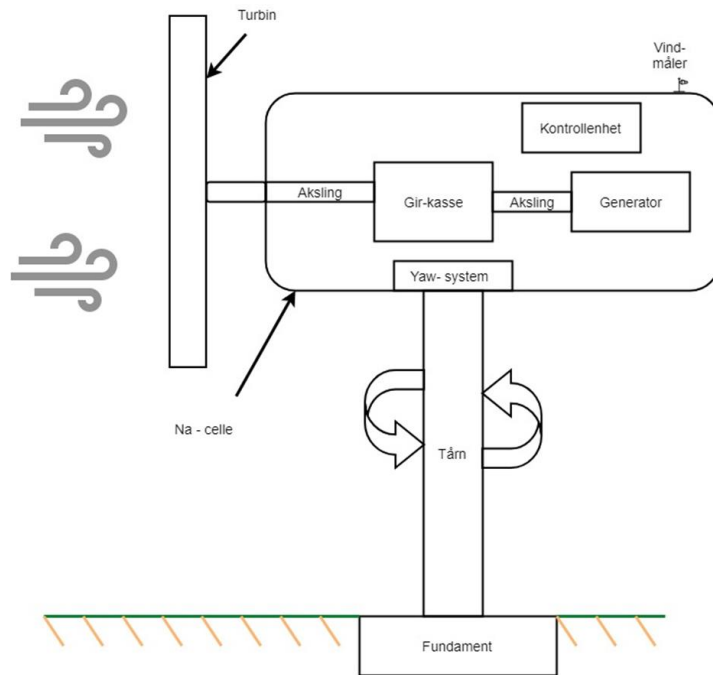
Figur 2.3 Prinsippkisse - plusskunde med PV-anlegg

Selve solcelleanlegget består av to hovedkomponenter, panelene og vekselretteren. Da er det sett bort fra kabling mellom anleggsdelene. På Figur 2.3 ser vi en prinsippkisse for et typisk "plusskunde-anlegg". Solcellene er her takmontert med en DC overføring til vekselretteren. Denne er igjen koblet til kundens øvrige elektriske anlegg. Slik får en dekket opp deler, eller i noen tilfeller hele forbruket. Ved overproduksjon går overskuddsenergien ut på det øvrige distribusjonsnettet.

Utbredelsen av solceller for småskala energiproduksjon, har økt betraktelig de siste årene. I en rapport utarbeidet av Multiconsult og Asplan Viak, er det gjort anslag på andelen installert solenergi anlegg i Norge. Basert på informasjon fra leverandørene i markedet. Det er derfor knyttet noe usikkerhet til tallene, men de viser tydelig at interessen er på vei oppover. I 2017 alene ble det installert 18 MWp solkraft. Dette er en økning i installert effekt på 59% fra 2016. Totalt er det anslått at i utgangen av 2017 hadde Norge ca. 45 MWp installert effekt i kraftsystemet. Ser man enda et år tilbake i tid, så var økningen i installert effekt fra 2015 til 2016 på hele 366% [8].

2.1.2 Mikrovind-anlegg for energiproduksjon

Utnyttelse av vindenergi ved hjelp av møller og turbiner strekker seg helt tilbake til Persia, i 900 år f.Kr. [9]. Siden den gang har grunnprinsippet endret seg lite. I dag benyttes vindenergi hovedsakelig til produksjon av elektrisk energi. Bevegelsesenergi i vinden omgjøres til mekanisk og deretter elektrisk energi.

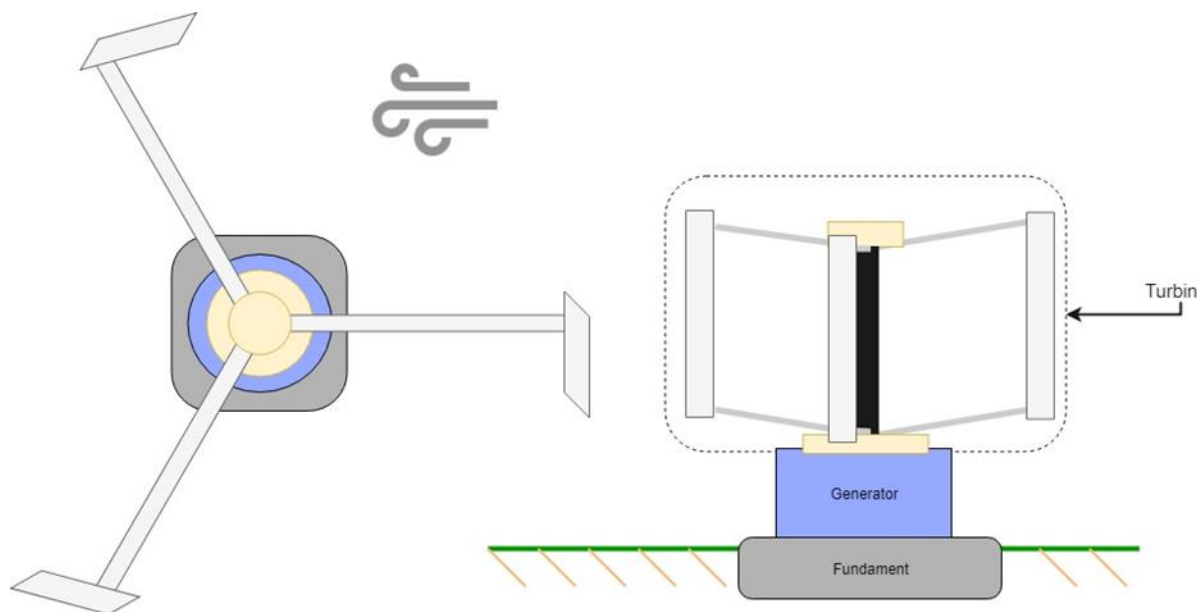


Figur 2.4 Hovedkomponenter i en vindmølle

En vindmølle er litt mer komplekst oppbygget, enn et solcelleanlegg. Figur 2.4 viser hovedkomponentene og deres plassering i en vindmølle. Denne er gyldig for flesteparten av de mindre vindmøllene også.

- Turbinen: tar opp bevegelsesenergien i vinden og omgjør denne til mekanisk energi.
- Akslingen: overfører den roterende mekaniske energien fra turbinen til girkassen, eller mellom girkassen og generatoren.
- Girkasse: endrer hastighet og moment fra hoved akslingen til generator akslingen.
- Generator: omgjør roterende mekanisk energi til elektrisk energi.
- Na-celle: huset som omkranser alle komponentene i toppen.
- Vindmåler: måler retning og vindhastighet.
- Kontrollenhet: påser at verken strøm, spenning, eller rotasjons hastighet overskrider gitte verdier.

Som et alternativ for de tradisjonelle horisontalakslede vindmøllene, finnes det også vertikal akslede. Disse har gjerne en litt mindre kompleks oppbygging, og krever ikke like store inngrep i nærområdet. Figur 2.5 viser et eksempel på hvordan en vertikalakslet vindmølle er bygd opp.



Figur 2.5 Illustrasjon vertikalakslet vindturbin, t.v. sett ovenfra. t.h. sett fra siden.

Det finnes mange avarter av disse turbintypene. Derfor gjennomgås ingen ikke disse i detalj. Generatoren er en annen essensiell komponent i en vindmølle. De vanligste typene og deres karakteristiske trekk nevnes i de følgende delkapittel.

2.1.2.1 Asynkrongeneratorer

For mindre vindmøller, fra 6 kW og oppover til 30kW, benyttes det ofte en turbin med faste turbinblad koblet til en asynkronmaskin. Turbinen har ikke muligheter for pitch eller stall regulering. Slike turbiner har en enkel og robust oppbygging. Så lenge rotorens hastighet er raskere enn synkron hastighet vil den $\omega_{rotor} > \omega_{synk}$ vil den levere aktiv effekt. Det er et par ulemper med slike maskiner. Grunnet de magnetiske forhold vil den alltid forbruke en viss mengde reaktiv effekt. Med andre ord vil en slik generator alltid ha en induktiv effektfaktor [10].

En annen ulempe som må nevnes, er at en direktekoblet asynkronmaskin har begrensede muligheter for regulering av innmatet effekt. I dette tilfellet vil avgitt effekt være direkte relatert til aktuell vindhastighet. Den eneste muligheten man for regulering ved slike vindturbiner hvis det er installert, er å benytte yaw- mekanismen. Da posisjoneres Na-cellen litt ut av optimal vinkel, vil virkningsgraden på hele systemet reduseres. Følgelig vil det leveres mindre energi fra generatoren.

Kombineres asynkronmaskinen med en fire-kvadrants omformer, har man mye mer fleksibilitet med hensyn på effektflyt. Kort fortalt kan strøm, spenning og frekvens styres individuelt mot generatoren og nettet. Da kan både aktiv og reaktiv effektflyt mot nettet styres [11]. I enkelte tilfeller kan girkassen elimineres, som følger av at man kan regulere ω_{synk} .

2.1.2.2 Synkrongeneratorer

En annen generatortype som finnes i enkelte mindre vindturbiner, er synkrongeneratoren. Denne blir heller ikke gjennomgått i detalj. Men de mest karakteristiske trekk nevnes.

Synkrongeneratoren roterer med en fast hastighet. $\omega_{rotor} = \omega_{synk}$. Så man vil være avhengig av en hvis vindhastighet, før det idet heletatt lønner seg å ha vindmøllen tilkoblet. Aktiv energiflyt vil være avhengig av tilført mekanisk effekt. Men ved manipulasjon av magnetiseringsstrømmen i rotor, vil man kunne styre reaktiv effektlyt.[10]

Kombineres synkrongeneratoren, med en fire-kvadrants omformer vil også her få mye større fleksibilitet. Fordelene er de samme som ved bruk av omformer på asynkronmaskinen.

2.2 Potensiale for småskala energiproduksjon i Nord-Norge

Det viktigste punktet før man setter i gang en anskaffelsesprosess for utstyr til energiproduksjon, er å undersøke hvilke ressurser som er tilgjengelig. Senere i rapporten vil det bli utført simuleringer på en spesifikk nettstasjon lokalisert nord for Bodø sentrum. Derfor er det valgt å si litt mer om potensialet for småskala energiproduksjon, i dette aktuelle området.

2.2.1 Solenergi i Nord-Norge

NVE har gjort beregninger på energiutbytte målt i antall brukstimer for både solenergi. I Nord-Norge kan det forventes at antall brukstimer for solceller er rundt 500 timer. Til sammenlikning har solenergi lokalisert på Sørlandet estimert til å ha 740 timer brukstid [12]. Altså er solressursene i Nord-Norge bare to tredjedeler hvis man sammenlikner med de sørligste delene av landet.

Kaldt klima med lave temperaturer er med på å øke effektiviteten til solceller. Standard testforhold for fastsettelse av effekt for solceller er 25°C. Ved lavere temperaturer vil virkningsgraden til solcellen øke med mellom 0,2% til 0,5% per grad temperaturen i solcellen senkes [13, 14]. Dette innebærer at det er teoretisk sett gunstigere forhold temperaturmessing for solenergi i nord.

2.2.1.1 Solenergi i Saltenområdet

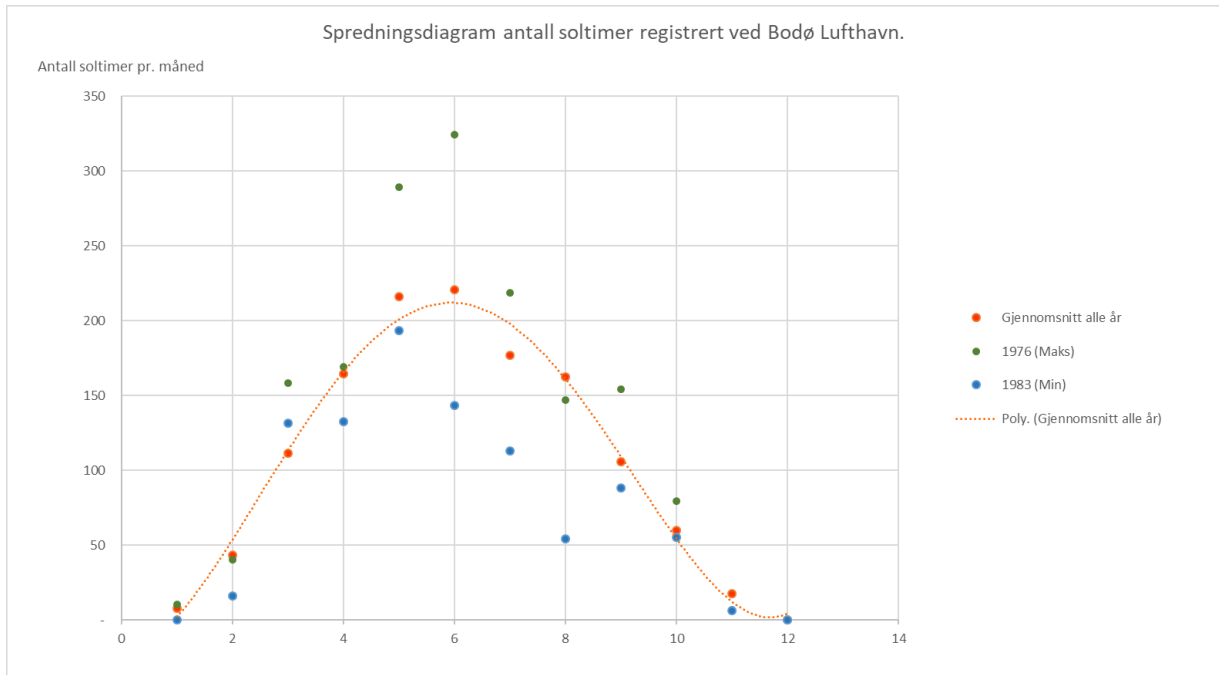
Fra meteorologisk institutt har data om solinnstråling blitt innhentet. Det mest fullstendige datagrunnlaget tilgjengelig kommer fra en meteorologisk målestasjon ved Bodø Lufthavn. Antall soltimer per dag er registrert i en 44 års periode, fra 1961 til måleprosjektet ble lagt ned i 2005 [15].

Meteorologisk institutts definisjon av soltimer:

"Soltimer er hvor mange timer det totalt har vært solskinn på en enkelt dag. [16]"

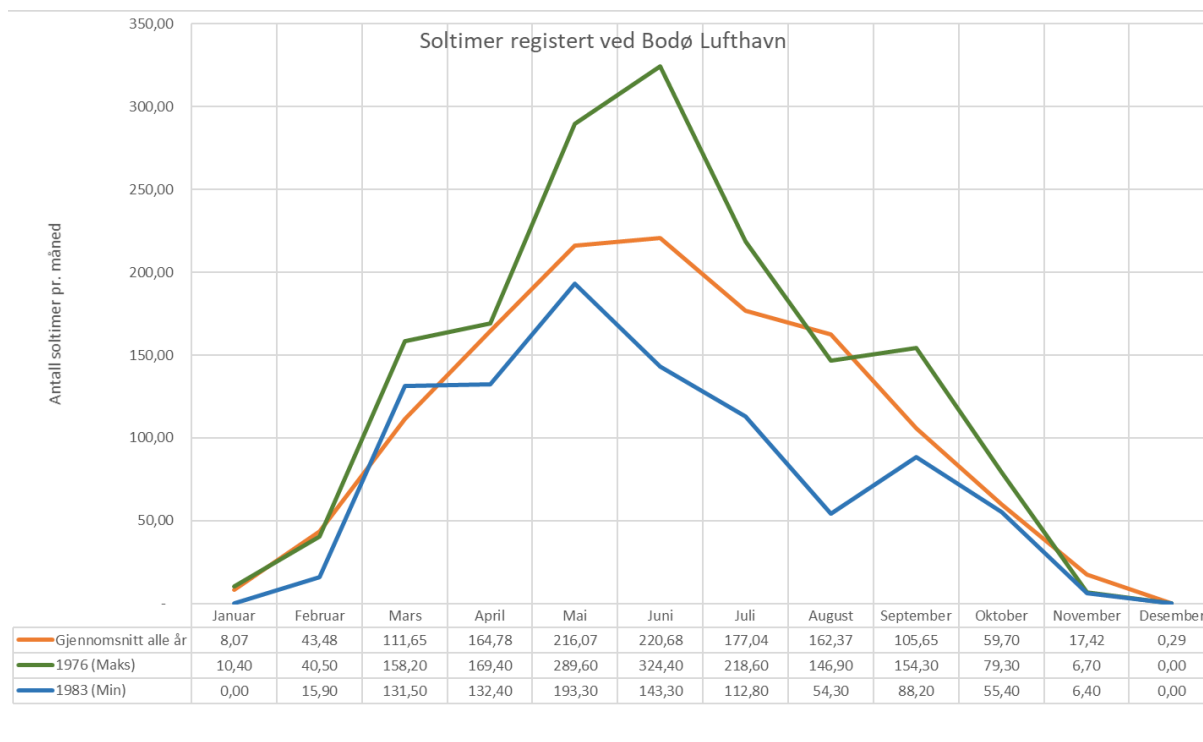
Anvendt metode for måling av sol: " I følge WMO - Den meteorologiske verdensorganisasjons anbefaling er soltid definert som perioden den direkte solstrålingen er høyere enn 120 W/m2." [17]

Måledata kan sees i vedlagt zip-fil. Beskrivelse av mappestrukturen til zip-filen finnes i vedlegg 10. I enkelte perioder har solregistratoren vært ute av drift. Spesielt i de siste årene har det vært flere måneder uten målinger. I disse tilfellene har gjennomsnittsverdien fra samme måned, fra øvrige år blitt brukt.



Figur 2.6 Spredningsdiagram m. trendlinje.

I Figur 2.6, kan et spredningsdiagram fra måleperioden 1964 – 2004 sees. Plottene viser gjennomsnittsverdi, samt årene med mest og minst sol i perioden. Den stiplede linjen viser en trendlinje basert på gjennomsnittet av alle målinger.



Figur 2.7 Linjediagram med registrerte soltimer ved Bodø Lufthavn.

Figur 2.7 inneholder den samme informasjon som Figur 2.6, men denne gang presentert i et linjediagram. I vintermånedene november til januar er det helt tydelig ugunstige solforhold. Ytre Salten har per definisjon ikke mørketid grunnet atmosfæriske forhold. Men svært lav innstrålingsvinkel og fjellformasjoner gjør at energipotensialet er lavt. Til gjengjeld har området midnattssol i perioden 31.mai til 12.juli [18, 19]. Disse fenomenene ser vi tydelig igjen i samtlige kurver.

En annen ting verdt å legge merke til, er at selv om antall soltimer varierer veldig har linjene lik retning uavhengig av år. Dette tyder på at man kan forvente seg en produksjon fra solenergi som vil ha relativt lik kurveform, uansett om det er et godt eller dårlig solår.

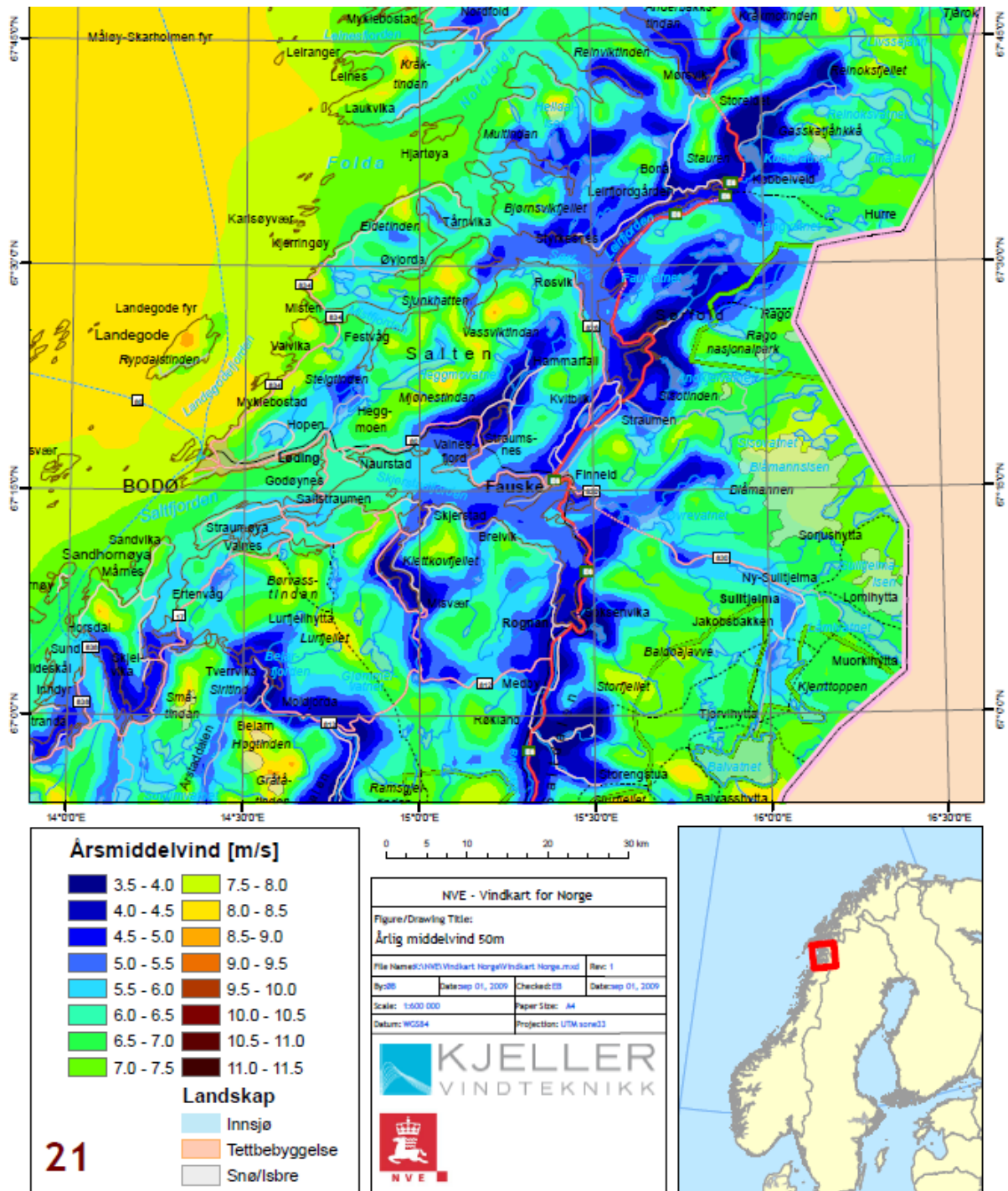
Topografiske forhold rundt ytre Salten, gjør at store deler av regionen er egnet for småskala energiproduksjon. Mesteparten av befolkningen er bosatt slik at man har fri sikt til stort sett alle himmelretninger. Kartutsnittet i Figur 2.8 viser at topografien er relativt flat i de tettest befolkede områdene rundt Bodø.



Figur 2.8 Kartutsnitt deler av ytre Salten. [20]

2.2.2 Vindenergi i Nord-Norge

Å si noe spesifikt om energipotensiale for vindenergi, er mer utfordrende enn med solenergi. Ser man bort fra den største variasjonen, nemlig værforholdene. Er lokale variasjoner den største utfordringen. På oppdrag fra NVE har Kjeller Vindteknikk i 2009, utarbeidet et kart som viser spesifikk årlig middelvind for hele landet.



Figur 2.9 Utsnitt fra vindkartbok for årsmiddelvind ved 50m høyde [21]. Gjengitt med tillatelse fra NVE.

I Figur 2.9 kan et vindresurskart for årsmiddelvind ved 50m høyde sees. Målingene gjenspeiler gjennomsnittlig vindhastighet mål 50m over terrenget.

tydelig at de kystliggende strøkene i området har gode vindresurser.

2.2.2.1 Småskala vindenergi i Saltenområdet

Estimering av tilgjengelige vindresurser til et spesifikt sted er svært utfordrende. Topografi, bebyggelse og vegetasjon er eksempler på svært lokale variabler. Som gjør at målinger fra ett sted, ofte ikke er gyldige et annet sted. Derfor er det helt avgjørende å utføre målinger over et langt tidsrom, for å kunne si noe om potensialet for vindenergi. Det ble derfor valgt å ikke innhente værobservasjoner, utover NVEs vindkart i Figur 2.9.

2.3 Plassering

God plassering av produksjonsanlegget vil være helt avgjørende for å best mulig utnytte tilgjengelige energiresurser. Men det finnes også begrensninger for hvilke inngrep som kan gjøres. Selv på privat eiendom.

Solenergi

Direktoratet for byggkvalitet har utarbeidet en veileder til byggesaksforskriften (SAK10). Her er det spesifisert når og hvor det utløses søknadsplikt, for montasje av solcelleanlegg.

" Solenergianlegg, som solcelle- og solfangeranlegg, er å anse som bygningsteknisk installasjon og er søknadspliktig etter pbl. § 20-1 bokstav f. Installering og endring av solenergianlegg i eksisterende byggverk innenfor en bruksenhet eller branncelle, vurderes som en enkel installasjon og er unntatt fra kravet om søknadsplikt." [22]

Med andre ord er det mulig å utnytte eksisterende bygningsplater for montasje av solcellepaneler. I følge Plan og bygningsloven, kan det for øvrig være restriksjoner knyttet til den enkelte kommunes reguleringsplaner. Da spesielt knyttet vern av enkelte historiske bygg og områder [23].

Dersom det ønskes en mest mulig optimal produksjon fra et fastmontert solcelleanlegg anlegg. Kan det benyttes en elevasjonsvinkel lik geografisk breddegrad for anleggets lokalisering. Dette er en tommelfingerregel med en toleranse på $\pm 10^\circ$ elevasjon [6]. Meteorologisk målestasjon ved Bodø Lufthavn ligger ved 67° nord. Optimal elevasjon på solceller montert i Saltenområdet vil være mellom 57° til 77° , for helårsproduksjon ved hjelp av fotovoltarisk energiproduksjon.

Vindenergi

Installasjon av private vindmøller er underlagt en strengere regulering, sammenliknet med solceller. Siden støy, estetikk og landskap kan være en utfordring. [23, 24]. Derfor bør alle frittstående vindmøller byggemeldes til kommunen svært tidlig i prosessen.

Optimal plassering av en vindmølle vil være sterkt avhengig av lokale forhold som vegetasjon, nærhet til bygg, topografi ol. Det kan derfor være svært vanskelig å si noe om plassering, uten å spesifisere hvilke tilgjengelige areal som er tilgjengelig [9].

2.4 Installasjon og dokumentasjon

Siden produksjonsanlegget er tilknyttet boligens elektriske installasjon, trer forskrift om elektriske lavspenningstilleggsanlegg i kraft. Dermed også kravet om samsvarserklæring for installasjonen. Forskriften omhandler anlegg med spenning til og med 1.000Vac og 1.500Vdc [25]. Det er ingen tekniske bestemmelser for utførelse i denne forskriften, men det henvises til bransjenormer utformet av NEK. NEK 400 er i dette tilfelle gjeldende norm for bygningsinstallasjoner. Her defineres hvilke løsninger og dokumentasjonsnivå som vil tilfredsstille forskriftskravene. Denne skal ikke gjennomgås i detalj, men en viktig endring kommenteres.

1. Juni 2018 var en ny norm for elektrotekniske installasjoner på plass, NEK 400:2018. Det er kommet inn flere endringer fra tidligere regelverk, knyttet til installasjon og drift av fotovoltaiske anlegg. Spesielt det normative tillegget 712C. Dette vil kunne gi store utslag i størrelse og plassering av monterte solcelleanlegg:

"For solcelleinstallasjoner montert på tak med møne og hvor alle takflatene er benyttet for plassering av solcellemoduler, skal solcelleinstallasjonen utformes slik at:

- *solcellemoduler er montert i en avstand $\geq 1,0$ m fra takets ytterkant, og*
- *solcellemoduler er montert i en avstand $\geq 0,6$ m fra takmønet.*

For solcelleinstallasjoner montert på tak med møne og hvor ikke alle takflater er benyttet for plassering av solcellemoduler er det ingen krav til avstand fra takets ytterkant eller mønet.

For solcelleinstallasjoner montert på et tak med ett plan, skal solcelleinstallasjonen skal utformes slik at:

- *solcellemoduler er montert i en avstand $\geq 1,0$ m fra minst to av takets ytterkanter, og*
- *solcellemoduler er montert i en avstand $\geq 1,25$ m fra brannskiller som stikker opp over takflaten, og*
- *det er anordnet med en solcellemodulfri sone med bredde $\geq 1,0$ m for hver 40 m. "[25]*

Normen er foreslått på bakgrunn av brannsikringsmessige hensyn. Formålet er å sikre at brann- og redningsmannskaper har sikker tilgang til bygningsoverflaten.

De fleste elektroinstallatører i Norge følger denne normen ganske tett. Det kan tenkes at siden solenergi er relativt nytt, er det nok mye usikkerhet rundt installasjonen av slike anlegg. Følgelig vil de fleste følge disse paragrafene svært nøye. Dette resulterer i at effektivt utnyttbart takareal begrenses betydelig. Dette vil ha stor innvirkning på valg av antall og type paneler, hvis man ønsker maksimal utnyttelse av tilgjengelig areal.

I forskrift om elektriske lavspenningstilleggsanlegg åpnes det derimot for andre løsninger. Under følger et utdrag av forordet til forskriften.

"Forskriften med veiledning og de normene det er vist til, viser samlet det sikkerhetsnivået som skal legges til grunn. Det er imidlertid bare forskriften som er juridisk bindende slik at man kan velge andre løsninger. Ved valg av andre løsninger må det kunne dokumenteres bl.a. ved analyse av risiko at minst

tilsvarende sikkerhet oppnås som om de normene forskriften viser til skulle vært lagt til grunn. Dersom det viser seg at det oppstår konflikt mellom de sikkerhetskravene forskriften stiller og løsninger som normene eller eventuelle alternative løsninger legger til grunn, er det forskriftens sikkerhetskrav som skal være oppfylt." [26]

De kan altså velges andre løsninger, så lenge sikkerhetsnivået er dokumentert opprettholdt.

2.5 Tilknytningspunkt

Forskrift om leveringskvalitet (FoL) har følgende definisjon for tilknytningspunkt:

"Tilknytningspunkt – Et punkt i overføringsnettet hvor innmating, uttak eller utveksling av elektrisk energi skjer mellom en kunde og nettselskap" [27].

Kjennskap til spenningsnivå og nettype ved tilknytningspunktet, er helt essensielt tidlig i planleggingen. Tilknytningspunktet er grensesnittet mellom nettselskap og privat installasjon. I mange tilfeller vil tilknytningspunktet kunne være dimensjonerende. Med hensyn på størrelse for det påtenkte produksjonsanlegget. Forutsatt at det ikke gjøres endringer på øvrig nærliggende distribusjonsnett.

I det norske energisystemet benyttes forskjellige nettyper på lavspent distribusjonsnettnivå.

- 230V-IT
- 400V-TN
- 230V-TT

230V IT-nett er mest utbredt. Anslagsvis er rundt 70% av de lavspente distribusjonsnettene i Norge er 230 IT-nett. Det i Norge og Albania man finner en slik utstrekning av IT nett [28]. Før 400V TN-systemet gjorde sitt inntog på sent 90-tall. I dag bygges nye nettstasjoner nesten utelukkende med 400V TN-system [28]. Unntaksvis kan det nevnes at det enda finnes noen 230V TT nett i Norge. Men den marginale andelen av slike nett gjør at de ansees som neglisjerbar.

Siden flesteparten av de eldre og ofte svake distribusjonsnettene er 230 IT nett, holdes fokuset på denne nett typen.

2.5.1 Anleggsbidrag

I § 1-3 i forskrift om kontroll av nettvirksomhet er anleggsbidrag definert som følgende:

" Anleggsbidrag: Beregnet investeringstilskudd ved tilknytning av en ny kunde eller ved forsterkning av nettet til en eksisterende kunde." [29]

Hvis produksjonsanlegget medfører at det må gjøres endringer i tilknytningspunktet, eksempelvis større inntakssikring eller ny stikkledning. Har nettselskapet anledning til å kreve et anleggsbidrag. Dette gjelder også om det øvrig distribusjonsnett må forsterkes.

Et utdrag fra §17-5 i samme forskrift sier følgende:

"Nettselskapene kan fastsette et anleggsbidrag for å dekke anleggskostnadene ved nye nettilknytninger eller ved forsterkning av nettet til eksisterende kunder.

Anleggsbidrag ved forsterkning av en tilknytning kan beregnes når kunden krever økt kapasitet eller kvalitet som utløser behov for forsterkning. Anleggsbidraget skal beregnes ut fra kostnadene som følger av kundens tilknytning til nettet."[29]

Nettselskapet har altså anledning til å få dekket inn alle sine kostnader, ved investeringer i nettet som følger av kundeutløste forhold.

