

Metodikk for identifisering av potensielle nettområder for mikronett i distribusjonsnett

Tomas Oskar Hellesø

Master i energi og miljø

Innlevert: juni 2017

Hovedveileder: Kjell Sand, IEL

Medveileder: Arnt-Magnar Forseth, TrønderEnergi AS

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for elkraftteknikk

Oppgavebeskrivelse

Mikronett (eng: Microgrids) er en trend i utviklingen mot et smartere og mere robust kraftsystem. Et mikronett er i følge IEC TC8/WG7s forslag til definisjon:

Group of interconnected loads and distributed energy resources with defined electrical boundaries that acts as a single controllable entity and is able to operate in both gridconnected or island mode [1].

Et aktuelt scenario i Norge er at smarte nettstasjoner representerer grensesnittet mot det overordnede kraftsystemet for et mikronett eller at mikronettet er en aggregering av nettstasjoner. De distribuerte ressursene kan da være plusskunder (d.v.s. installasjoner med mikro-produksjon) kombinert med elektriske energilagre i nettstasjonen og hos kunder. Nettstasjonsovervåking og styring sammen med AMS-målinger og –data vil kunne være viktige informasjonsskilder både for planlegging og for drift av kraftnett med innslag av mikronett. Leveringskvalitet (pålitelighet, spenningskvalitet) er et sentralt element i dimensjoneringen av distribusjonsnett. Pga. økte innslag av elbiler, distribuert kraftproduksjon og mer effektkrevende apparater, blir leveringskvalitet et stadig viktigere aspekt, særlig i lys av at det er mange svake distribusjonsnett i Norge (lav kortslutningsytelse).

Oppgaven går ut på å lage en metodikk for identifisering av potensielle nettområder for mikronett i distribusjonsnett. Herunder besvare:

- Hvordan bør et nettselskap gå frem for å identifisere potensielle nettområder for mikronett?
- Hvilke kriterier bør vektlegges i en slik kartleggingsmetodikk for mikronett?
- Hva må ligge til grunn for at mikronett kan være et lønnsomt alternativ kontra tradisjonelle nettoppgraderinger?
 - Hvor mange og hvor store mikronett?
 - Hvilke analyser/simuleringer bør gjøres og hvordan?

Metodikken skal søkes testet ut på noen praktiske scenarier i samarbeid med nettselskapet TrønderEnergi Nett AS.

Forord

Denne masteroppgaven er skrevet våren 2017 som avslutning på masterstudiet Energi og miljø ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, NTNU. Oppgaven er skrevet i samarbeid med TrønderEnergi Nett AS og utgjør 30 studiepoeng.

Tanken bak prosjektet har vært å utarbeide en metodikk rundt konseptet mikronett ut i fra reelle caser til ett norsk nettselskap. Jeg retter en stor takk til hovedveileder ved NTNU, professor II Kjell Sand for konstruktive og interessante diskusjoner underveis i prosjektet. Jeg vil også takke ansatte ved TrønderEnergi Nett AS for spennende elkraftrelaterte diskusjoner om både kraftnett og mikronett i vår, spesielt medveileder Arnt-Magnar Forseth, John Kristian Evjen og Gøril Forbord.

Til slutt vil jeg også takke min far Olav Gaute Hellesø og kamerat Martin Brunstad Høydal for hjelp med korrektur, samt medstudent ved Energi og miljø Jan Sandstad Næss for hjelp med koding i Matlab.

Trondheim, juni 2017

Tómas Óskar Hellesø

Sammendrag

Denne masteroppgaven presenterer en prototype til metodikk for identifisering av potensielle områder for mikronett i distribusjonsnettet til TrønderEnergi Nett AS. Med mikronett menes en egen kontrollerbar enhet i kraftnettet med last, distribuert energiproduksjon og energilagring som kan driftes både tilkoblet kraftnettet eller frakoblet i såkalt øydrift.

Metodikken benytter programmet Powel Netbas til å identifisere og hente ut nettdata til potensielle caser med svakt lavspentnett, deretter analyseres egnethet for mikronett i casene med programmet Matlab. Avslutningsvis gjøres en kostnad-nytte-analyse for de fem best vurderte casene. Kostnadsanalysen gir en prisindikasjon om etablering av et mikronett i øydrift kan være samfunnsøkonomisk lønnsomt i hvert case. Rapporten tar i hovedsak for seg nettanalyse og vurdering av kriterier for å identifisere og vurdere potensielle mikronett-caser. Videre utredning og simulering av mikronett for casene anses som utenfor oppgavens omfang og avgrensning.

Det ble konkludert med at en fungerende fire-trinns metodikk for mikronett i øydrift ble oppnådd. Metodikken ble utprøvd for to ulike testcaser i prosjektet. Styrken til metodikken er at den nyttiggjør seg av den store mengden nettdata et nettselskap besitter, og metodikken kan vurdere nettdata til flere hundre caser samtidig. Svakheten til metodikken er at den ikke automatisk identifiserer caser ytterst på radiell i distribusjonsnett (avgjørende faktor for grunnlag til å søke NVE om "Fritak for leveringsplikt"). I tillegg må lengden av høyspentledning for radiell ut til nettstasjon sjekkes manuelt i Netbas-kartet.

For kriterier ble det konkludert, at de fire viktigste kriteriene for at mikronett kan være lønnsomt i et case er: Lavt energiforbruk [kWh], svakt lavspentnett med behov for nettførsterkning, nettstasjon ytterst på radiell i distribusjonsnett og lange høyspentlinjer for radiell ut til nettstasjon. Fra resultater i testcasene ble det funnet et case: "22060 Olderøy Vest", som potensielt kan være lønnsomt for videre mikronettutredning.

Abstract

This master thesis presents a prototype of a methodology to identify potential areas for microgrids in the distribution power system of TrønderEnergi Nett AS. Microgrids means single controllable units in the power system with loads, distributed energy resources and energy storage which can operate in both gridconnected or island mode.

The methodology uses the program Powel Netbas to identify and retrieve data for potential cases of weak low-voltage power grids. The cases are further evaluated for microgrid suitability with the program Matlab. The final stage of evaluation is a cost-benefit analysis for the five best ranked cases. The cost-benefit analysis provides a price indication if installation of a microgrid in island mode is economically viable in each case. The scope of the report is power system analysis and assesment of various criteria to identify and evaluate potential microgrid cases. Further investigations and simulations of microgrids are beyond the report scope.

It was concluded that a functioning four-step methodology for microgrids in island mode was achieved. The methodology was tested for two different test scenarios. The strength of the methodology is that it manages to screen a vast amount of power system data from a DSO and then evaluate several hundred potential microgrid cases simultaneously. The weakness is that the methodology doesn't manage to identify cases at the end of the distribution radial (decisive factor for applying NVE about "Exemption of delivery obligation"). Additionally the methodology cannot automatically include the length of the high-voltage line of the radial, which therefore has to be manually read in the Netbas map.

For evaluation of economical viability of microgrids in a case, it was concluded that the following four criteria were most important: Low energy consumption [kWh], weak low-voltage power grid in need of upgrade, substation at the end of a distribution power system radial and long high-voltage lines for the distribution radial. From the test results only the case: "22060 Olderøy Vest", was concluded to be ecnomically viable for microgrids.

Innholdsfortegnelse

Oppgavebeskrivelse	i
Forord	iii
Sammendrag	v
Abstract	vi
Figurliste	xii
Tabelliste	xiii
1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Problemstillinger	2
1.3 Litteraturstudium og tilnærming	3
1.4 Avgrensninger	4
1.5 Oppgavestruktur	5
2 Mikronett	6
2.1 Definisjon	6
2.2 Motivasjon	7
2.3 Teknologiske elementer	8
2.3.1 Solceller	9
2.3.2 Batterier	11
2.4 Typer mikronett	12
2.4.1 Isolerte mikronett i øydrift	12
2.4.2 Nettilknyttede mikronett	13
2.5 Plassering i kraftsystemets nettstruktur	13
3 Kriterier for å vurdere mikronett-caser	15

3.1	Indikatorer for svakt lavspennetnett	15
3.1.1	Nettstyrke, spenningsfall og to-polt kortslutningsstrøm	15
3.1.2	Belastningsgrad for komponenter	18
3.2	Leveringskvalitet	19
3.2.1	Forskrift om leveringskvalitet (FoL)	19
3.2.2	Forventet leveringskvalitet for mikronett	19
4	Kostnadsanalyse for mikronett i øydrift	20
4.1	Fritak for leveringsplikt - NVE	20
4.2	Vurdering av kostnader i elnettet	21
4.3	Case-spesifikk kostnadsgrense for lønnsomt mikronett	23
5	Enkel innføring i Powel Netbas	24
5.1	Introduksjon til Netbas	24
5.2	Funksjoner benyttet i arbeid med metodikk	26
5.2.1	Utføring av søk	26
5.2.2	Resultatberegning (RB)	27
5.2.3	Presentasjonsformat og eksport av nettdata	27
5.2.4	Dokumentering av nettdata i Netbas	28
5.2.5	Ulik navngiving i Søk og Register	28
5.2.6	Grenseverdier for lsp-krets	29
6	Drøfting av kriterier for identifisering av potensielle caser	30
6.1	Drøfting og kategorisering av kriterier	30
6.1.1	Elektriske parametre	31
6.1.2	KILE-kostnader og Avbruddsdata	31
6.1.3	Komponentdata	32
6.1.4	Geografiske data	33
6.1.5	Tilleggsdata	34
6.2	Nøkkelkriterier for søk i Netbas	35
6.3	Kriterier for gunstige mikronett-caser	36
7	Mikronett-størrelser koblet opp mot nettnivåer i distribusjonsnett	37
7.1	Lavspennetkrets - "Ekte mikronett"	38

7.2	Enkelt bygg - "Nanonett"	38
7.3	Gruppering av 2-4 lavspentkretser - "Virtuelt nett"	39
7.4	Andre mulige nettnivåer	39
8	Metode	40
8.1	Presentasjon av fire-trinns metodikk og testcaser	40
8.1.1	Flytskjema for metodikk	40
8.1.2	Testcasene "Fillan" og "Hele kraftnettet"	42
8.2	Trinn 1 - Velg Transformatorstasjon	42
8.2.1	Avgrense søkeområdet	43
8.2.2	Identifisering av TS med svakt lsp-nett	43
8.3	Trinn 2 - Identifisering av potensielle caser	47
8.3.1	Søk etter RB-komponenter	47
8.3.1.1	Søkekriterier "Fillan"	47
8.3.1.2	Søkekriterier "Hele kraftnettet"	48
8.3.2	Oppsett av presentasjonsformat til registervindu	49
8.3.3	Eksport til Excel og sammenslåing av søk	49
8.4	Trinn 3 - Vurdering av caser i Matlab	49
8.4.1	Flytskjema for Matlab-vurdering	49
8.4.2	Vurdering og scoring av caser i Matlab	51
8.4.2.1	Vekting av kriterier	52
8.4.2.2	Avgrensning etter makslast	53
8.4.2.3	Avviksberegning	53
8.4.2.4	Beregning av score	54
8.4.3	Manuell måling av hsp-lengder i Netbas kartvindu	54
8.4.4	Soldata fra kartkoordinater	55
8.5	Trinn 4 - Kostnad-nytte-analyse	55
9	Resultater og diskusjon	56
9.1	Resultater for testcaser	56
9.1.1	Fillan	56
9.1.2	Hele kraftnettet	58
9.2	Diskusjon	59

9.2.1	Prototype til metodikk	59
9.2.2	Styrker og svakheter	60
9.2.3	Testresultater "Fillan" og "Hele kraftnettet"	61
9.2.4	Avgjørende kriterier og faktorer for mikronett-potensiale	62
9.2.5	Andre mulige utvelgelseskriterier og tilnærminger	63
10	Konklusjon	64
10.1	Forslag til Videre Arbeid	66
	Bibliografi	67
A	Ordliste	70
B	Skjermbilder fra Netbas	71
B.1	Søk etter RB (Resultatberegninger)	71
B.2	Presentasjonsformat for RB benyttet i metodikk	72
B.3	Nyttige snarveitaster i Netbas	73
B.4	Bulletliste med samtlige variabler eksportert fra Netbas	74
C	Matlab-kode	76