2.5.2 Vekselretter

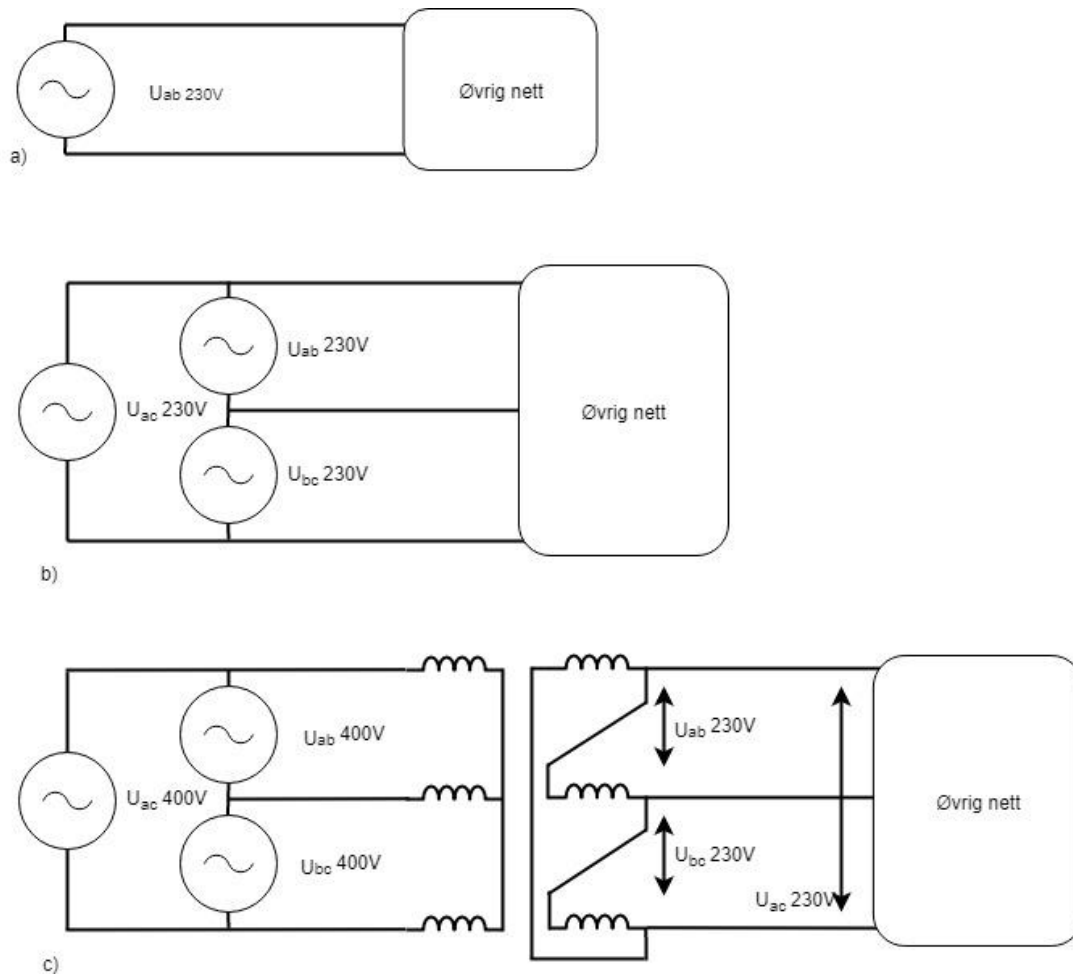
En vekselretter, er som tidligere nevnt i kapittel 2.1. Essensielt i installasjoner med solceller som energikilde. Siden likespenningen må vekselrettes før den kan sendes ut på distribusjonsnettet. I enkelte vindmølle installasjoner blir det også brukt utstyr med store likheter. Da i form av en frekvensomformer, som likeretter, og deretter en vekselretter tilkoblet på hver sin side av likeretteren.

Markedet for elektrisk utstyr for 230V IT-nett var som nevnt tidligere, naturlig begrenset. Siden det bare var to land i Europa som har hatt IT-nett som standard. For plusskunder som satser på solenergi kan dette være en utfordring. Tilgangen på vekselrettere som er tilpasset 230V IT-nett noe begrenset. For små anlegg, opptil 5kW finnes det en-fase vekselrettere. Eksempel på et slikt lite produksjonsanlegg kan sees i Figur 2.10 a). Ved bruk av vindenergi som kilde, er enfasert innmating ofte ikke et alternativ. Siden det da benyttes en trefaset generator.

For større anlegg vil det kunne være nødvendig med trefase innmating. Her kan det være en utfordring å finne passende utstyr. Det finnes svært få produsenter som har vekselrettere med høyere merkeeffekt tilpasset 230V IT - nett. I løpet av det siste året har det derimot dukket opp enkelte produsenter med slikt utstyr. Ginlong er en av disse. De produserer trefasede vekselrettere for 230V IT-nett, på henholdsvis 6kW og 10 kW. Et datablad på en 6kW vekselretter er tilgjengelig i vedlegg 9 [30].

Et annet alternativ er å benytte tre en-fase vekselrettere. En av vekselretterene defineres da som master, og de andre to som slaver. Hvor master vekselretteren gir signal til de øvrige, slik at man oppnår symmetrisk innmating med hensyn til spenning, frekvens og fasevinkel. Eksempel på en slik kobling kan sees i Figur 2.10 b).

Det siste alternativet er å benytte en trefase 400V vekselretter, beregnet for TN-nett. Da i kombinasjon med en 400V/230V trafotransformator. En slik løsning vil være fordyrende både i innkjøp, og ved drift. Siden det tilkommer et tomgangstap og et belastningstap i trafoen. Et eksempel med tre vekselrettere og trafo kan ses i Figur 2.10 c)



Figur 2.10 Forskjellige koblinger av vekselrettere

Felles for de fleste typer vekselrettere, er at strøm og spenning kan reguleres uavhengig av hverandre. Inntil en viss grad. Dette gjør at man kan styre flyten av aktiv- og reaktiv effekt. Dermed kan en vekselretter bidra med både aktiv- og reaktiv effekt. Eller levere aktiv effekt, samtidig som den trekker reaktiv effekt. Denne fleksibiliteten gjør at vekselretteren har mulighet for å bidra med spenningsstabilisering [11].

Av de nevnte mulighetene for valg av løsning, vil en trefase omformer for 230V IT-nett uten bruk av trafo, være helt klart å foretrekke. Da vil man kunne få en symmetrisk innmating på alle tre faser. Uten bruk av ekstra komponenter som både fordyrer selve installasjonen.

2.6 Batterilagring

Et alternativ til å sende overskuddet av energi ut på nettet, er energilagring ved bruk av batterier. Energilagring er et stort tema, og ikke en del av denne rapportens hovedfokus. Likefullt er det et viktig moment, og bør vurderes av en fremtidig plusskunde.

Det er flere grunner til at energilagring kan være aktuelt. Begrensninger i overføringskapasitet i distribusjonsnettet kan være et problem. Enten i form av for svakt dimensjonert inntak. Inntakskabel eller stikkledninger har ofte lavt tverrsnitt, og dermed lav overføringskapasitet. Men utfordringene kan også ligge lengere ut i distribusjonsnettet. Da benyttes batteriene som et lager. Slik at energien man ikke forbruker direkte og man ikke ønsker å sende ut på nettet, lagres eget forbruk til senere. Problematikken rundt begrenset overføringskapasitet i distribusjonsnettet undersøkes nærmere i kapittel 4.

Et annet argument for å benytte energilagring. Kan være et ønske om å i større grad, være selvforsynt med elektrisitet. Slik at produsert energi som ikke forbrukes i det eksakte øyeblikket, lagres til eget bruk senere. Da kan energiutvekslingen med nettselskapet reduseres, eller i noen tilfeller elimineres.

Ved bruk av energilagring, vil man ha stor fleksibilitet med tanke på når man vil lagre, eller levere energi ut på nettet. Plusskunder for i dag betalt for overskuddsenergi per kW/h. Enten i form av spotpris, eller som en fast pris. Skulle prismodellen endre seg mye i fremtiden, med effekttariffer eller linkende.. Slik at det blir mer utstrakt bruk dynamisk prissetting. Vil muligheten for lagring av energi være betydelig mer attraktivt.

Den største utfordringen til å etablere en batteribank i dag, er det høye prisnivået på egnede batterier. Kostnaden på batterier er stadig fallende, etterhvert som interessen og forespørselen øker. Et priseksempel på kommersielt tilgjengelige løsninger i Tyskland. I utgangen av 2014 var snittprisen 2515\$ pr. Installert kWh i lagringskapasitet. Innen første kvartal i 2017 var prisen pr. kWh sunket med 60%, til 1017\$/kWh [31]. Med andreord blir teknologien blir fortløpende billigere, og mer tilgjengelig.

2.7 Økonomi og tilskuddsordninger

Det er store variasjoner på investeringskostnad knyttet til plusskudeanlegg. Teknologi og markedsaktører gjør stadig større fremsteg for å tilby de beste produktene. Prissettingen for denne varierer, og siden det er et relativt nyt fenomen ventes det at markedet enda regulerer seg inn prismessig. Det er derfor valgt å ikke fokusere så mye på økonomien delen i slike prosjekter. Likefult er økonomi viktig. Derfor nevnes de faktorer er det som påvirker økonomien mest.

2.7.1 Investeringskostnad

Prisene på et ferdig installert solcelleanlegg vil variere mye. Størrelse og plassering av anlegget vil være to avgjørende faktorer. Byggmessige forhold vil være utslagsgivende for begge disse faktorene. Hvilket regelverk som setter begrensinger for størrelse og plassering er nevnt i kapittel 2.4. Multiconsult har gjort et estimat for pris per installert Wp på solcelleanlegg. For småskala anlegg < 10kW er en pris på 14kr/kW estimert. Større anlegg for næring eller store hus i intervallet mellom 10kW til 100kW, er det estimert en pris på 13kr/Wp. Dette tilsvarer henholdsvis 70 000kr for et anlegg på 5 kW, og 325 000kr for et anlegg på 25kW [8]. Altså er investeringskostnaden ganske høy, selv for små anlegg.

For små vindmøller, vil også investeringskostnaden være avhengig av lokale forhold og størrelse. Fundamentering og etablering av overføringskabler fra møllen til kundens anlegg, er kostnader som sterk avhengig av anleggets plassering. Ser man mot Danmark koster typisk en vindmølle installasjon på 6kW fra 200 000 DKK, og oppover mot 650 000 DKK for en installasjon på 25kW [32].

2.7.2 Støtteordninger

Det finnes per i dag to tilskuddsordninger som kan være aktuelle for plusskunder, uavhengig av valgt fornybar energikilde. Elsertifikatordningen, og investeringsstøtte fra Enova.

Enovas støtteordning

Ordningen skal være et incentiv for å øke andelen husholdninger med egen energiproduksjon. Det gis støtte på inntil 35% av totalkostnaden inkludert mva. 10.000kr gis som et bunnfradrag for installasjonen av anlegget. Deretter gis det 1.250kr per kW i installert effekt. Med en øvre begrensning på 15kW installert effekt. Totalt kan en slik installasjon støttes med 28.750kr [8, 33].

Kommentar: 05.06.18 åpnet Enova for at også fritidsboliger også kan søke om samme støtten. Dette vil kunne være svært gunstig, da fritidsboliger ofte er ligger i områder med svak energiforsyning [33].

Elsertifikatorordningen

Denne ordningen er et samarbeid om en Norsk-Svensk støtteordning for å stimulere ny utbygging av kraftproduksjon fra fornybar energi. Den norske delen av ordningen administreres av Norges vassdrags og Energidirektorat (NVE). Både vind og solkraft vil kunne mota slike elsertifikater. Disse vil gjelde for hele produksjonen, slik at energi som går med til eget forbruk også er inkludert. Det fungerer slik at for hver MWh produsert av et forhåndsgodkjent kraftverk vil man motta ett elsertifikat. Etterspørselen av disse dannes ved at kraftleverandører og strømkunder blir pålagt å dekke en gitt andel av energi de omsetter med kjøp av elsertifikater. Kraftleverandøren legger vanligvis denne kostnaden inn i den ordinære strømgningen til sluttkunden. Slik finansierer sluttbrukerne denne ordningen [34].

For å kunne delta i denne ordningen, må man betale et registreringsgebyr på 15.000kr for anlegg under 100kW. Gjennomsnittlig markedspriser har gitt ca. 2,2øre/kWh i påslag hos sluttkunden. Dermed er svært lite å hente for små plusskunder [34, 35].

2.7.3 Energiutveksling

"Den nye definisjonen medfører at plusskunder fritas fra andre tariffledd for innmating (fastledd for innmating)... Nettselskapet har frem til idriftsetting av Elhub fortsatt anledning til å kjøpe overskuddskraft fra sine plusskunder, men dette er ikke en plikt. Dersom nettselskapet ikke ønsker å kjøpe overskuddskraften, må kunden selv velge en kraftleverandør som er villig til å kjøpe overskuddskraften." [3].

Dette innebærer at nettselskapet selv kan velge om de vil kjøpe overskuddsenergien fra plusskunden. Velger de å avstå, vil energien fortsatt gå ut på øvrig nett men plusskunden vil kun bli kompensert for det negative energileddet. Siden lokal produksjon antas å bidra til lavere tap i nettet.

Et alternativ er å gjøre en avtale med en annen kraftleverandør. Det finnes i dag flere leverandører som tilbyr strømvtaler som omfatter både kjøp, og salg av strøm fra en plusskunde. Det er derfor til en av disse man må gå, hvis man ønsker betaling for overskuddsstrøm når nettselskapet ønsker å kjøpe overskuddet.

3 utfordringer knyttet til plusskunder sett fra nettselskapets perspektiv

Historisk sett har både høyspent og lavspente distribusjonsnett vært bygd med tanke på sentral energiproduksjon. Med andre ord, enveis energiflyt fra kraftverket til forbrukeren [2]. Dette innebærer at man vil kunne støte på utfordringer knyttet til stabilitet og leveringskvalitet, ved å introdusere flere energikilder i et eksisterende distribusjonsnett.

Plusskunder i lavspente distribusjonsnett i Nord-Norge, er et ganske nytt fenomen. Til nå har det vært en problemstilling stort sett forbeholdt større nettselskaper, lokalisert lengre sør i landet. Nå ser man en økt interesse rundt egenproduksjon av elektrisk energi hos både privatpersoner, og næringer i hele landet [8].

Nettselskapene er underlagt strenge retningslinjer, i utøvelsen av sitt samfunnsoppdrag. En av de mest sentrale forskriftene i den tekniske utøvelsen er: Forskrift om Leveringskvalitet i kraftsystemet (heretter forkortet til FoL).

" § 1-1. Forskriften skal bidra til å sikre en tilfredsstillende leveringskvalitet i det norske kraftsystemet, og en samfunnsmessig rasjonell drift, utbygging og utvikling av kraftsystemet. Herunder skal det tas hensyn til allmenne og private interesser som blir berørt. " [27]

Det er derfor viktig å stille krav til plusskunder, slik at de bidrar til at paragrafene i FoL ikke brytes. Derfor vil det gjennom de to følgende delkapitlene sees på de største, og mest kjente problemstillingene ved introduksjon av lokal produksjon.

- Kapittel 3.1 Forhold i distribusjonsnett
- Kapittel 3.2 Krav til vernutrusting for produksjonsanlegget

NEK EN50438:2013 er standarden som omfatter små produksjonsanlegg tilkoblet lavspente distribusjonsnett [36]. REN AS har på bakgrunn av denne, utarbeidet en standard avtalemal for tekniske funksjonskrav stilt til innmatingskunder i lavspenningsnettet. De viktigste punktene fra disse vil bli tatt opp i kapittel 3.2.

3.1 Forhold i distribusjonsnettet

Spenningen kan ansees som den drivende faktoren i alle elektriske systemer [37]. Derfor er hovedfokuset på spenningsforholdene i nettet. Samt de krav som stilles for å opprettholde spenningskvaliteten som skal leveres til forbrukerne.

3.1.1 Langsomme spenningsvariasjoner

Nettselskapet plikter å levere spenning innenfor gitte krav i tilknytningspunktet til alle kunder. Utdrag fra FOL §3-3

" Nettselskap skal sørge for at langsomme variasjoner i spennings effektivverdi, er innenfor et intervall på $\pm 10\%$ av nominell spenning, målt som gjennomsnitt over ett minutt, i tilknytningspunkt i lavspenningsnettet." [27]

Dette innebærer at nettselskapet må påse at spenningsvariasjonene holder seg innenfor de gitte rammer. For distribusjonsnett ved nominell spenning på 230V innebærer dette en nedre grense på 207V, og en øvre på 253V. Lokal produksjon kan bidra til spenning stigning i distribusjonsnettet. Teorien knyttet til dette temaet, tas opp i kapittel 4.1.1

Men det er ikke bare i plusskundens tilknytningspunkt man kan støte på problemer. I et svakt distribusjonsnett har man ofte en høy spenning på fordelingstrafoens sekundærside, for å kompensere for spenningsfall til ytterpunktene i nettet. Dette kan være et problem for kunder tilknyttet nært fordelingstrafoen. Store endringer i lastflyten vil derfor bidra til å endre spenningsfallet i nettet.

3.1.2 Spenningsusymmetri

I §1-4. i Fol har spenningsusymmetri følgende definisjon:

"Spenningsusymmetri: Tilstand i et flerfaset system hvor linjespenningenes effektivverdier (grunnharmonisk komponent), eller fasevinklene mellom etterfølgende linjespenninger, ikke er helt like. Grad av usymmetri beregnes ved forholdet mellom spenningens negative og positive sekvenskomponent, og kan uttrykkes ved:

$$\frac{U_-}{U_+} = \sqrt{\frac{1 - \sqrt{3 - 6\beta}}{1 + \sqrt{3 - 6\beta}}} * 100\% \quad (3.1)$$

der U_- er spenningens negative sekvenskomponent, U_+ er spenningens positive sekvenskomponent,

$$\beta = \frac{U_{12}^4 + U_{23}^4 + U_{31}^4}{(U_{12}^2 + U_{23}^2 + U_{31}^2)^2} \quad (3.2)$$

og U_{ij} representerer linjespenningens grunnharmoniske komponent mellom de nummererte faser." [27]

I henhold til §3-6. i samme forskrift. Skal spenningsusymmetri i et tilknytningspunkt ikke overstige 2%, målt som et gjennomsnitt over 10 minutter [27].

Enfasede belastninger eller produksjonsenheter vil om de ikke blir handtert korrekt, skape skjev belastning i et distribusjonsnett. Ett 230V IT-nett er bygd opp som ett balansert tre-leder elektrisk system. Med balansert menes at ved både produksjon og forbruk etterstreber man å ha lik energiflyt i alle tre faser. Ved uttak/innmating av energi på bare to faser (også kalt en-faset tilkobling), vil man skape en ubalanse. Omfanget av denne ubalansen avhenger av nettstyrken, øvrig forbruk, linje- og kabelimpedanser og størrelsen på den tilkoblede enfasede belastningen/produksjonsenheten. Større utbalanser kan motvirkes med at enfasede laster/produksjonsenheter fordeles innbyrdes mellom de øvrige fasene.

For mindre produksjonsanlegg kan en-fase vekselretter benyttes. Men dersom det forventes produksjon som medfører fasestrømmer over 16A, bør det benyttes en tre-fase inverter som fordeler produksjonen symmetrisk over samtlige faser [38]. Dette vil forhindre at produksjonsenheten bidrar til stor skjevlast i det øvrige nettet.

Problematikken rundt spenningsusymmetri tas opp igjen i kapittel 5.1.

3.1.3 Spenningsstrang

FoL §3-4 sier følgende om kortvarige over- og under-spenninger, samt spenningsstrang:

"Nettselskap skal sørge for at spenningsendringer ved kortvarige overspenninger, kortvarige underspenninger og spenningsstrang ikke overstiger følgende grenseverdier i tilknytningspunkt med det respektive nominelle spenningsnivå, U_N , for det respektive tidsintervall:

Kortvarige overspenninger, kortvarige underspenninger og spenningsstrang	Maksimalt antall tillatt pr. flytende 24-timersperiode	
	$0,23 \text{ kV} \leq U_n \leq 35 \text{ kV}$	$35 \text{ kV} \leq U_n$
$\Delta U_{\text{stasjonær}} \geq 3 \%$	24	12
$\Delta U_{\text{maks}} \geq 5\%$	24	12

"[27]

For å sikre at spenningen i tilknytningspunktet til enhver tid er innenfor normalt nivå til, er det satt en begrensning for antall spenningsstrang som tolereres hvert døgn. Spenningsstrang er definert med de tilfeller der spenningen i tilknytningspunktet stiger raskere en 0,5% av nominell spenning per sekund [38].

I absoluttverdier vil grenseverdiene for spenningsstrang være som følger.

$$\frac{U_N * 0,5\%}{t} \quad (3.3)$$

230V IT-nett:

$$\frac{230V * 0,5\%}{1s} = 1,15V \quad (3.4)$$

400V TN-nett:

$$\frac{400V * 0,5\%}{1s} = 2V \quad (3.5)$$

3.1.4 Overharmoniske

Utdrag fra FoL §3-7 angående krav knyttet til overharmoniske spenninger.

"Nettselskap skal sørge for at total harmonisk forvrengning av spenningens kurveform ikke overstiger 8% og 5%, målt som gjennomsnitt over henholdsvis ti minutter og én uke, i tilknytningspunkt med nominell spenning fra og med 230 V til og med 35 kV.

Nettselskap skal sørge for at individuelle overharmoniske spenninger ikke overstiger følgende verdier, målt som gjennomsnitt over ti minutter, i tilknytningspunkt med nominell spenning fra og med 230 V til og med 35 kV:

Odde harmoniske				Like harmoniske	
Ikke multiplum av 3		Multiplum av 3			
Orden h	U_h	Orden h	U_h	Orden h	U_h
5	6,0%	3	5,0%	2	2,0%
7	5,0%	9	1,5%	4	1,0%
11	3,5%	>9	0,5%	>4	0,5%
13	3,0%				
17	2,0%				
19, 23, 25	1,5%				
>25	1,0%				

Vekselrettere vil alltid bidra til forvrenging i strøm og spenning pga. switchingen i kraftelektronikken [11]. Dette kan motvirkes ved bruk av filter, enten internt i enheten. Eller eksternt tilkoblet vekselretterns utgang. Produksjonseenheten skal ikke bidra til at total overharmonisk forvrenging av spenningen i tilknytningspunktet, overstiger følgende grenseverdier i Tabell 3.1.

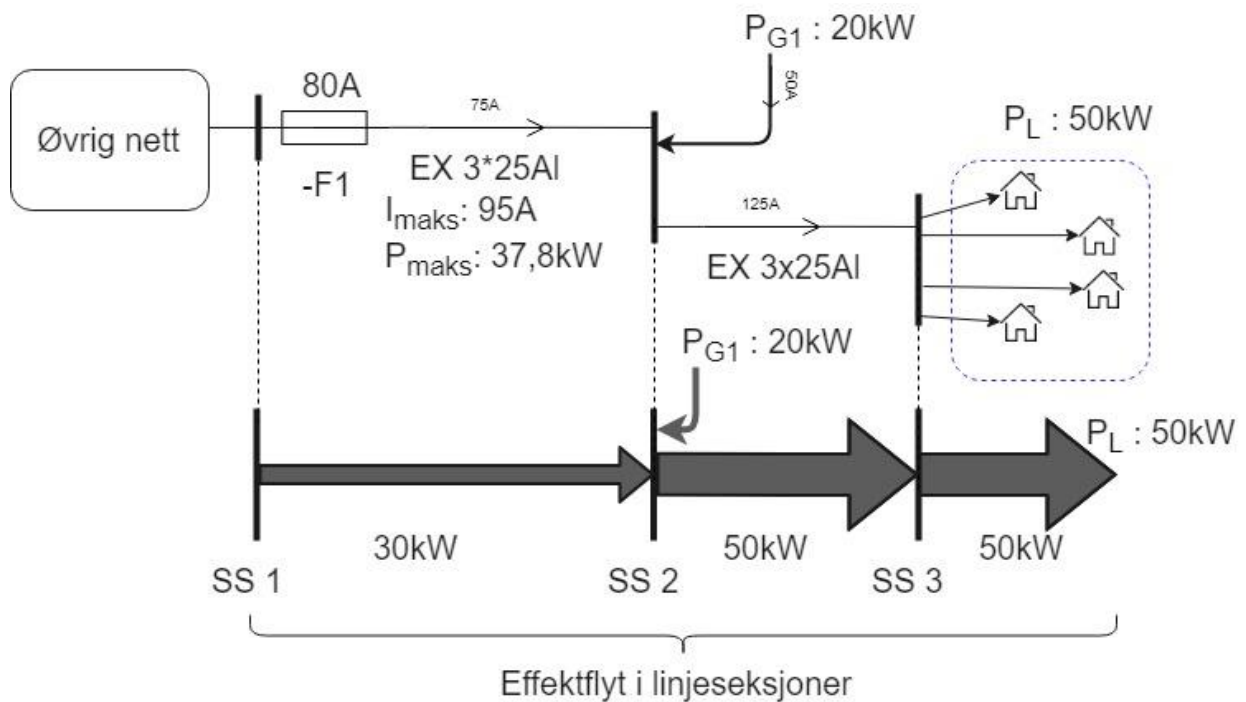
Tabell 3.1 Total tillatt harmonisk spenningsforvrengning.

Måleperiode (gjennomsnitt)	THD [%] av U_N
1 uke	4,5
10 minutter	6

Vekselretteren må også tilfredsstille de grenseverdier satt i IEC-61000-3-6 for relativ overharmonisk strøm. Den skal heller ikke forårsake at DC-strømkomponenter i distribusjonsnett [38].

3.1.5 Endringer i lastflyt

Ved introduksjon av distribuert produksjon i et fordelingsnett, vil energiflyten i nettet endres. Som tidligere nevnt, har lavspente distribusjonsnett i Norge vært bygd for enveis energiflyt. Derfor har det vært mulig å kun benytte enkle vern, og sikringer i slike nett. Optimalt sett, burde hver enkelt overføring sikres individuelt med overbelastning og kortslutningsvern. I enkelte distribusjonsnett, spesielt eldre luftnett har det ikke vært like vanlig med sikringer i avgreininger eller på stikkledninger.



Figur 3.1 Lastflyt ved introduksjon av plusskunde

I Figur 3.1 sees en tenkt, delvis overdrevert overlastsituasjon. Spenningsfall og reaktive forhold er ignorert siden dette er ment som en illustrasjon av et mulig problem. Avgreiningen fra øvrig nett, er sikret med et overbelastningsvern på 80A. Samlet er lasten hos de ytterste forbrukerne 50kW. Uten lokal produksjon fra plusskunden ville sikring -F1 etter hvert koble ut, som følger av overlast. I denne aktuelle situasjonen er det stor lokal produksjon. Plusskunden bidrar med 20kW, som medfører at det trekkes 30kW fra det øvrige nettet for å levere 50kW

Nå vil linjeseksjonen mellom SS2 og SS3 føre en strøm tilsvarende 125A. Dette tilsvarer en overstrøm på 30A, i forhold til linjens strømføringssevne som er 95A. Linjens belastningsgrad kan beregnes ut fra formel 3.6.

$$\frac{I_{last}}{Strømføringssevne} * 100\% = Belastningsgrad \quad (3.6)$$

$$\frac{125A}{95A} * 100\% \approx 132\% \quad (3.7)$$

Formel 3.7 viser at den aktuelle linjeseksjonen mellom SS2 og SS3 har en belastningsgrad på 132% i denne situasjonen. Innenfor korte tidsrom er ikke dette et umiddelbart problem. Men over lengere tid vil temperaturøkningen i linjen som følger av den høye belastningsgraden, kunne gjøre uopprettelig skade på lederisolasjonen til belagte linjer eller kabler.

Igjen presiseres det at overnevnte situasjon er fiktiv, og ikke tar hensyn til alle forhold. Men likefullt kan dette være en aktuell problemstilling i nett med liten utstrakt bruk av sikringer.

3.1.6 Kortslutningseffekter

NEK 400s definisjon av kortslutning:

"Tilfeldig eller tilsiktet strømbane mellom to eller flere ledere som tvinger spenningen mellom disse ledende delene til å være tilnærmet lik null." [25].

Nettselskapene har ingen spesielle krav knyttet til kortslutningseffekter, annet enn at de skal ha kjennskap til disse ved tilknytningspunktene. FOL §4-2 g) sier følgende:

"Beregnet minimal og maksimal kortslutningsytelse for tilknytningspunkt. Ved vesentlige endringer i minimal og maksimal kortslutningsytelse, skal dette meddeles de berørte nettkunder som er tilknyttet i høyspenningsnettet." [27].

Kjennskap til hvilke effekter som opptrer forskjellige steder i nettet er essensielt for å sikre at vern fungerer korrekt. Dette gjelder både for nettselskap og kunde. I 230V IT distribusjonsnett er det hovedsakelig to parameter som er spesielt interessante i et tilknytningspunkt. $IK_{2P_{MIN}}$ og $IK_{3P_{MAKS}}$. [39].

$IK_{2P_{MIN}}$: Kortslutning oppstår mellom to faseledere. Den minste kortslutningsstrøm som man kan anta oppstår. Ved høy nettimpedans fram til feilstedet og/eller lav kortslutningseffekt kan feilstrømmen som oppstår kunne være for liten til at vernet oppfatter kortslutningen. I slike tilfeller kan man få en stående kortslutning, som i verste fall fører til brann som følger av høy varmeutvikling.

$IK_{3P_{MAKS}}$: Kortslutning oppstår simultant mellom alle tre faseledere. Den høyeste kortslutningsstrøm man kan anta oppstå. Vern må være dimensjonert for å kunne bryte høyeste forventede kortslutningsstrøm. Benyttes feil type vern, kan man få en stående kortslutning med høy varmeutvikling og eksplosjonsliknende effekt.

Enhver produksjonsenhet tilknyttet et nett vil bidra med en viss kortslutningseffekt. Et solcelleanlegg har ikke mer tilgjengelig energi enn det som produseres i øyeblikket. Bortsett fra situasjoner der man batteri for energilagring. Vekselretteren inneholder heller ikke nevneverdig med opplagret energi. Dette gjør at forventet kortslutningsbidrag antas å være samlet installert W_p for anlegget. Kortslutningsstrømmen vil da være strømverdien ved gitt produksjonseffekt og spenning. Eksempel; Et trefaset 5kW solcelleanlegg vil ha en maksimal kortslutningseffekt på Sk_{max} 5kVA. Dette utgjør et bidrag i kortslutningsstrøm på:

$$\frac{S_k}{U_n * \sqrt{3}} = I_{sk} = \frac{5kVA}{230V * \sqrt{3}} = 12,55A \quad (3.8)$$

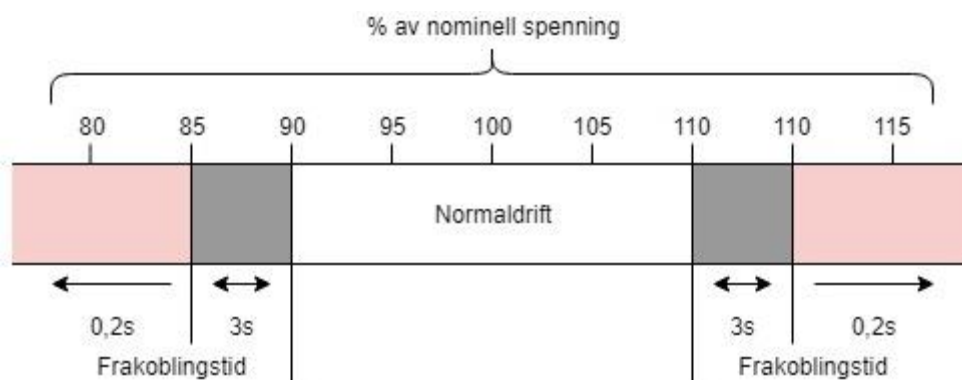
For vindkraftanlegg vil kortslutningseffekten være avhengig av valgt teknologi. Uansett vil den roterende massen i rotor og turbin kunne ansees som et energilager. Dette vil ha innvirkning på enhetens kortslutningsbidrag.

3.2 Krav til vernutrusting for produksjonsanlegget

3.2.1 Spenningsvern

For å sikre at produksjonsenheten ikke bidrar til ustabilitet ved over- eller under-spenninger,

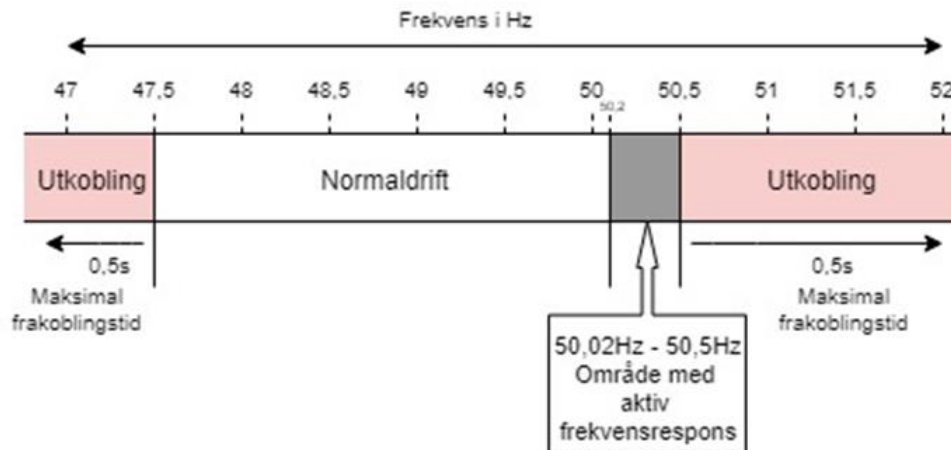
skal automatisk frakopling skje ved over- eller underspenninger innenfor gitte grenseverdier. Avhengig av størrelsen på spenningsdifferansen mellom nominell og faktisk spenning i tilknytningspunktet, er ulike frakoblingstider akseptert [38]. En oversikt over maksimal utkoblingstid innenfor gitt spenningsområde i prosent av nominell spenning kan sees i Figur 3.2.



Figur 3.2 Krav til utkoblingstider ved over eller underspenning i tilknytningspunktet

3.2.2 Over- eller underfrekvens

Ved unormale driftssituasjoner, eksempelvis bortfall av stor last, produksjon eller overføringslinjer vil frekvensen i det nordiske systemet kunne bli påvirket. Innenfor et gitt frekvensnivå, skal veksleretteren bidra med aktiv frekvensrespons. I det grå skraverte feltet i Figur 3.3 viser at fra frekvensen passerer 50,2Hz skal veksleretteren umiddelbart bidra med aktiv frekvensrespons. Innenfor frekvensbåndet 50,2Hz til 50,5Hz skal produksjonen ha en statikk mellom 2% og 12% [36]. Som Figur 3.3 også viser, skal produksjonsenheten frakobles hvis frekvensen faller utenfor 47,5Hz og 50,5Hz.



Figur 3.3 Frekvensnivå med tilhørende tiltak

3.2.3 Innkobling

Innkobling av produksjon mot øvrig nett er bare tillatt innenfor gitte forutsetninger. Selve innkoblingen kan bare foretas av automatisk innkoblingsutstyret når, samtlige av de følgende forutsetninger er oppfylt [38].

- Frekvensdifferanse skal ikke være større enn $\pm 0,2\text{Hz}$ mellom vekselretter og nett.
- Absoluttverdi av spenning ved vekselretter og nettet skal ikke ha større differanse enn $\pm 5\%$ av U_N .
- Vinkeldifferanse i fasevinkel mellom vekselretter og nettet skal ikke være større enn 10° .

3.2.4 Frakobling

Produksjonsenheten skal frakoples øyeblikkelig dersom:

- Ved intern feil på en eller flere av delene produksjonsanlegget. Her menes alle komponenter som inngår; vekselretter, DC-overføring, vern, brytere, kontroll- og overvåkningsanlegg.
- Frafall av nettspenning. Produksjonsenheten skal ikke forårsake øydrift, men være utrustet med automatisk øydriftsvern. Utkobling skal skje senest 0,5s etter bortfall av nettspenning. Også i de tilfeller der utilsiktet øydrift oppstår som følger av at spenning eller frekvens er utenfor gitte grenseverdier.

I samtlige av disse tilfellene kan både kundens, nettselskapets og andre sluttbrukeres utstyr skades, hvis produksjonsanlegget ikke automatisk skilles fra øvrig distribusjonsnett. I tilfeller hvor feil i distribusjonsnettet, eller i overliggende nett fører til bortfall av nettspenning, er det spesielt viktig at anlegget frakoples. Det kan være forbundet med fare for liv og helse hvis distribusjonsnettet utilsiktet spenningssettes fra plusskundens anlegg [38].

3.2.5 Automatisk gjeninnkobling etter feil

Etter utkobling av produksjonsanlegget, som følger av feil i øvrig distribusjonsnett. Tillates det at anlegget er utstyrt med automatisk gjeninnkobling, innenfor gitte forutsetninger, med en hvis tidsforsinkelse. Disse er gjengitt i Tabell 3.2 [38].

Tabell 3.2 Forutsetninger for automatisk gjeninnkobling.

Krav for automatisk gjeninnkobling av produksjonsanlegg etter feil	
Frekvensnivå	47,5 – 50,05 [Hz]
Spenningsnivå	$\pm 10\%$ av U_N
Forsinket innkobling	1 min

Samt at krav i kapittel 3.2.3 er overholdt.

4 Simuleringer med trefaset innmating av distribuert produksjon

For å illustrere virkningen av en plusskunde i et svakt lavspent distribusjonsnett, er det valgt å utføre en del beregninger. Nordlandsnett har stilt både nettdata og beregningsverktøy til disposisjon for dette formålet. I samråd med nettselskapet ble det plukket ut en nettstasjon, NS-0295 Tårnvik-Nord, med tilhørende krets.

Det er per nå (vår 2018) ingen eksisterende, eller informasjon om kommende plusskunder i denne trafokretsen. Men siden nettselskapet har kjennskap til lave spenninger og kortslutningsstrømmer i denne kretsen, ble den valgt som eksempelnett.

Rapportens fokus vil være hovedsakelig på stasjonære forhold knyttet til spenninger, lastflyt og tap i nettet. Simuleringene gjøres med en senariobasert fremgangsmåte, hvor sesongvariasjoner for forbruk benyttes.

NetBas er Nordlandsnetts nettinformasjonssystem og beregningsverktøy. Programmet er utviklet av Norske Powel, og vil bli benyttet til følgende beregninger.

- Generell lastflyt
- Spenning og spenningsfall
- Tap og marginaltap

I en forskningsartikkel fra Kerala i India, er det utført liknende senariobaserte simuleringer. Et fiktivt 11kV nett ble i denne artikkelen undersøkt ved hjelp av Matlab, for å identifisere når tapene i nettet var minst, basert på innmatet aktiv og reaktiv effekt fra produksjonsenheten. Det ble også vurdert spenningsforhold ved alle senarioene. Funnene i denne artikkelen, var at produksjonsanleggets optimale størrelse er avhengig av anleggets plassering i nettet. Samt at et sentralt plassert produksjonsanlegg vil bidra mer spenningsmessig, enn et lokalisert i ytterpunktet..

Det er interessant å se hvordan disse virkningene slår ut i et svakt distribusjonsnett. Grunnet eksempelnettets kompleksitet og utstrekning, ble Matlab valgt bort som beregnings-program.

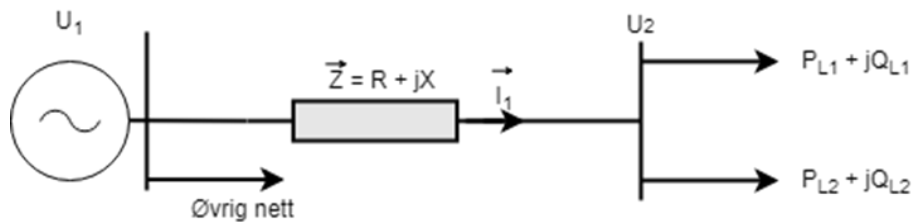
Kapittelet er bygd opp av åtte delkapittel:

- Kapittel 4.1 Teoridel
- Kapittel 4.2 Beskrivelse eksempelnett: NS0295-Tårnvik Nord
- Kapittel 4.3 Senario beskrivelser
- Kapittel 4.4 Resultater - senario 1
- Kapittel 4.5 Resultater - senario 2
- Kapittel 4.6 Resultater - senario 3
- Kapittel 4.7 Resultater - senario 4
- Kapittel 4.8 Delkonklusjon – trefaset innmating av distribuert produksjon

4.1 Teoridel

4.1.1 Spenningsfall

Enhver luftlinje eller kabel vil bidra til et visst spenningsfall, når det går strøm gjennom. Dette skjer fordi alle overføringer vil ha en impedans som inneholder en resistiv og en induktiv komponent. Siden det her er snakk om lavere spenningsnivåer < 1kV, er overføringens kapasitive bidrag neglisjert.



Figur 4.1 Forenklet illustrasjon av overføring med last

I Figur 4.1 kan en typisk illustrasjon av en overføring mellom produksjon og forbruk sees. Overføringen har en impedans, som vil bidra til et spenningsfall. Dette spenningsfallet vil være avhengig av strømmen I_1 , som igjen er avhengig av hvilken belastning som finnes i de lastene til høyre i figuren. Spenningen i U_1 kan uttrykkes med formel 4.1.

$$\vec{U}_1 = \vec{U}_2 + \vec{Z} * \vec{I}_1 = \vec{U}_2 + (R + jX) * \vec{I}_1 \quad (4.1)$$

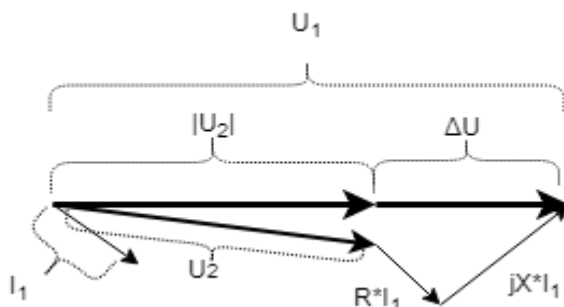
En omskrivning av formel 4.1 gir

$$\vec{U}_2 = \vec{U}_1 - (R + jX) * \vec{I}_1 \quad (4.2)$$

Følgelig vil spenningen i U_1 være større enn i U_2 , så lenge strømmen flyter fra generator mot lasten.

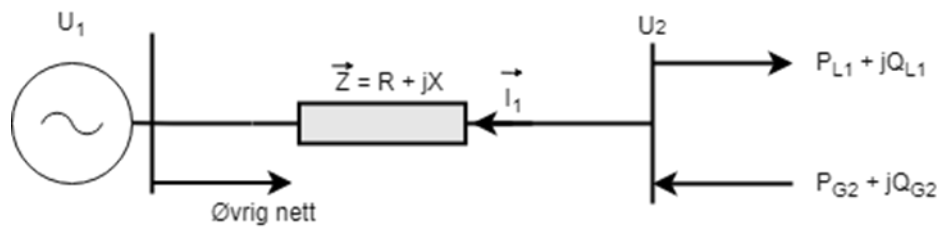
Spenningsfallets absoluttverdi kan beregnes ut fra formel 4.3.

$$\Delta U = |U_1| - |U_2| \quad (4.3)$$



Figur 4.2 Viserdiagram for spenningsfall i en overføring

Viserdiagrammet i Figur 4.2 viser hvilken innvirkning linje eller kabel impedans vil ha på spenningene i de to forskjellige punktene. Her kan man se at en høyere strøm, vil bidra til et høyere spenningsfall. Det bør også bemerkes, at den reaktive delen av spenningsfallet er mye større enn den resistive.



Figur 4.3 Forenklet illustrasjon av overføring med last og lokal produksjon

I Figur 4.3 er situasjonen endret fra Figur 4.1. Nå er forbruker 2 blitt til en plusskunde. Den lokale produksjonen $P_{G2} + jQ_{G2}$ er større enn forbruket hos forbruker 1. Nå flyter strømmen I_1 fra punktet med spenningen U_2 til punktet med U_1 . Dette gjør at formel 4.1 kan skrives om.

$$\vec{U}_2 = \vec{U}_1 + (R + jX) * \vec{I}_1 \quad (4.4)$$

Følgelig medfører dette at spenningen U_2 , kan bli høyere enn U_1 . Med andre ord skjer en lokal spenningsstigning, som følger av lokal produksjon.

4.1.2 Marginaltap

Marginaltapsatser for innmating og uttak av energi benyttes hovedsakelig kun av store produsenter og forbrukere. Plusskunder er fritatt tariffing med marginaltapsatser [3]. Det kan like fullt være interessant å se hvilken innvirkning en plusskunde har på marginaltap i nettet.

Aktive tap i nettet oppstår som følger av den ohmske motstanden i overføringene i nettet. Tapene kan fremstilles som en funksjon av overført energi.

$$Tap = k_1 * P_{overført}^2 \quad (4.5)$$

Endringen i tap kan beregnes ved hjelp av formel 4.6 og 4.7

$$\Delta Tap = [k_1 * (P_{overført} + \Delta P)^2] + (k_1 * P_{overført}^2) \quad (4.6)$$

$$\Delta Tap = 2 * k_1 * P_{overført} * \Delta P + k_1 * \Delta P^2 \quad (4.7)$$

k_1 - Ohmsk motstand i overføringen

$P_{overført}$ - Overført effekt

ΔP - Endring i produksjon eller forbruk

M_{tap} - Marginaltap

Marginaltap er endringen i tap i hele nettet, som følger av en marginal endring i last eller produksjon, ett spesifikt punkt i nettet. Marginaltapet vil være den deriverte av tapet [40]. Formel 4.8 viser uttrykket for beregning av marginaltap.

$$M_{tap} = \frac{\Delta T_{tap}}{\Delta P} = 2 * k_1 * P_{overført} + k_1 * \Delta P \approx 2 * k_1 * P_{overført} \quad (4.8)$$

Ut fra formel 4.7 vil tap i nettet som funksjon av overført effekt følge en kvadratisk kurve. Formel 4.8 tilsier at marginaltapet som funksjon av overført effekt vil være en lineær kurve.

Marginaltapet vil si noe om energibalansen med hensyn på aktiv effekt, i det aktuelle punktet.

- Marginaltap > 0% tilsier at tapene i nettet øker ved økt last, eller redusert produksjon
- Marginaltap < 0% tilsier at tapene i nettet reduseres ved økt last, eller redusert produksjon.

Tabell 4.1 Eksempel marginaltap

Knutepunkt	Marginaltap [%]	Energibalanse i knutepunktet
Knutepunkt 1	12,7	Underskudd av aktiv energi
Knutepunkt 2	2,2	Underskudd av aktiv energi
Knutepunkt 3	-1,5	Overskudd av aktiv energi
Knutepunkt 4	-8,5	Overskudd av aktiv energi

Knutepunkt 1 og 2 i Tabell 4.1 er begge punkter som ligger i områder med underskudd av aktiv energi. Lokal produksjon i disse punktene vil bidra til at tapene i hele nettet reduseres. Knutepunkt 3 og 4 i samme tabell ligger i områder som har overskudd av aktiv energi. Introduseres lokal produksjon i et av disse punktene, vil det kun bidra til et større overskudd av aktiv energi. Dette tilskuddet gjør at tapene i nettet øker. I vedlegg 2 finnes mer utfyllende definisjoner til beregninger av marginaltap, med forklaringer hentet fra hjelpefilen til Netbas. Denne er gjengitt med tillatelse fra Powel. [41]

4.2 Beskrivelse eksempelnett: NS0295-Tårnvik Nord

Nettstasjon NS-0295 Tårnvik-Nord, ligger geografisk lokalisert helt nord-øst på Kjæringøy, rundt 40km nord for Bodø. I Figur 4.4 kan Tårnvik med omegn ses til høyre.



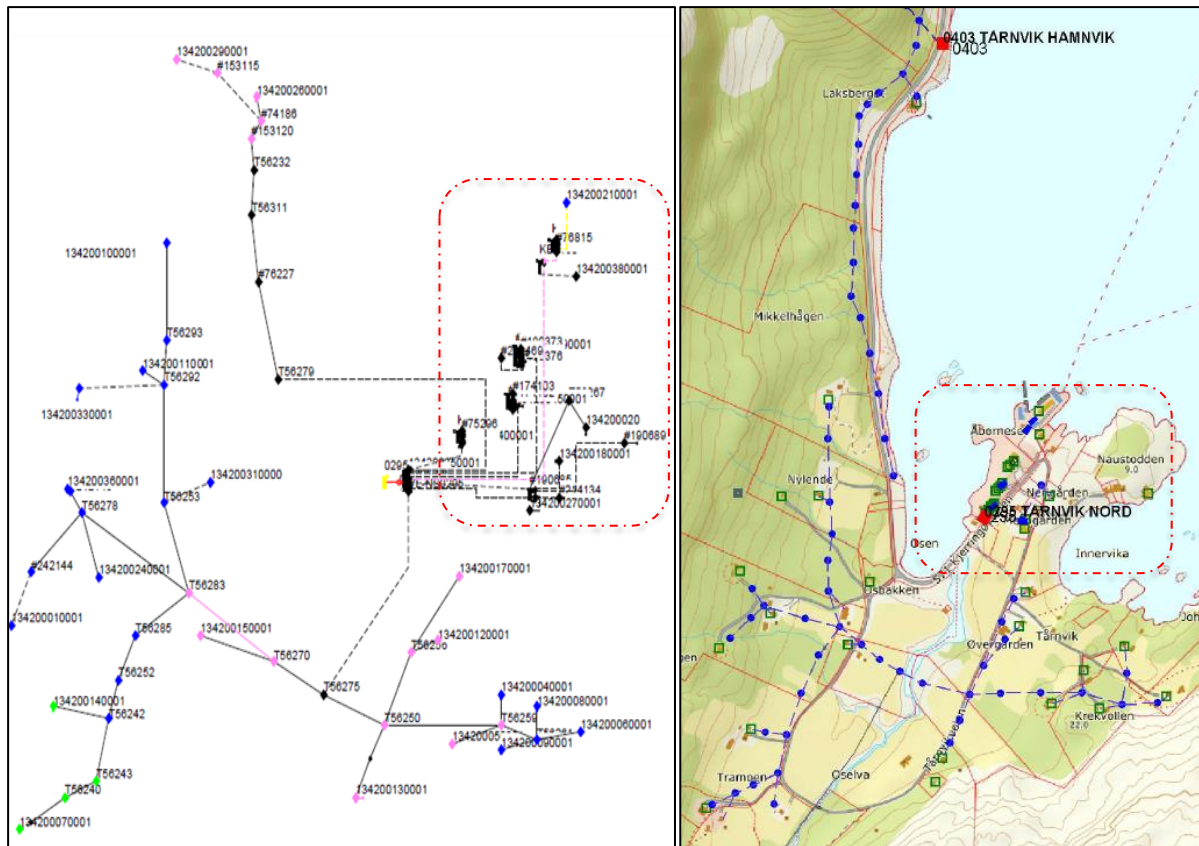
Figur 4.4 Kartutsnitt Tårnvika m.omegn. [20]

Forhold i det høyspente distribusjonsnettet:

Distribusjonsnettet som undersøkes ligger på enden av en 22kV radial, altså ytterst i nett-topografien. Denne radialen forsynes fra Hopen transformatorstasjon, og ligger 59km ut i overføringsnettet. Det er 73 nettstasjoner på avgangen. Dette medfører at spenningen ved fordelingstransformatoren varierer relativt mye, avhengig av årstid og belastningen i nettet. Avgangens lange utstrekning har også stor betydning for kortslutningseffekten ved nettstasjonen.

Forhold i det lavspente distribusjonsnettet:

Forbrukerne tilknyttet denne nettstasjonen er hovedsakelig hytter, fritidsboliger og husholdninger. Det er relativt stor geografisk spredning av kundene. Enkelte ligger bare noen titalls meter unna nettstasjonen. Mens det ytterste forbrukere er lokalisert i underkant av en kilometer unna.



Figur 4.5 Nettskjema og kart over NS-0295.

Til venstre i Figur 4.5 er nettskjema for kretsen tilhørende NS-0295. Figuren til høyre viser den samme informasjonen, bare kartfestet denne gangen. Et større og mer detaljert nettbilde kan sees i vedlegg 1. Oversikt over lengde og type overføringer kan sees i vedlegg 3.

Forskjellen på de to bildene, er informasjonen innenfor den rødstiplede boksen. Ingen av kablene i nettskjemaet til venstre, er kartfestet til høyre. Dette er fordi slik informasjon er å anse som sensitiv i henhold til beredskapsforskriftens paragraf §6-2 [42].

"§ 6-2.Sensitiv informasjon

Kraftsensitiv informasjon er underlagt taushetsplikt etter § 9-3 i energiloven.

Med sensitiv informasjon menes spesifikk og inngående opplysninger om energiforsyningen som kan brukes til å skade anlegg eller påvirke funksjoner som har betydning for energiforsyningen, herunder:

e. Nøyaktig kartfesting av jordkabler." [42]

4.3 Senario beskrivelser

For best mulig å kunne gjengi forskjellige forhold i et distribusjonsnett, bør det tas hensyn til årstid. Spesielt ytterpunktene som sommer og vinter. Om sommeren er det gjerne lavere forbruk i alle forbrukergrupper. Dette gjør at spenningen ofte er høyere i alle nettnivåer, som følger av lavere spenningsfall i nettet. Høy spenning gjør at Ferranti effekten kan bli mer fremtredende, spesielt i høyere nettnivåer. Kort fortalt er Ferranti effekten spenningsstigning langs en overføringslinje som følger av linjens kapasitive forhold [43]. Høyere spenning i høyspent distribusjonsnett bidrar også til høyere spenning i lavspent distribusjonsnett. Dette gjør at spenningen i nettet ved lett-last, også er av interesse.

Vinterstid oppstår det andre utfordringer. Da er forbruket ofte høyt, gjerne over lengere tid. Høyt forbruk gjør at belastningsgraden går opp i overføringsnettet. Høyere belastningsgrad gjør at spenningsfallet i overføringene øker. Følgelig går spenningen ned hos sluttbrukerne. Derfor ansees det viktig å gjøre beregninger for begge tilfeller, sommer og vinter.

Informasjonen om forbruket hos alle sluttbrukerne kommer fra NORs nettinformasjonssystem, disse kan sees i vedlegg 4. Sesongvariasjonene i forbruket justeres etter de verdier i Tabell 4.2.

Tabell 4.2 Verdier for sesongjustering av forbruk i Netbas

Måned	Maks. effekt pr måned i % av årsmaks (100%)	Referansetemp [°C]
Januar	100	5
Februar	95	2
Mars	90	0
April	75	5
Mai	60	10
Juni	45	12
Juli	40	15
August	50	13
September	60	10
Oktober	70	5
November	90	0
Desember	95	-2

Sommersenarioene legges til 1.juli. Vintersenarioene utføres for 1.januar. En mulighet er å velge et referanseår for belastningene frem- eller bakover i tid. Ettersom man kan anta at forbruket øker med en viss grad hvert år. Beregningene i denne rapporten vil forenkles, og feilmarginen minker ved å velge inneværende år (2018) som referanseår.

4.3.1 Aktuelle senarioer

Målet med simuleringene er å identifisere hvilke problemer man kan forvente i et distribusjonsnett med plusskunder. Det er interessant å se når, og hvor disse problemene måtte oppstå. Derfor kjøres simuleringene i fire senarioer for hver årstid. I samtlige senarioer introduseres en plusskunde i nettet, men på forskjellige steder for hvert senario. Dette gjøres ved å etablere et generator-objekt i kundens tilknytningspunkt. Denne settes inn som et PQ-objekt. Det vil si at innmatet aktiv og reaktiv effekt vil

være satt til en gitt verdi, mens spenningen i punktet vil følge spenningen i nettet. Øvrig nettstruktur forblir uendret.

Plusskundens produksjonsanlegg antas å være på 3,6kVA. Deretter vil produksjonen bli skalert opp stegvis i hvert scenario. Produksjonen økes helt til ett av de følgende satte krav brytes:

- Strøm: Svært høy belastningsgrad på en overføring. $I_{bel} > 95\%$
- Spenning: Spenningen i ethvert tilknytningspunkt skal være innenfor $\pm 10\%$ av 230V.
- Effekt: $P_{inmatet} > 100\text{kW}$

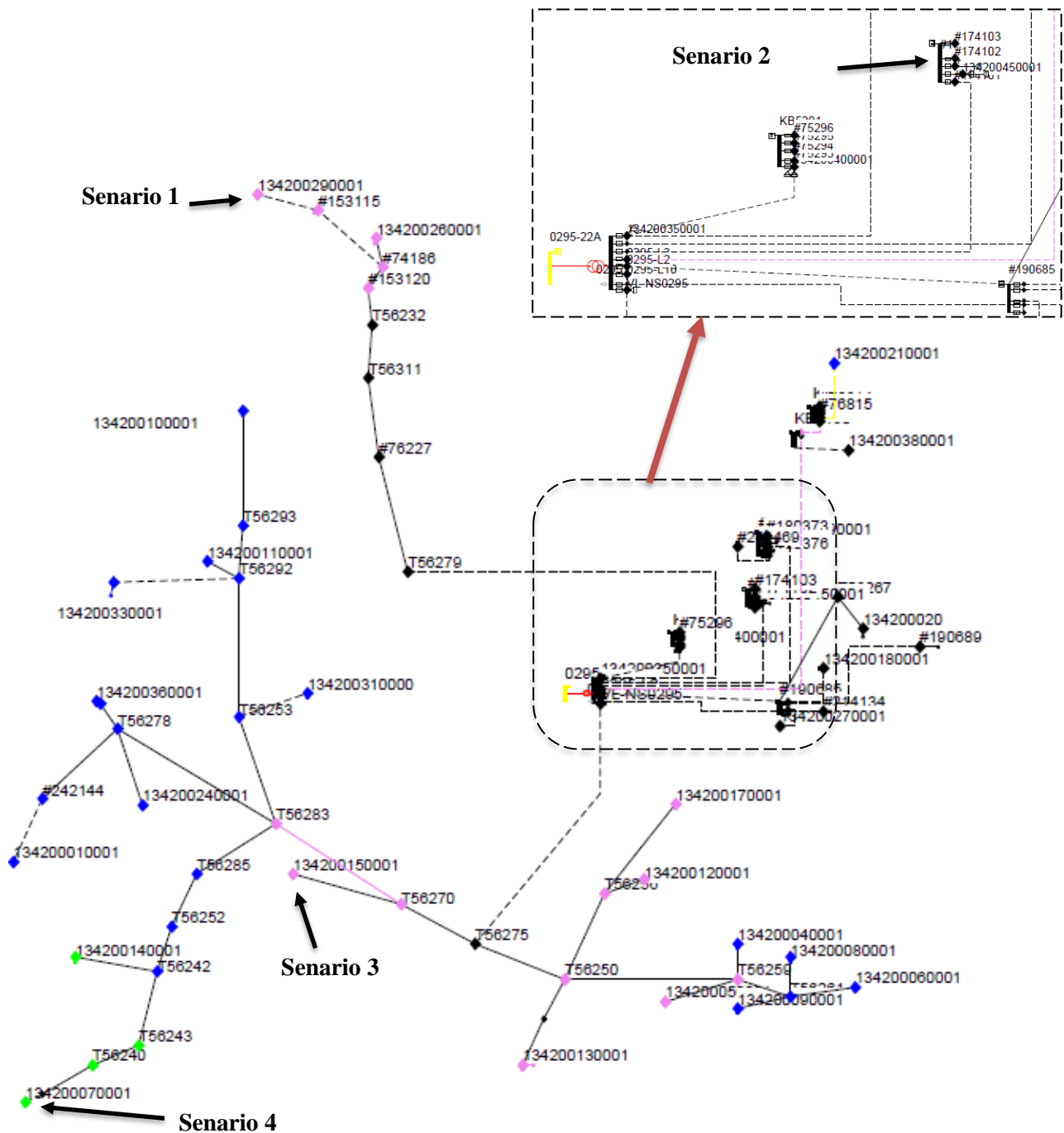
Strøm: For å unngå varig skade på en overføring som følge av varmgang ved overbelastning, settes maksgrensen ved høyest tillatte belastningsgrad på enhver overføring til 95% av nominell strømføringsevne.

Spenning: §3-3 i FoL tilsier at det aksepteres langsomme spenningsvariasjoner på $\pm 10\%$ av nominell nettspenning i et tilknytningspunkt. Målt som et gjennomsnitt over et tidsintervall på 1 minutt ved et tilknytningspunkt i lavspenningsnettet [27]. $\pm 10\%$ av 230V tilsvarer 207V i nedre grense og 253V i øvre grense.

Effekt: NVEs definisjon av plusskunder gjelder produksjonsanlegg med installert effekt opptil 100kW. Produksjonsanlegg som overstiger 100kW innmatet effekt i tilknytningspunktet er ikke med i plusskundeordningen, og vurderes derfor ikke.

Tabell 4.3 Senariobeskrivelser

Scenario	Produksjon	Beskrivelse av nærliggende nett
1	Plusskunde i nordlig ende av distribusjonsnettet	Lavspenningsradialen består av både kabel og luftnett. Det er relativt få øvrige forbrukere på radialen.
2	Plusskunde i midt i sterkt kabelnett nært nettstasjon.	Kabelnettet er av nyere årgang med relativt høyt tverrsnitt og korte overføringer.
3	Plusskunde midt i sørlig lavspenningsradial.	Lavspenningsradialen er består for det meste av luftnett med spredte forbrukere.
4	Plusskunde i enden av sørlig radial.	Samme radial som scenario 3. Plusskundens tiltenkte plassering har i innledende simuleringer vist seg å være det mest utfordrende med tanke på lav spenning i tilknytningspunktet



Figur 4.6 Nettskjema med oversikt over senarioer

Tabell 4.3 og Figur 4.6 sammen gir en beskrivelse av hvor plusskundene introduseres i hvert senario.

4.3.1.1 Innmatet effekt fra produksjonsenheten

Produksjonsenheten vil som tidligere nevnt, være et produksjonsobjekt med konstant P og Q. Det gjøres test-simuleringer for å identifisere øvre effektgrense for innmatet effekt. Denne identifiseres i henhold til de satte grenseverdier for strøm, spenning og effekt. Effekten rundes oppover til nærmeste hele kW/kVA.

Når øvre grense er satt, blir det utført fem forskjellige beregninger som dokumenteres, for hvert scenario. Da vil man ha nok datapunkter for å kunne se kurveformer for taps og spenningsprofiler. Beregningene som inneholder bare aktiv effekt består av to siffer. Det første angir hvilket scenario. Nummer to angir i hvilket trinn størrelsen på produksjonsanlegget er, der 5 vil være maksimal innmatet effekt.

Plusskunder får i dag kun betalt for aktiv effekt, derfor er det mest nærliggende å anta at tilnærmet all innmatet effekt vil være aktiv. Hvis det tilføres mer kapasitiv effekt i nettet, vil det gi større utslag på spenningsforhold i nettet, enn ved bare tilførsel av aktiv effekt. Derfor utføres det også beregninger med en effektfaktor lik $\cos\phi$ 0,9 kapasitiv. Dette vil markeres ved et tredje siffer i nummereringen av scenarioer. Siste siffer vil da alltid være 1.

Tabell 4.4 Eksempel på struktur i beregningene som skal utføres.

Scenario	Størrelse på produksjonsanlegg [kVA]	$\cos\phi$	Innmatet aktiv effekt [kVA]	Innmatet reaktiv effekt [kVAr]
1.0	0		0	0
1.1	3,6	1	3,6	0
1.1.1	3,6	0,9	3,24	1,57

Det tas ikke hensyn til produksjonsenhetenes kortslutningseffekt i de følgende beregningene.

4.3.1.2 Aktuelle verdier knyttet til koblingen mot øvrig høyspent distribusjonsnett

Da det skal utføres beregninger for to forskjellige årstider, må man ha kjennskap til forhold i øvrig-nett ved begge årstidene. I Tabell 4.5 er en oppsummering av spenninger og kortslutningseffekter i de mest aktuelle steder i nettet, for de simuleringene som skal utføres. Effektene ved 22kV samleskinnen ved Hopen transformatorstasjon er beregninger NOR har gjort tidligere. Disse tar hensyn til sesong, kobling i og mot overliggende nett, antall generatorer tilkoblet ol. Spenningen ved samleskinnen i transformatorstasjonen ansees å være stiv, altså 22kV ved både lett- og tung-last.

De øvrige er resultater fra innledende beregninger utført i NetBas. Disse verdiene vil være utgangspunkt for de kommende scenariobaserte simuleringene. Disse beregningene er ikke i rapportens hovedfokus, men inneholder likefullt viktig informasjon om relevante forhold som må tas hensyn til. Derfor er kun resultatene tatt med her. Annen informasjon om forhold i øvrige deler av det høyspente distribusjonsnettet er utelatt.

Tabell 4.5 Kortslutningseffekter og spenninger ved aktuelle punkter i nettet

Sesong	Vinter (Tung last)		Sommer (Lett last)	
	Kortslutningseffekt [MVA]	Spenning [kV]	Kortslutningseffekt [MVA]	Spenning [kV]
22kV samleskinne Hopen transformatorstasjon. (Uthevede verdier er oppgitt fra NOR)	190	22kV	96	22kV
22kV tilkobling ved NS0295	3,323	19,953	3,312	21,866
230V samleskinne ved NS0295 (ved u-trinnet trafo)	1,508	0,219	1,502	0,247

I Tabell 4.5 kan vi se at spenningen på 230V-samleskinnen er svært varierende, forutsatt at trafoen har nominelt omsetningsforhold på 21kV/240V. En innledende simulering av nettet til NS0295 i tung last viste en spenning på 219V ved samleskinnen. Dette medførte at hele 12 forbrukere vil ha en spenning under 207V. Løsningen er å redusere trafoens omsetningsforhold, slik at spenningen på samleskinnen går opp.

Ved lett-last er spenningen relativt høy, forutsatt at trafoens omsetningsforhold er uendret. Når det introduseres lokal produksjon i nettet, er det ventet at spenningen vil stige. Derfor ansees det som hensiktsmessig å endre trafoens omsetningsforhold. Dermed kan spenningen ved lavspent samleskinne reduseres.

Transformatorens nominelle omsetningsforhold er 21kV/240V, med mulighet for regulering av omsetningsforholdet 2,5% og 5% i begge retninger. Slik endring av omsetningsforholdet blir ofte kalt trinning av fordelingstransformatoren. Komplette resultater for trinning av trafo kan sees i vedlegg 5.

I Tabell 4.6 er en kort av oppsummering spenningene ved et par interessante steder i fordelingsnettet.

Tabell 4.6 Oppsummering av spenningsforhold ved trinning av fordelingstrafo i NS-0295.

Lokasjon	Vinter			Sommer		
	Endring i omsetningsforhold [%]			Endring i omsetningsforhold [%]		
	- 5	- 2,5	0	0	+ 2,5	+ 5
Sekundærside trafo [V]	232	225	219	247	241	235
Første forbruker [V]	231	225	219	247	241	235
Siste forbruker [V]	212	205	198	240	233	227

For tung-last simuleringer ble et omsetningsforhold på -5% valgt. Dette ga en spenning på samleskinnen på 232V. For lett-last ble det valgt et forhold på +5%. Da var spenningen ved samleskinnen 235V. Dette gir en relativ lik spenning på samleskinnen ved begge sesongene, slik at resultatene er mer sammenliknbare.

4.3.2 Begrensinger i simuleringene

Den største usikkerheten i resultatene fra simuleringen, er informasjon om belastningene i nettet. Verdiene for last som benyttes i rapporten er erfaringsbaserte, med en standardvariasjon knyttet til erfaringstall fra Netbas. Mer oppdatert informasjon om forbruk gjennom året, gjerne over flere år. Vil skape et bedre bilde av både den enkelte forbrukers lastprofil og trafokretsen som en helhet. Denne informasjonen vil bidra til å senke usikkerheten i slike beregninger. Når det er installert AMS-målere i alle målepunkt, vil man kunne tilegne seg denne informasjonen relativt enkelt.

Simuleringene tar kun for seg stasjonære forhold. Dette medfører at eventuelle stabilitetsutfordringer ved inn- eller ut-kobling av lokal produksjon ikke fanges opp.

Siden det kun sees på to forskjellige sesongvariasjoner, er det vanskelig å si noe om hvilke innvirkninger lokal produksjon har de øvrige delene av året.

Beregninger av tap tar ikke hensyn til eventuell reduksjon eller økning av tap i høyere nettnivåer. Tar man i betraktning transformatorens omsetningsforhold, er det tydelig at det vil begrenset innvirkning. Siden strømmen i det høyspente distribusjonsnettet vil reduseres med en faktor på:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{21kV}{240V} = 87,5 \quad (4.9)$$

4.4 Resultater - senario 1

4.4.1 Lett-last

Innledende beregninger viste at grenseverdien ved lokal produksjon hos plusskunden lå i underkant av 10kW. Ved 10kW innmatet effekt var spenningen i tilknytningspunktet hvor produksjonen er tilkoblet (134200290001), steget fra 231,4V til 253,5V. Altså utenfor $\pm 10\%$ av nominell spenning.