Figurliste

2.1	Drivere for mikronett i ulike verdensdeler [2]	8
2.2	Typisk struktur og elementer i mikronett [2]	9
2.3	Oversikt over beste virkningsgrader oppnådd for ulike solcelletyper [3]	10
2.4	Kostnadsutvikling for elbil-batterier [4]	11
2.5	Kraftsystemets spenningsnivåer og nettstruktur [5]	14
3.1	Thevenin-ekvivalent av last tilkoblet kraftsystemet [6].	16
5.1	De fire hovedmodulene i Netbas [7]	25
5.2	Skjerm bilde av ulike variabelnavn lagret i Søk og Register	29
5.3	Grenseverdier for lsp-kretser i Netbas [7]	29
6.1	Illustrasjon av nettstasjon ytterst på radiell i dist.nett	34
6.2	Oversikt over kriterier for gunstige mikronett	36
8.1	Flytskjema for mikronett-metodikk	41
8.2	Nettstasjoner supplert av trafostasjon på Frøya	43
8.3	Antall nettstasjoner med svakt lsp-nett og høy belastningsgrad ved ulike TS	44
8.4	Antall nettstasjoner med svakt lsp-nett ved ulike TS	45
8.5	Antall nettstasjoner med høy belastningsgrad i LL/KA ved ulike TS	46
8.6	Flytskjema for vurdering av caser i Matlab	50
B.1	Utføre søk etter RB-komponenter	71
B.2	Avansert søk - Legge til søkekriterier	72
B.3	Valg av datakriterier til Presentasjonsformat1	72
B.4	Valg av datakriterier til Presentasjonsformat2	73

Tabelliste

3.1	FoL-krav til spenningskvalitet [8]	19
4.1	Komponentpriser for Linjer, kabler og nettstasjoner.	22
6.1	Elektriske parametre	31
6.2	KILE-kostnader og Avbruddsdata	32
6.3	Komponentdata	33
6.4	Geografiske data	33
8.1	Kriterier for første TS-søk	44
8.2	Kriterier for andre TS-søk	45
8.3	Kriterier RB-søk nr.1 - Fillan	48
8.4	Kriterier RB-søk nr.2 - Fillan	48
8.5	Kriterier RB-søk nr.1 - Hele kraftnettet	48
8.6	Kriterier RB-søk nr.2 - Hele kraftnettet	48
8.7	Vurderingskriterier med referanseverdier	52
8.8	Vekting av kriterier i testcaser	52
9.1	Kostnader for Fillan ekskl. hsp-lengder	56
9.2	Kostnader for Fillan inkl. hsp-lengder	57
9.3	Fillan hypotetiske hsp-grenselengder for gunstig mikronett	57
9.4	Kostnader for hele kraftnettet ekskl. hsp-ledninger	58
9.5	Kostnader for hele kraftnettet inkl. hsp-ledninger	58

Kapittel 1

Innledning

1.1 Bakgrunn

Det norske kraftnettet er i en stor endringsfase med økende satsning på sol- og vindenergi, økt digitalisering med smarte målere (AMS) som skal tas i bruk og over 100.000 elbiler her til lands [9]. Altså mange nye innslag av moderne teknologi som gir både spennende muligheter og spennende utfordringer å ta tak i innen elkraft.

Forbedret teknologi innen solceller og batterier samt nevnte måleapparater, ser ut til å bane vei for økte innspill av distribuert fornybar energi i kraftsystemet. Global utbygging av solkraft vokser årlig mer enn det forventes i analysene fra International Energy Agency (IEA) [10]. Et faktum som gjør mikronett basert på fornybare energikilder til et interessant tema å undersøke. Med distribuert energiproduksjon og distribuerte energilagre kan mikronett tilby en mulig løsning eller et supplement til kraftnettet for opprettholdelse av høy leveringskvalitet i Norge for årene fremover.

Kostnader er viktige for norske nettselskaper og det bør undersøkes om mikronett kan være et rimeligere alternativ til tradisjonelle nettforsterkninger. Fra en kartlegging av nettstyrke hos seks nettselskaper har Sintef Energi estimert at omtrent 40% av norsk lavspentnett er for svakt [6]. Behovet for nettforsterkning gjør det spennende å utrede om mikronett kan være en gunstig løsning for å styrke svakt lavspentnett (lsp-nett) med dårlig leveringskvalitet.

1.2 Problemstillinger

Formålet med denne oppgaven er å lage et opplegg for identifisering av potensielle nettområder for mikronett. Gjennom diskusjoner med veiledere ble dette funnet som et ubelyst tema i nåværende og tidligere prosjekter. Det gjenstår å utarbeide en systematisk metodikk til identifisering av områder i distribusjonsnett med potensial for mikronett.

Oppgaven søker å besvare følgende problemstillinger:

- Hvordan bør et nettselskap gå frem for å identifisere potensielle nettområder for mikronett?
- Hvilke kriterier bør vektlegges i en slik kartleggingsmetodikk for mikronett?
- Hvilke faktorer er avgjørende for om mikronett i potensielle caser kan være et lønnsomt alternativ til tradisjonelle nettoppgraderinger?
 - Hvor mange og hvor store mikronett?
 - Hvilke analyser/simuleringer bør gjøres og hvordan?

1.3 Litteraturstudium og tilnærming

For et innledende litteraturstudium om temaet mikronett ble ulike artikler fra BIBSYS og IEEE-Xplore lest for å finne en aktuell problemstilling. Disse arkivene har dog få artikler om mikronett i Norge. For oppgavens innhold er de viktigste artiklene å trekke frem Sintef-rapporter om leveringskvalitet av Helge Seljeseth, Kjell Sand et al. [6, 11], Cineldi-rapport om mikronett av Ole Morten Midtgård [12], artikler om solenergi av hhv. Bjørn Thorud [13] og Norsk klimastiftelse [10]. Rapporten tar ellers i stor grad utgangspunkt i muntlige diskusjoner med hovedveileder samt fagpersonell i TrønderEnergi Nett AS, spesielt John-Kristian Evjen og Gørild Forbord.

Tilnærmingen til prosjektet har vært et ønske om å undersøke praktiske caser og løse reelle problemstillinger. Det er derfor søkt en metodikk med praktisk henseende, der nettdata til et nettselskap blir undersøkt med et mål om å fremarbeide en metodikk av praktisk nytteverdi. I prosessen har det vært mange diskusjoner for å drøfte hvilke parametre som kan være av interesse, for nyttiggjøring av informasjonen et nettselskap besitter. Hvilke data kan hentes ut fra Netbas og hvordan kan det gjøres på et systematisk vis?

Søk og henting av nettdata utføres i programmet Powel Netbas og bearbeides videre i MS Excel og Matlab. Flytskjemaer i rapporten er laget av studenten vha. nettsiden draw.io og skjermbilder er tatt fra arbeid i Netbas. Andre figurer er referert i kildeliste.

1.4 Avgrensninger

Fokuset til oppgaven er en screening av kraftsystemet med hensyn på potensielle caser for mikronett. Den tar ikke for seg reell detaljsimulering eller dimensjonering av et mikronett. Oppgaven kan beskrives som et arbeid i tidlig planfase av et prosjekt, der identifisering av mikronett-caser gjøres. Videre analyser for aktuelle caser vil måtte utføres i en detaljert prosjektfase f.eks. etter systematikk fra REN-planbok [14]. Siden oppgaven ikke omfatter drift og simulering av mikronett så presenteres ikke kontroll- og hierarkistrukturer for mikronett.

I avsnitt 2.3 om teknologiske elementer, så avgrenses omfanget av redegjøring for mulige distribuerte energiresurser og energilagre i mikronett til kun solceller og batterier. Andre mulige energiresurser og -lagre listes kun kort opp og drøftes ikke videre.

Kostnadsanalysen utført i avsnitt 8.5 er en forenklet kostnad-nytte-analyse og beregner kun kostnad for tradisjonelle nettførsterkninger i $\frac{kr}{kWh}$ for casene. Denne kostnaden sammenlignes deretter mot en case-spesifikk kostnadsgrense for mikronett i øydrift (avsnitt 4.3). Oppgaven tar ikke for seg beregning av reell kostnad for å etablere og drifte et mikronett i de identifiserte casene, og det presenteres derfor ikke teori og formler for mikronett-kostnader i kapittel 4.

Mikronett vil i realiteten være knyttet til visjonen om smarte nett. Siden data fra smarte målere (AMS) ikke er tilgjengelig per dags dato er slike målinger ikke tatt med i rapporten.

1.5 Oppgavestruktur

Kapittel 1 innleder oppgavens tema og problemstillinger oppgaven søker å besvare.

Kapittel 2 er et teoretisk kapittel om mikronett

Kapittel 3 beskriver kriterier for å vurdere mikronett-caser

Kapittel 4 forklarer teori for utføring av kostnad-nytte-analysen.

Kapittel 5 introduserer kort dataprogrammet Powel Netbas.

Kapittel 6 fremstiller en drøfting av mulige kriterier for identifisering av potensielle områder for mikronett.

Kapittel 7 kobler ulike mikronett-størrelser opp mot nettnivåer i distribusjonsnett.

Kapittel 8 er metodedel, der fire-trinns metodikk og testcaser presenteres.

Kapittel 9 er resultat- og diskusjonsdel, resultater fra testcasene presenteres og metodikken drøftes i sin helhet.

Kapittel 10 presenterer konklusjon og forslag til videre arbeid.

Kapittel 2

Mikronett

Dette kapitlet tar for seg teori om temaet mikronett. I avsnitt 2.1 defineres mikronett og videre forklares motivasjon for mikronett i avsnitt 2.2. Teknologiske elementer som kan inngå i et mikronett presenteres i avsnitt 2.3, mens avsnitt 2.4 redegjør for typer mikronett. Avslutningsvis i avsnitt 2.5 beskrives plassering av mikronett i nettstrukturen.

2.1 Definisjon

Mikronett (eng: Microgrid) i et elektrisk kraftsystem defineres av IEC TC8/WG7 som:

Group of interconnected loads and distributed energy resources with defined electrical boundaries that acts as a single controllable entity and is able to operate in both gridconnected or island mode [1].














































Et mikronett er altså en kontrollerbar enhet av integrerte laster og distribuerte energiresurser (DER) i kraftnettet. Mikronett kan driftes både tilkoblet strømmnettet eller frakoblet i øydrift. Ved nettilknyttet drift kan et mikronett i perioder dekke deler av eller hele lastbehovet sitt fra egne distribuererte energikilder som f.eks. solcelleanlegg, småskala vind- og vannkraft eller diesellaggregater. I perioder med utilstrekkelig energiproduksjon vil mikronettet dekke kraftbehovet for last og energilagre (f.eks. batterier) med kraft levert fra strømmnettet.


Ved få innslag av mikronett og DER i strømmettet vil det i liten grad kunne påvirke stabilitet og spenningskvalitet i kraftsystemet, mens en fremtidig stor integrering av DER vil kunne signifikant påvirke morgendagens kraftsystem i 2030-2040 [12]. Derfor er det viktig at mikronett dimensjoneres og modelleres både etter lastbehov i et gitt case, og også for best mulig integrering med det øvrige kraftsystemet. Sett fra en distribusjonsoperatør (nettselskap) sitt perspektiv, så er det viktig at nettilknyttede mikronett fungerer som underliggende kontrollerbare enheter, for å bidra til stabilitet og drift av det øvrige kraftsystemet. Et mikronett som kun skal driftes i øydrift vil hovedsakelig selvstyres og ikke kontrolleres av DSO. Et veldesignet mikronett vil kunne bidra med produksjon av nødvendig aktiv og reaktiv effekt i kraftnettet og forbedre leveringskvaliteten ute hos nettkunder med svakt lsp-nett.