Oppsummering av tap og spenningsforhold for beregninger kan sees i Tabell 4.7. Komplette beregningsresultater finnes i vedlagt zip-fil.

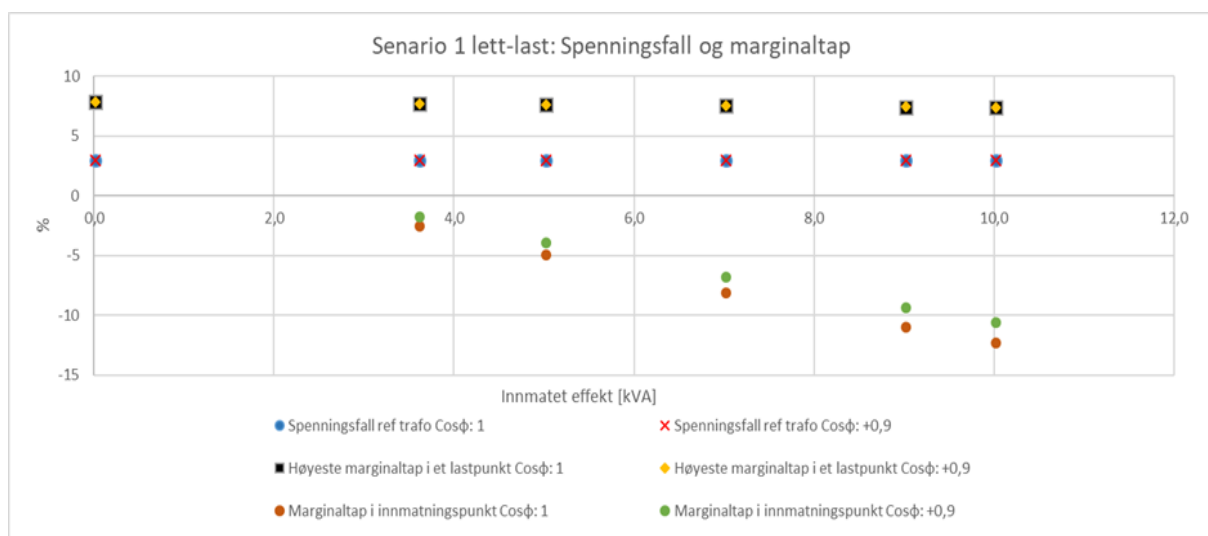
Tabell 4.7 Oppsummering av beregningsresultater senario 1 lett-last

Senario 2 - 2,5 Lettlast, kun innmating av aktiv effekt [cos ϕ : 1]								
Sen	Innmatet aktiv effekt [kW]	Tap [kW]	Tap [%]	Laveste spenning [V]	Knutepunkt	Høyeste spenning [V]	Knutepunkt	Sterkest belastet overføring [%]
1	0,0	1,0	2,4	227,4	134200070001	234,7	0295T1-230V	36,0
1,1	3,6	1,0	2,3	227,6	134200070001	239,9	134200290001	36,0
1,2	5,0	1,0	2,4	227,7	134200070001	243,0	134200290001	36,0
1,3	7,0	1,1	2,7	227,8	134200070001	247,3	134200290001	36,0
1,4	9,0	1,2	2,9	227,9	134200070001	249,4	134200290001	36,0
1,5	10,0	1,4	3,4	228,0	134200070001	253,5	134200290001	36,0
Senario 2 - 2,5,1 Lettlast. innmating av aktiv og reaktiv effekt [cos ϕ : 0,9 kapasitiv]								
Sen	Innmatet tilsynelatende effekt [kVA]	Tap [kW]	Tap [%]	Laveste spenning [V]	Knutepunkt	Høyeste spenning [V]	Knutepunkt	Sterkest belastet overføring [%]
1	0,0	1,0	2,4	227,4	134200070001	234,7	0295T1-230V	36,0
1,1,1	3,6	1,0	2,3	227,7	134200070001	239,9	134200290001	36,0
1,1,2	5,0	1,0	2,4	227,8	134200070001	243,1	134200290001	36,0
1,1,3	7,0	1,1	2,7	228,0	134200070001	247,4	134200290001	36,0
1,1,4	9,0	1,3	3,1	228,1	134200070001	251,7	134200290001	36,0
1,1,5	10,0	1,4	3,4	228,2	134200070001	253,7	134200290001	36,0

Som man kan se i Tabell 4.7, har plusskunden liten innvirkning på spenningsforholdet til knutepunktet i nettet med lavest spenning. Med hensyn på tap i nettet er plasseringen av plusskunden heller ikke gunstig. Siden det er lav belastning i denne delen av nettet, vil produsert energi måtte overføres til andre deler av nettet. Dette medfører overføringstap. Differansen mellom beregningene utført med forskjellig effektfaktor er marginal. Som forventet stiger spenningen raskere ved innmating av kapasitiv reaktiv effekt.

Figur 4.7 viser et punktdiagram som inneholder:

- Maksimalt spenningsfall i % til lastpunktet med lavest spenning, referert spenning på sekundærside av trafo.
- Marginaltap i % for det lastpunktet med høyest tap.
- Marginaltap i % for innmatingspunktet.



Figur 4.7 Spenningsfall og marginaltap senario.1 lett-last

Figur 4.7 viser mye av det samme som Tabell 4.7. Maksimalt spenningsfall i nettet endres lite. Noe som er forventet, siden plusskunden er lokalisert på en annen radial enn tilknytningspunktet med lavest spenning. Det høyeste marginaltapedet i nettet endres minimalt ved økende innmating. Der marginaltapene i innmatningspunktet krysser x-aksen i diagrammet, rundt 3kW. Vil punktet angi ved hvilken effekt plusskunden går fra å være en fordel, til å bli en ulempe for nettselskapet. Hvis en kun ser utelukkende på tap i nettet. Akkurat i krysningpunktet snur effekten på tapene fra den innmatede energien. Da vil produsenten gå fra å senke tapene i nettet, til å bidra til økte tap.

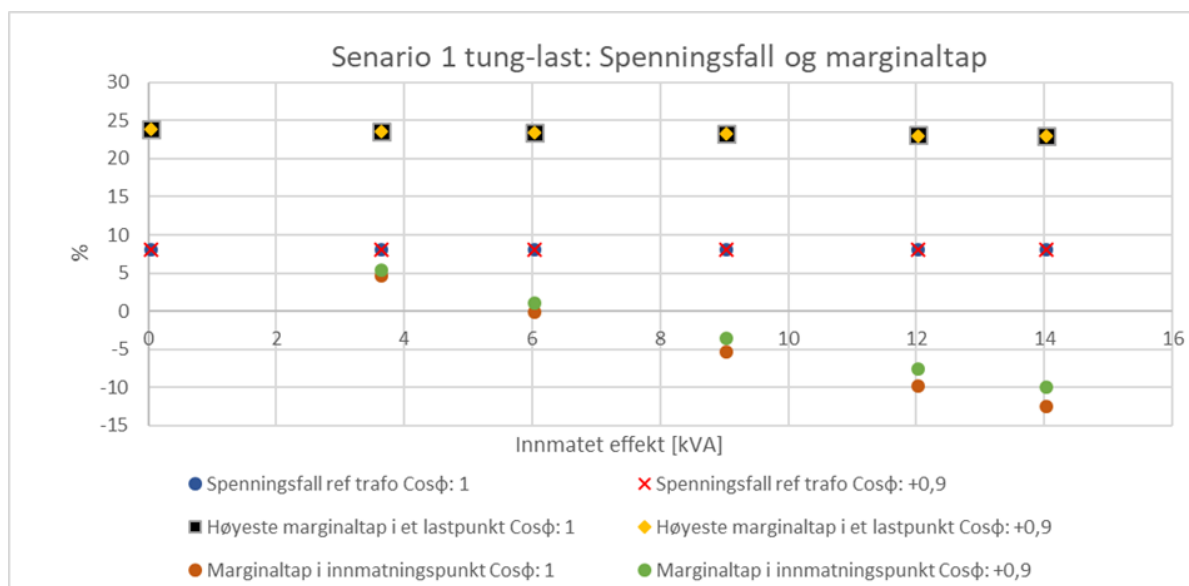
4.4.2 Tung-last

Ved tung-last er det mulighet for høyere produksjon. Siden det nå er mer belastning i nettet, skjer ikke spenningsstigningen like raskt. Grenseverdien lå i underkant av 14kW. Det var spenningskravet som ble begrensende, i samme punkt som ved lett-lastberegningene. Tabell 4.8 viser at ved 14kW, var spenningen i innmatingspunktet steget til 254,7V. Komplette beregningsresultater finnes i vedlagt zip-fil.

Tabell 4.8 Oppsummering av beregningsresultater scenario 1 tung-last

Scenario 1 - 1,5 Tung-last, kun innmating av aktiv effekt [cosφ: 1]								
Sen	Innmatet aktiv effekt [kW]	Tap [kW]	Tap [%]	Laveste spenning [V]	Knutepunkt	Høyeste spenning [V]	Knutepunkt	Sterkest belastet overføring [%]
1	0	6,8	6,4	212,1	134200070001	231,6	0295T1-230V	94,0
1,1	3,6	6,5	6,1	212,4	134200070001	231,9	134200290001	94,0
1,2	6,0	6,4	6,1	212,5	134200070001	237,5	134200290001	94,0
1,3	9,0	6,5	6,1	212,7	134200070001	244,1	134200290001	94,0
1,4	12,0	6,7	6,3	212,9	134200070001	250,4	134200290001	94,0
1,5	14,0	7,0	6,5	213,0	134200070001	254,4	134200290001	94,0
Scenario 1 - 1,5,1 Tung-last. innmating av aktiv og reaktiv effekt [cosφ: 0,9 kapasitiv]								
Sen	Innmatet tilsynelatende effekt [kVA]	Tap [kW]	Tap [%]	Laveste spenning [V]	Knutepunkt	Høyeste spenning [V]	Knutepunkt	Sterkest belastet overføring [%]
1	0	6,8	6,4	212,1	134200070001	231,6	0295T1-230V	94,0
1,1,1	3,6	6,5	6,1	212,5	134200070001	232,0	134200290001	94,0
1,1,2	6,0	6,4	6,0	212,7	134200070001	237,6	134200290001	94,0
1,1,3	9,0	6,5	6,1	212,9	134200070001	244,3	134200290001	94,0
1,1,4	12,0	6,7	6,3	213,1	134200070001	250,6	134200290001	94,0
1,1,5	14,0	6,9	6,5	213,3	134200070001	254,7	134200290001	94,0

Ut fra Tabell 4.8 ser vi at virkningene i tung-last beregningene er relativt like resultatene for lett-last. Tapene i nettet minker frem til innmatet effekt når 6kVA. Ved kapasitiv effektfaktor er tapet marginalt lavere, enn ved bare innmating av aktiv effekt.



Figur 4.8 Spenningsfall og marginaltap scenario.1 tung-last

I Figur 4.8 ser man at maksimalt spenningsfall i nettet, endres lite. Høyest beregnet marginaltap i nettet endres også minimalt. Krysningpunktet mellom marginaltapet til innmatningspunktet og x-aksen er endret i forhold til de foregående beregningene. Nå er krysningpunktet $\approx 6\text{kW}$. Økt belastning i tilknytningspunktene i nærheten av produsenten gjør at fordelene med lokal produksjon er større om vinteren.

4.4.2.1 Kommentarer til resultater for scenario 1

Som resultatene viser har et produksjonsanlegg lokalisert langt ute i en radial med få andre forbrukere, liten innvirkning på øvrig nett. Lange overføringer med tidvis høy impedans gjør at den produserte energien ikke kan transporteres videre effektivt. Dette medfører at spenningen stiger raskt ved økt innmating i plusskundens tilknytningspunkt.

Som tidligere nevnt har FoL et krav som tilsier at stasjonær spenning skal være innenfor $\pm 10\%$ av nominell spenning. Men det gis i samme forskrift under § 2-1.- Utbedring, en mulighet for å overstige grenseverdiene.

" De som omfattes av denne forskriften skal, dersom deres anlegg er skyld i at bestemmelsene i denne forskriften ikke kan overholdes, utbedre forholdet uten ugrunnet opphold. Utbedringsplikten gjelder ikke for nettkunder, dersom grenseverdiene kun overskrides i eget tilknytningspunkt, og tilknyttet nettselskap ikke opplever problemer som følge av dette."[27]

Her står altså en plusskunde fritt til å ha høyere spenning i sitt tilknytningspunkt. Forutsatt at det kun gjelder sitt eget, og nettselskapet ikke kan vise til problemer knyttet til dette.

Sesongvariasjonene har en viss innvirkning på maksimal effekt på produksjonsanlegget, med mulighet for ca. 40% økning av produksjon vinterstid.

4.5 Resultater - senario 2

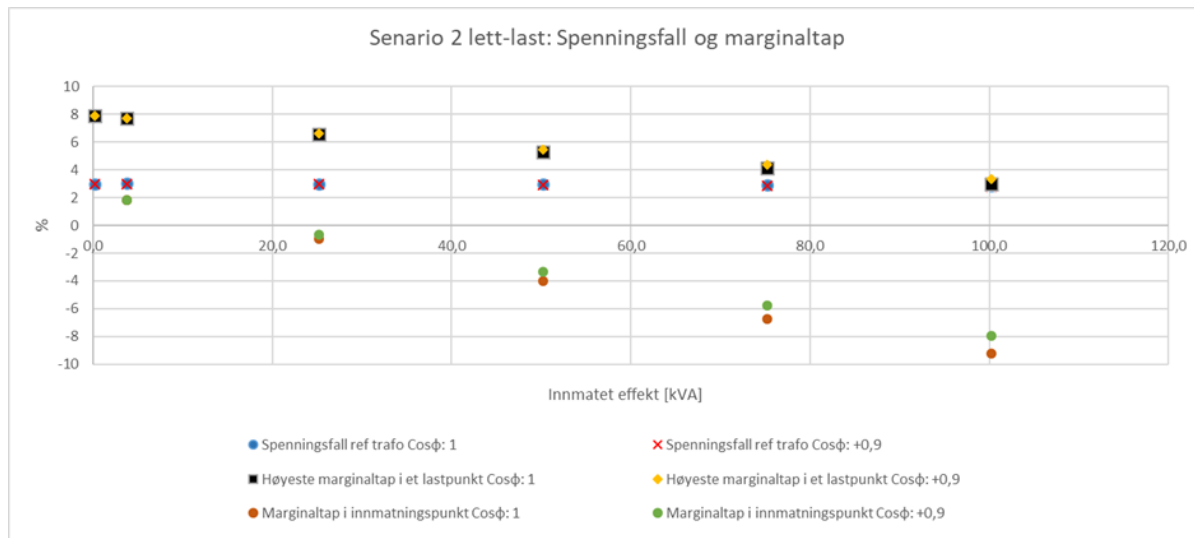
4.5.1 Lett-last

I dette senarioet, er plusskunden koblet til knutepunkt #174102. Sentralt i den kablede delen av distribusjonsnettet. Produksjonsanlegget er dermed sterkere knyttet til øvrig nett, med kortere overføringer med høyere tverrsnitt. Det er flere forbrukere tilknyttet denne lavspenningsradialen. Dette gjør at det kan tilføres mer effekt i tilknytningspunktet. De innledende beregningene viste at ved 100kW innmatet effekt var det ikke overspenning, eller overbelastning i noen punkter. Tabell 4.9 viser en oppsummering av beregningene for senario 2 gjort i lett-last. Komplette beregningsresultater kan sees i vedlagt zip-fil.

Tabell 4.9 Oppsummering av beregningsresultater senario 2 lett-last

Senario 2 - 2,5 Lett-last, kun innmating av aktiv effekt [cosφ: 1]								
Sen	Innmatet aktiv effekt [kW]	Tap [kW]	Tap [%]	Laveste spenning [V]	Knutepunkt	Høyeste spenning [V]	Knutepunkt	Sterkest belastet overføring [%]
2	0,0	1,0	2,4	227,4	134200070001	234,7	0295T1-230V	36,0
2,1	3,6	0,9	2,2	227,6	134200070001	235,0	#174102	36,0
2,2	25,0	0,8	1,9	228,9	134200070001	238,3	#174102	36,0
2,3	50,0	1,4	3,3	230,3	134200070001	242,0	#174102	43,0
2,4	75,0	2,7	6,4	231,6	134200070001	245,6	#174102	65,0
2,5	100,0	4,7	11,1	232,9	134200070001	249,1	#174102	86,0
Senario 2 - 2,5,1 Lett-last. innmating av aktiv og reaktiv effekt [cosφ: 0,9 kapasitiv]								
Sen	Innmatet tilsynelatende effekt [kVA]	Tap [kW]	Tap [%]	Laveste spenning [V]	Knutepunkt	Høyeste spenning [V]	Knutepunkt	Sterkest belastet overføring [%]
2	0,0	1,0	2,4	227,4	134200070001	234,7	0295T1-230V	36,0
2,1,1	3,6	0,9	2,2	227,7	134200070001	235,0	#174102	36,0
2,2,1	25,0	0,8	1,9	229,4	134200070001	238,8	#174102	36,0
2,3,1	50,0	1,4	3,2	231,3	134200070001	243,0	#174102	43,0
2,4,1	75,0	2,6	6,2	233,1	134200070001	247,0	#174102	64,0
2,5,1	100,0	4,5	10,7	234,9	134200070001	251,0	#174102	85,0

Tabell 4.9 viser at de med hensyn på tap er fordelaktig med distribuert produksjon i dette punktet, inntil en viss grad. Se man på spenningsforhold, har innmatingen liten effekt på spenningen i øvrig nett, sett i forhold til den store innmatingen.



Figur 4.9 Spenningsfall og marginaltap senario.2 lett-last

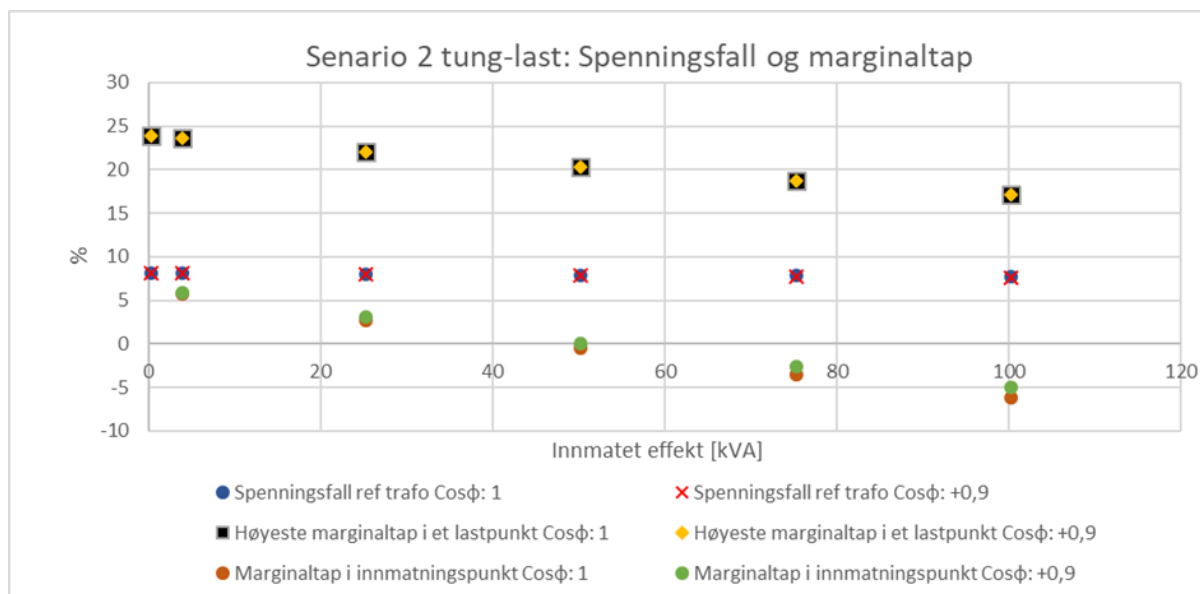
Som Figur 4.9 viser, faller det størst beregnede marginaltapedet i nettet merkbart ved økende innmatet effekt. Noe som tilsier at tapet knyttet til energiuveksling i dette punktet blir lavere. Dette fordi spenningen i distribusjonsnettet øker i samtlige punkter ved økende innmating. Maksimalt spenningsfall faller noe. Dette leses best ut fra Tabell 4.9, da skalaen i Figur 4.9 er for stor til at dette vises godt i diagrammet. Krysningspunktet for marginaltapedet i produksjonspunktet ligger rundt 20kW.

4.5.2 Tung-last

Lett-last beregningene viste at det var problemfritt å mate inn 100kW i dette punktet. Resultatet fra tung-last beregningene i Tabell 4.10 viser det samme. Trendene er like for både sommer og vinter sesongene i dette scenarioet. Tapene i nettet reduseres noe mer sammenliknet med lett-last. Forklaringen ligger i at det er mer belastning hos alle forbrukere. Dette gjør at de mest nærliggende forbrukerne forsynes kun fra plusskunden. Slik at energien ikke må transporteres over lange avstander før den blir forbrukt. Spenningsmessig er det også gunstig med hensyn på tilknytningspunktet med lavest spenning i nettet, spesielt hvis det mates inn aktiv og kapasitiv reaktiv effekt. Komplette beregningsresultater kan sees i vedlagt zip-fil.

Tabell 4.10 Oppsummering av beregningsresultater scenario 2 tung-last

Scenario 2 - 2,5 Tung-last, kun innmating av aktiv effekt [$\cos\phi$: 1]								
Sen	Innmatet aktiv effekt [kW]	Tap [kW]	Tap [%]	Laveste spenning [V]	Knutepunkt	Høyeste spenning [V]	Knutepunkt	Sterkest belastet overføring [%]
2	0	6,8	6,4	212,1	134200070001	231,6	0295T1-230V	94,0
2,1	3,6	6,6	6,2	212,4	134200070001	231,8	0295T1-230V	94,0
2,2	25	5,6	5,3	213,8	134200070001	234,7	#174102	93,0
2,3	50	5,3	5,0	215,3	134200070001	238,5	#174102	93,0
2,4	75	5,8	5,4	216,8	134200070001	242,2	#174102	92,0
2,5	100	6,9	6,5	218,3	134200070001	245,8	#174102	92,0
Scenario 2 - 2,5,1 Tung-last, innmating av aktiv og reaktiv effekt [$\cos\phi$: 0,9 kapasitiv]								
Sen	Innmatet tilsynelatende effekt [kVA]	Tap [kW]	Tap [%]	Laveste spenning [V]	Knutepunkt	Høyeste spenning [V]	Knutepunkt	Sterkest belastet overføring [%]
2	0	6,8	6,4	212,1	134200070001	231,6	0295T1-230V	94,0
2,1,1	3,6	6,6	6,2	212,4	134200070001	231,9	0295T1-230V	94,0
2,2,1	25	5,5	5,2	214,3	134200070001	235,2	#174102	93,0
2,3,1	50	5,1	4,8	216,4	134200070001	239,5	#174102	92,0
2,4,1	75	5,5	5,2	218,4	134200070001	243,6	#174102	92,0
2,5,1	100	6,5	6,2	220,4	134200070001	247,7	#174102	91,0



Figur 4.10 Spenningsfall og marginaltap senario.2 tung-last

Figur 4.10 viser at maksimalt spenningsfall i nettet endres marginalt. Høyeste beregnede marginaltap faller under tunglastberegningene. Krysningpunktet hvor marginaltapet i innmatningspunktet er 0% ligger rundt 50kW. Altså 30kW høyere sammenliknet med lettlastberegningene. Igjen kan dette forklares med en høyere belastning hos samtlige forbrukere i nettet.

4.5.2.1 Kommentarer til resultatene fra senario 2.

Ut fra resultatene i senario 2 kan følgende noteres. Sentral plassering av plusskunden i nettet, dvs. ikke i enden av en radial. Er positivt for både kunden og nettselskapet. I dette tilfellet var tilknytningen mot øvrig nett å anse som sterk. Med korte overføringer av høyt tverrsnitt. Dette gjør at den øvre begrensningen for maksimal innmating i nettet er høyere, sammenliknet med senario 1. Plusskundeforlegg opp mot 100kW er å anse som relativt usannsynlig i slike strøk. Da det bare er et par anlegg i Norge med så høy installert effekt [8].

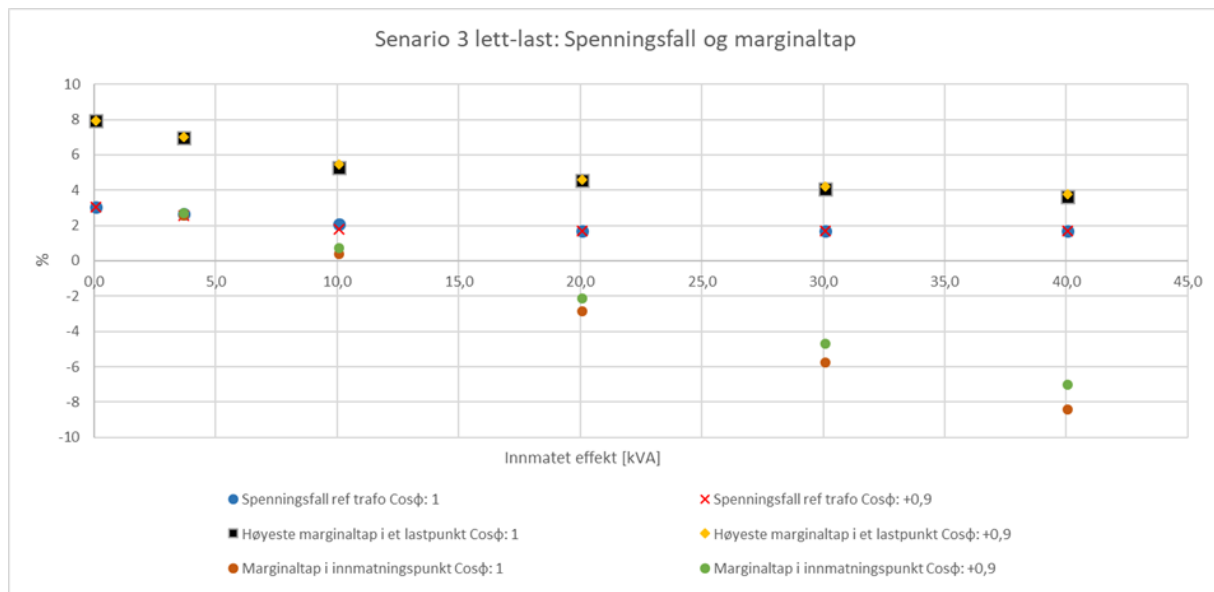
4.6 Resultater - senario 3

4.6.1 Lett-last

I dette senarioet var plusskunden plassert midt på en lavspenningsradial. Denne besto av spredte forbrukere, i et nett hovedsakelig bestående av luftnett. Kunden som hadde lavest spenning i nettet, er også tilkoblet på samme radial. Tabell 4.11 viser at begrensingen på innmatet effekt denne gangen var stikkledningen inn til kunden. Stikkledningen som er av typen EX 3*25Al, har en strømføringssevne på 95A. Ved 40kW innmatet effekt var belastningen på stikkledningen 98% av strømføringssevnen. Komplette resultater av beregningene finnes i vedlagt zip-fil.

Tabell 4.11 Oppsummering av beregningsresultater senario 3 lett-last

Senario 3 - 3,5 Lett-last, kun innmating av aktiv effekt [cosφ: 1]								
Sen	Innmatet aktiv effekt [kW]	Tap [kW]	Tap [%]	Laveste spenning [V]	Knutepunkt	Høyeste spenning [V]	Knutepunkt	Sterkest belastet overføring [%]
3	0,0	1,0	2,4	227,4	134200070001	234,7	0295T1-230V	36,0
3,1	3,6	0,9	2,1	228,4	134200070001	235,0	0295T1-230V	36,0
3,2	10,0	0,8	1,9	230,2	134200070001	236,2	134200150001	36,0
3,3	20,0	0,9	2,1	231,6	134200210001	240,1	134200150001	50,0
3,4	30,0	1,3	3,1	232,1	134200210001	243,8	134200150001	74,0
3,5	40,0	2,0	4,8	232,6	134200210001	247,4	134200150001	98,0
Senario 3 - 3,5,1 Lett-last, innmating av aktiv og reaktiv effekt [cosφ: 0,9 kapasitiv]								
Sen	Innmatet tilsynelatende effekt [kVA]	Tap [kW]	Tap [%]	Laveste spenning [V]	Knutepunkt	Høyeste spenning [V]	Knutepunkt	Sterkest belastet overføring [%]
3	0,0	1,0	2,4	227,4	134200070001	234,7	0295T1-230V	36,0
3,1,1	3,6	0,9	2,1	228,7	134200070001	235,0	0295T1-230V	36,0
3,1,2	10,0	0,8	1,8	231,1	134200070001	236,9	134200150001	36,0
3,1,3	20,0	0,9	2,0	232,0	134200210001	241,5	134200150001	50,0
3,1,4	30,0	1,3	3,0	232,7	134200210001	245,9	134200150001	74,0
3,1,5	40,0	1,9	4,5	233,4	134200210001	250,1	134200150001	97,0



Figur 4.11 Spenningsfall og marginaltap senario.3 lett-last

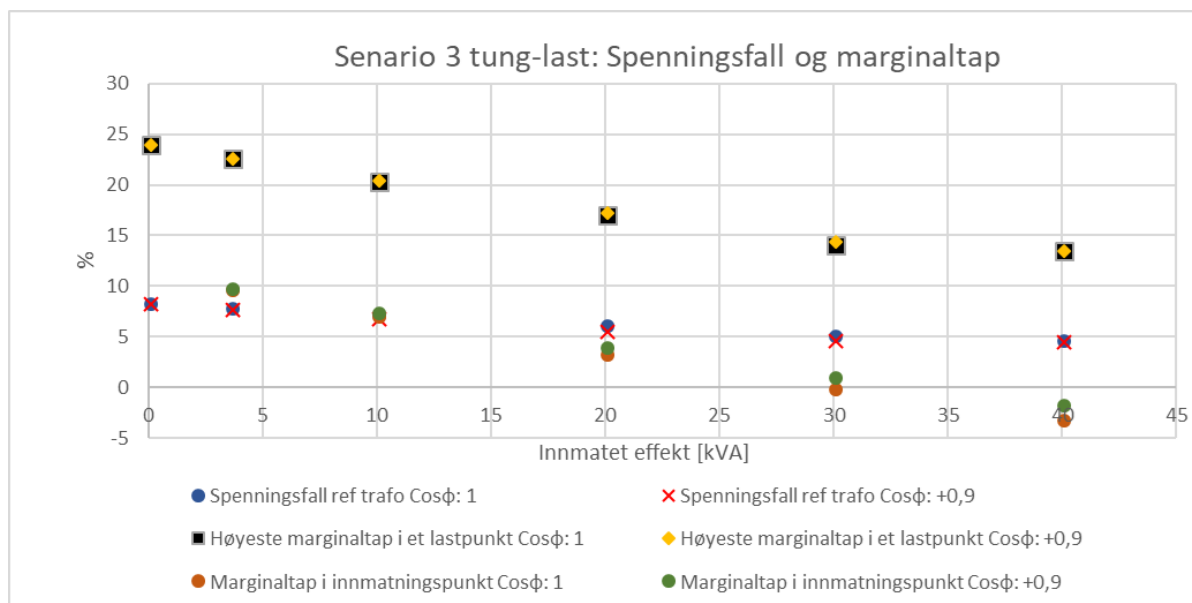
I Figur 4.11 kan vi se at det høyest beregnede marginaltapedet faller relativt raskt ved lav innmatet effekt. Fra 7,5% til 4%. Dette indikerer at en plusskunde vil ha positiv innvirkning på marginaltapene i det øvrige nettet. Maksimalt spenningsfall i nettet faller også merkbart, inntil en produksjon på 30kW. Marginaltapedet i innmatningspunktet når sitt nullpunkt rundt 10kW.

4.6.2 Tung-last

Tabell 4.12 viser at begrensingen nok en gang lå i stikkledningen inn til kunden. Ved 40kW innmatet effekt var belastningen på stikkledningen 100% av strømføringsvevnen. Differansen i belastningsgrad mellom tunglast og lettlast, kan forklares ved at det er lavere spenning i innmatingspunktet. Linjestrømmen må opp for å oppnå 40kW ved lavere spenning. Tabellen viser også at plusskunden har en positiv innvirkning på knutepunktene med lavest spenning i nettet. Komplette resultater av beregningene finnes i vedlagt zip-fil.

Tabell 4.12 Oppsummering av beregningsresultater senario 3 tung-last

Senario 3 - 3,5 Tung-last, kun innmating av aktiv effekt [cosφ: 1]								
Sen	Innmatet aktiv effekt [kW]	Tap [kW]	Tap [%]	Laveste spenning [V]	Knutepunkt	Høyeste spenning [V]	Knutepunkt	Sterkest belastet overføring [%]
3	0	6,8	6,4	212,1	134200070001	231,6	0295T1-230V	94,0
3,1	3,6	6,4	6,1	213,3	134200070001	231,8	0295T1-230V	94,0
3,2	10	5,9	5,6	215,3	134200070001	232,2	0295T1-230V	94,0
3,3	20	5,4	5,1	218,3	134200070001	233,2	134200150001	94,0
3,4	30	5,2	4,9	221,1	134200070001	237,1	134200150001	93,0
3,5	40	5,4	5,1	222,8	134200210001	240,9	134200150001	100,0
Senario 3 - 3,5,1 Tung-last, innmating av aktiv og reaktiv effekt [cosφ: 0,9 kapasitiv]								
Sen	Innmatet tilsynelatende effekt [kVA]	Tap [kW]	Tap [%]	Laveste spenning [V]	Knutepunkt	Høyeste spenning [V]	Knutepunkt	Sterkest belastet overføring [%]
3	0	6,8	6,4	212,1	134200070001	231,6	0295T1-230V	94,0
3,1,1	3,6	6,4	6,0	213,6	134200070001	231,9	0295T1-230V	94,0
3,2,1	10	5,8	5,5	216,2	134200070001	232,4	0295T1-230V	94,0
3,3,1	20	5,3	5,0	220,0	134200070001	234,6	134200150001	93,0
3,4,1	30	5,0	4,7	222,9	134200210001	239,2	134200150001	93,0
3,5,1	40	5,1	4,8	223,7	134200210001	243,7	13420015001	98,0



Figur 4.12 Spenningsfall og marginaltap senario.3 tung-last

Figur 4.12 viser igjen at det høyeste beregnede marginaltaper i nettet faller betraktelig ved stigende innmating. I tung-last har plusskunden større innvirkning på dette, sammenliknet med lett-last. Her faller marginaltaper fra 24% til 13% ved 40kVA. Maksimalt spenningsfall i nettet faller også relativt raskt, inntil produksjonen når 30kVA. Dette skjer fordi det nå tilføres effekt i området som hadde utfordringer med lave spenninger. Marginaltaper i innmatningspunktet krysser 0% på X-aksen ved 30kW. Den økte belastningen i nettet gjør at det tåles større innmating i nettet, uten at dette bidrar til høyere tap.

4.6.2.1 Kommentarer til resultatene fra senario 3

Sammenliknes resultatene fra dette senarioet med de to foregående, ser man tydelig at det er ved slik plassering, at en plusskunde kan bidra mer i nettet spenningsmessig. Spesielt i tung-last perioder vil fordelene med lokal produksjon være stor.

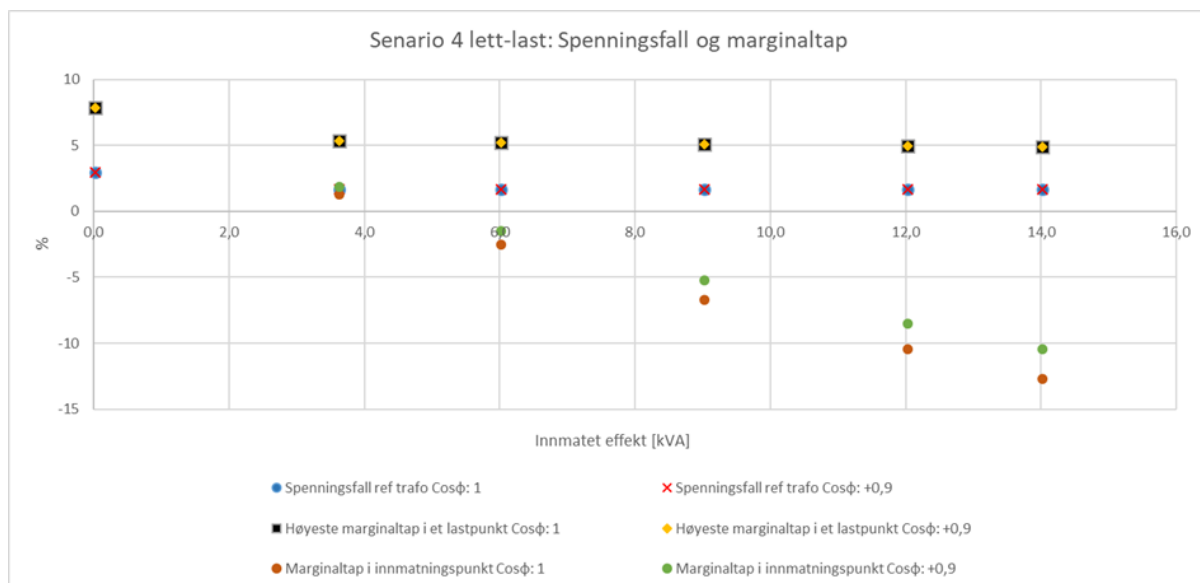
4.7 Resultater - senario 4

4.7.1 Lett-last

I senario 4 er plusskunden plassert ved tilknytningspunktet 13420007001, som har hatt de største utfordringene med lav spenning i alle foregående senarioer. Tabell 4.13 viser at øvre grense for innmatet effekt lå i underkant av 14 kW. Da var spenningen i det aktuelle tilknytningspunktet oversteget 253V, som er maksimal spenning i henhold til FoL. Tabellen viser tydelig at spenningen stiger raskt i innmatingspunktet. Tapene i nettet reduseres noe. Men fra 12kW og oppover var tapene høyere enn uten lokal produksjon. De samme overføringene som skapte høyt spenningsfall i utgangspunktet, vil være sterkt begrensende for størrelsen på innmatet effekt. Komplette resultater fra beregninger finnes i vedlagt zip-fil.

Tabell 4.13 Oppsummering av beregningsresultater senario 4 lett-last

Senario 4 - 4,5 Lett-last, kun innmating av aktiv effekt [cosφ: 1]								
Sen	Innmatet aktiv effekt [kW]	Tap [kW]	Tap [%]	Laveste spenning [V]	Knutepunkt	Høyeste spenning [V]	Knutepunkt	Sterkest belastet overføring [%]
4	0,0	1,0	2,4	227,4	13420007001	234,7	0295T1-230V	36,0
4,1	3,6	0,8	2,0	230,7	134200210001	235,0	0295T1-230V	36,0
4,2	6,0	0,9	2,0	230,8	134200210001	239,3	134200070001	36,0
4,3	9,0	1,0	2,3	231,0	134200210001	244,7	134200070001	36,0
4,4	12,0	1,2	2,9	231,1	134200210001	250,0	134200070001	36,0
4,5	14,0	1,5	3,5	231,2	134200210001	253,4	134200070001	36,0
Senario 4 - 4,5,1 Lett-last. innmating av aktiv og reaktiv effekt [cosφ: 0,9 kapasitiv]								
Sen	Innmatet tilsynelatende effekt [kVA]	Tap [kW]	Tap [%]	Laveste spenning [V]	Knutepunkt	Høyeste spenning [V]	Knutepunkt	Sterkest belastet overføring [%]
4	0,0	1,0	2,4	227,4	134200070001	234,7	0295T1-230V	36,0
4,1,1	3,6	0,8	2,0	230,7	134200210001	235,1	134200070001	36,0
4,1,2	6,0	0,8	2,0	230,9	134200210001	240,0	134200070001	36,0
4,1,3	9,0	1,0	2,3	231,1	134200210001	245,9	134200070001	36,0
4,1,4	12,0	1,2	2,8	231,4	134200210001	251,5	134200070001	36,0
4,1,5	14,0	1,4	3,3	231,5	134200210001	255,1	134200070001	36,0



Figur 4.13 Spenningsfall og marginaltap senario.4 lett-last

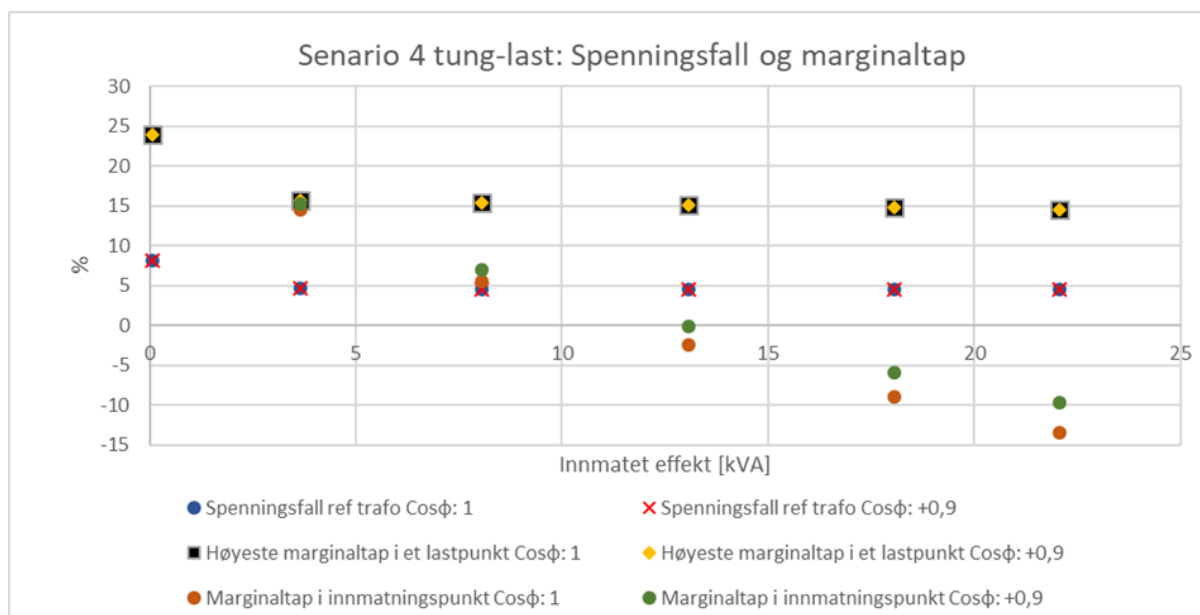
Figur 4.13 viser at både det høyest beregnede marginaltapedet og høyeste spenningsfall i nettet, stabiliserer seg ganske raskt. Allerede ved 3,6kVA innmatet effekt flater begge disse parameterne ut på henholdsvis 5 og 2 %. Rundt 4kW krysser marginaltapedet 0%.

4.7.2 Tung-last

I Tabell 4.14 kan beregningene for scenario 4 i tung-last sees. Det skjer samme spenningsstigning i innmatingspunktet, men ikke like raskt som i lett-last beregningene. Nå lå maksimal innmatet effekt på 22kW, altså nesten 8kW høyere sammenliknet med lett-last. Tapene i nettet reduseres mer også mer i disse beregningene. Komplette resultater fra beregningene kan sees i vedlagt zip-fil.

Tabell 4.14 Oppsummering av beregningsresultater senario 4 tung-last

Senario 4 - 4,5 Tung-last, kun innmating av aktiv effekt [cosφ: 1]								
Sen	Innmatet aktiv effekt [kW]	Tap [kW]	Tap [%]	Laveste spenning [V]	Knutepunkt	Høyeste spenning [V]	Knutepunkt	Sterkest belastet overføring [%]
4	0	6,8	6,4	212,1	134200070001	231,6	0295T1-230V	94,0
4,1	3,6	6,1	5,8	220,2	134200080001	231,8	0295T1-230V	94,0
4,2	8	5,7	5,3	220,9	134200210001	232,1	0295T1-230V	94,0
4,3	13	5,6	5,3	221,2	134200210001	238,8	134200070001	94,0
4,4	18	5,9	5,5	221,5	134200210001	247,6	134200070001	94,0
4,5	22	6,3	5,9	221,7	134200210001	254,2	134200070001	94,0
Senario 4 - 4,5,1 Tung-last, innmating av aktiv og reaktiv effekt [cosφ: 0,9 kapasitiv]								
Sen	Innmatet tilsynelatende effekt [kVA]	Tap [kW]	Tap [%]	Laveste spenning [V]	Knutepunkt	Høyeste spenning [V]	Knutepunkt	Sterkest belastet overføring [%]
4	0	6,8	6,4	212,1	134200070001	231,6	0295T1-230V	94,0
4,1,1	3,6	6,1	5,7	220,4	134200080001	231,9	0295T1-230V	94,0
4,2,1	8	5,6	5,3	221,1	134200210001	232,3	0295T1-230V	94,0
4,3,1	13	5,5	5,1	221,5	134200210001	240,5	134200070001	94,0
4,4,1	18	5,7	5,4	221,9	134200210001	249,9	134200070001	94,0
4,5,1	22	6,1	5,7	222,2	134200210001	256,9	134200070001	93,0



Figur 4.14 Spenningsfall og marginaltap senario.4 tung-last

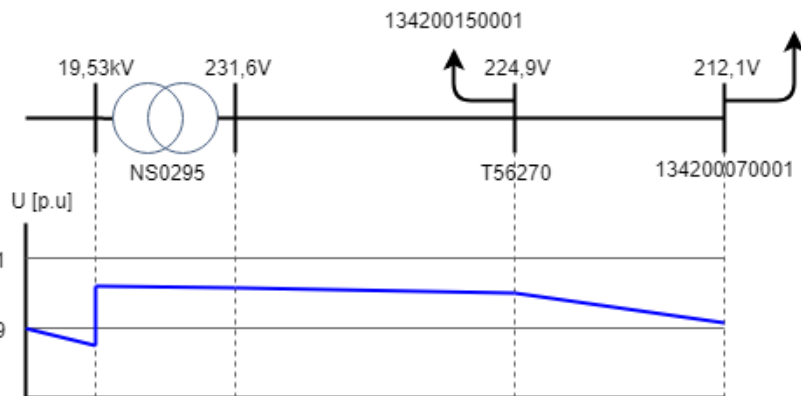
Figur 4.14 Viser tydelig at spenningsfall og maksimalt beregnet marginaltap faller raskt før de stabiliserer seg tilsynelatende ved samme effekt som i lett-last. Marginaltapet i innmatningspunkt krysser x-aksen ved ca.12kW. Altså noe høyere enn i lett-last.

4.7.2.1 Kommentarer til resultatene fra senario 4

I dette senarioet var produksjonen lokalisert i det tilknytningspunktet som opplevde størst spenningsfall, sett fra fordelingstrafoen. Det er helt tydelig at lokal produksjon vil være gunstig i dette punktet, siden spenningen stiger raskt her, selv med relativ lav produksjon. Høy impedans i overføringer til øvrig nett, gjør at man ikke får distribuert ut overskuddsenergien på en god måte. Derfor vil spenningen i tilknytningspunktet stige raskt, slik som i senario 1.

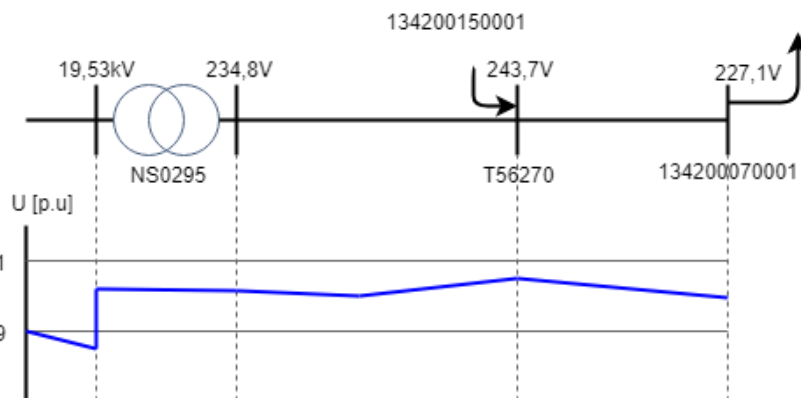
4.8.1 Spenningsforhold

Senario 3 og 4, bekrefter at lokal produksjon kan være et godt bidrag i et distribusjonsnett. Spesielt i tung-last perioder. Illustrasjonene i de tre figurene under, Figur 4.16, Figur 4.17 og Figur 4.18 viser hva som skjer med spenningen i en del av nettet, når lokal produksjon introduseres. Energien flyter hovedsakelig fra fordelingstrafoen, og utover i nettet. Pilene på samleskinnene vil indikere retning på energiflyt i tilknytningspunktene. Nettet mellom samleskinnene er betydelig forenklet, siden figuren er ment som en illustrasjon. Alle verdier benyttet i disse figurene er hentet fra tung-last senarioene 3 og 4.



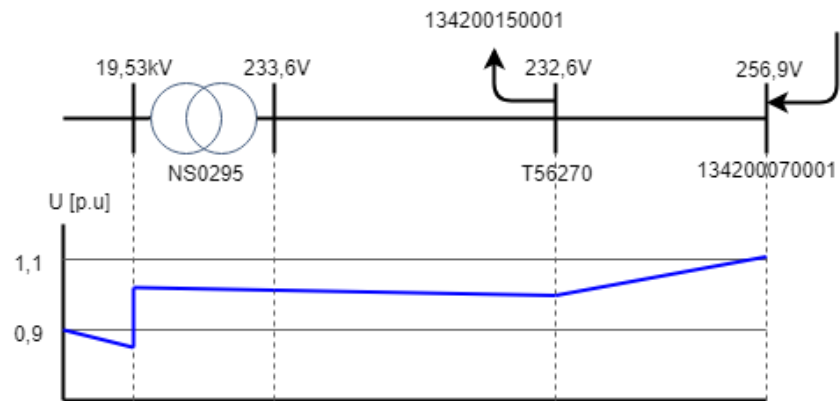
Figur 4.16 Illustrasjon av spenningsfall i nettet, uten lokal produksjon

Figur 4.16 viser spenningen i radialen som inneholdt tilknytningspunktet med lavest spenning. Her er det ingen lokal produksjon i nettet. Det er helt tydelig at ytterst i nettet er det noen utfordringer knyttet til høyt spenningsfall.



Figur 4.17 Illustrasjon av spenningsfall i nettet, med lokal produksjon i 134200150001

Figur 4.17 viser spenningen fra senario 3.5.1. Plusskunden er lokalisert i midt av radialen, og tilfører både aktiv og reaktiv effekt i punktet. Lokal produksjon bidrar her til at spenningen stiger ute i nettet, og gjør at spenningen ved ytterste forbruker er tilnærmet nominell spenning.



Figur 4.18 Illustrasjon av spenningsfall i nettet, med lokal produksjon i 134200070001

Figur 4.18 viser innvirkningen av lokal produksjon lokalisert i enden av radialen. Verdiene brukt i figuren kommer fra scenario 4.5.1. Som tidligere nevnt er spennings økning i et punkt, et problem som oppstår når man har begrenset overføringskapasitet. Dette poenget illustreres ganske tydelig i figuren over.

5 Simuleringer med innmating av enfaset distribuert produksjon

I enkelte tilfeller med mindre produksjonsanlegg, kan det være aktuelt med enfaset innmating. Målet med denne delen av simuleringene er å identifisere ved hvilken innmatet effekt, plusskunden forårsaker en spennings usymmetri over forskriftskravet som er 2%. Fordi mindre enfasede produksjonsanlegg er mest aktuelt for energiproduksjon fra solceller, begrenses disse simuleringene til lett-last perioden om sommeren.

Det ble oppdaget betydelige begrensinger i NetBas for simulering av nettsystem med ikke-symmetriske belastinger/produksjon. Den innebygde modulen viste svakheter relativt tidlig. Det ble derfor benyttet et annet verktøy, for å utføre beregninger med enfaset innmating. DIGsilent Powerfactory 2018 (PF) har muligheter for simuleringer med ubalansert lastflyt. Det ble innhentet en studentlisens for PF fra leverandøren, som har en øvre begrensing på 50 samleskinner/knutepunkter.

Tidligere er det utført en studie av Sintef Energi AS på et liknende tema. I denne studien ble det sett på virkningene av en økt penetrasjonsgrad av plusskunder i et distribusjonsnett. Det vil si et økende antall plusskunder med enfaset innmating, i nett med varierende nettstyrke. Kort oppsummert var funnene at ved få plusskunder, ville 2% kravet ved usymmetri være begrensede. Det ble funnet en sammenheng mellom nettstyrke og usymmetriske spenninger. Ved høyere penetrasjonsgrad av plusskunder, ble enfaset innmating fordelt mellom fasene innbydes. Da var utfordringen høy nettspenning, $U_n > 253V$. [2].

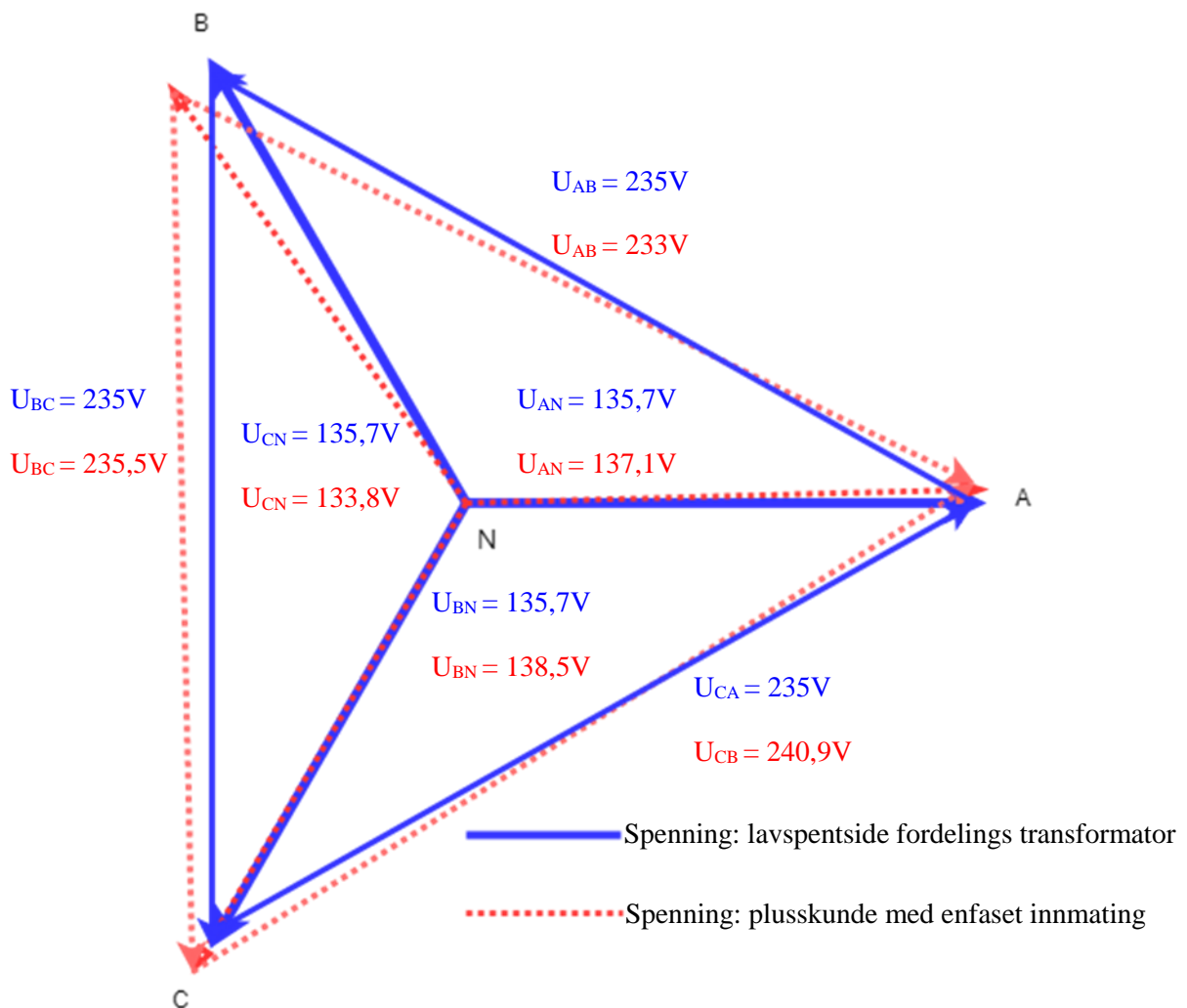
Studien til Sintef Energi benyttet en modell av et eldre kabelnett, uten stikkledninger ol. Derfor er det interessant å utføre liknende beregninger i eksempel nettet NS-0295, siden eksempel nettet hovedsakelig består av et luftnett med lavere tverrsnitt og lengere utstrekning. Ved å beholde samme plasseringene av plusskundene som i tidligere scenarioer, vil datapunkter være sammenliknbare.

Kapittelet er delt inn i de følgende fire delkapittel:

- Kapittel 5.1 Teoridel
- Kapittel 5.2 Utførelse av beregninger med enfaset innmating
- Kapittel 5.3 Resultater - Innmating av enfaset distribuert produksjon
- Kapittel 5.4 Oppsummering og delkonklusjon - innmating av enfaset distribuert produksjon

5.1 Teoridel

I kapittel 3.1.2 ble det klart at i et distribusjonsnett, kan det tillattes inntil 2% spenningsusymmetri i et tilknytningspunkt. Ved enfaset innmating vil dette være en veldig aktuell problemstilling. Usymmetri mellom fasespenninger vil oppstå når produksjon eller forbruk ikke er symmetrisk fordelt mellom alle tre fasene.



Figur 5.1 Viserdiagram med usymmetri i målestokk

Figur 5.1 viser et viserdiagram med usymmetriske spenninger. En stiv spenning på lavspentsiden av trafoen, i blått. Spenningen ved en tenkt plusskunde ytterst i nettet, i rødt. Det er enfaset innmating mellom fase a – b.

Usymmetrien i dette vektordiagramet kan regnes ut ved hjelp av formel 5.1 og 5.2

$$\beta = \frac{U_{AB}^4 + U_{BC}^4 + U_{CA}^4}{(U_{AB}^2 + U_{BC}^2 + U_{CA}^2)^2} \quad (5.1)$$

$$\frac{U_-}{U_+} = \sqrt{\frac{1 - \sqrt{3 - 6\beta}}{1 + \sqrt{3 - 6\beta}}} * 100\% \quad (5.2)$$

For den stive spenningen blir usymmetrien i henhold til formel 5.4:

$$\beta = \frac{235V^4 + 235V^4 + 235V^4}{(235V^2 + 235V^2 + 235V^2)^2} = \frac{1}{3} \quad (5.3)$$

$$\frac{U_-}{U_+} = \sqrt{\frac{1 - \sqrt{3 - 6 * \frac{1}{3}}}{1 + \sqrt{3 - 6 * \frac{1}{3}}}} * 100\% = 0\% \quad (5.4)$$

For plusskunden blir usymmetrien i henhold til formel 5.6:

$$\beta = \frac{233V^4 + 235,5V^4 + 240,9V^4}{(233V^2 + 235,5V^2 + 240,9V^2)^2} = 0,3336 \quad (5.5)$$

$$\frac{U_-}{U_+} = \sqrt{\frac{1 - \sqrt{3 - 6 * 0,3336}}{1 + \sqrt{3 - 6 * 0,3336}}} * 100\% = 2\% \quad (5.6)$$

Formel 5.4 bekrefter at ved symmetriske spenninger, er usymmetrien lik 0 %. I formel 5.6 ser vi tydelig at forskjellige linjespenninger, vil gi utslag i en hvis spenningsusymmetri.

Ser man bort fra betydelige over- eller under-spenninger, så vil de fleste enfasebelastninger ikke ha problemer med usymmetri. Gitt at grenseverdier for langvarige spenningsvariasjoner ikke overstiges. Dette fordi belastningen bare er koblet mellom to spenningspotensialer. For trefasebelastninger kan dette derimot være en utfordring. Spesielt for asynkronmaskiner med trefaset tilkobling, som er veldig avhengig av lik spenning mellom alle faser. Ubalanse i fasespenninger vil føre til en temperaturøkning i maskinen. En studie av temaet gjort ved Taipei National University of technology. Viser at alle typer ubalanser i spenning bidrar til temperaturøkning, sett i forhold til normale spenninger. Funnene viser at selv få prosents usymmetri er med på å korte betydelig ned på levetiden til en asynkronmaskin. Som følger av temperaturøkningen usymmetrien skaper [37].

5.2 Utførelse av beregninger med enfaset innmating

Det samme nettet som ble presentert i kapittel 4.2, NS0295-Tårnvik Nord beholdes. Nettinformasjonen kunne ikke eksporteres direkte fra NetBas til Powerfactory. Slik at hele nettet måtte bygges opp manuelt i PF. Alle belastninger beholdes som tre-fase symmetriske spenningsuavhengige laster. Det beholdes samme type overføringer med lik lengde. Dette gjør at det, i teorien - og med noen forenklinger som nevnes senere, er samme nettet som studeres i PF som i Netbas.

Tabell 5.1 Senarioer for simuleringer utført i Powerfactory 2018

Senario	Produksjon	Beskrivelse
1	Plusskunde i nordlig ende av distribusjonsnettet	Lavspenningsradialen består av både kabel og luftnett. Det er relativt få øvrige forbrukere på radialen.
2	Plusskunde i midt i sterkt kabelnett nært nettstasjon.	Kabelnettet er av nyere årgang med relativt høyt tverrsnitt og korte overføringer.
3	Plusskunde midt i sørlig lavspenningsradial.	Lavspenningsradialen er består for det meste av luftnett med spredte forbrukere.
4	Plusskunde i enden av sørlig radial.	Samme radial som senario 3. Plusskundens tiltenkte plassering har i innledende simuleringer vist seg å være det mest utfordrende med tanke på lav spenning i tilknytningspunktet

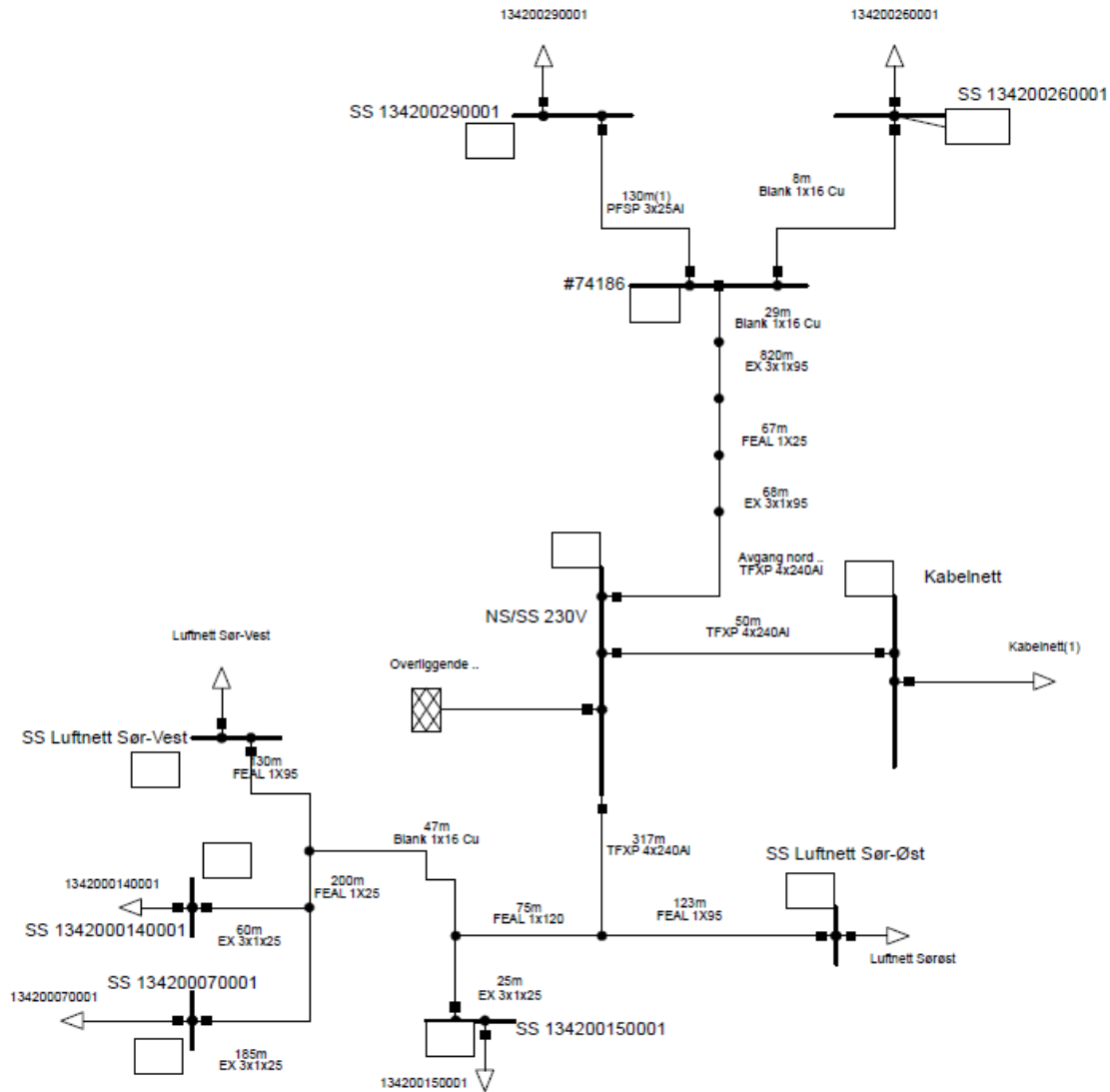
I hvert senario etableres et produksjonsanlegg i det aktuelle tilknytningspunktet. Dette etableres som et PV-anlegg med konstant PQ. Det sees nå kun på innmating av aktiv effekt. Siden innmating av reaktiv effekt vil bidra til en høyere usymmetri, som følger av at spenningen stiger raskere. Deretter kjøres det gjentagende lastflytanalyse for et ubalansert system, med økning i innmatet effekt. Frem til at spenningen ved et eller flere av tilknytningspunktene har en usymmetri større en 2%. Deretter dokumenteres resultatene, når kravet overstiges.

Produksjonsanlegget vil i alle senarioer, være tilkoblet mellom fase 1 og 2 (tilsvarende fase a og b).

Resultatene fra Powerfactory inneholder bare informasjon om fasespenninger i de forskjellige samleskinnene i nettet. Disse resultatene ble manuelt overført til MS Excel, hvor usymmetrifaktoren ble kalkulert ved hjelp av formel 5.1 og 5.2.

Utregning av summeringen til lastene i disse tre områdene kan sees i vedlegg 4.

I Figur 5.3 under kan nettet som simuleres i PF, sees i sin helhet. Det er tilnærmet identisk med Netbas modellen av samme nett. Med unntak av de tre tidligere nevnte forenklinger, samt at svingmaskinen nå ligger på lavspenning samleskinne SS 230V. Nettskjemaet finnes i større målestokk i vedlegg 6.



Figur 5.3 Forenklet nettskjema fra Powerfactory

5.2.1.2 Verifikasjon av forenklet eksempelnett NS-0295

Spenning og kortslutningseffekt i svingmaskinen er satt til henholdsvis 235V og 1,5MVA. Da er det tilnærmet identiske forhold ved lavspent samleskinne for beregningene i PF, som i tidligere Netbas beregninger. En normal lastflyt analyse uten lokal produksjon ble utført i PF.