2.2 Motivasjon


Motivasjon for å etablere et mikronett kan være av forskjellig art. Det kan være for å elektrifisere steder uten tilkoblet strømmett som f.eks. et fyrtårn eller områder i land med dårlig utbygd kraftnett. Tradisjonelt sett har fyrtårn benyttet dieselaggregater til lys og varme, hvilket kan anses som et mikronett uten energilagere. I områder med utilstrekkelig strømmett i land som f.eks. Nepal, så kan mikronett etableres for å forsyne innbyggere med strøm [15]. Andre motivasjoner for installering av mikronett kan være av økonomisk art, klimahensyn eller for å sikre stabil og sikker leveringskvalitet i kraftnettet.


Figur 2.1 viser en oversikt over ulike drivere for mikronett i ulike verdensdeler. Figuren gir i hovedsak et grovt inntrykk om drivere internasjonalt. I Norge kan motivasjonen for mikronett være nettselskaper som ønsker å etablere mikronett som alternativ løsning til tradisjonelle nettførsterkninger. Det kan også være et økonomisk gunstig alternativ til byggisolering, for oppnåelse av tilnærmede klimavennlige "Nullhus" (eng: Zero emission buildings), og mikronett med PV-anlegg kan til og med være populært for folk å installere til lading av elbilen [13].

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

 Electrification

 Environment

 Cost

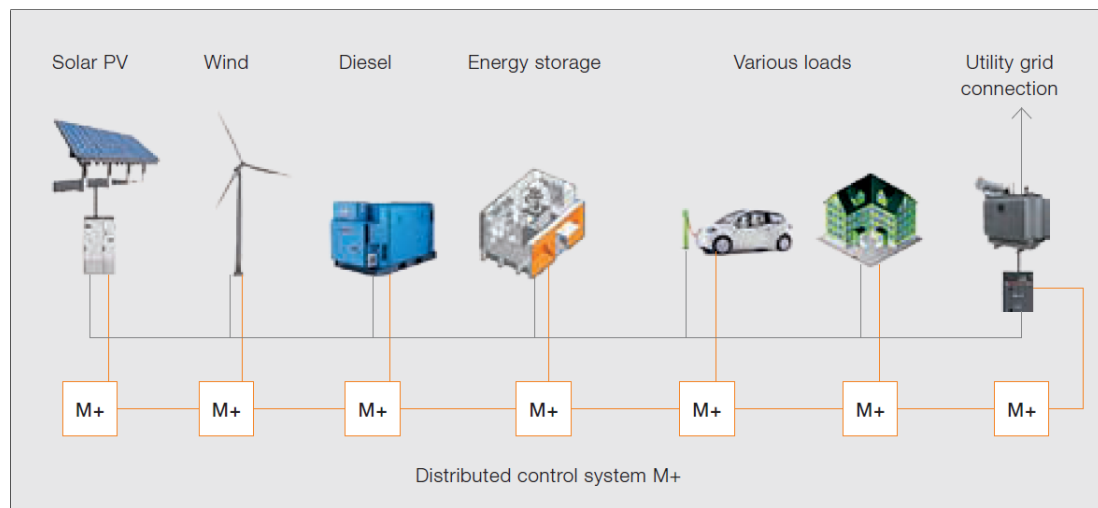
 Reliable & secure power supply

Figur 2.1: Drivere for mikronett i ulike verdensdeler [2]

2.3 Teknologiske elementer

Figur 2.2 viser ulike teknologiske elementer et mikronett kan bestå av: Distribuerte energikilder, distribuerte energilagre, nettilknytning og ulike laster. Disse komponentene kombineres med et distribuert kontrollsystem (M+) slik at mikronettet kan fungere som en kontrollerbar enhet. Det finnes ikke en generell og fastsatt maksgrense for mikronettstørrelse i forhold til kW- eller MW-kraftproduksjon, dog ut fra at mikronett har distribuerte energiresurser (plassert i dist.nett: 230-22kV) vil et nett med kraftproduksjon større enn 1-2MW nok ikke omtales som mikronett. I kap. 7 drøftes og redegjøres ulike mikronettstørrelser og systemgrenser som er hensiktsmessige for et nettselskap å undersøke i forhold til ulike nettnivåer.

I avsnittene 2.3.1 og 2.3.2 beskrives den teknologiske utviklingen til solceller og batterier de senere årene, mens andre eksempler på energikilder i et mikronett kan være vindkraft, vannkraft, diesellaggregater, gass m.m. Og andre former for energilagring kan være hydrogen, svinghjul, superkondensator og trykkluft. I tillegg vil termiske virkemidler som f.eks. fjernvarme og varmepumper kunne spille en rolle i mikronett.

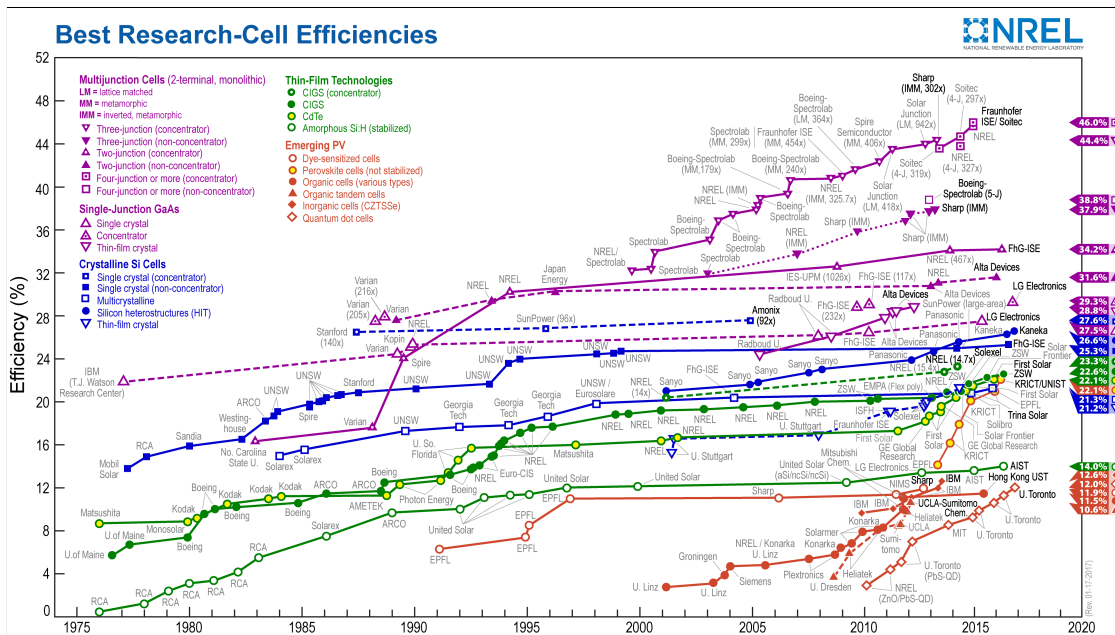


Figur 2.2: Typisk struktur og elementer i mikronett [2]

2.3.1 Solceller

I figur 2.3 vises amerikanske National Renewable Energy Laboratory (NREL) sin oversikt over de best oppnådde virkningsgradene for solceller over tid [3]. Dette er virkningsgrader oppnådd i laboratorier, mens reell virkningsgrad for ulike solcelletyper vil i praksis være lavere. De dominerende solcellene på markedet i dag baseres på silisiumteknologi (SI-wafer) og har en virkningsgrad rundt 20%, med en øvre teoretisk grense på omtrent 30%. Videre forskes det mye innen material- og nanoteknologi for å nå høyere maksgrenser for virkningsgrad ved f.eks. å endre materialstrukturer eller kombinere SI med andre materialer [13]. Silisiumbasert teknologi sto for 93% av global PV-produksjon i 2015 [16].

I en artikkel om distribuert solenergi av Bjørn Thorud trekkes det frem at: *"De nyeste rekordene er satt av selskaper og ikke lenger av universiteter og forskningsinstitusjoner"* [13]. Denne endringen har medført kortere vei fra laboratorium til produksjon, og det er en medvirkende årsak til den raske teknologiske utviklingen vi har sett for solceller de siste årene.



Figur 2.3: Oversikt over beste virkningsgrader oppnådd for ulike solcelletyper [3]

De to hovedårsakene som gjør at distribuert solenergi har blitt så gunstig for mikronett er den økte virkningsgraden og lavere kostnader. Solcellemoduler med bedre virkningsgrad produserer mer kraft på likt areal som moduler med lavere virkningsgrad, dette fører til reduserte systemkostnader for mer effektive solceller [13]. Ifølge "Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems" (ISE) så har modulprisen for solceller falt med 23% ved hver kumulative dobling i energiproduksjon de siste 35 årene [16].

Avslutningsvis legges det til, at for styring av solcellesystemer benyttes det vekselrettere (eng: Inverters). "State-of-the-art" vekselrettere har i dag en virkningsgrad på over 98% [16]. For teknisk informasjon om hvordan solceller fungerer anbefales nettsiden til [Norsk Solenergi-forening](#) [17].

Potensial for solenergi i Midt-Norge

Det finnes flere ulike datakilder til soldata. Utfordringen er at det ved anslag kan være mye usikkerhet rundt estimering i forhold til å anslå presise verdier. Noen lett tilgjengelige kilder på nett er f.eks. [PVGIS](#) og norske [Solkart](#) [18, 19]. Begge er enkle og tilgjengelige kilder for soldata ut i fra kartkoordinater. PVGIS tar utgangspunkt i teoretiske verdier med ideelle forutsetninger, så anslagene derfra kan ha opptil 20-30% usikkerhet [20]. Norske Solkart er i utgangspunktet også basert på PVGIS, men det jobbes med å forbedre algoritmene for å

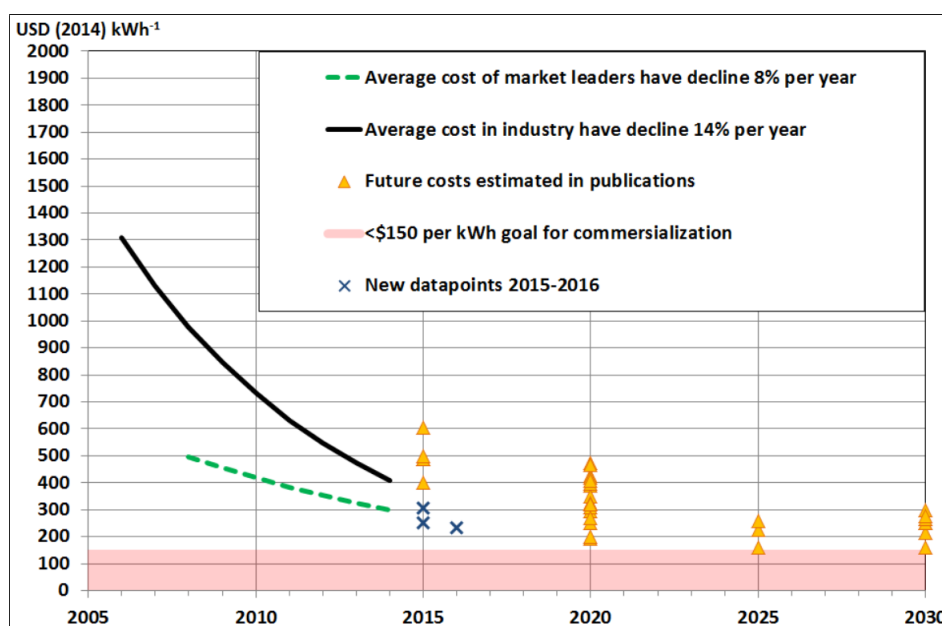
forbedre anslagene. Dette gjøres ved å inkludere soldata-målinger fra installerte PV-anlegg i Norge [21]

En mer presis kilde er datakilden Meteonorm som gjør mer anslag ved å bla. inkludere skyggeberegninger for bygg, men den krever en betalt lisens for å tas i bruk. Meteonorm anslår potensialet for sol i selve Trondheim-by til å være $880 \frac{kW}{m^2}$ [22]. Dette estimatet kan brukes ved sammenligninger om solpotensial andre steder i Midt-Norge. Generelt kan potensialet for solenergi i Midt-Norge grovt anslås til å være $800 \frac{kW}{m^2}$ [20].