Tabell 5.2 Sammenlikning av spenninger fra Netbas og PF

Samleskinne	Netbas [V]	Powerfactory [V]	Avvik [%]	Kommentar
SS 230V	234,7	235	0,12	Lavspent samleskinne
134200290001	231,9	231,4	0,21	Tilknytningspunkt for plusskunde i senario 1
134200150001	232,9	231,6	0,55	Tilknytningspunkt for plusskunde i senario 3
134200070001	227,4	226,0	0,62	Tilknytningspunkt for plusskunde i senario 4

I Tabell 5.2, ser man at forenklingen av nettet har et marginalt utslag. Sammenlikning ved plusskundens plassering i senario 2 ble utelatt, siden kabelnettet har blitt forenklet. Det ble funnet et maksimalt avvik på 0,62% mellom simuleringene. Utskrift av spenningsforholdene i denne lastflytanalysen utført i PF kan sees i vedlegg 7. Tilsvarende resultater fra Netbas finnes i vedlagt zip-fil.

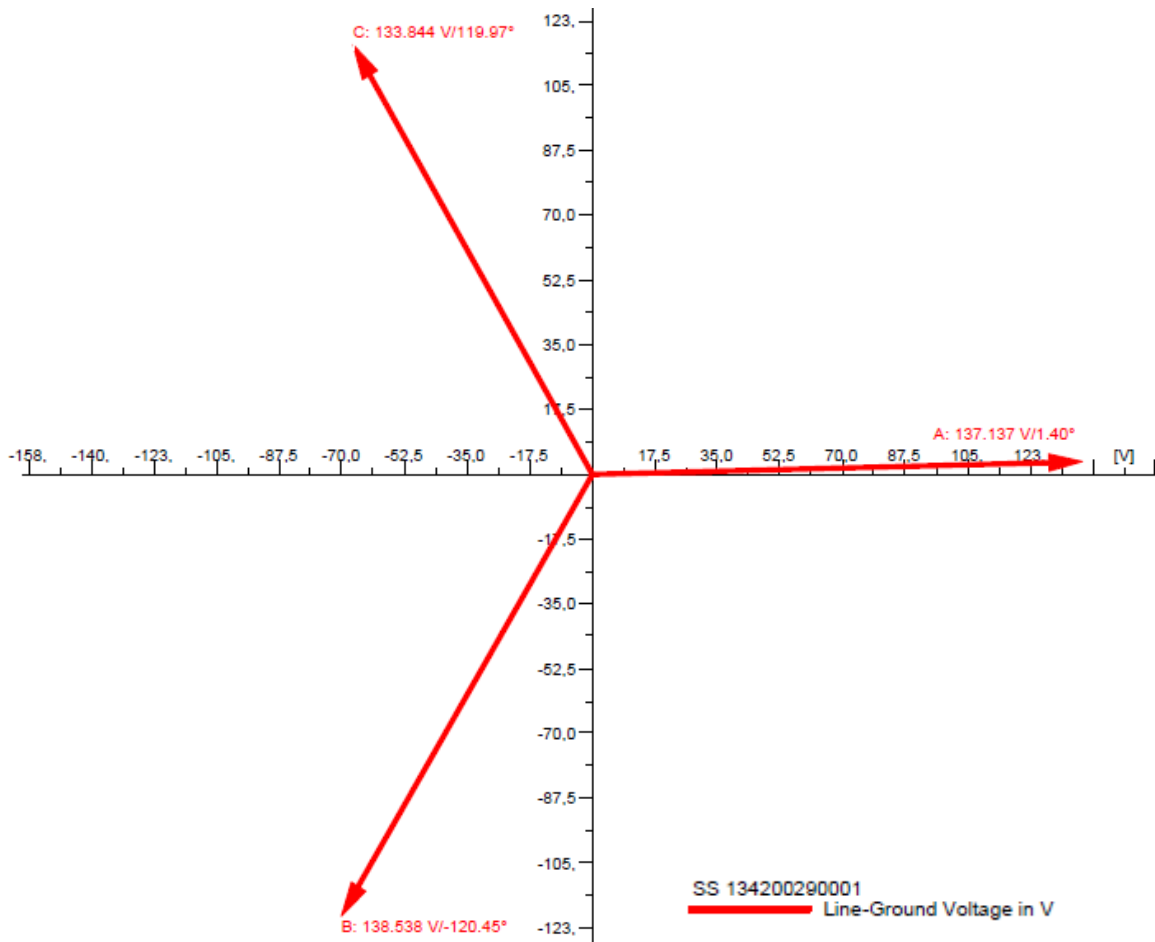
5.3 Resultater - Innmating av enfaset distribuert produksjon

5.3.1 Senario 1

Plusskunden er i senario 1 plassert på samleskinne 134200290001. På denne radialen var det bare en annen forbruker. Allerede ved innmating av 2kW mellom fase 1 og 2, var usymmetrien i fasespenningene mer enn 2%. Et utdrag av resultatene for denne beregningen kan sees i Tabell 5.3. Komplette utskrift av beregningsresultatene kan sees i vedlagt zip-fil.

Tabell 5.3 Enfasesimuleringer senario 1. 2kW innmating mellom fase 1 og 2

Samleskinne	U _{1n} [V]	U _{2n} [V]	U _{3n} [V]	FoL Brutt ?	Usymetri [%]
NS 0295 - 230V	135,5	135,9	135,7	Nei	0,15
#74186	136,3	137,6	134,1	Nei	1,50
Kabelnett	135,0	135,3	135,1	Nei	0,14
134200140001	131,0	131,3	131,1	Nei	0,16
134200070001	130,3	130,7	130,5	Nei	0,16
134200150001	133,6	133,9	133,7	Nei	0,15
134200260001	136,3	137,6	134,1	Nei	1,50
134200290001	137,1	138,5	133,8	Ja	2,04
Luftnett Sør-Vest	132,5	132,8	132,6	Nei	0,15
Luftnett Sør-Øst	133,8	134,2	133,9	Nei	0,15



Figur 5.4 Viserdiagram med fasespenninger fra lokal innmating av 2kW mellom fase a – b

I Figur 5.4 kan resultatene av enfasert innmating i dette punktet sees tydelig. Differansen i absoluttverdien mellom fasespenningen er maksimal mellom fase b – c, på 4,7V.

5.3.1.1 Kommentar til resultater

Man ser tydelig i Tabell 5.3 og Figur 5.4, at enfasert innmating kan være en utfordring langt ute i distribusjonsnettet. Spesielt når det er lite annet forbruk i nær tilknytning til plusskunden. 2 kW er relativt lav produksjon. Dette tilsvarer 7 solcellepaneler på 300W, og kan ansees som et sannsynlig PV-anlegg nå og i fremtiden.

Et annet viktig moment, er at 2kW enfasert innmating er betydelig mindre enn de tillatte 3,6kW i henhold til REN blad 0342 [38]. Nå er det kun den aktuelle kunden som opplever usymmetriske spenninger i sitt tilknytningspunkt. Dette kan altså tillates i henhold til FoLs paragraf § 2-1, så lenge ingen andre blir berørt [27]. Den andre forbrukeren på radialen opplever da en usymmetri på 1,5%. Dette gjør at man er i en sårbar situasjon, hvis belastninger mellom fase 1 og 2 skulle falle bort. Da vil usymmetrien i fasespenningene bli mer fremtreden.

5.3.2 Senario 2

I senario 2 er plusskunden tilkoblet samme samleskinne som sumlasten for kabelnettet. Ved innmating av 25kW mellom fase 1 og 2 var usymmetrien i kabelnettet 2,08%. Et utdrag av øvrige resultater kan sees i Tabell 5.4. Komplette resultater finnes i vedlagt zip-fil. Viserdiagram av fasespenninger, finnes i vedlegg 8.

Tabell 5.4 Enfasesimuleringer senario 2. 25kW innmating mellom fase 1 og 2

Samleskinne	U _{1n} [V]	U _{2n} [V]	U _{3n} [V]	FoL Brutt ?	Usymetri [%]
NS 0295 - 230V	133,7	138,0	135,4	Nei	1,85
#74186	132,1	136,5	133,9	Nei	1,90
Kabelnett	133,5	138,2	134,8	Ja	2,08
134200140001	129,1	133,5	130,9	Nei	1,98
134200070001	128,4	132,9	130,2	Ja	2,01
134200150001	131,7	136,1	133,5	Nei	1,91
134200260001	132,1	136,5	133,9	Nei	1,90
134200290001	131,8	136,2	133,6	Nei	1,90
Luftnett Sør-Vest	130,6	135,0	132,4	Nei	1,95
Luftnett Sør-Øst	131,9	136,3	133,7	Nei	1,90

5.3.2.1 Kommentar til resultater fra senario 2

I dette senarioet er plusskunden tilknyttet øvrig nett mye sterkere. Samt at forbruket i umiddelbar nærhet er høyere. Derfor er det mulighet for større enfaset innmating av effekt, uten at dette byr på problemer i slike punkter.

En annen interessant observasjon som kan gjøres i Tabell 5.4, er tilknytningspunktet ved samleskinne 134200070001, hvor plusskunden etterhvert plasseres i senario 4. Her overstiger tillatt spennings usymmetri nå 2%, enda det er langt mellom disse punktene i nettet. Dette kan forklares med at det er en relativt stor usymmetri ved lavspenn samleskinne i nettstasjonen, som følger av den enfasede innmatingen. Denne forsterkes av spenningsfall i overføringer til de svakeste punktene i nettet, og skaper tilslutt en ikke forskriftsmessig driftssituasjon hos siste forbruker.

5.3.3 Senario 3

Plusskunden er i senario 3 plassert ved samleskinne 134200150001. Ved 9kW innmating mellom fase 1 og 2 var usymmetrien i fasespenningen ved det aktuelle tilknytningspunktet 2,01%. Et utdrag av øvrige resultater kan sees i Tabell 5.5. Komplette resultater finnes i vedlagt zip-fil. Viserdiagram av fasespenninger, finnes i vedlegg 8.

Tabell 5.5 Enfasesimuleringer senario 3. 9kW innmating mellom fase 1 og 2

Samleskinne	U _{1n} [V]	U _{2n} [V]	U _{3n} [V]	FoL Brutt ?	Usymetri [%]
NS 0295 - 230V	135,0	136,5	135,6	Nei	0,66
#74186	133,4	135,0	134,0	Nei	0,67
Kabelnett	134,4	135,9	135,0	Nei	0,66
134200140001	131,3	134,6	131,0	Nei	1,74
134200070001	130,6	133,9	130,4	Nei	1,76
134200150001	134,8	138,1	133,6	Ja	2,01
134200260001	133,4	135,0	134,0	Nei	0,67
134200290001	133,2	134,7	133,8	Nei	0,68
Luftnett Sør-Vest	132,8	136,0	132,5	Nei	1,70
Luftnett Sør-Øst	134,1	136,6	133,9	Nei	1,28

5.3.3.1 Kommentar til resultater fra senario 3

Her var plusskunden plassert relativt sentralt på en radial. Sterk kobling mot øvrig nett, samt nærhet til store belastninger gjør at det kunne mates inn relativt mye effekt mellom fase 1 og 2, uten at dette skapte store problemer.

5.3.4 Senario 4

I det siste senarioet, var plusskunden plassert ved det stedet i nettet som hadde høyest spenningsfall. Sett fra fordelingstrafoen. Dette var ved tilknytningspunkt 13420007001. 3kW enfaset innmating mellom fase 1 og 2 ga en usymmetri på 2,85% i det aktuelle tilknytningspunktet. Et utdrag av øvrige resultater kan sees i Tabell 5.6. Komplette resultater finnes i vedlagt zip-fil. Viserdiagram av fasespenninger, finnes i vedlegg 8.

Tabell 5.6 Enfasesimuleringer senario 4. 3kW innmating mellom fase 1 og 2

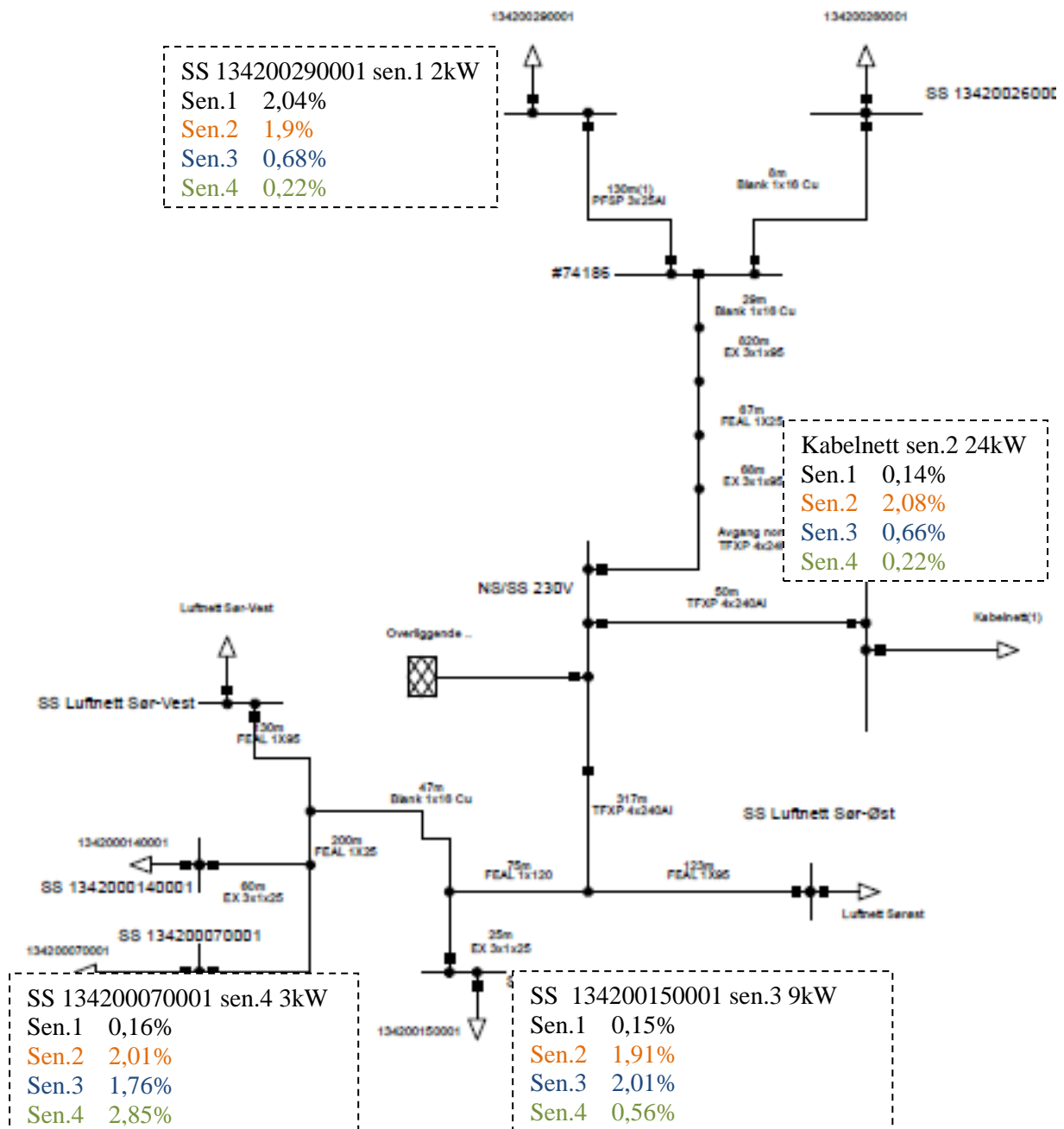
Samleskinne	U _{1n} [V]	U _{2n} [V]	U _{3n} [V]	FoL Brutt ?	Usymetri [%]
NS 0295 - 230V	135,5	136,0	135,6	Nei	0,22
#74186	133,9	134,4	134,1	Nei	0,22
Kabelnett	134,9	135,4	135,1	Nei	0,22
134200140001	132,9	135,1	131,1	Nei	1,72
134200070001	134,6	137,0	130,4	Ja	2,85
134200150001	133,8	134,9	133,7	Nei	0,56
134200260001	133,9	134,4	134,1	Nei	0,22
134200290001	133,6	134,2	133,8	Nei	0,22
Luftnett Sør-Vest	133,2	134,5	132,6	Nei	0,84
Luftnett Sør-Øst	134,0	134,8	133,9	Nei	0,43

5.3.4.1 Kommentar til resultater fra senario 4

Ved 2 kW innmatet effekt var ikke usymmetrien i fasespenningene over 2%. Sammenliknes dette med resultatet fra senario 1. Tåler distribusjonsnettet marginalt mer enfaset innmating av effekt her, enn helt nord i nettet. Dette kan forklares med at det er større forbruk i nærliggende områder, i forhold til plusskunden. Igjen er dette lavere enn hva som er tillatt i henhold til REN blad 0342. Som tillater enfaset innmating på inntil 3,6kW.

5.4 Oppsummering og delkonklusjon - innmating av enfaset distribuert produksjon

I Figur 5.5 under kan en oversikt over det usymmetrien i fasespenninger forskjellige steder i nettet, ved de forskjellige scenarioene sees. Det presiseres at det kun var innmating ett sted av gangen.



Figur 5.5 Nettskjema med påførte verdier for usymmetri for hvert scenario

Hver av boksene i Figur 5.5 representerer:

- Plassering av plusskunden
- Innmatet effekt i hvert scenario
- Resultater ved hver samleskinne for hvert av scenarioene.

Gjennom simuleringer med forskjellige plasseringer av en plusskunde, med enfaset innmating. Har innvirkningene på øvrig distribusjonsnett blitt undersøkt. Det har vist seg å være store forskjeller for hvor mye enfaset innmating nettet tåler forskjellige steder.

Høy spenning var ikke et problem i noen av lastflytberegningene utført i PF. Da innmatet effekt var vesentlig lavere enn i de foregående beregningene.

Dersom en plusskunde i samråd med nettselskapet, kun hadde fulgt REN blad-0342, og dermed koblet til et enfaset produksjonsanlegg på 3,6kW, ville det i to av disse scenarioene. Vært foretatt brudd på forskriftskravet for usymmetri. Det er derfor viktig at det gjøres en vurdering i forkant, når det meldes interesse for etablering av et produksjonsanlegg. I vurderingen bør det tas hensyn til nettstyrke, størrelse på ønsket anlegg, andre forbrukere i nær tilknytning og nettets utstrekning fram til kunden.

Som simuleringene i de to programmene viste, er størrelsen på maksimal innmatet effekt avhengig av hovedsakelig to ting; Enfaset eller trefaset innmating, og plusskundens plassering i nettet. En oppsummering kan sees i Tabell 5.7.

Tabell 5.7 Sammenlikning av resultater fra enfaset og trefaset innmating

Scenario	Maksimal effekt ved trefaset innmating [kW]		Maksimal effekt ved enfaset innmating [kW]	Kobling mot øvrig nett
	Vinter	Sommer	Sommer	Kommentar
1	14	10	2	Svak
2	100	100	24	God
3	40	40	9	Middels
4	22	14	3	Svak

6 Diskusjonsdel om plusskunders bidrag i et lavspent distribusjonsnett

Samtlige nettselskaper i Norge holder per nå (2018) med en storstilt utskifting av alle målere hos sine forbrukere. Innen 1.januar 2018, skal nettselskapene har installert AMS (Avanserte måle- og styringssystem) i alle målepunkt innenfor sitt konsesjonsområde [44].

Et utdrag av de viktigste funksjonskravene som er stilt til de nye målerne, er definert i §4-2 i forskrift om kraftomsetning og nettjenester [44]. Målerne skal:

- Kunne kommunisere med eksternt utstyr på åpne standarder, gjennom et standardisert grensesnitt.
- Kommunisere med andre type målere
- Kunne begrense eller bryte effektuttaket i enkelte målepunkt.
- Registrere aktiv og reaktiv effektflyt, i begge retninger
- Kunne overføre styrings- og jordfeilsignal.
- Kunne sende og mota informasjon om kraftpriser og tariffer

Typen AMS-målere Nordlandsnett benytter i sine nett, har mulighet for følgende målinger i tilknytningspunktet:

- Strøm og spenning
- Total harmonisk forvrenging
- Varsel ved strømbrudd
- Spenningsusymmetri
- Logging av maksimum-, minimum- og gjennomsnittsverdier for spenning
- Deteksjon av over- og underspenning (konfigurerbare grenseverdier og varighet)
- Deteksjon av jordfeil

For den enkelte forbruker innebærer dette kun mindre endringer, så lenge dagens modell for nettleie og strømtariffer beholdes. Derimot vil åpningen for kommunikasjon mellom AMS-måleren og eksternt utstyr, bane vei for nye muligheter. For en plusskunde vil kommunikasjon med sin egen måler ha begrenset nytteverdi. Utover det å ha kjennskap til energiflyten i målepunktet. Benyttes derimot signaler fra ander omkringliggende målere, vil plusskunden kunne bidra til å bedre leveringskvaliteten i hele det lavspente distribusjonsnettet.

I dette kapittelet diskuteres det fire konkrete ting, som en plusskunde bidrar eller kan bidra med. Presentert som skisser på løsninger.

- Kapittel 6.1 Reduserte tap i nettet
- Kapittel 6.2 Muligheter for å balansere usymmetriske spenninger
- Kapittel 6.3 Spenningsregulering ved hjelp av reaktiv effekt
- Kapittel 6.4 Drift av mikro-nett ved utfall

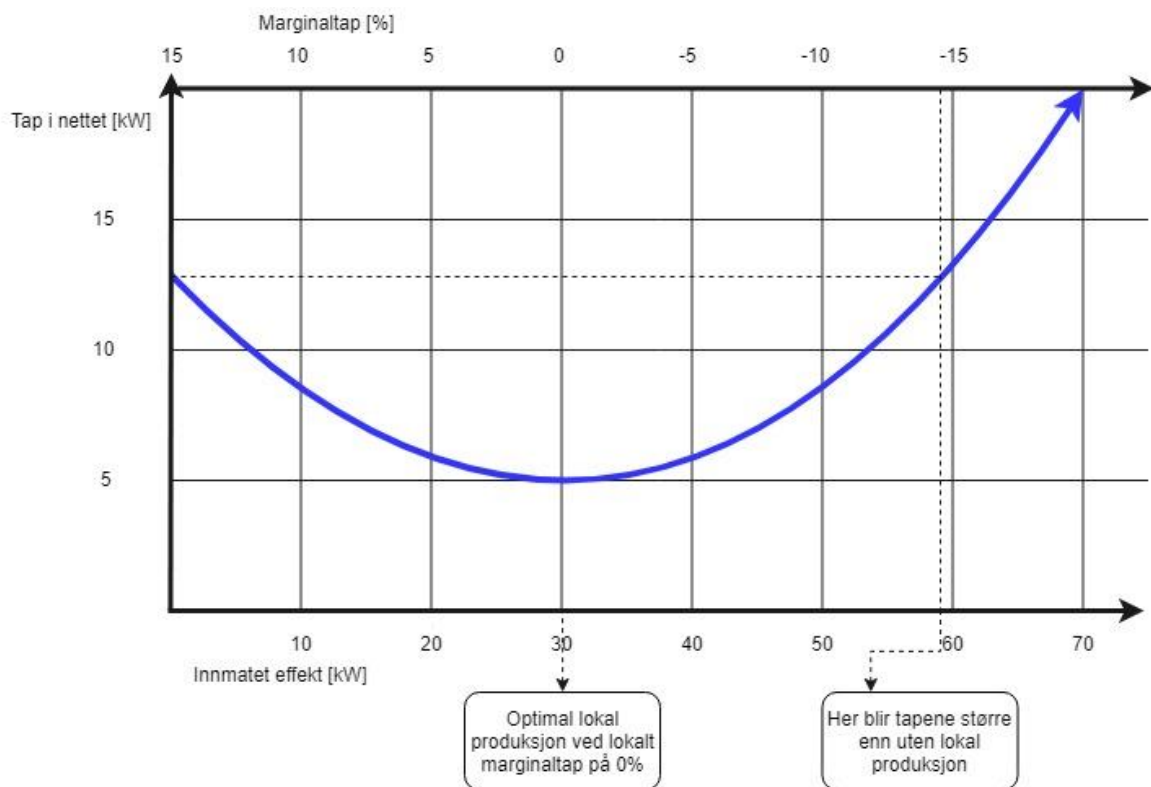
Grunnet tidsbegrensninger, måtte denne mulighetsstudien begrenses til fire overnevnte tema.

6.1 Reduserte tap i nettet

Reduserte overføringstap i nettet er nok den mest åpenbare fordelen ved distribuert produksjon. Ved lokal overproduksjon, vil plusskunden være med å dekke opp noe av det øvrige forbruket i omkringliggende nett. Dette gjør at energien får kortere overføringsvei, mellom produksjon og forbruk, som dermed gir redusert belastning på øvrig overføringsnett.

Siden det nå flyter mindre energi i gjennom overføringer, vil aktive og reaktive tap i nettet reduseres. Dette innebærer også at spenningsfallene, i de samme overføringene vil bli lavere. I henhold til teorien i kapittel 4.1.1. Reduserte spenningsfall vil antas å bidra positivt i de fleste tilfeller, ettersom problemet ofte er lave spenninger i svake nett.

I kapittel 4.8 ble det konkludert med at lokal produksjon kan ha positive innvirkninger på spenning, og effektforhold i et sterk belastet nett. I dag er det vanlig å kompensere plusskunder med et negativt energiledd for innmatet effekt, siden man ofte bidrar til lavere tap i nettet. I tilfeller med stor lokal produksjon, vil plusskunden derimot bidra til å øke tapene i nettet.



Figur 6.1 Kurve for tap i nettet som funksjon av innmatet effekt.

Figur 6.1 viser en kurve for tap i nettet, som en funksjon av innmatet effekt fra en tenkt plusskunde. Verdiene er fiktive, men kurveformen og krysningpunktene er karakteristiske. I intervallet mellom 0 til ≈ 59 kW er tapene i nettet lavere, enn uten lokal produksjon. Hvis innmatingen overstiger 59 kW i denne, vil plusskunden øke tapene i nettet, utover opprinnelig situasjon uten lokal produksjon.

I dag er det ingen mekanismer som fanger opp dette. Dette medfører at den lokale produksjonen til en plusskunde kan påføre nettselskapet større tap i nettet, uten å bli belastet for dette økonomisk. I andre rekke medfører dette tapet må tas inn gjennom økt nettleie.

Bør en plusskunde betale for det økte tapet?

Tapene i nettet vil variere med øvrig lastsituasjon. Lavere last i nettet vil gjøre at tapene nettet øker raskere. Ved en høyere last situasjon, skjer det motsatte. Dette gjør at man får en dynamisk situasjon, hvor tapskurven vil forandre seg hele tiden. Dermed kan grenseverdien være en helt annen etter et kort øyeblikk. Det er derfor utfordrende å sette en fast grenseverdi, for maksimal produksjon.

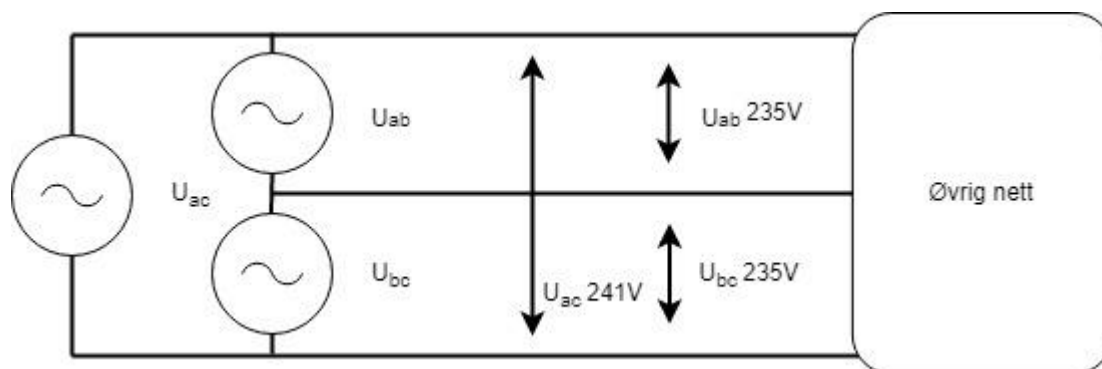
Hvis en annen forbruker i nær tilknytning til den eksisterende plusskunden, også ønsker å etablere sitt eget produksjonsanlegg. Har denne problemstillingen blitt enda mer utfordrende. Siden den første plusskunden allerede har "brukt opp" hele, eller deler av forbedringspotensialet tapsmessig. Er det da den nye plusskunden som bør dekke inn det økte tapet, som følger av sin egen produksjon. Eller bør begge plusskundene belastes for dette. I fremtiden vil dette være helt klar utfordring hvis det dukker opp flere større plusskunder, i ett og samme distribusjonsnett.

Eksempelvis vil et solcelleanlegg ha høyest produksjon om sommeren, når lasten i nettet er lavest. Utfordringene knyttet til økte tap i nettet, kom tydelig frem i beregningene utført i kapittel 4.

For konsesjonspliktige produksjonsanlegg i de øvre nettnivåene, benyttes det marginaltapssatser for innmating. Disse tar da hensyn til lokal energibalanse, slik at man blir avregnet ut fra den lokale energibalansen i innmatingspunktet [40]. Innføring av et slikt system for plusskunder i lavspente distribusjonsnett, kan være en måte å løse utfordringen. I dag utgjør ikke stor lokal produksjon et stort problem, men problemstillingen bør derimot tas opp i fremtiden, hvis det skulle bli aktuelt.

6.2 Muligheter for å balansere usymmetriske spenninger

Gjennom simuleringene i kapittel 5, ble det identifisert noen utfordringer knyttet til usymmetri i spenninger som følger av enfaset innmating. Denne usymmetrien oppstår også ved tilkobling av enfaset last. Det kan derfor tenkes at i svake distribusjonsnett, er ikke alle nettselskapene kjent med denne problemstillingen.



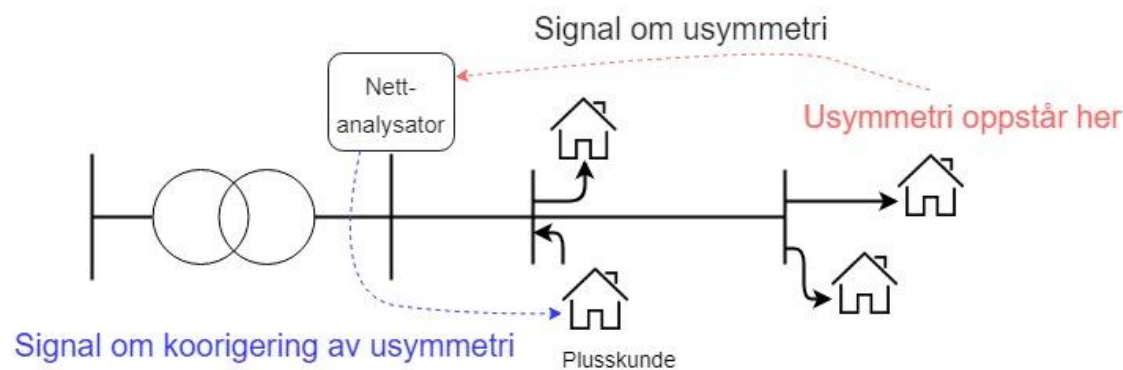
Figur 6.2 Vekselretter for balansering av usymmetrisk last.

I Figur 6.2 er en tenkt situasjon, med ulike linjespenninger i tilknytningspunktet.

Her åpner det seg en mulighet for å utnytte potensialet i vekselrettere knyttet til lokal produksjon. I tilfeller med en trefase, eller tre enfase vekselrettere. Hvis spenningen på utgangene til vekselretteren styres individuelt, vil man kunne bidra til å redusere usymmetrien i deler av distribusjonsnett

Dette gjøres ved å redusere innmating mellom fase a – c, og samtidig øke innmating mellom fasene a – b og b – c. Dermed bidrar vekselretteren til å stabilisere den oppståtte usymmetrien. Dette gjøres praktisk ved å regulere ned spenningen mellom a – c, og opp mellom de resterende fasene.

Gjennom beregningene i kapittel 5, så man tydelig at usymmetrien forplantet seg ulikt utover i distribusjonsnett. Figur 5.5 illustrerte dette fenomenet. I stedet for å benytte verdiene i det aktuelle tilknytningspunktet, som referanseverdier for individuell kontroll av vekselretterens utgangsspenning. Kan data fra AMS-målerne i de øvrige tilknytningspunktet i distribusjonsnett benyttes. Gjennom en innsamling av alle, eller bare et par strategisk utvalgte måleverdier. Vil man kunne benytte disse verdiene som referanseverdier for kontroll av utgangsspenningen til vekselretteren.



Figur 6.3 Skisse for løsning

I Figur 6.3 kan en enkel skisse for en slik løsning sees. Slik vil man kunne bidra til å redusere spenningsusymmetri lengere ut i nettet. Det kan da gå på bekostning av økt usymmetri i innmatingspunktet.

Det er noen klare utfordringer med en slik løsning. Den største er praktisk gjennomføring av individuell styring av vekselretterens utganger. De fleste trefaset vekselrettere er beregnet for symmetrisk innmating. Dermed benyttes det ofte en spenning som referanse for alle tre utgangene. Noe som gjør at de ikke har muligheten for individuell kontroll av hver enkelt utgangsspenning.

For anlegg med tre mindre enfasede vekselrettere, bør det derimot være enklere å gjennomføre en slik løsning. Disse er individuelt koblet utenom hverandre, og har dermed tre forskjellige parameter for utgangsspenning.

Når de pågående AMS-prosjektene avsluttes, og nettselskapene begynner å få inn data fra disse. Vil man raskt kunne se om dette faktisk er et problem. Skulle det vise seg at usymmetri er en utfordring. Kan dette være et alternativ til å styrke distribusjonsnett. I så tilfelle, må det nok etableres økonomiske mekanismer som kan gjøre dette attraktivt.

Om dette er praktisk gjennomførbart er ikke gransket, men foreslås undersøkt i fremtiden.