2.3.2 Batterier

Energilagre utgjør en viktig brikke for stabilitet og sikker energileveranse i mikronett, f.eks. tilbyr batterier som energilager muligheten til å forskyve tidspunkt fra fornybar energi produseres til når den skal forbrukes. Således blir batterier en bro som tetter tidsgapet mellom topper i daglig energiproduksjon og energiforbruk [2].

I likhet med solceller har battericeller gjennomgått en sterk teknologisk utvikling de siste 20 årene. Den ledende teknologien i markedet er lithium-ionbatterier (LI-ion). For LI-ion batterier i elbiler viser grafen i figur 2.4 at kostnaden var tilnærmet $300 \frac{USD}{kWh}$ i datapunkter fra 2015 (blå kryss) og anslås til å synke ned mot $200 \frac{USD}{kWh}$ i 2020 (gule trekkanter i figur) [4].



Figur 2.4: Kostnadsutvikling for elbil-batterier [4]

Virkningsgraden til battericeller er rundt 80-90%, og det vil alltid være litt tap knyttet til lagring av elektrisk energi i batterier. Derfor er det alltid mest energieffektivt å forbruke produsert solenergi direkte når det er mulig, men når direkte forbruk hverken er mulig eller ønskelig, så tilbyr batterier per i dag en av de beste løsningene for energilagring [23].

2.4 Typer mikronett

Metodikken presentert i oppgaven kan anses som generell for identifisering av potensielle områder for mikronett både tilkoblet og frakoblet kraftnettet, men endelig kostnad-nytteanalyse gjelder kun for mikronett i øydrift. For nettilknyttede mikronett vil en kostnadsanalyse bli mere kompleks og må gjøres i en større detaljert grad enn det enkle prisanslaget i oppgaven.

2.4.1 Isolerte mikronett i øydrift

Et mikronett i øydrift driftes isolert fra distribusjonsnett og har ingen tilknytning til resten av strømmettet. For slike mikronett må solcelle- og batteriløsninger dimensjoneres for å tilstrekkelig kunne dekke lastbehovet. I realiteten vil mikronett i øydrift i Norge ennå være avhengig av en form for backup-løsning til fornybare energikilder [24]. Backup-løsning kan f.eks. være et dieselaggregat. Fra fornybar energi som f.eks. sol og vind, så produseres det for lite solenergi om vinteren mens vindkraft kan variere voldsomt i produksjon over tid. For å få til et øydriftet mikronett basert kun på fornybare energiresurser, så må nok en ekstrem overdimensjonering tenkes av både energikilder og for energilagring. En slik løsning ville vært særdeles dyrt og derfor lite hensiktsmessig.

Formålet til isolerte mikronett vil være å kunne supplere nettkunder i avsidesliggende områder med utilstrekkelig kraftnett[1]. Slike områder vil ofte ha få nettkunder, slik at "kostnad per kunde" for nettførsterkning blir svært høy. I et case der etablering av mikronett blir samfunnsøkonomisk lønnsomt kontra tradisjonelle løsninger, så vil et aktuelt scenario være å installere et øydriftet mikronett som løsning. Et nettselskap må isåfall med mikronettet oppfylle Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) sine krav til "Fritak for leveringsplikt". I avsnitt 4.1 drøftes kravene for dispensasjon fra leveringsplikt. Om dispensasjon kan oppnås,

vil det ligge en mulig økonomisk besparelse for nettselskaper ved etablering av mikronett i stedet for dyre nettførsterkninger som f.eks. sjøkabler ut til øyområder.

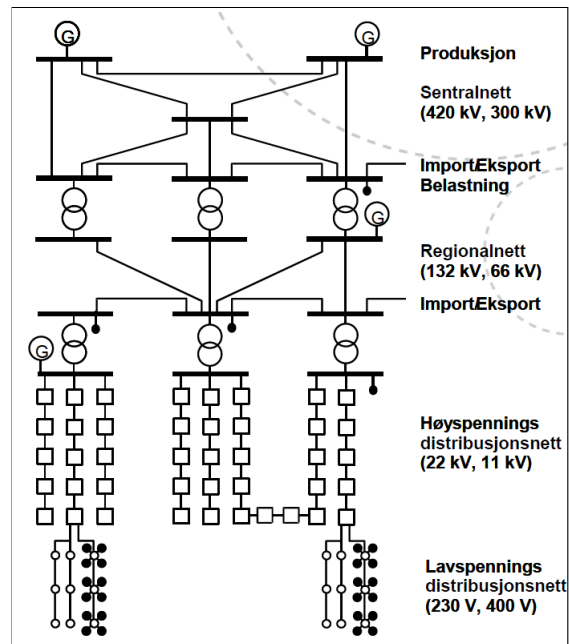
2.4.2 Nettilknyttede mikronett

Et nettilknyttet mikronett driftes sammen med distribusjonsnettet som en kontrollerbar enhet nettselskapet (DSO) kan styre. Et slikt mikronett skal tilfredsstillende kraftnettets behov for stabilitet og optimere forbruket av lokal kraftproduksjon i mikronettet [1]. I perioder med tilstrekkelig distribuert energiproduksjon så kan mikronettet dekke hele eller deler av eget lastbehov, og kan om ønskelig eller ved energioverskudd selge kraft til det øvrige tilkoblede kraftsystemet.

I perioder med for dårlig distribuert energiproduksjon kan nettilknyttede mikronett benytte tilkoblingen til hovednettet for å hente inn nødvendig kraft for å dekke energibehovet. Et nettilknyttet mikronett kan altså benytte kraftnettet som backup-løsning til å enten direkte dekke lastbehov eller til gjenopplading av batterier. Nettilknyttede mikronett har således en fordel kontra mikronett i øydrift, hvis målet er 100% fornybar energi i mikronettet. Ulempen ved nettilknytning er at det for mikronettet må betales nettleie for tilkobling til øvrig kraftnett. Et nettilknyttet mikronett tilbyr mange spennende muligheter mtp. optimering av kraftproduksjon, kjøp/salg av kraft og ladestrategier for batterier m.m.

2.5 Plassering i kraftsystemets nettstruktur

I figur 2.5 vises nettstrukturen til det norske strømmettet oppbygd med ulike spenningsnivåer. Denne oppgaven foretar undersøkelser i lavspennings-distribusjonsnettet etter svake lsp-kretser, dvs. i spenningsnivåene 230V og 400V. I overgang mellom hsp-distribusjonsnett og lsp-distribusjonsnett befinner det seg nettstasjoner med fordelingstransformatorer. Hver nettstasjon (NS) har nettkunder eller abonnenter (AB) tilknyttet på lsp-siden. En tenkelig mikronett-løsning vil være å installere et mikronett med distribuert energiproduksjon på lsp-siden av NS, med NS som systemgrensen for mikronettet til øvrig distribusjonsnett.



Figur 2.5: Kraftsystemets spenningsnivåer og nettstruktur [5]

Tradisjonelt mates produsert kraft inn på sentralnettet. Videre foregår en en-veis kraftflyt fra sentralnett øverst og helt ned til sluttbrukere i lsp-dist.nett. I fremtiden vil større innslag av distribuert energiproduksjon kunne endre kraftflyten til en to-veis kraftflyt. I utgangspunktet er kraftnettet designet for en-veis kraftflyt, mens flyt i begge retninger vil gjøre situasjonen mer kompleks for: Stabilitet i nettet, spenningskvalitet og situasjonen ved feilstrømmer. Dagens nettplanlegging for mikronett og kraftnettet generelt må altså gjøres med tanke på fremtidens nett med større innslag av variable fornybare energikilder som sol og vind i distribusjonsnett. Om kraftflyten i stor grad vil endres, avhenger av om mikronett og DER i fremtiden produserer en reell andel av energien i nettet. Det vil avhenge av mange faktorer men i siste ende av om mikronett blir en samfunnsøkonomisk gunstig løsning [12].

Kapittel 3

Kriterier for å vurdere mikronett-caser

Dette kapitlet tar for seg ulike kriterier for vurdering av potensielle mikronett-caser. I avsnitt 3.1 forklares det hvordan indikatorer for svakt lsp-nett kan estimeres. Avsnitt 3.2 presenterer kort forskrift om leveringskvalitet. Det forutsettes i rapporten en viss grunnforståelse for elkraft fra emner som kretsanalyse og elektriske kraftsystemer.

3.1 Indikatorer for svakt lavspenningsnett

3.1.1 Nettstyrke, spenningsfall og to-polt kortslutningsstrøm

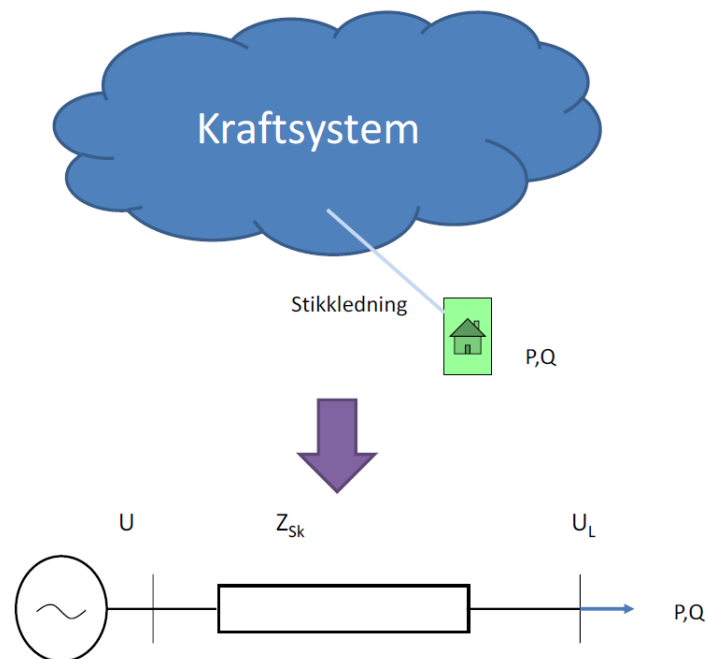
Nettstyrken til et lsp-nett beskrives ved nettets kortslutningsytelse og -impedans. Høy kortslutningsytelse og lav kortslutningsimpedans tilsvarer et sterkt og robust nett med mindre sannsynlighet for spenningsvariasjoner ved produksjon- eller lastvariasjoner. Motsatt betegnes svake nett ved lav kortslutningsytelse og høy kortslutningsimpedans. Svake nett vil være mere sensitiv overfor endringer i last- og produksjonsbetingelser, kunne være til fare ved kortslutninger og ha problemer med å levere ønsket spenningskvalitet. Svake nett kan utgjøre en sikkerhetsrisiko i kraftnettet dersom vern og sikringer ikke utløses ved kortslutninger, en risiko både for mennesker og nettets elektriske komponenter [25, 26].

Fra en kartlegging av nettstyrke hos 6 nettselskaper har Sintef Energi estimert ved kortslutningsberegninger at ca. 40% av norsk lavspenningsnett er for svakt [6]. I oppgaven er det derfor interessant å identifisere caser med svakt lsp-nett vha. indikatorer for nettstyrke som

f.eks. to-polt kortslutningsstrøm og spenningsfall, for deretter å vurdere mikronett egnethet i de identifiserte casene.

Figuren og formlene presentert herunder er basert på rapporten: "Håndtering av utfordrende elektriske apparater som tilknyttes elektrisitetsnettet" utarbeidet av Sintef Energi [6].

For estimering av indikatorer tas det utgangspunkt i forsyningssituasjonen vist i figur 3.1:



Figur 3.1: Thevenin-ekvivalent av last tilkoblet kraftsystemet [6].