6.3 Spenningsregulering ved hjelp av reaktiv effekt

I svake distribusjonsnett kan varierende spenninger i nettet, ofte være en stor utfordring. Eksempelvis høye spenninger om sommeren, når lasten i nettet er lavest. Til å ha svært lave spenninger, som følger av høy last med tilhørende høyt spenningsfall om vinteren. Dette kom tydelig frem i kapittel 4.

De fleste vekselrettere har mulighet for innmating av både aktiv og reaktiv effekt. Dette gjør at vekselrettern kan bidra til spenningsstabilisering i distribusjonsnettet. I kapittel 4 så man at ved innmating av reaktiv effekt, økte spenningen mer. Sammenliknet med innmating av bare aktiv effekt. I vedlegg 9 finnes et datablad, for det som kan ansees som en typisk 6kVA vekselretter. Beregnet for energiproduksjon fra solceller. Denne har mulighet for drift med effektfaktor fra 0,8 induktiv til 0,8 kapasitiv. Dette innebærer at vekselretteren kan i tillegg til å mate inn aktiv effekt. Enten trekke eller levere reaktiv effekt fra/til nettet.

Slik kontroll av reaktiv effekt, gjør at man kan utnytte vekselretteren til å foreta lokal regulering av spenningen i deler av nettet. Benyttes det data fra øvrige AMS-målere, lik løsningen for stabilisering av usymmetri foreslått i kapittel 6.2. Vil vekselretteren kunne styres slik at den bidrar med økende reaktiv effekt, når spenningen faller under et gitt nivå. I tilfeller hvor spenningen i nettet er for høy, vil den kunne trekke reaktiv effekt, eller reduserer innmating av aktiv effekt. For å senke spenningen i nettet.

I høyere spenningsnivå er det mer vanlig å ha utstyr for slik spenningsregulering, ved hjelp av reaktiv effekt. Da i form av SVC- (static voltage compensator), STATCOM- (static synchronous compensator) eller en roterende fasekompensator. Prinsippet med spenningsregulering ved hjelp av reaktiv effekt er altså godt kjent. Dermed burde styringen kunne implementeres i lavspente distribusjonsnett.

En utfordring knyttet til dette, er de store variasjonene i lokal produksjon. Siden aktuell produksjon er avhengig av værforholdet i øyeblikket. En annen utfordring, er den økonomiske delen av en slik løsning. Plusskunder kompenseres ikke for reaktiv effekt i dag. Men dersom et nettselskap kan utnytte plusskundens anlegg til å utsette, eller avstå fra dyre prosjekter knyttet til nettførsterkninger. Er dette en problemstilling det bør jobbes videre med.

6.4 Drift av mikro-nett ved utfall

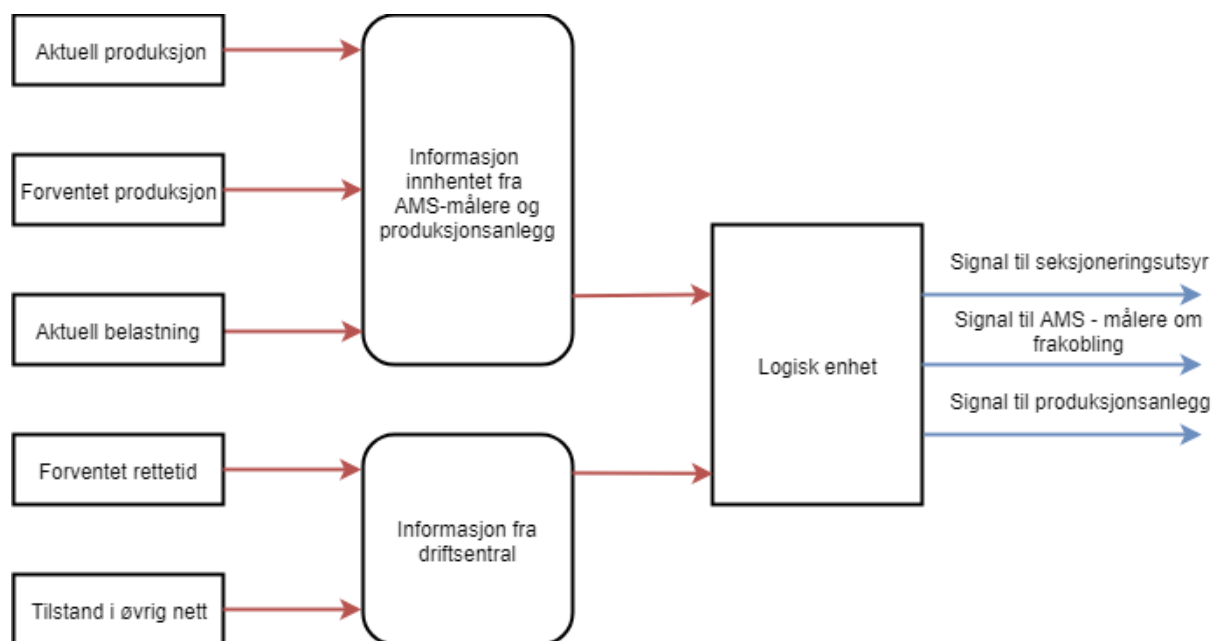
En plusskunde kan teoretisk sett drifte sitt eget offline mikro-nett. I dag begrenses denne muligheten ved krav om at produksjonsanlegget skal kobles automatisk fra ved bortfall av nettspenning. Dette er beskrevet i kapittel 3.2. Hadde disse kravene vært endret, vil man kunne vært selvforsynt med elektrisitet i feilsituasjoner. Hvis overskuddet av energi var stort nok, kunne deler av det øvrige distribusjonsnettet driftes separat i kortere tidsrom. Dette vil være spesielt interessant hvis det er et relativt stort produksjonsanlegg, gjerne med energilagring i form av batterier.

Det som kanskje er den største utfordringen til dette, er dagens muligheter for å dele opp nettet. Siden det ikke kan forventes at en plusskunde vil kunne forsyne svært mange forbrukere. Må man kunne fjerne deler av lasten slik at produksjonsanlegget vil kunne takle belastningen.

Luft- og kabelnett er ofte koblet sammen av relativt enkelt koblingsutstyr, som krever et visst inngrep for å koble til/fra. I de tilfeller der man har betjenbart koblingsutstyr, eksempelvis nettstasjon, kabelskap eller i enkelte mastearrangement. Er det ofte sikringslastbrytere eller tilsvarende koblingsutstyr som finnes. Slikt utstyr må gjerne betjenes manuelt, og krever kvalifisert personell. Det kan da tenkes at verdifull tid som kunne vært benyttet til feilsøking/-retting går tapt for å koble om små deler av nettet.

En annen utfordring vil oppstå når feilretting er utført, ettersom separate nett må kobles sammen igjen. Dette krever innfasingsutstyr, siden frekvens, spenning og fasevinkel må være tilnærmet lik. Dette er ofte kostbart utstyr, og kan ansees som uhensiktsmessig å ha i alle koblingspunkter i et lavspent nett.

For å kunne dele av et distribusjonsnett effektivt, bør man ha fjernbetjente koblingsenheter. En tenkt løsning vill være å kunne styre alle lavspenningsavgangene i nettstasjonen. Man vil da oppnå en viss fleksibilitet med tanke på belastning og seksjonering. Eller kunne en enda bedre løsning kunne vært å ha en logikkstyrt seksjonering.



Figur 6.4 Forslag på signalskjema

Figur 6.4 viser hvordan et signalskjema som kan være løsningen på automatisk oppretting av mikro-nett. Fra plusskunden(e) og øvrige forbrukere innhentes informasjon om produksjon og forbruk. Samt et estimat av forventet produksjon innenfor et gitt tidsrom i fremtiden. Det bør også inngå informasjon om tilstanden til øvrig nett, og forventet rettetid. Ut fra disse parameterne kan det tas en beslutning på først og fremst, om det er fornuftig å drifte deler av nettet separat. Deretter hvor stor del av nettet som kan driftes.

Seksjonering og begrenning av last kan hovedsakelig gjøres med koblingsutstyr i nettet. Med de nye AMS-målerne vil det også være mulig å styre enkelte tilknytningspunkter. Det er som nevnt tidligere krav om at de skal ha mye ny funksjonalitet. Deriblant kunne bryte og begrense effektuttak i noen tilknytningspunkter. Kunne kommunisere med eksternt utstyr på åpne standarder og overføre styringssignaler. Dette åpner for flere muligheter for å begrense lastuttaket i enkelte punkter av nettet. Deretter kan det benyttes en forhåndsdefinert modell av hvilke tilknytningspunkt som prioriteres forsynt i et lokalt mikro-nett, slik at belastning kan tilpasses produksjon.

Fortsatt gjenstår problemet med sammenfasing av to separate nett. Dette kan gjøres med synkroniseringsutstyr plassert ute i nettet. En noe mer ugunstig løsning vil være å benytte muligheten i AMS-målerne til å kutte alt forbruk i samtlige tilknytningspunkt. Dette medfører at alle kunder er spenningsløse før normal energiforsyning kobles inn igjen. Når normal drift er gjenopptatt, kobles alle kunder inn igjen.

Det er noen klare utfordringer med denne skisserte muligheten.

- Dagens regelverk som klart spesifiserer at lokale produksjonsanlegg skal frakobles ved bortfall av nettspenning.
- Kommunikasjon mellom produksjonsanlegg, målere ol. Utstyret hos plusskunden må kunne kommunisere med øvrig utstyr.
- Ansvarsforhold. Hvis en går over til mikro-nett drift ved bortfall av normal energiforsyning, hvem står ansvarlig for at kravene satt i FoL overholdes.
- Kost/nytte-verdi. Hvor stort behov er det for en slik funksjonalitet? I 2016 var gjennomsnittlig leveringspålitelighet i Norge på 99,987%. Dermed kan være begrenset utbytte av en slik løsning enkelte steder [45].

7 Konklusjon

En forbruker som ønsker å starte med egen produksjon av elektrisk energi, må ta stilling til relativt mange forskjellige momenter. Alt fra hvilken energikilde, størrelse på anlegg og regelverk kan være en utfordring å navigere seg gjennom. Foreløpig er egenproduksjon forbeholdt de med spesiell interesse for nettopp dette. Men etterhvert som teknologien og markedet modnes, antas det at plusskunder vil bli mer utbredt.

Det ligger allerede klar en rekke tekniske krav og anbefalinger for plusskunder, disse skal sikre at det ikke skapes unødvendige utfordringer for netteier. Men det viste seg at enkelte av disse, ikke vil sikre at forskriftskrav om leveringskvalitet opprettholdes i svake lavspente distribusjonsnett.

Gjennom de forskjellige simuleringene. Ble det klart at plusskundens plassering i nettet, vil være helt avgjørende for hvor stor produksjon som kan tillates. Man risikerer spenninger i nettet som bryter satte forskriftskrav, som følger av den lokale produksjonen. For enfasert innmating fant man den samme forbindelsen mellom spenningsutfordringer og nettstyrke. I dette tilfellet var det usymmetriske spenninger som var problemet. Dette ble mer fremtreden i de deler av nettet som kan ansees som svært svake.

Avslutningsvis ble det foreslått flere mulige løsninger, som omhandlet potensialet som ligger i en plusskunde. Hovedsakelig sett fra et nettselskaps perspektiv. Flere løsninger på problemer som ble oppdaget under simuleringene ble presentert. Det ligger mange muligheter for en netteier å utnytte lokal produksjon fra en plusskunde. Men de store utfordringene knyttet til uforutsigbar produksjon og økonomi, gjør at plusskundemarkedet i dag ikke ansees som klar for å levere andre tjenester utover innmating av aktiv effekt.

Forslag til fremtidig arbeid:

- Se på hvilken økonomisk modell som kan sikre at plusskunder ikke påfører nettselskapene unødige kostnader.
- Utarbeide en modell med tilhørende styring, for spenningsstabilisering ved hjelp av reaktiv effekt i lavspente distribusjonsnett.
- Undersøke hvordan en trefase vekselretter kan styres for å redusere usymmetri, slik foreslått i kapittel 6.2. Herunder utarbeidelse av styrekrets for slik kontroll.
- Studere dynamiske forhold knyttet til en plusskunde i et svakt nett.

Referanseliste

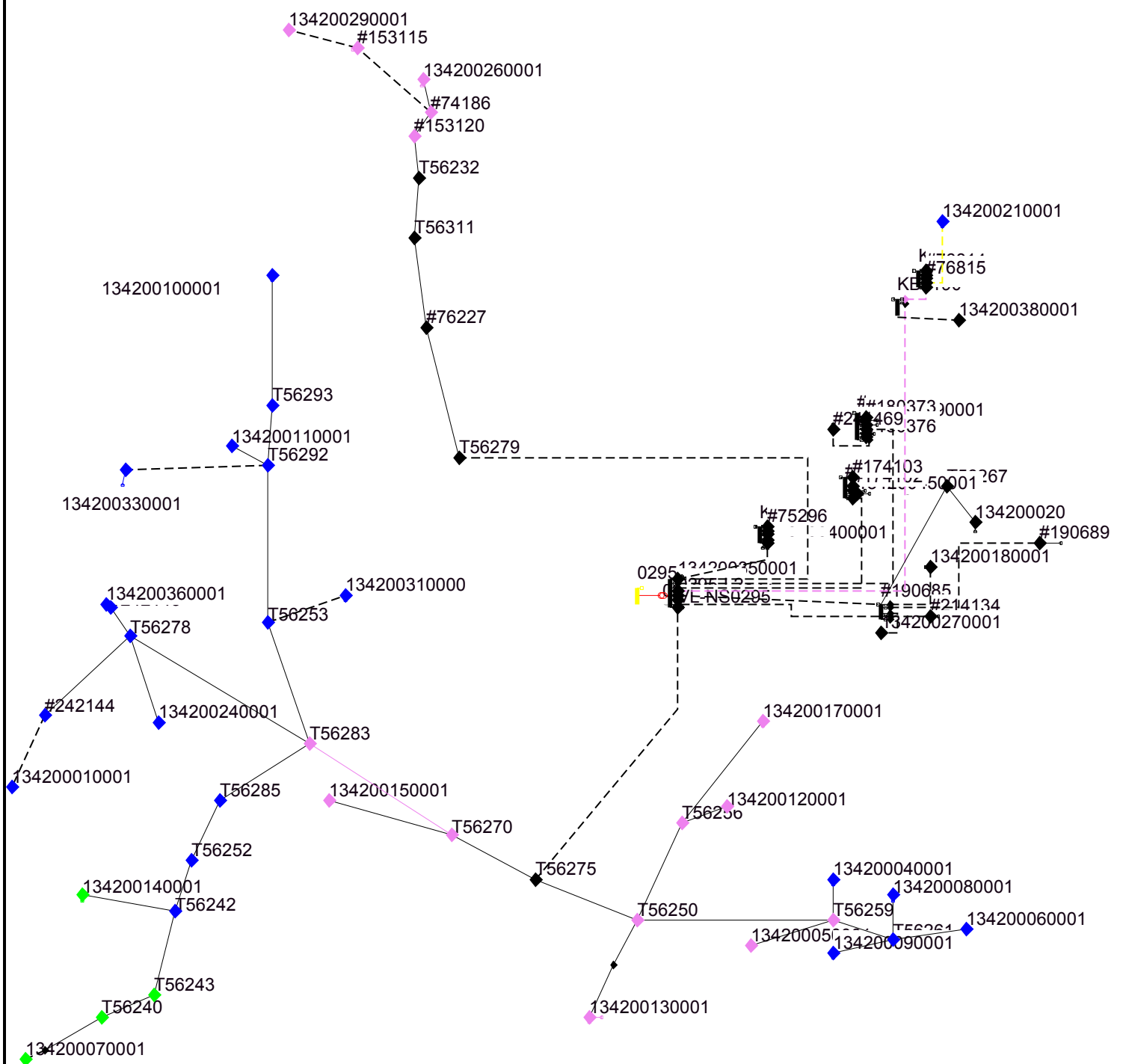
- [1] E. SF, "Markedsutviklingen 2017 hovedtrender i Enovas satsingsområder," Enova, Markedsrapport 2017 , 2017, Available: https://www.enova.no/download?objectPath=upload_images/ABD83ED9E3034857AEA4491813420101.pdf&filename=Markedsutviklingen%202017.pdf.
- [2] B. N. T. o. H. Kirkeby, "Simuleringsstudie av spenningskvalitet i lavspenningsnett med plusskunder," SINTEF Energi AS, Rapport 2017, Available: <https://www.sintef.no/globalassets/project/nef-tm-2017/rapporter-2017/sesjon-4-2---21---bendik-nybakk-torsater-og-henrik-kirkeby---simuleringsstudie-av-spenningskvalitet-i-lavspenningsnett-med-plusskunder.pdf>.
- [3] NVE. (2017). *Plusskunder* [Online]. Available: <https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten-for-energi-rme-marked-og-monopol/nettjenester/nettleie/tariffer-for-produksjon/plusskunder/>
- [4] NVE. (2017, 23.01.2018). *Konsesjonspliktavurdering*. Available: <https://www.nve.no/energiforsyning-og-konsesjon/om-konsesjon/konsesjonspliktavurdering/>
- [5] M. A. Green, M. Andersson, and J. Hedström, *Solceller : från solljus till elektricitet* (Power to the people). Stockholm: Svensk byggtjänst, 2002.
- [6] A. Goetzberger and V. U. Hoffmann, *Photovoltaic solar energy generation* (Springer series in optical sciences). Berlin: Springer, 2005.
- [7] H. Tranøy, K. Sand, P. E. Lund, and F. f. I. M. O. E. I. f. E. Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet, "Tekniske retningslinjer for tilknytning av plusskunder i lavspenningsnett," ed: Institutt for elkraftteknikk, 2012.
- [8] M. o. A. Viak, "Solcellesystemer og sol i sytemet," Teknisk rapport , Dokumentkode: 10200404-1080-RAP-001 16.03.2018, 2018, Available: http://solenergiklyngen.no/app/uploads/sites/4/180313-rapport_solkraft-markedsutvikling-2017-endelig.pdf.
- [9] J. F. Manwell, J. G. McGowan, and A. L. Rogers, *Wind energy explained : theory, design and application*. Chichester: Wiley, 2002.
- [10] N. Mohan, *Electric machines and drives : a first course*. Hoboken, N.J: Wiley, 2012.
- [11] N. Mohan, T. M. Undeland, and W. P. Robbins, *Power electronics : converters, applications, and design*, 3rd ed. ed. Hoboken, N.J: Wiley, 2003.
- [12] Olje- og energidepartementet, "St. meld. 25 (2015-2016) Kraft til endring - Energipolitikken mot 2030," Stortingsmelding 15.04.2016, 2016, Available: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld.-st.-25-20152016/id2482952/sec1>.
- [13] F. Softić, A. Stjepanović, and Z. Bundalo, "Temperature characteristics and energy efficiency of solar cells and solar modules," in *2012 Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO)*, 2012, pp. 288-291.
- [14] A. R. Jha, *Solar cell technology and applications*. Boca Raton, Fla: CRC Press, 2010.
- [15] M. Institutt, "Registrerte soltimer ved Bodø lufthavn 1961 - 2005," Statistikk, 09.02.2018, upublisert.
- [16] M. institutt. (2017, 20.02.2018). *Soltimer* [Online]. Available: <https://snl.no/soltimer>
- [17] M. institutt. (2017, 20.02.2018). *Solregistrator* [Online]. Available: <https://snl.no/solregistrator>
- [18] M. S. Andersen. (2017). *Derfor er det ikke mørketid i Bodø* [Online]. Available: <http://www.yr.no/artikkel/derfor-er-det-ikke-morketid-i-bodo-1.10859437>
- [19] O. Engvold. (2016). *Midnattsol* [Online]. Available: <https://snl.no/midnattsol>
- [20] Kartverket. (2017). *Norgeskart.no* [Online]. Available: <http://www.norgeskart.no/#!?project=seeiendom&layers=1002,1015&zoom=7&lat=7482103.83&lon=418506.56>
- [21] E. Å. Øyvind Byrkjedal, Kjeller Vindteknikk, "Vindkart for Norge," NVE, Kjeller Vindteknikk, Teknisk rapport, nr. 9/2009 01.10.2009, 2009, Available: https://www.nve.no/media/2470/vindkart_for_norge_oppdagsrapporta10-09.pdf.
- [22] D. f. byggkvalitet. (2011, 20.03.2018). *Veiledning om byggesak* [Online]. Available: [https://dibk.no/byggeregler/sak/2/4/4-1/? t id=1B2M2Y8AsgTpgAmY7PhCf%3d%3d& t q=solcelle& t tags=language%3ano%](https://dibk.no/byggeregler/sak/2/4/4-1/? t id=1B2M2Y8AsgTpgAmY7PhCf%3d%3d& t q=solcelle& t tags=language%3ano%3dno)

- [2csiteid%3aa8fed669-6208-4354-8fe6-9c93cb91a133& t ip=91.208.24.18%3a12333& t hit.id=EPiServer Templates DIBK Page Types Veiledninger ParagrafPageType/ dde2aa5f-c617-4c8e-8ca2-2f9345c88cb1 no& t hit.pos=9](#)
- [23] *Lov om planlegging og byggesaksbehandling (plan- og bygningsloven)*, Online, 2008.
- [24] Miljødirektoratet, "Veileder til retningslinje for behandling av støy i arealplanlegging, T-1442/2016," Miljødirektoratet, Teknisk rapport 2016, Available: <http://www.miljodirektoratet.no/Documents/publikasjoner/M128/M128.pdf>.
- [25] *Elektriske lavspenningsinstallasjoner = Electrical low voltage installations*, 6. utg. ed. (Electrical low voltage installations). Oslo: Norsk elektroteknisk komité, 2018.
- [26] *Forskrift om elektriske lavspenningsanlegg*, Online, 1999.
- [27] *Forskrift om leveringskvalitet i kraftsystemet*, Online, 2004.
- [28] H. Seljeseth and E. H. Hansen, "Sikker jordfeildeteksjon - Jordfeildeteksjon i nettstasjon og hos kunder," ed, 2015.
- [29] *Forskrift om økonomisk og teknisk rapportering, inntektsramme for nettvirksomheten og tariff*, Online, 1990.
- [30] G. Thecnologies. (2018, 02.05.2048). *Solis 6kW Low-Voltage inverter* [Online]. Available: http://www.ginlong.com/en/PV_Inverters/Solis_6K_LV.html
- [31] IRENA, "Electricity storage and renewables: Costs and markets to 2030," International Renewable Energy Agency, Tech report 01.10.2017, 2017, Available: http://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Oct/IRENA_Electricity_Storage_Costs_2017.pdf.
- [32] s. m. K. S. Økologisk Energi (marts 2013) "HUSSTANDSMØLLER," Online 2013.
- [33] Enova (2017, 04.12.2017). *Energiltak med støtte for privatpersoner* [Online]. Available: <https://www.enova.no/privat/alle-energiltak/solenergi/el-produksjon/>
- [34] O.-o. energidepartementet. (2014, 10.04.2018). *Elsertifikatordningen* [Online]. Available: <https://www.regjeringen.no/no/tema/energi/fornybar-energi/elsertifikater1/id517462/>
- [35] NVE. (2017, 02.02.2018). *Elsertifikater* [Online]. Available: <https://www.nve.no/energiforsyning-og-konsesjon/elsertifikater/>
- [36] *Requirements for micro-generation plants to be connected in parallel with low-voltage distribution networks*, 2013.
- [37] L. Ching-Yin, "Effects of unbalanced voltage on the operation performance of a three-phase induction motor," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 14, no. 2, pp. 202-208, 1999.
- [38] *Tekniske funksjonskrav -vedlegg 2 til tilknytnings- og nettleieavtale fr innmatingskunder i lavspenningsnettet*, REN 0342, 2016.
- [39] H. Glenne, *Elektriske anlegg*, Bokmål[utg.]. ed. Bekkestua: NKI forl., 1995.
- [40] Statnett. (2013, 03.04.18). *Workshop om marginaltap* [Online]. Available: <http://www.statnett.no/Global/Dokumenter/Kundeportalen/Statnett%20-%20Marginaltap.pdf>
- [41] Powel, "Ordinære marginaltapsberegninger," upublisert.
- [42] *Forskrift om forebyggende sikkerhet og beredskap i energiforsyningen (beredskapsforskriften)*, Online, 2013.
- [43] G. Deb, "Ferranti Effect in Transmission Line," *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 2, no. 4, p. 447, 2012.
- [44] *Forskrift om måling, avregning, fakturering av nettjenester og elektrisk energi, nettselskapets nøytralitet mv.*, Online, , 1999.
- [45] Håvard Hansen, Eirik Eggum, Astrid Ånestad, and C. Aabakken, "Avbrotstatistikk 2016," Norges vassdrags- og energidirektorat, Tech. Rep nr. 43-2017 02.05.2017 2017, Available: http://publikasjoner.nve.no/rapport/2017/rapport2017_43.pdf, Accessed on: 15.05.2018.

Vedlegg

1. Nettskjema for NS-0295 Tårnvik-Nord
2. Definisjon av marginaltap med forklaring
3. Kabel og Linjedata for NS-0295
4. Lastpunktdata for NS-0295
5. Beregninger for fastsettelse av trafotrinning
6. Nettskjema forenklet nett i Powerfactory
7. Spenningsprofil forenklet nett uten produksjon
8. Viserdiagrammer fra enfaset innmating
9. Datablad Ginlong Solis 6kVA vekselretter
10. Mappestruktur vedlagt zip – med beregningsresultater og rådata

Vedlegg - 1 Nettskjema NS-0295 Tårnvik-Nord



Vedlegg 2 - Definisjon av marginaltap med forklaring

Start > Marginaltapsberegninger > Ordinære marginaltapsberegninger



Ordinære marginaltapsberegninger

Når det kjøres lastflyt i NETBAS beregnes det automatisk marginale tap for samtlige knutepunkter som inngår i siste lastflyt. De beregna marginale tapene er da referert svingmaskinen som de respektive knutepunktene er tilkoblet.

Ved ordinære marginaltapsberegninger, er de marginale tapene alltid referert lastøkning.

Marginale tap > 0.0 betyr at de totale tapene i nettet øker når lasten øker, eller produksjonen reduseres.

Marginale tap < 0.0 betyr at de totale tapene i nettet avtar når lasten øker, eller produksjonen økes.

Merknad, skrivefeil: eller produksjonen reduseres.

Eksempel på marginale tap for lastpunkter :

Sorterer	Marginale tap aktiv effekt (%)	
Sorterer MA.P/	%	
1 *	DOC-B-22SSA	3.802
2 *	DOC-B-T1	3.802
3 *	DOC-B-22SSB	3.225
4 *	DOC-B-T2	3.225
5 *	DOC-LOAD-1	2.576
6 *	DOC-LOAD-7	2.158
7 *	DOC-LOAD-8	0.912
8 *	DOC-T2-400	0.354
9 *	DOC-A-22SSA	-3.028
10 *	DOC-A-T1	-3.030
11 *	DOC-A-22SSB	-3.384
12 *	DOC-A-T2	-3.385
Sum		7.228

Powel er gjort oppmerksom på dette

Vi ser at enkelte lastpunkter kan ha marginale tap som er < 0.0 %. Dette er typisk lastpunkter som ligger i overskuddsområde for aktiv effekt.

Eksempel på marginale tap for generatorpunkter :

Sorterer	Marginale tap aktiv effekt (%)	
Sorterer MA.P/	%	
1 *	DOC-B-22SSA	3.802
2 *	DOC-PROD-9	0.027
3 *	DOC-GEN-20-2	-0.586
4 *	DOC-GEN-20-1	-0.708
5 *	DOC-SV	-4.155
Sum		-1.620
Gjennomsnitt		-0.324

Også her har vi noen punkter med marginale tap < 0.0 og noen med marginale tap > 0.0 %. Da disse verdiene er referert lastøkning, så vil det tapsmessig være gunstig å øke produksjonen der vi har positive marginale tap. Der vi har negative marginale tap, vil en videre økning i produksjonen bidra til å øke tapene.

I forbindelse med tariffing, er det ofte noen få knutepunkter vi er interessert i å vite de marginale tapene i.

Man er heller ikke nødvendigvis interessert i å referere de marginale tapene til det punktet som er definert som svingmaskin. På bakgrunn av disse argumentene, er det utviklet en egen modul som forenkler beregningen av marginaltap i definerte knutepunkter.

Vedlegg 3 - Linje og kabeldata for distribusjonsnett tilknyttet NS0295

Knutepkt 1	Knutepkt 2	Lengde(m)	Type	Typebetegnelse
0295T1-230V	#190685	12	KA	TFXP 1X4X95 AL
134200350001	134200400001	28	KA	TFSP 1X4X95 AL
0295-L2	#190685	75	KA	MANGLER
134200350001	T56279	167	KA	TFXP 1X4X240 AL
#190685	#214134	10	KA	TFXP 1X4X50 AL
#190685	134200180001	39	KA	TFXP 1X4X50 AL
#190685	T56267	66	LL	EX 1X3X25
0295T1-230V	#174101	72	KA	TFXP 1X4X95 AL
#190685	134200270001	17	KA	PFSP 1X3X10 CU
T56267	134200020	23	LL	EX 1X3X25
T56279	#76227	68	LL	EX 1X3X95
0295T1-230V	#180374	123	KA	TFSP 1X3X95 AL
#190685	#190689	243	KA	TFXP 1X4X50 AL
#180370	#241469	19	KA	TFXP 1X4X25 AL
#76227	T56311	67	LL	FEAL 1X25
0295-L3	KB5190	178	KA	TFXP 1X4X240 AL
0295-L10	T56275	317	KA	TFSP 1X4X240 AL
T56311	T56232	572	LL	EX 1X3X95
KB5190	134200380001	25	KA	TFXP 1X4X50 AL
KB5190	#76812	26	KA	TFSP 1X4X240 AL
T56232	#153120	248	LL	EX 1X3X95
T56275	T56270	75	LL	FEAL 1X120
T56275	T56250	123	LL	FEAL 1X95
T56270	134200150001	25	LL	EX 1X3X25
#153120	#74186	29	LL	MANGLER 1X16
#74186	134200260001	8	LL	MANGLER 1X16
T56250	T56256	52	LL	EX 1X3X50
#74186	#153115	83	KA	PFSP 1X3X25 AL
T56256	134200170001	142	LL	EX 1X3X25
#76813	1324200210001	32	KA	MANGLER
T56256	134200120001	87	LL	EX 1X3X25
T56270	T56283	47	LL	MANGLER 1X16
#153115	134200290001	47	KA	PFSP 1X3X25 AL
T56250	134200130001	116	LL	EX 1X3X25
T56250	T56259	182	LL	EX 1X3X50
T56259	134200040001	36	LL	EX 1X3X25
T56259	134200050001	53	LL	EX 1X3X25
T56283	T56253	60	LL	FEAL 1X50
T56283	T56278	130	LL	FEAL 1X95
T56278	134200240001	16	LL	EX 1X3X25
T56278	#242143	34	LL	EX 1X3X25
T56283	T56285	59	LL	AL 1X25
T56259	T56261	67	LL	EX 1X3X25
T56253	134200310000	74	KA	TFSP 1X4X25 AL
#242144	134200010001	28	KA	DKBA CU 1X3X16
T56278	#242144	76	LL	EX 1X3X25
T56261	134200090001	37	LL	EX 1X3X25
#242143	134200360001	41	KA	TFXP 1X4X25 AL
T56261	134200060001	77	LL	EX 1X3X25
T56253	T56292	146	LL	FEAL 1X50
T56292	134200110001	21	LL	EX 1X3X25
T56261	134200080001	95	LL	EX 1X3X25
T56292	134200330001	94	KA	MANGLER
T56292	T56293	103	LL	MANGLER 1X16
T56285	T56252	67	LL	FEAL 1X25

T56293	134200100001	63	LL	EX 1X3X25
T56252	T56242	72	LL	AL 1X25
T56242	134200140001	59	LL	EX 1X3X25
T56242	T56243	65	LL	AL 1X25
T56243	T56240	77	LL	EX 1X3X25
T56240	134200070001	54	KA	BE 1X3X16 CU

LL Luftlinje
KA Kabel

Typebetegnelse	Merkestrøm [A]	R/km	X/km
TFSP 1X4X240 AL	435	0,1253	0,0719
TFXP 1X4X95 AL	260	0,3167	0,075
TFXP 1X4X50 AL	180	0,6411	0,079
TFXP 1X4X25 AL	115	1,2	0,084
PFSP 1X3X25 AL	100	1,2	0,083
PFSP 1X3X10 CU	77	1,829	0,0882
MANGLER	100	1,125	0,35
MANGLER 1X16	100	1,125	0,35
EX 1X3X95	280	0,3206	0,077
EX 1X3X50	180	0,6412	0,0791
EX 1X3X25	95	1,2	0,084
FEAL 1X120	624	0,1507	0,2853
FEAL 1X95	544	0,1911	0,2927
FEAL 1X50	362	0,3583	0,315
FEAL 1X25	235	0,7167	0,3444
AL 1X25	192	0,7169	0,3446

Vedlegg - 4 Lastpunktdata for NS-0295

Knutepunkt	Sommer		Vinter	
	Last [kW]	Last [kVAr]	Last [kW]	Last [kVAr]
0295-22A	0	0	0	0
0295T1-230V	0	0	0	0
134200350001	0,143	0,047	0,358	0,118
VL-NS0295	0,64	0,21	1,6	0,526
#190685	0	0	0	0
#214134	2,459	0,808	6,147	2,02
134200400001	3,686	1,212	9,216	3,029
KB5201	0	0	0	0
134200180001	0	0	0	0
134200020	0,301	0,099	0,753	0,248
134200270001	1,728	0,568	4,319	1,42
#174099	0,687	0,226	1,717	0,564
134200450001	2,579	0,848	6,448	2,119
#174098	0	0	0	0
#180372	0,48	0,158	1,2	0,395
#180375	0,439	0,144	1,098	0,361
133701290001	0,491	0,161	1,227	0,403
#180370	0	0	0	0
#241469	1,033	0,34	2,583	0,849
#190689	1,077	0,354	2,693	0,885
KB5190	0	0	0	0
134200380001	1,326	0,436	3,315	1,09
KB5207	0	0	0	0
134200150001	0,198	0,065	0,496	0,163
134200170001	0,106	0,035	0,264	0,087
134200260001	0,787	0,259	1,968	0,647
#153115	0	0	0	0
134200130001	1,8	0,592	4,5	1,479
134200310000	0,141	0,046	0,353	0,116
134200120001	0,725	0,238	1,813	0,596
134200240001	0,459	0,151	1,148	0,377
134200040001	0,839	0,276	2,098	0,69
134200050001	0,31	0,102	0,776	0,255
134200290001	0,745	0,245	1,863	0,612
134200210001	13,656	4,489	34,141	11,222
134200360001	0,647	0,213	1,619	0,532
134200110001	0,104	0,034	0,26	0,085
134200010001	0,294	0,097	0,736	0,242
134200090001	0,018	0,006	0,045	0,015
134200330001	0,678	0,223	1,695	0,557
134200060001	0,154	0,051	0,386	0,127
134200080001	0,812	0,267	2,029	0,667
134200100001	0,601	0,198	1,502	0,494
134200140001	0,577	0,19	1,443	0,474
134200070001	1,806	0,594	4,515	1,484

Forenklinger i NS-0295 til Powerfactory

Kabelnett	[kW]	[kVAr]
134200400001	3,686	1,212
#174009	0,687	0,226
134200450001	2,579	0,848
#241469	1,033	0,34
#180375	0,439	0,144
#180372	0,48	0,158
133701290001	0,491	0,161
134200380001	1,326	0,436
134200210001	13,656	4,489
134200020	0,301	0,099
#190689	1,077	0,354
134200270001	1,728	0,568
#214134	2,459	0,808
Sum	29,942	9,843

Sumlast: Kabelnett

Luftnett Sør-Øst	[kW]	[kVAr]
134200130001	1,8	0,592
134200120001	0,725	0,238
134200170001	0,106	0,035
134200050001	0,31	0,102
134200090001	0,018	0,006
134200040001	0,839	0,276
134200080001	0,812	0,267
134200060001	0,154	0,051
Sum	4,764	1,567

Sumlast: Luftnett Sør-Øst

Luftnett Sør-Vest	[kW]	[kVAr]
134200010001	0,294	0,097
134200240001	0,459	0,151
134200360001	0,647	0,213
134200310000	0,141	0,046
134200330001	0,678	0,223
134200110001	0,104	0,034
134200100001	0,601	0,198
Sum	2,924	0,962

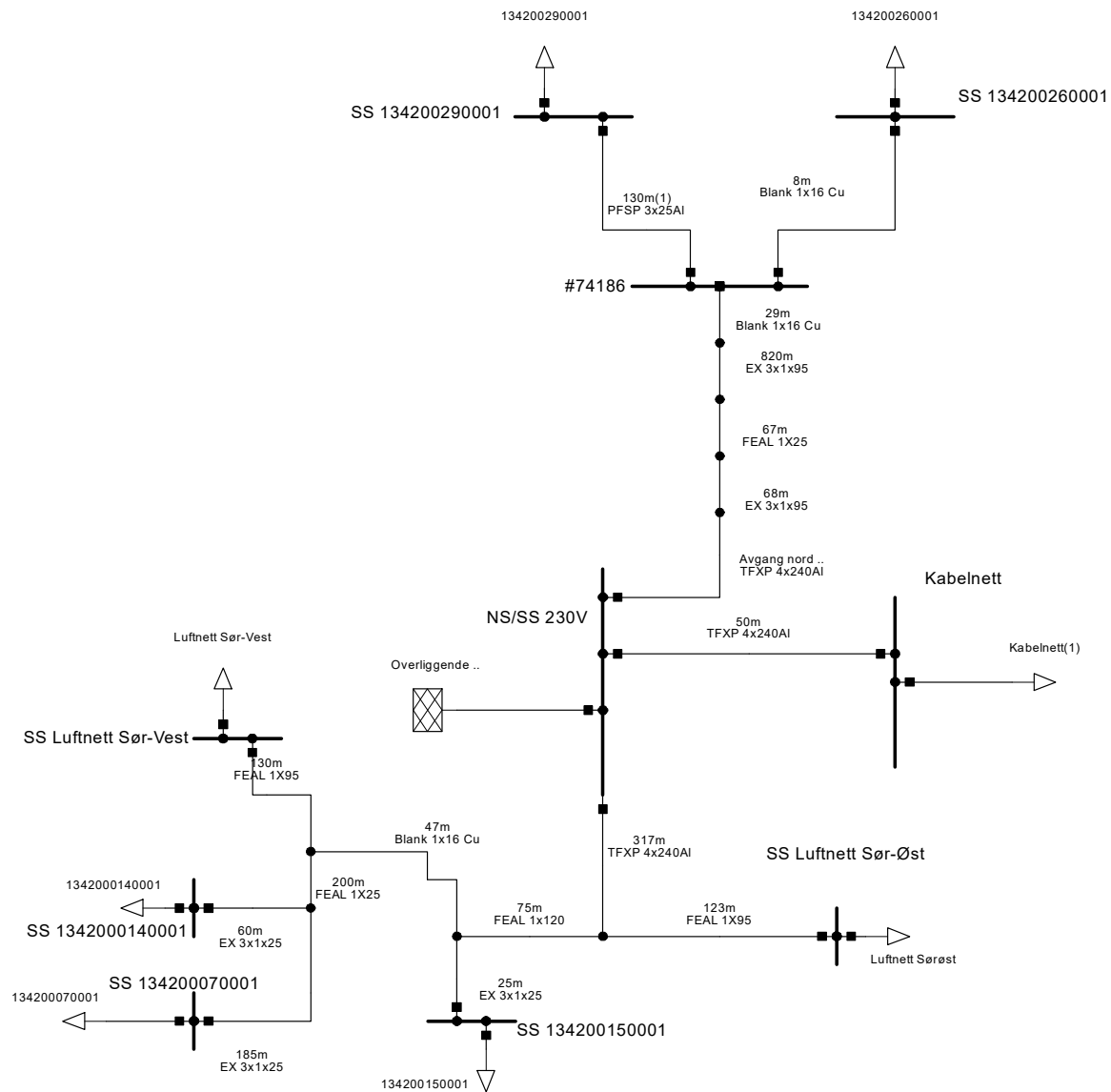
Sumlast: Luftnett Sør-Vest

Vedlegg 5 - Beregninger for fastsettelse av trafotrinning

Sommer			
Trinn	0 %	2,50 %	5 %
Knutepunkt	Spenning [V]	Spenning [V]	Spenning [V]
0295-22A	21,866	21,866	21,866
134200020	0,247	0,24	0,235
134200180001	0,247	0,241	0,235
134200350001	0,247	0,241	0,235
134200400001	0,247	0,24	0,235
#190685	0,247	0,241	0,235
#214134	0,247	0,24	0,235
0295T1-230V	0,247	0,241	0,235
KB5201	0,247	0,24	0,235
VL-NS0295	0,247	0,241	0,235
133701290001	0,246	0,24	0,234
134200270001	0,246	0,24	0,234
134200450001	0,246	0,24	0,234
#174098	0,246	0,24	0,234
#174099	0,246	0,24	0,234
#180370	0,246	0,24	0,234
#180372	0,246	0,24	0,234
#180375	0,246	0,24	0,234
#190689	0,246	0,24	0,234
#241469	0,246	0,24	0,234
134200380001	0,245	0,239	0,233
KB5190	0,245	0,239	0,233
KB5207	0,245	0,239	0,233
134200120001	0,244	0,237	0,231
134200150001	0,244	0,238	0,232
134200170001	0,244	0,238	0,232
134200260001	0,244	0,238	0,232
134200290001	0,244	0,237	0,231
#153115	0,244	0,238	0,232
134200010001	0,243	0,236	0,23
134200040001	0,243	0,237	0,231
134200050001	0,243	0,237	0,231
134200060001	0,243	0,236	0,23
134200090001	0,243	0,236	0,23
134200110001	0,243	0,236	0,23
134200130001	0,243	0,237	0,231
134200210001	0,243	0,236	0,23
134200240001	0,243	0,237	0,231
134200310000	0,243	0,237	0,231
134200360001	0,243	0,236	0,23
134200080001	0,242	0,236	0,23
134200100001	0,242	0,236	0,23
134200330001	0,242	0,236	0,23
134200140001	0,241	0,235	0,229
134200070001	0,24	0,233	0,227

Vinter			
Trinn	0 %	-2,50 %	-5 %
Knutepunkt	Spenning [V]	Spenning [V]	Spenning [V]
0295-22A	19,953	19,953	19,953
VL-NS0295	0,219	0,225	0,232
KB5201	0,219	0,225	0,231
0295T1-230V	0,219	0,225	0,232
#214134	0,219	0,225	0,231
#190685	0,219	0,225	0,231
134200400001	0,219	0,225	0,231
134200350001	0,219	0,225	0,232
134200180001	0,219	0,225	0,231
#241469	0,218	0,224	0,230
#180375	0,218	0,224	0,230
#180372	0,218	0,224	0,230
#180370	0,218	0,224	0,230
#174099	0,218	0,224	0,231
#174098	0,218	0,224	0,231
134200450001	0,218	0,224	0,231
134200270001	0,218	0,224	0,231
133701290001	0,218	0,224	0,230
134200020	0,218	0,225	0,231
#190689	0,217	0,223	0,229
KB5207	0,214	0,220	0,226
KB5190	0,214	0,221	0,227
134200380001	0,214	0,220	0,227
134200150001	0,212	0,218	0,225
134200260001	0,211	0,218	0,224
134200170001	0,211	0,217	0,224
#153115	0,210	0,217	0,223
134200290001	0,210	0,216	0,223
134200120001	0,210	0,216	0,223
134200130001	0,208	0,214	0,221
134200050001	0,208	0,214	0,221
134200040001	0,208	0,214	0,221
134200360001	0,207	0,213	0,220
134200310000	0,207	0,214	0,221
134200240001	0,207	0,214	0,221
134200210001	0,207	0,214	0,220
134200090001	0,207	0,213	0,220
134200060001	0,207	0,213	0,220
134200010001	0,207	0,213	0,220
134200110001	0,206	0,213	0,220
134200080001	0,206	0,212	0,219
134200330001	0,205	0,212	0,219
134200100001	0,205	0,211	0,218
134200140001	0,203	0,209	0,216
134200070001	0,198	0,205	0,212

Vedlegg - 6 Forenklet nettskjema i Powerfactory



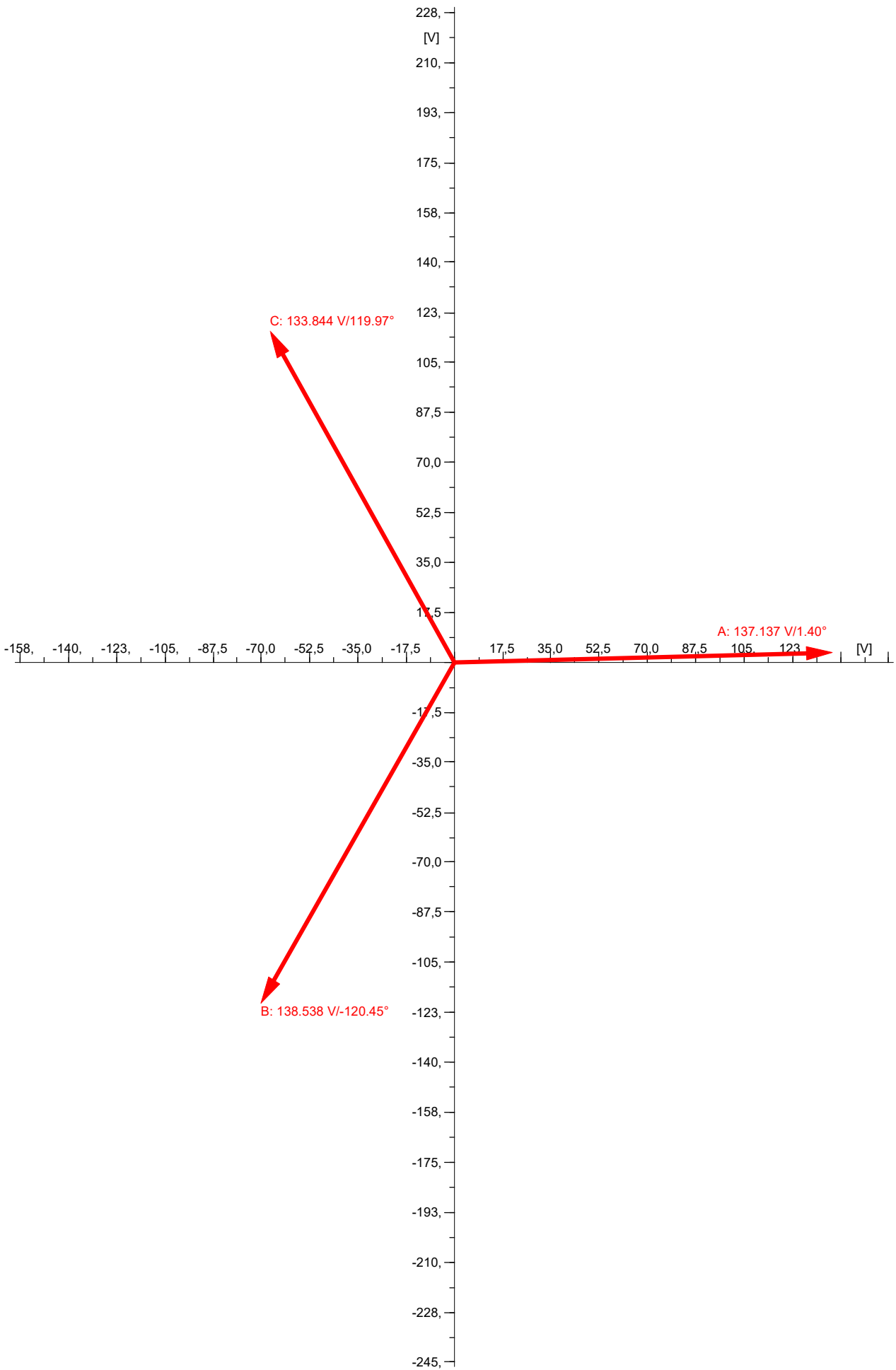
Vedlegg - 7 Spenningsprofil i forenklet nett uten lokal produksjon

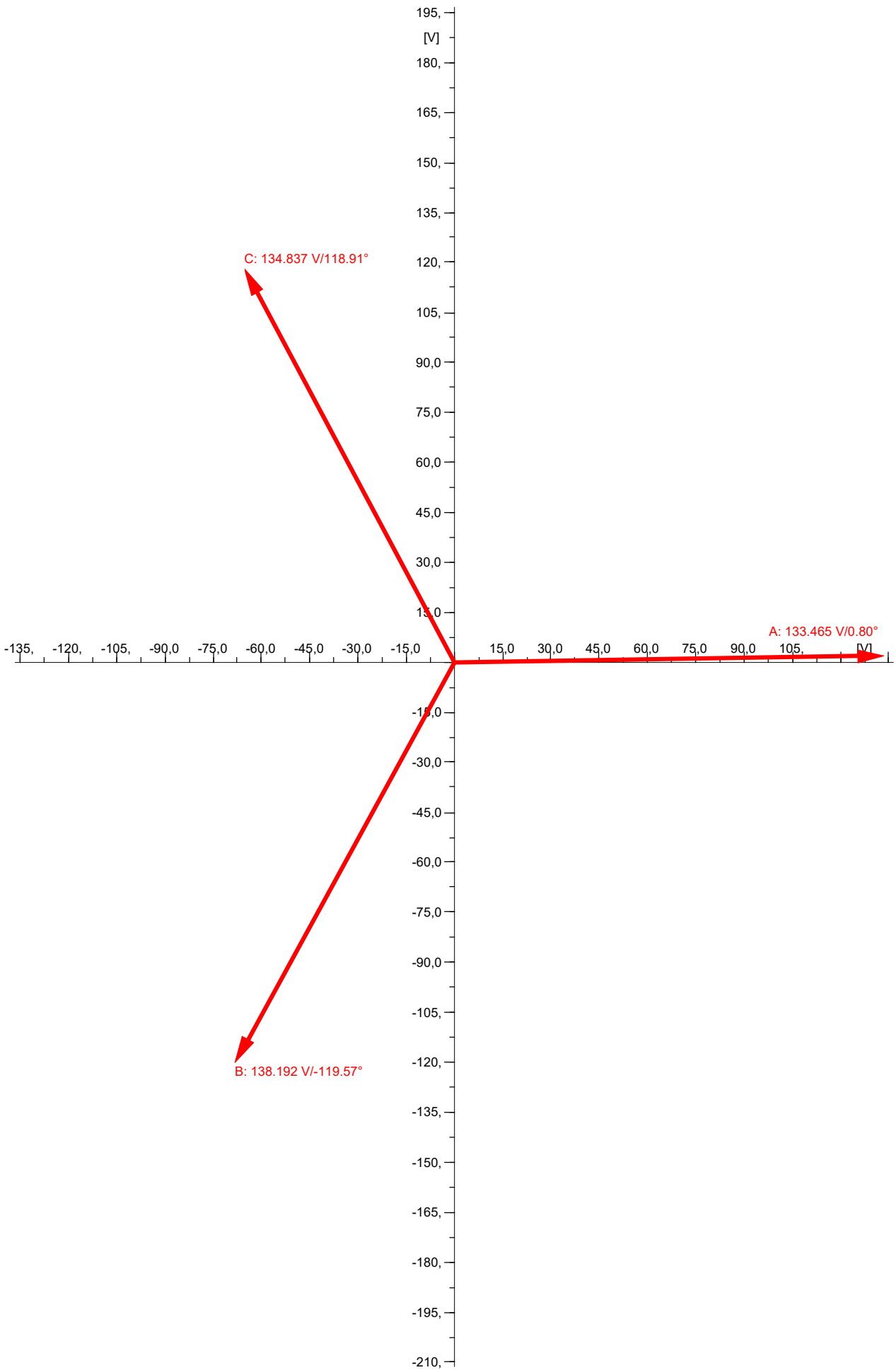
				DigSILENT PowerFactory 2018 SP1	Project: Date: 21.05.2018
Load Flow Calculation				Complete System Report: Voltage Profiles	
AC Load Flow, balanced, positive sequence				Automatic Model Adaptation for Convergence	No
Automatic tap adjustment of transformers	No			Max. Acceptable Load Flow Error for	
Consider reactive power limits	No			Nodes	1,00 kVA
				Model Equations	0,10 %
Grid: Grid	System Stage: Grid		Study Case: Study Case		Annex: / 1
	rtd.V [kV]	Bus - voltage [p.u.] [V] [deg]		Voltage - Deviation [%] -10 -5 0 +5 +10	
NS0295					
SS 230V	0,23	1,000	235,00	0,00	
#74186	0,23	1,010	232,33	0,02	>
Kabelnett	0,23	1,017	234,01	-0,05	>>>
SS 1342000140001	0,23	0,988	227,16	-0,39	<<<
SS 134200070001	0,23	0,983	226,00	-0,32	<<<<
SS 134200150001	0,23	1,007	231,63	-0,34	>
SS 134200260001	0,23	1,010	232,29	0,02	>
SS 134200290001	0,23	1,008	231,87	0,05	>
SS Luftnett Sør-Vest	0,23	0,999	229,73	-0,44	
SS Luftnett Sør-Øst	0,23	1,009	232,04	-0,37	>

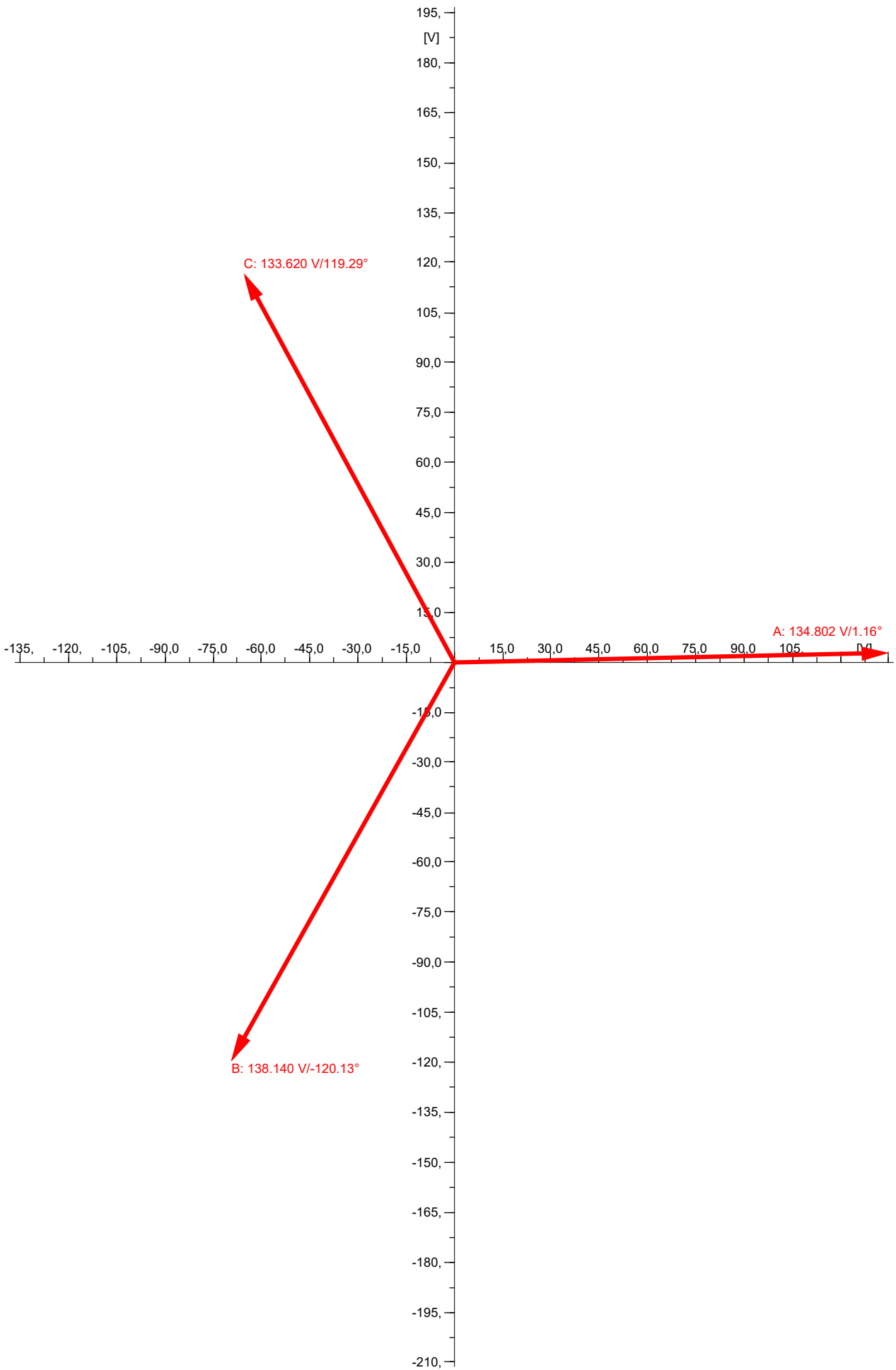
Vedlegg 8 – Viserdiagrammer fra enfaset innmating

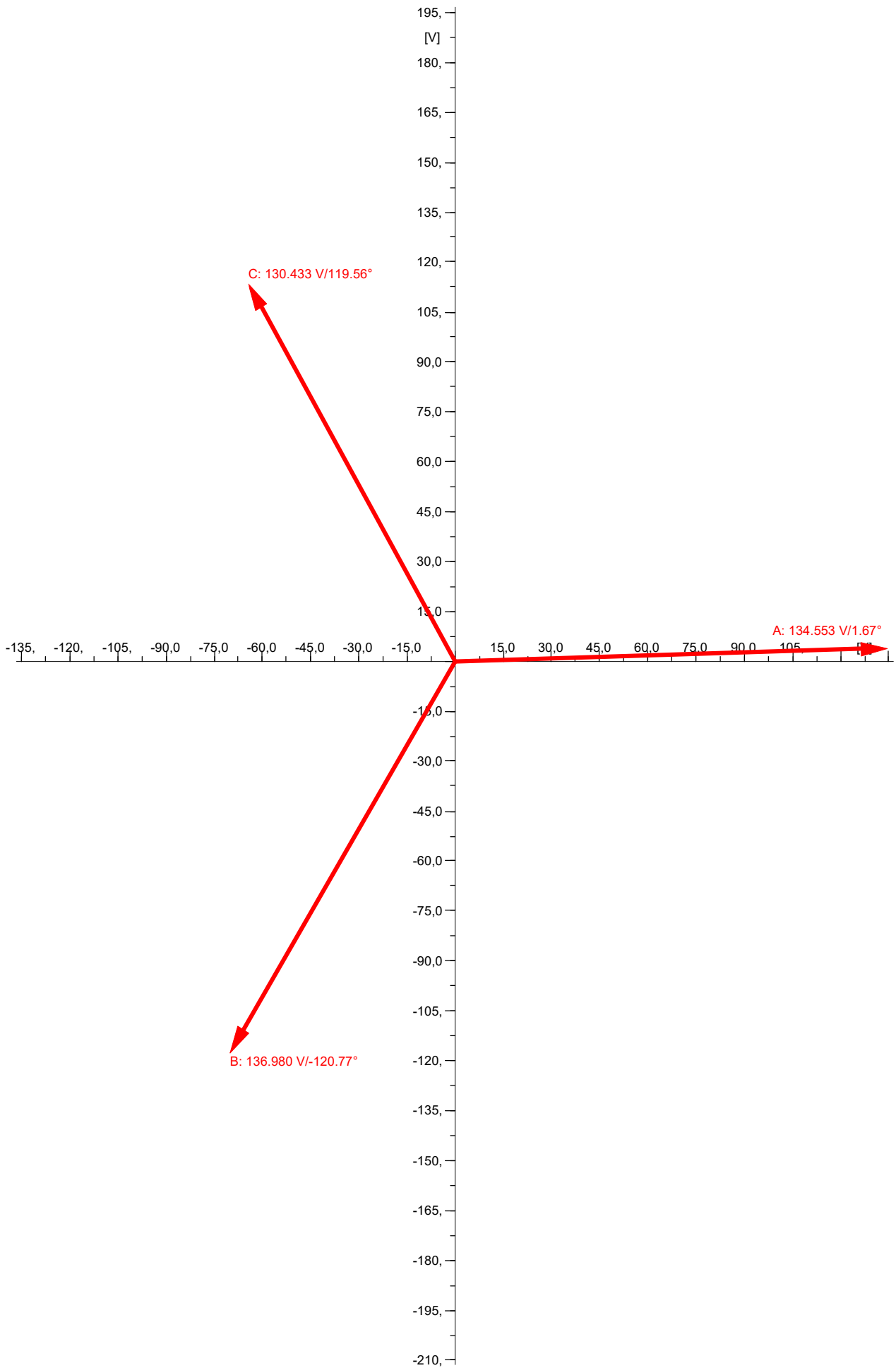
Innhold:

- Viserdiagram fra senario 1. Fasespenninger ved SS 13420029001
- Viserdiagram fra senario 2. Fasespenninger ved kabelnett
- Viserdiagram fra senario 3. Fasespenninger ved SS 13420015001
- Viserdiagram fra senario 4. Fasespenninger ved SS 13420007001









Vedlegg 10 - Datablad Ginlong Solis 6kVA vekselretter



solis-6K-LV inverter

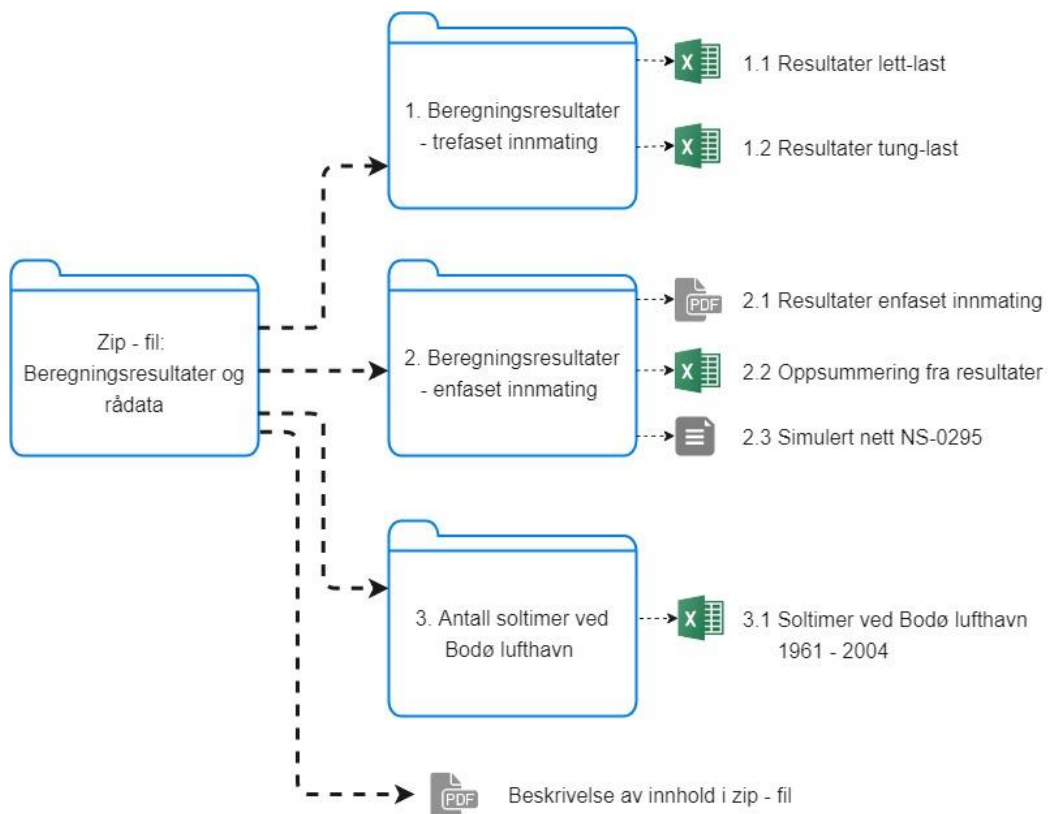


Leading Features

- ▶ Three phase output
- ▶ Over 97.2% Max. efficiency
- ▶ The voltage can be as low as 180V
- ▶ Dual MPPT design with precise MPPT algorithm
- ▶ Compact and light design for one-person easy installation
- ▶ Especially suitable for the LV grid area like north America
- ▶ IP65, visually pleasing for domestic environment
- ▶ RS 485, WiFi/GPRS (optional) interface
- ▶ Numerous protection functions
- ▶ WiFi and monitoring app available
- ▶ 5 years standard warranty, 10 years optional upgrade

Model	Solis-6K-LV
Input Side (DC)	
Max. input power	6.9kW
Max. input voltage	600V
Start-up input voltage	170V
MPPT voltage range	150-500V
Max. input current	15A+15A
MPPT number/Max. input strings number	2/2
Output Side (AC)	
Rated output power	6kW
Max. transient power	6.6kW
Rated grid voltage	208/220/240V
Grid voltage range	180~270V(adjustable)
Rated grid frequency	50/60Hz
Operating phase	Three
Max. output current	16.7A
Power factor	0.8 leading ... 0.8 lagging
Total harmonic distortion (THDi)	<3%
DC injection current	<20mA
Grid frequency range	47-52Hz or 57-62Hz(adjustable)
Efficiency	
Max. efficiency	97.2%
EU efficiency	96.5%
MPPT efficiency	99.9%
Protection	
DC reverse-polarity protection	Yes
Short circuit protection	Yes
Output over current protection	Yes
Output over voltage protection	Yes
Insulation resistance monitoring	Yes
Residual current detection	Yes
Surge protection	Yes
Grid monitoring	Yes
Islanding protection	Yes
Temperature protection	Yes
Integrated DC switch	Optional
General Data	
Dimensions	430W*613H*269D(mm)
Weight	29kg
Topology	Transformerless
Self consumption	<1W(Night)
Operating ambient temperature range	-25°C~60°C
Ingress protection	IP65
Noise emission(typical)	<30 dBA
Cooling concept	Natural convection
Max. operation altitude	4000m
Designed lifetime	>20 years
Grid connection standard	EN50438, G59/3, AS4777, VDE0126-1-1, IEC61727
Relative humidity	0~100%
Safety/EMC standard	EN61000-6-1:2007; EN61000-6-3:2007 IEC62109-1/-2; AS3100
Features	
DC connection	Original MC4 Connector
AC connection	IP67 rated plug
Display	LCD, 2 x 20 Z.
Interface	RS 485, WiFi/GPRS (optional)
Warranty	5~10 Years

Vedlegg 10 – Innhold og mappestruktur i vedlagt zipfil



Illustrasjon av mappestruktur

Beskrivelse av filer og innhold

Mappe/fil nr.	Navn	Innhold	Filtype
1.1	Netbas resultater lett-last	Beregningsresultater for fra lett-last senarioene med trefaset innmating	Excel
1.2	Netbas resultater tung-last	Beregningsresultater for fra tung-last senarioene med trefaset innmating	Excel
2.1	Resultater enfaset innmating	Beregningsresultater for fra lett-last senarioene med enfaset innmating	PDF
2.2	Oppsummering av resultater	Oppsummering av beregningsresultatene fra lett-lastsenarioene med enfaset innmating	Excel
2.3	Simulert nett NS-0295	Programfil for Powerfactory som inneholder eksempel nettet	pdf
3.1	Soltimer Bodø Lufthavn 1961-2004	Måledata solinnstråling fra meterologisk målestasjon ved Bodø Lufthavn.	Excel
4.0	Innhold og mappestruktur på vedlagt zip fil	Beskrivelse av mappestruktur og innhold i zip-fil	PDF