Der:

- U_L - Lastspenning [kV]
- U - Kraftsystemets spenning [kV]
- Z_{Sk} - Kortslutningsimpedans [Ω] = $R_k + jX_k$
- P - Aktiv last [kW]
- Q - Reaktiv last [kvar]

For 3-fase last er da spenningsfallet gitt ved projeksjonsmetoden:

$$\Delta U = \frac{1}{U_L} \cdot (P \cdot R_k + Q \cdot X_k) \quad (3.1)$$

Mens spenningsfall for 1-fase last blir ved projeksjonsmetoden:

$$\Delta U = \frac{2}{U_L} \cdot (P \cdot R_k + Q \cdot X_k) \quad (3.2)$$

I rapporten benyttes hovedsakelig spenningsfall fremfor spenning som indikator, men generelt for spenning ønskes det en tilnærmet perfekt kontinuerlig sinus-form med riktig amplitude (230V i norsk IT-nett) [26]. For å betegne nettstyrke er minimum 2-polt kortslutningsstrøm I''_{k2} benyttet som mål, og denne beregnes ved å finne impedansene sett fra feilstedet:

$$I''_{k2} = \frac{c \cdot U_n}{|Z_+ + Z_-|} \quad (3.3)$$

Der:

- I''_{k2} - To-polt kortslutningsstrøm [kA]
- U_N - Basisspenningen ved kortslutningsberegning [kV]
- c - Korreksjonsfaktor (settes lik 1,0 for lsp-nett og 1,1 for hsp-nett)
- Z_+ Impedans for det positive system
- Z_- Impedans for det negative system

Antas feilstedet å være langt fra generatorer i fig. 3.1, blir impedansene for positivt og negativt system lik kortslutningsimpedansen: $Z_{Sk} = Z_+ = Z_-$. Med denne antagelsen kan kortslutningsimpedansen beregnes ut fra:

$$|Z_{Sk}| = \frac{c \cdot U_n}{2 \cdot I''_{k2}} \quad (3.4)$$

Avslutningsvis tas også sammenhengen mellom kortslutningsimpedans og kortslutningsytelsen S_k [MVA] med:

$$|Z_{Sk}| = \frac{U_n^2}{S_k} \quad (3.5)$$

3.1.2 Belastningsgrad for komponenter

En annen indikator som er tatt med i oppgaven er belastningsgrad i [%] for komponenter som f.eks. luftlinjer, kabler og transformatorer. En høy belastningsgrad over lengre tid, spesielt over 100% av kapasitet, vil kunne senke levetiden for komponenter ved at materialer degraderes. Høy belastningsgrad indikerer ikke nødvendigvis svakt lsp-nett, men det indikerer at belastning for komponenter i en lsp-krets er høy, og kretsen kan derfor ha behov for nettførsterkninger. Derfor er det interessant å kombinere belastningsgrad som indikator for potensielle mikronett-caser kombinert med spenningsfall og minimum kortslutningsstrøm. En høy belastningsgrad i luftlinjer kan indikere et for lavt tverrsnitt [m^2], og altså har linjen for lav kapasitet i forhold til kraftoverføring gjennom den. For en fordelingstransformator til en lsp-krets, så vil høy belastningsgrad kunne gi problemer med å levere nok kraft om kraftbehovet skulle øke ytterligere.

3.2 Leveringskvalitet

3.2.1 Forskrift om leveringskvalitet (FoL)

Forskrift for leveringskvalitet i kraftsystemet er utarbeidet av NVE og setter krav til spenningskvalitet og ulike spenningsfenomener nettselskaper har krav om å opprettholde med sitt ansvar som DSO. Tabell 3.1 er utarbeidet av Sintef Energi og sammenfatter i hovedsak de viktigste kravene til leveringskvalitet i FoL:

Kategori	Fenomen	Krav	Tidsramme	
Effektivverdi	Frekvens	Grunnharmonisk frekvens	49,9-50,1 Hz	
	Langsomme spenningsvariasjoner	U = 230 V ± 10 % 100 % ÷ av tiden	Målt over 10 sekunder	
		Spenningsssprang	$\Delta U_{\text{maks}} \geq 5\%$ maks 24 ganger i døgnet $\Delta U_{\text{stasjoner}} \geq 3\%$ maks 24 ganger i døgnet	Målt over 1 minutt
		Kortvarige over- og underspenninger	Som for spenningsssprang	Endring større enn 0,5 % over 1 sekund
		Flimmer	$P_{\text{st}} \leq 1,2\%$ 95 % av tiden $P_{\text{lt}} \leq 1\%$ 100 % av tiden	Målt mellom 10 ms og 1 minutt
		Usymmetri	$U_{-}/U_{+} \leq 2\%$	Målt over 10 minutter
Spenningsens kurveform	Transiente overspenninger	Ingen krav	Målt over 10 minutter	
	Total harmonisk forvrengning	THD ≤ 8 % THD ≤ 5 %	Mindre enn 10 ms	
	Individuelle overharmoniske	Individuelle grenser for den enkelte overharmoniske	Målt over 10 minutter	
	Interharmoniske	Ingen krav	Målt over 1 uke	

Tabell 3.1: FoL-krav til spenningskvalitet [8]

Til arbeidet i oppgaven er kravet om fenomenet langsomme spenningsvariasjoner brukt: "100% av tiden skal spenninger målt over 1 minutt være innenfor $U = 230V \pm 10\%$."

Dette kravet om maksimalt 10% spenningsfall/-økning benyttes som et søkekriterium i Net-bas for å identifisere caser i avsnitt 8.3. Konsekvenser av dårlig spenningskvalitet kan være ødeleggelser av elektrisk utstyr, forkortet levetid for utstyr og blinking i lyset.

3.2.2 Forventet leveringskvalitet for mikronett

TrønderEnergi Nett AS har i sine prosjekter satt som premiss for mikronett, at det skal levere minst like bra leveringskvalitet som nettførsterkninger ville gjort[27]. Denne oppgaven undersøker dog ikke om mikronett rent faktisk forbedrer den dårlige leveringskvaliteten i identifiserte caser. Videre analyser av leveringskvalitet for caser bør foretas i en prosjekteringsfase med modellering og simulering av mikronett.

Kapittel 4

Kostnadsanalyse for mikronett i øydrift

Dette kapitlet tar for seg en enkel kostnadsanalyse til vurdering om mikronett i øydrift kan være samfunnsøkonomisk lønnsomt. I analysen anslås kostnad for tradisjonelle nettforsterkninger i $\frac{kr}{kWh}$. Ved et kostnadsnivå for tradisjonelle løsninger over case-spesifikk grense for mikronett i øydrift, så anses mikronett som et gunstig alternativ. I avsnitt 4.1 forklares NVEs "Fritak for leveringsplikt", mens avsnitt 4.2 gjennomgår komponentpriser og formler for kostnad-nytte-analysen, mens avslutningsvis i avsnitt 4.3 presenteres den case-spesifikke kostnads-grensen for mikronett i prosjektet.

4.1 Fritak for leveringsplikt - NVE

Utgangspunktet for utredning av mikronett er at det skal lønne seg rent samfunnsøkonomisk. I en kostnad-nytte-analyse blir prisen for tradisjonelle nettforsterkninger det sammenlignbare med prisen for alternativt å installere og drifte et mikronett for et nettselskap. Om mikronett installeres vil nettilknytningen kunne benyttes inntil luftlinjer og andre komponenter er i for dårlig forfatning, deretter vil mikronettet driftes i øydrift. For å drifte et mikronett i øydrift må det søkes om dispensasjon til "Fritak for leveringsplikt" fra NVE for de berørte nettkundene, siden disse vil miste tilkoblingen sin til det øvrige kraftnettet. I NVE sin rapport: "Fritak for leveringsplikt" [28] beskrives adgangen til å dispensere fra leveringsplikten med energilovens § 3-3, 3.ledd:

Departementet kan dispensere fra leveringsplikten når særlige grunner tilsier det.

Det er flere vilkår uttrykt i rapporten som må innfris for dispensasjon, dog ut fra formuleringen i energiloven blir det viktige punktet hvor stort avvik fra normal forsynings situasjon det må være før *særlige* grunner kan anses som oppfylt. Her uttrykkes det videre i NVE sin rapport:

I skjønnsutøvelsen kan det derfor være naturlig å ta utgangspunkt i energilovens formålsparagraf (§ 1-2) som lyder: Loven skal sikre at produksjon, omforming, overføring, omsetning og fordeling av energi foregår på en samfunnsmessig rasjonell måte, herunder skal det tas hensyn til allmenne og private interesser som blir berørt [28].

Altså kan vi trekke den slutningen at: Hvis det er rasjonelt og samfunnsmessig lønnsomt å installere mikronett fremfor dyre nettforsterkninger, så kan det være mulig å dispensere fra leveringsplikten. Det må likevel (som det står) også tas hensyn til allmenne og private interesser, slike interesser kan f.eks. være vernede fuglereservat områder som ikke tillater etablering av vindmøller, eller områder med næringsinteresser f.eks. ved fiskeoppdrettsanlegg der det ikke er ønskelig med mikronett. Det kan altså være en omfattende prosess å sikre seg grunnlag for dispensasjon i aktuelle caser.

I NVE's rapport om "Fritak for leveringsplikt" er det vedlagt en: "Standardisert mal for vurdering av kostnader i elnettet" [28]. Den standardiserte malen kombinert med kapittel 2 om økonomiske begreper i REN-planbok for kraftnett [14], ligger til grunn for den enkle kostnadsanalysen i neste avsnitt. Oppdaterte kostnadsnivåer er supplert fra TrønderEnergi Nett AS og realrenten endret til dagens nivå. NVE sin mal blir en forenkling av det generelle kostnadsbildet, mens en mer generell kostnadsestimering for mikronett vil måtte inkludere investering- og driftskostnader av utstyr og f.eks. mulige inntekter fra egenprodusert kraft.

4.2 Vurdering av kostnader i elnettet

I tabell 4.1 vises anslåtte priser for prisnivået i 2017 for å kunne utføre kostnadsanalysen. Verdiene er anslått og supplert av TrønderEnergi Nett AS [27]. I realiteten vil kostnader for oppgraderinger av linjer og kabler variere etter område og omstendigheter i ulike caser, mens i oppgaven er komponentpriser anslått til å ha faste verdier i alle caser.

Tabell 4.1: Komponentpriser for Linjer, kabler og nettstasjoner.

Komponent:	Pris [kr/km]
Hsp. Linje	900.000
Hsp. Kabel	900.000
Lsp. Linje	500.000 med 30 hytter/hus
Lsp. Kabel	1.100.000 med 30 hytter/hus
Nettstasjon	500.000 [kr/stk]

Her følger de fem trinnene fra NVE sin mal [28]:

1. Estimert nyverdi - F_0 :

$$\text{Nyverdi Linje/kabel} = \text{Lengde [km]} * \text{pris [kr/km]} \quad (4.1)$$

$$\text{Nyverdi Nettstasjon} = \text{antall [stk]} * \text{pris [kr/stk]} \quad (4.2)$$

$$F_0 = \sum_{n=1}^k \text{Nyverdi for komponent} \quad (4.3)$$

I et case beregnes det da nyverdier for: *Nettstasjon, lavspenkabler og -linjer og enten høyspen-
tkabel eller -linje til aktuell NS.*

Nyverdiene summeres opp i lign. 4.3 for å finne totalt estimert nyverdi for lsp-kretsen.

2. Årlig kapitalbelastning - F :

Videre beregnes årlig kapitalbelastning eller annuiteten av investeringen ved:

$$\epsilon_{r,N} = \frac{r}{1 - (1 + r)^{-N}} \quad (4.4)$$

$$F = F_0 * \epsilon_{r,N} \quad (4.5)$$

Faktoren $\epsilon_{r,N}$ er annuitetsfaktor eller amortiseringsfaktor og bestemmes av realrenten r og antall år N . Realrenten er i oppgaven satt til 4% og antall år N lik 30år.

3. Fremtidige drift- og vedlikeholdskostnader - FDV:

Utover kapitalkostnader vil det også påløpe drift- og vedlikeholdskostnader. Disse anslås til 2%. FDV beregnes da ved:

$$FDV = F_0 * 0.02 \quad (4.6)$$

4. Samlet kostnadsestimat:

Det samlede kostnadsestimatet finnes ved:

$$Total\ kostnad = F + FDV \quad (4.7)$$

5. Endelig kostnad

Siste trinn i beregningen gir kostnad i [$\frac{kr}{kWh}$]:

$$Kostnad = \frac{Total\ kostnad}{\text{Årlig Energiforbruk}} \quad (4.8)$$

4.3 Case-spesifikk kostnadsgrense for lønnsomt mikronett

Ut fra prosjektene til TrønderEnergi Nett AS er grensenivå for om et mikronett kan være samfunnsøkonomisk lønnsomt satt til $4 \frac{kr}{kWh}$ [24]. Denne kostnadsgrensen er satt ut fra at det skal være billigere for nettselskapet å sette opp lokal energiproduksjon enn å bygge ny kraftforsyning for å oppfylle leveringsplikten. Dette er en case-spesifikk kostnadsgrense satt for testcasene i metodikken, for mikronett utredninger ved andre nettselskaper og nettområder i Norge så vil den kunne ha en helt annen tallverdi. Det legges også til at grensen kan bli lavere i fremtiden, hvis pris for solceller og batterier fortsetter å falle slik at etablering av mikronett blir enda rimeligere.

Kostnadsgrensen gjelder kun for mikronett i øydrift. Den betyr i praksis at caser med prisanslag under $4 \frac{kr}{kWh}$ bør utbedres med tradisjonelle netttforsterkninger, mens caser over eller lik kan være interessante for mikronettløsning og ha grunnlag for søknad til NVE om fritak for leveringsplikt.

Kapittel 5

Enkel innføring i Powel Netbas

I denne oppgaven benyttes dataprogrammet Powel Netbas til identifisering av potensielle mikronett-caser. Programmet utgjør oppgavens kilde til nettdata og betegnes videre i rapporten bare som Netbas. Netbas er utviklet av firmaet Powel AS med muligheter for avanserte analyser, og det benyttes av mange norske nettselskaper til analyse og dokumentering av kraftnettet deres.

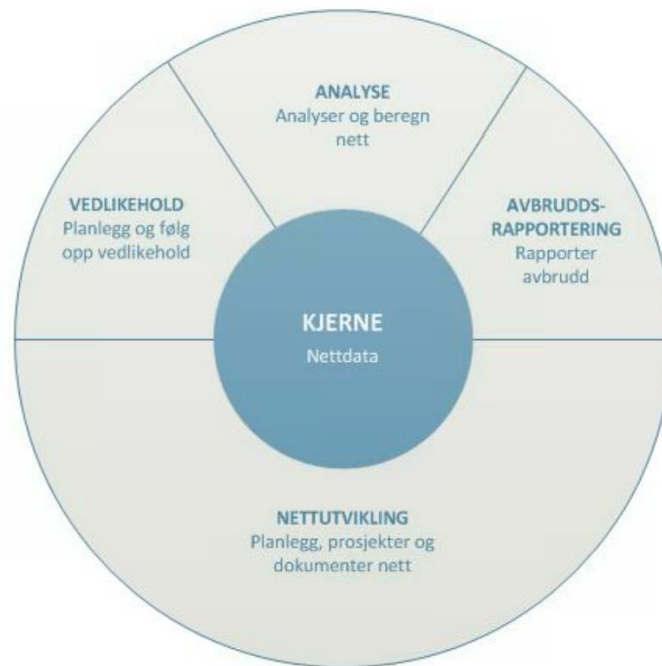
I avsnitt 5.1 introduseres programmet, mens i avsnitt 5.2 forklares viktige Netbas-funksjoner brukt i metodikken. Delavsnitt 5.2.2 forklarer resultatberegninger, såkalte RB-komponenter som i Netbas innehar mye nettdata. Kapitlet baserer seg i stor grad på den fylldige hjelpefunksjonen til Netbas [7]. For videre analyse av oppgavens nettdata benyttes programmene Matlab og Microsoft Excel, disse presenteres ikke med egne avsnitt da de må anses som velkjente.

5.1 Introduksjon til Netbas

Powel Netbas er en programplattform som tilbyr løsninger for nettanalyse, -dokumentasjon, -utvikling, vedlikehold og avbruddsrapportering. Det er en omfattende kilde til nettdata og innehar funksjoner for utføring av analyser i både lsp- og hsp-nett. Nettanalyse kan utføres vha. statiske lastflytberegninger, mens prosjektering av nytt kraftnett kan utføres med reell nettdata. Netbas kan også brukes til å undersøke avbruddsrapporter og KILE-kostnader, i tillegg til vedlikeholdsregistrering for ulike komponenter [7].

Moduler og arbeidsvinduer

Netbas har fire hovedmoduler som vist i figur 5.1. Modulene har forskjellige funksjoner og under modulnavnene i figuren, så beskrives det kort hva de ulike modulene kan brukes til. I arbeidet med prosjektet ble kun modulene Analyse og Nettutvikling testet.



Figur 5.1: De fire hovedmodulene i Netbas [7]

Videre er det hovedsakelig tre arbeidsvinduer i Netbas man kan jobbe i: Kart, nettskjema og register. I kart vises kraftnett-komponenter som f.eks. linjer, kabler, nettkunder m.m. ovenpå et geografisk kartlag. Kartlaget benyttet i metodikken er "TE NETT ArcGIS".

Nettskjema benytter seg av enlinjeskjema for å vise elektrisk sammenheng mellom komponenter i kraftnettet og til analyser av hsp- og lsp-nett. Det tredje arbeidsvinduet Register gir en liste over komponenter etter at søk utføres i Netbas, her kan søkeresultater sorteres etter ulike verdier i kolonnene eller eksporteres til et Excel-ark.

Modulen Nettutvikling

Innledningsvis måtte det i prosjektet endel testing til for å finne ut hvilken modul, hvilke typer funksjoner og hvilke nettdata som er relevante å hente ut fra Netbas. I begynnelsen ble Analyse-modulen brukt til å kjøre analyser og beregninger av distribusjonsnett. Analyse tilbyr beregninger for både hsp- og lsp-nett med f.eks. lastflyt- og kortslutningsberegninger for ulike lasttilordninger som lettlast og makslast.

Etter endel testing ble det funnet ut at Nettutvikling-modulen var fordelaktig kontra Analyse, siden Nettutvikling tillatter å søke opp data for et stort antall caser samtidig etter gitte søkekriterier. I Analyse er det vanskelig å undersøke og få oversikt over flere caser samtidig. I Nettutvikling legges søkeresultater i registervinduet, derfra kan et stort antall caser vurderes, og i tillegg kan (om ønskelig) hvert enkelt case undersøkes mer grundig i nettskjema-vinduet. Ved å hente inn nett for en lsp-krets i nettskjema kan nemlig mange av beregningsfunksjonene fra Analyse-modulen også benyttes i Nettutvikling.

Siden det kan være 50-100 potensielle caser etter utført søk, så er det ikke ønskelig å undersøke hvert case manuelt i nettskjema, men heller ha en mer automatisk vurdering og sammenligning av det store antallet mulige caser. Derfor er den viktigste funksjonen i Nettutvikling, for metodikken sin del, muligheten for eksportering av data fra registervinduet til MS Excel. Fra Excel-ark så kan nettdata videre innleses i Matlab for analyser og vurdering. Det som er viktig før eksport fra Netbas er oppsettet av presentasjonsformatet til registervinduet som omtales i avsnitt 5.2.3. Presentasjonsformatet må settes opp riktig for at Matlab-koden til metodikken skal kunne fungere.

5.2 Funksjoner benyttet i arbeid med metodikk

5.2.1 Utføring av søk

For å søke etter komponenter som f.eks. abonnenter (AB), så trykker man på forstørrelsesglasset i Hjem-fanen til Netbas eller tastatur-snarveitast F2. I vedlegg B.1 viser figurene B.1 og B.2 skjermbilder av hvordan søk utføres og hvordan avanserte søkekriterier legges til.

5.2.2 Resultatberegning (RB)

Gjennom testing i Netbas og diskusjoner med ansatte i TrønderEnergi Nett AS ble enkleste måte å fremskaffe data til å vurdere caser i metodikken funnet frem til å være de allerede ferdiggjorte resultatberegningene som ligger tilgjengelig ved søk i Netbas. Arbeidet er altså en screening av allerede utførte beregninger i Netbas, og det ble altså ikke utført egne analyser i enkeltcasene med Netbas. For videre utredning om mikronett i casene bør det kjøres egne spesifikke beregninger i lsp-kretsene for å kvalitetssikre at verdier fra RB er riktige. RB-komponentene vurdert i metodikken var beregnet 11.07.2016, altså allerede et år gamle og derfor muligvis litt utdaterte.

Netbas definerer at: *"Resultatberegning (RB) er en oppsummering for lavspenning"*[7]. Det vil si RB er en komponent som inneholder en oppsummering av beregninger for lsp-kretser. Hver RB har en tilhørende nettstasjon og innehar mange beregningsverdier for lsp-kretsen under nettstasjonen. I arbeidet med rapporten ble RB-komponenter funnet som en effektiv måte å fremskaffe nettdata for analyser, dette fordi de inneholder data for fordelingstransformator, nettkunder, luftlinjer, kabler og andre komponenter i lsp-kretsen. Alternativet til RB-søkville vært å gjort flere søk etter ulike komponenter såsom AB (abonment), LL (luftlinje) og KA (kabel). Og deretter måtte slå sammen excel-arkene fra de ulike komponent-søkene.

5.2.3 Presentasjonsformat og eksport av nettdata

Datakriterier for RB-komponenter kan vises i registervinduet ved å legge de til i presentasjonsformat, og fra register kan de enkelt eksporteres til MS Excel.

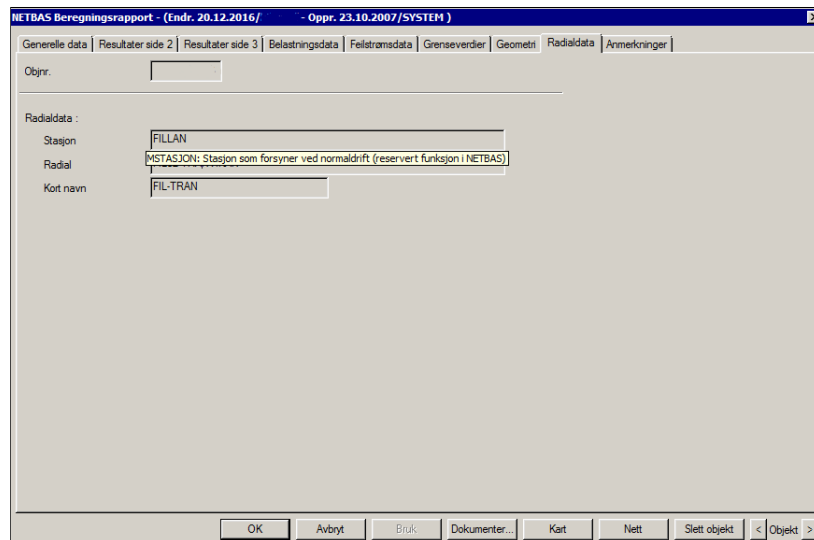
I vedlegg B.2 er det lagt to skjermbilder som viser presentasjonsformatet brukt i metodikken. For at matlab-koden til metodikken skal fungere, så må samme presentasjonsformat med samme rekkefølge på kriterier settes opp slik det vises av skjermbildene. Matlab-koden er generisk for antall caser (rader i Excel-ark) men ikke for antall kriterier (kolonner i Excel-ark). Derfor er rekkefølgen vist i skjermbildene viktig, slik at indekseringen av klasser fungerer korrekt i Matlab. Totalt 44 kriterier ble hentet ut fra RB-komponentene i metodikken for å kunne vurderes i Matlab.

5.2.4 Dokumentering av nettdata i Netbas

Hvordan verdier er dokumentert i Netbas kan variere fra komponent til komponent og etter hvem som har utført dokumentering. Dette kan f.eks. bety at ikke alle nettstasjoner alltid har stedsnavn lagret i parameteren "Plassering" men kun har nettstasjon-nummeret. Forskjeller i dokumentering bør ikke innspille stort på sluttresultat så lenge en er oppmerksom i arbeidet. En parameter det må heftes usikkerhet ved er "Alder" til komponenter, da denne for eldre komponenter kan være ført som "1900" og ikke reelt årstall f.eks. "1973". Dette gjør at alder som kriterium ble vanskelig å ta i bruk for vurdering av potensielle caser. Komponenter må ofte være over 30-50 år gamle før alderen spiller en rolle for komponenters tilstand og forfatning. Det slås fast at god dokumentering i Netbas er viktig for nøyaktigheten av sluttresultatet til metodikken.

5.2.5 Ulik navngiving i Søk og Register

For alle variabler i Netbas fremkommer det ulike navn ved "Søk" og i "Register", som oftest er det logisk å forstå sammenhengen mellom søke-navn og register-navn. Ved søk med kriterier benyttes søke-navnet, mens for data som eksporteres benyttes register-navnet. Forskjellig navngiving kan føre til forvirring, så det er viktig å være oppmerksom på dette ved arbeid i Netbas, og det er knotete ved oppsett av presentasjonsformat når ulike navn brukes for variablene. Et eksempel på forskjellig navnebetegnelse er for transformatorstasjoner, i søkevinduet betegnes variabelen "MSTASJON", mens den i register heter "Stasjon". For å sjekke variabelnavnet holdes datamusen over register-navnet i oppslag til komponent, slik det vises for MSTASJON i figur 5.2.



Figur 5.2: Skjerm bilde av ulike variabelnavn lagret i Søk og Register

5.2.6 Grenseverdier for lsp-krets

Figur 5.3 viser grenseverdier for lsp-kretser der Netbas varsler om overskridelser. For en RB-komponent vil varslene stå i kriteriet: "Beregningsstatus", f.eks. ved spenningsfall over 10% varsles dette med: "LAV SPENNING". Siden nettselskaper må oppfylle FoL-kravet for spenning i avsnitt 3.2.1, så er grenseverdien for spenningsfall i fig. 5.3 satt til samme verdi som kravet for langsomme spenningsvariasjoner på 10%.

Figurens grenseverdier for spenningsfall og belastet seksjon (luftlinje eller kabel) benyttes i søk etter RB i metodikken, hvilket begrunnes i avsnitt 6.2 om metodikkens nøkkelkriterier for søk.

OVERTRÅDTE GRENSEVERDIER I LSP-KRETS	
	Grenseverdi
Utløsetid abonnenter (s)	5.000
Utløsetid ikke abonnenter (s)	15.000
Fasespenning (V)	207.0
Spenningsfall (%)	10.00
Belastet seksjon (%)	80.0

Figur 5.3: Grenseverdier for lsp-kretser i Netbas [7]

Kapittel 6

Drøfting av kriterier for identifisering av potensielle caser

Dette kapitlet tar i avsnitt 6.1 for seg mulige kriterier som ble drøftet i arbeidet med prosjektet, for å kunne identifisere potensielle mikronett caser. Ikke alle kriterier som presenteres her ble tatt med i endelig metodikk. Videre i kapitlets avsnitt 6.2 presenteres de tre nøkkeltierene for å søke opp svakt lsp-nett i Netbas. Avslutningsvis gis en oversikt i avsnitt 6.3 av drivere for et potensielt lønnsomt mikronett.

6.1 Drøfting og kategorisering av kriterier

For at et mikronett skal kunne være samfunnsøkonomisk lønnsomt å etablere må det være bedre enn tradisjonelle løsninger. En potensiell case skal gjerne ha relativt dårlig leveringskvalitet med behov for oppgraderinger, det må være gode betingelser for fornybare energikilder og til syvende og sist må det være gunstig økonomisk kontra tradisjonelle løsninger. Endel arbeid i oppgaven gikk til å drøfte hensiktsmessige kriterier for utføring av analyser i en systematisk metodikk. De ulike parametrene ble uttenkt gjennom diskusjoner med veiledere og ved testing i Netbas. Dette var en av prosjektets hovedutfordringer, å finne og velge ut mulige kriterier til bruk i en metodikk, som automatisk kan vurdere mange caser.

Netbas tilbyr svært mye data og ulike kriterier. Derfor er det i de følgende delavsnitt forsøkt å sammenfatte drøftede kriterier og inndele de i ulike kategorier. Parametrene i avsnitt: 6.1.1-6.1.4 kan hovedsakelig undersøkes i Netbas. Mens tilleggsdata i avsnitt 6.1.5 må undersøkes på annet vis og ikke i Netbas.

6.1.1 Elektriske parametre

De elektriske parametrene vist i tabell 6.1 kan alle søkes opp og undersøkes for RB-komponenter i Netbas. Av disse ble spenningsfall, to-polt kortslutningsstrøm og belastningsgrad i LL/KA benyttet som nøkkelskriterier for identifisering av caser (se avsnitt 6.2). De tre nøkkelskriteriene samt parametrene: Belastningsgrad til fordelingstransformator, Sum last og totalt energiforbruk benyttes også videre til vurdering av caser i metodikkens Trinn 3 avsnitt 8.4.

Tabell 6.1: Elektriske parametre

Kriterium	Enhet [-]
Kortslutningsytelse - S_{Sk}	MVA
Kortslutningsimpedans - Z_{Sk}	Ω
To-polt kortslutningsstrøm - I''_{k2}	kA
Spenning - U	V
Spenningsfall - ΔU	%
Belastningsgrad LL/KA	%
Belastningsgrad fordelingstrafo.	%
Sum Last	kW
Totalt Energiforbruk	kWh
Overføringstap i LL/KA	kW/km

6.1.2 KILE-kostnader og Avbruddsdata

Tabell 6.2 presenterer eksempler på avbruddsdata eller såkalt FASIT-data som nettselskaper er pliktet av NVE til å registrere ved avbrudd i kraftnettet. Kostnad for ikke levert energi (KILE) og avbruddstid kan indikere om en case årlig har store avbruddskostnader eller mye kritisk nedetid. Disse parametrene ble likevel ikke tatt med i metodikken, da det ikke ble funnet en metode å ta de med automatisk til søk og vurderinger. De er nemlig ikke oppført i selve RB-komponentene og måtte i så fall analyseres utenom. Det legges til at for TrønderEnergi Nett AS sine utredninger for mikronett så langt, så har ikke KILE- og avbruddsdata vært

en viktig faktor. Dette begrunnes med at nettselskapet generelt har god leveringssikkerhet selv til avsidesliggende nettkunder [27].

Til vurderingslogikken i Matlab, så er det mulig å legge inn KILE-verdier manuelt til den endelige kostnadsanalysen om ønskelig. De kan ikke inkluderes automatisk med casene fra Netbas og må derfor undersøkes for hvert enkelt case i så fall. KILE-kostnader vil i kostnad-nytte-analyse for mikronett være en bespart utgift for nettselskapet, hvis installert mikronett evner å senke disse.

Tabell 6.2: KILE-kostnader og Avbruddsdata

Kriterium	Enhet [-]
KILE	kr/kWh
IIE	kWh
Avbruddstid (Oppe-/nedetid)	timer

6.1.3 Komponentdata

Tabell 6.3 viser ulike data som f.eks. luftlinje-komponenter har lagret i Netbas. Kriteriene sum lengder av LL og KA i lsp-krets og "hsp-lengde for radiell" ble tatt med i søke- eller vurderingsfaser til metodikken. Alder ble også undersøkt men ble ikke tatt med, siden data-grunnlaget for alder på komponenter er for usikkert i Netbas. Det legges også til at det er komponentenes forfatning og tilstand, som er viktigst for om det trengs utskiftning og ikke nødvendigvis alderen.

Et kriterium som viste seg viktig i metodikken er hsp-lengden for radiell ut til nettstasjon. Denne lengden er ikke mulig å hente ut fra RB-komponenter og må undersøkes manuelt i Netbas-kartvinduet, hvilket beskrives i metodikkens trinn 3 avsnitt 8.4.3. Parameterens betydning er hsp-lengden til radiell fra gjeldende nettstasjon til neste nettstasjon. Hsp-lengde for radiell illustreres av fig. 6.1 i neste avsnitt. Lengder til lsp-luftlinjer og -kabler finnes i RB-komponenter og inkluderes automatisk i metodikken for vurdering og kostnadsanalyse.

Tabell 6.3: Komponentdata

Kriterium	Enhet [-]
Tverrsnitt til LL/KA	m^2
Alder	år
Lengste lsp-ledning	m
Lengste avstand fra abonnent til nettstasjon	m
Hsp-lengde for radiell ut til nettstasjon	km
Sum lengde av LL i lsp-krets	km
Sum lengde av KA i lsp-krets	km

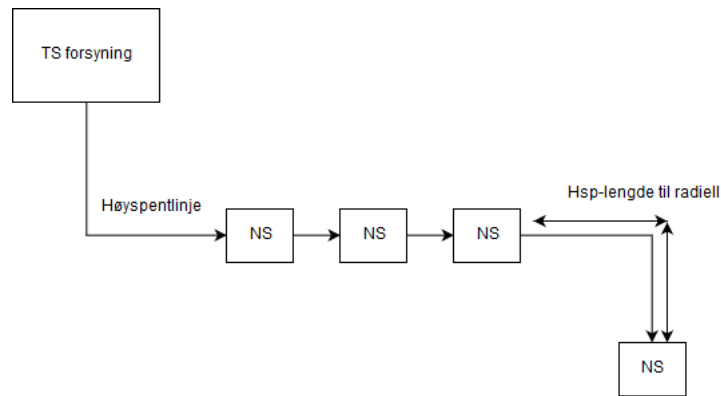
6.1.4 Geografiske data

I tabell 6.4 presenteres geografiske dataparametre. Undersøking av disse parametrene må hovedsakelig gjøres manuelt, de ble derfor ikke så aktuelle for en metodikk med automatisk vurdering. De fire første kriteriene kan undersøkes med Netbas-kartvinduet, mens for "væravbrudd" må områdets værforhold undersøkes utenfor Netbas, og muligvis kombineres med undersøkelse av avbruddsstatistikk fra avsnitt 6.1.2.

Tabell 6.4: Geografiske data

Kriterium
Manglende ringmating
Flaskehals
Øyer
Nettstasjon ytterst på radiell
Hyppige væravbrudd fra vind, lyn ol.

"Nettstasjon ytterst på radiell" ble eneste kriterium fra tabell 6.4 som undersøkes i metodikken. Kriteriet betyr om nettstasjonen til en case befinner seg ytterst på radiell i distribusjonsnett, således at hsp-ledninger for radiellen kan tas med i kostnadsanalysen. Figur 6.1 viser en enkel illustrasjon for å forklare hva det menes med: "Nettstasjon ytterst på radiell" i rapporten og hsp-lengden til radiell. TS forsyning er en transformatorstasjon som forsyner nettstasjoner (NS) i distribusjonsnett. Av nettstasjonene i figuren er det kun den helt til høyre som befinner seg ytterst på radiell. RB-komponenter inneholder all nødvendig data for NS og dens tilhørende lsp-krets for vurdering av caser, men de inneholder ikke hsp-lengder over nettstasjonsnivået.



Figur 6.1: Illustrasjon av nettstasjon yttester på radiell i dist.nett

6.1.5 Tilleggsdata

Det vil kunne være andre faktorer enn de nevnt i tidligere avsnitt, som kan spille en viktig rolle i vurdering om egnethet for mikronett i et case. Slike tilleggsdata kan være vanskelig å legge inn i en automatisert metodikk med Netbas og Matlab. Dette kan f.eks. være faktorer knyttet til logistikk så som tilkomst til en øy. Finnes det stor nok kai på øya, der utstyr osv. kan losses av eller må det beregnes ekstra kostnader grunnet logistikk?

Her listes eksempler opp på tilleggsdata:

- Logistikk
 - Lange avstander ut til området (transportkostnader)
 - Mangel på tilgang/adkomst f.eks. manglende kai og dårlige veier
- Allerede identifiserte nødvendige oppgraderinger hos et nettselskap
 - Eeks. utdaterte sjøkabler
- Fremtidige effektkrevende tilleggslaster
 - Lading av elferger og elbusser

Det ble ikke funnet en metode til å inkludere dyre nødvendige oppgraderinger, som et nettselskap allerede har identifisert. Dette kan være et viktig aspekt for gunstige mikronett, hvis de nødvendige oppgraderingene har relativt høyt kostnadsnivå som f.eks. etablering av nye sjøkabler. Mens faktoren fremtidige effektkrevende tilleggslaster ble diskutert for caser der f.eks. kraftnett ikke har nødvendig kapasitet alene til å mate tilstrekkelig energi til last. Det kan også være situasjoner der f.eks. elferger eller elbusser behøver store mengder kraft i

et kort tidsrom for å opplade batterier. For slike caser kunne det være interessant å se om mikronett tilbyr en gunstig løsning på utfordringene. Om det så bare skulle være en delvis løsning, der mikronett er et hjelpemiddel for kraftnettet til å takle kritiske makslast-perioder.

6.2 Nøkkeltreterier for søk i Netbas

Følgende tre elektriske parametre fra avsnitt 6.1.1, ble tidlig i prosjektet drøftet som nøkkeltreterier til å søke opp svake lsp-kretser i distribusjonsnett vha. Netbas. Her listes de opp med benyttede søkeverdier i Netbas:

- $I''_{k2} \leq 0.500 kA$
- $\Delta U \geq 10\%$
- Belastningsgrad i LL/KA $\geq 80\%$

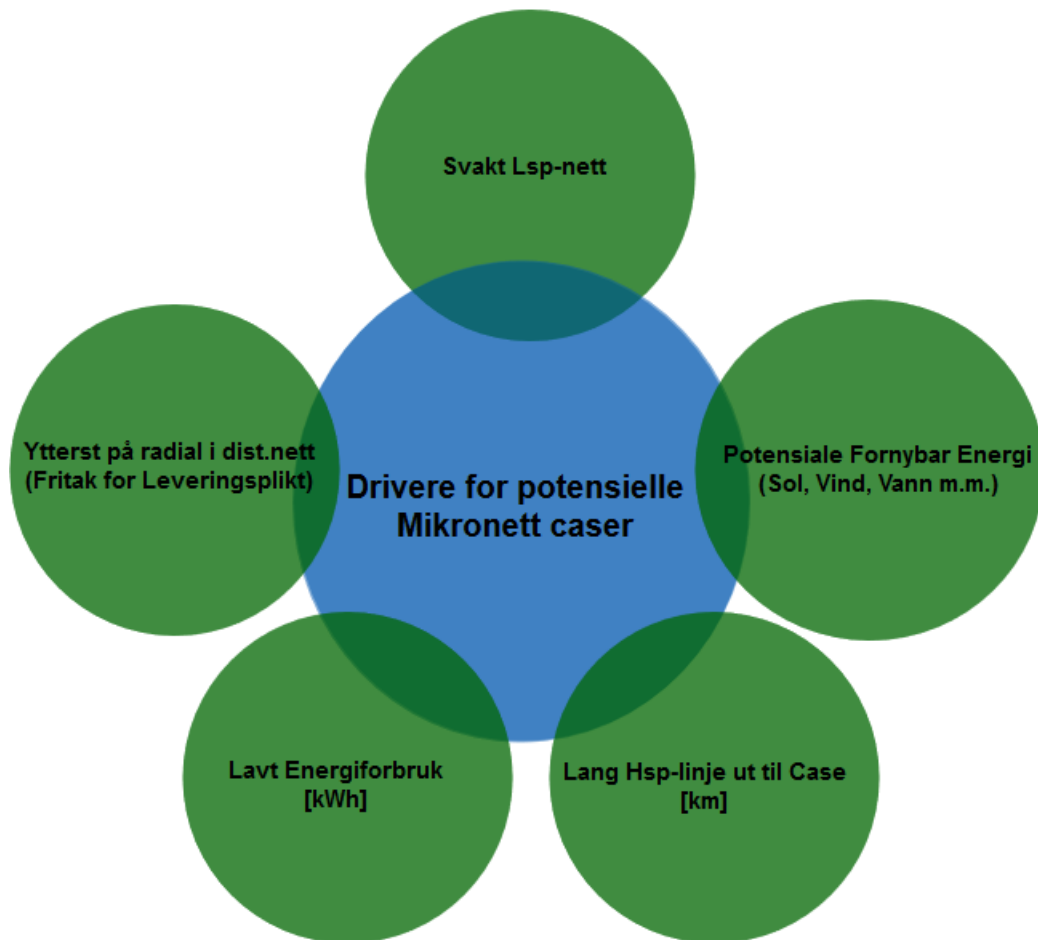
Parametrene minimum to-polt kortslutningsstrøm og spenningsfall er som beskrevet i avsnitt 3.1 gode indikatorer på svakt lsp-nett. Mens belastningsgrad for luftlinjer og kabler beskrevet i avsnitt 3.1.2 indikerer mulig behov for å forsterke kapasiteten (tverrsnittet). Altså har vi med disse tre nøkkeltreteriene indikatorer for to tilstander: Svakt lsp-nett og mulig behov for oppgradering av kapasitet. Derfor kan de tre parametrene indikere de to tilstandene ved kun å utføre to søk i Netbas, og således identifiseres potensielle caser med behov for nettforkerking. Dette er også begrunnelsen for at det i metodikkens identifisering av potensielle caser i avsnitt 8.3.1 kun behøves å utføres to søk etter RB-komponenter.

For kortslutningsstrøm ble søkeverdien satt ut fra Sintef Energi sine utredninger om oppgradering av nødvendig nettstyrke og ut fra testing i Netbas. I Sintef Energi sin utredning for estimering av kostnad ved forsterking av "nettstyrke" til norsk lsp-nett beskrives det slik:

"En minimal kortslutningsstrøm på 500A vil tilfredsstillere kravet til maksimalt spenningsfall under motorstart" [6]. Videre for spenningsfall begrunnes søkeverdien på $\geq 10\%$ med FoL-kravet i avsnitt 3.2.1, for langsomme spenningsvariasjoner som nettselskaper har krav om å opprettholde. Avslutningsvis for søkeverdien til belastningsgrad, så er det en interessant parameter å undersøke for luftlinjer og kabler når de nærmer seg 100% belastning av kapasitet. Søkeverdi på større eller lik 80% ble derfor satt ut fra testing, drøfting og at dette er grenseverdien Netbas varsler ved for komponenter (se avsnitt 5.2.6).

6.3 Kriterier for gunstige mikronett-caser

Figur 6.2 gir et oversiktsbilde over viktige kriterier, som helst skal være tilstede for gunstige mikronett-caser ut fra drøfting og undersøkelser i prosjektet. Kriteriene blir drivere for at det skal være egnethet og i siste ende økonomisk lønnsomt for mikronett. Det er ikke satt faste grenseverdier for kriteriene i figuren, siden det kan variere for ulike caser.



Figur 6.2: Oversikt over kriterier for gunstige mikronett

Kapittel 7

Mikronett-størrelser koblet opp mot nettnivåer i distribusjonsnett

Dette kapitlet drøfter mikronett-størrelser av mulig interesse for et nettselskap. Formålet er å belyse størrelser og systemgrenser for mikronett. Mikronett-størrelsene og begrepene beskrevet i dette kapitlet er basert på Cineldi-rapporten: "*WP 4 - Microgrids*" [12]. Disse størrelsene knyttes opp mot nettnivåer i distribusjonsnett som det kan jobbes opp mot i Netbas. Idéen med oppdeling etter tre nettnivåer er å kunne gjøre utredninger for mikronett i tilsvarende tre forskjellige størrelser. Således avgrenses størrelsen på mikronettet etter det valgte nettnivået som undersøkes i en case. Metodikken testes i rapporten kun for det første nettnivået "Enkel lsp-krets". Kontrollstruktur og oppbygning av kontrollhierarki drøftes ikke i rapporten. I enkelthet anses mikronett i de tre størrelsene som *egne kontrollerbare enheter* jf. definisjon i avsnitt. [2.1](#).

Nettnivåer med mikronett-størrelser:

- [7.1](#) Enkel lsp-krets - "Ekte mikronett"
- [7.2](#) Enkelt bygg/Abonnet - "Nanonett".
- [7.3](#) Gruppering av 2-4 lsp-nabokretser - "Virtuelt-nett"
- [7.4](#) Andre mulige nettnivåer

7.1 Lavspentkrets - "Ekte mikronett"

Et naturlig startpunkt for ett nettselskap er å identifisere en enkelt lsp-krets med svakt nett under gjeldende nettstasjon. For denne lsp-kretsen må da et enkelt kontrollerbart mikronett kunne etableres med distribuert energilagring og -produksjon på lsp-siden av nettstasjonen. Nettstasjonen vil markere systemgrensen for mikronettet, der hsp-siden av fordelingstransformatoren blir utenfor mikronettet og anses som vanlig distribusjonsnett. En lsp-krets med NS og tilhørende abonnenter vil slik passe til etablering av et "Ekte mikronett", eller det som anses som et vanlig mikronett.

Dette er mikronett-størrelsen metodikken testes for i oppgaven, altså i hovedsak småskala kraftproduksjon med en grense fastsatt etter makslast i lsp-kretsen. Foreslått størrelse kan være 50-200kW for slik å skille nettnivået lsp-krets og størrelsen på et "Ekte mikronett" fra de to andre nettnivåene. For test i metodikken er maksimal kraftproduksjon satt til 180kW. Det er en skalerbar grense i Matlab-koden som kan endres ved testing for andre mikronett-størrelser.

7.2 Enkelt bygg - "Nanonett"

Dette nettnivået tar for seg et mindre mikronett som kun dekker energibehov til et enkelt bygg eller AB med tentativt makslast på omtrent 20-100kW. Et slikt mikronett kan beskrives som et nanonett. Det fastslås i Cineldi-rapporten at: "*There is no unique definition of a nanogrid, and in other cases it is taken to simply mean a small microgrid*" [12]. Nanonett kan altså brukes som betegnelse for små mikronett, kravet er at det har minst en lokal last eller energilager (f.eks. batteri) og en utgang til ytre kraftnett. Systemgrensen til et slikt nanonett blir da tilkoblingspunkt i gjeldende bygg og ut til lsp-krets.

For dette nettnivået kan industribygg være spesielt interessante da disse har høyt forbruk samt høye avbruddskostnader. I industribygg kan mikronett være et viktig ledd i energieffektivisering av bygget. Forbedret isolering av bygninger kan i mange tilfeller være dyrere enn å installere solcelle-paneler på bygget, installering av solcellepaneler kan altså i slike tilfeller være et konkurransedyktig tiltak [13].

7.3 Gruppering av 2-4 lavspenkretser - "Virtuelt nett"

Et større mikronett med flere lsp-kretser tilkoblet hverandre med koordinert kontrollstyring kan betegnes som et virtuelt nett eller Vnett[12]. Mikronettet er altså en gruppering av lsp-kretser som samkjøres i kraftsystemet som en enkelt kontrollstyrt enhet.

For et slik konsept vil det for et nettselskap være interessant å identifisere 2-4 lsp-kretser med svakt nett som grenser mot hverandre, nettstasjon-nabokretser. Den nettstasjonen med lsp-krets tilknyttet øvrig dist.nett vil fastsette systemgrensen for det virtuelle nettet. For denne mikronett-størrelsen blir tentativ makslast 2-4 ganger så stort som for et ekte mikronett, f.eks. opptil 200-800kW. Fokus i nærmeste fremtid vil nok være å etablere mikronett for enkelte lsp-kretser eller enkelte bygninger først, men en aggregering av samkjørte mikronett utgjør også et interessant scenario.

7.4 Andre mulige nettnivåer

De tre valgte nettnivåene utgjør en liten del av mulige størrelser som kan være interessante å undersøke for et nettselskap. Nettselskaper drifter og vedlikeholder kraftnett ut fra et slags felles spleiselag for alle tilkoblede forbrukere, det er derfor i forbrukere sin interesse å holde kostnadene lave. Dette kan åpne for spennende muligheter for mikronett og distribuert energiproduksjon, dersom de på sikt viser seg samfunnsmessig lønnsomme kontra andre løsninger. Andre interessante nettnivåer eller fokusområder for mikronett kan være:

- Campusnett, (f.eks. mikronett ved NTNU)
- Mikronett for spesielt effektkrevende tilleggslaster
- Mikronett i byer/tettbygde strøk:
 - Medhjelp ved daglig topplast
 - Høy belastningsgrad i kabler/luftlinjer
 - Ekstremt dyre kostnader for tradisjonelle løsninger som f.eks. kabelgraving sentralt i byer.

Kapittel 8

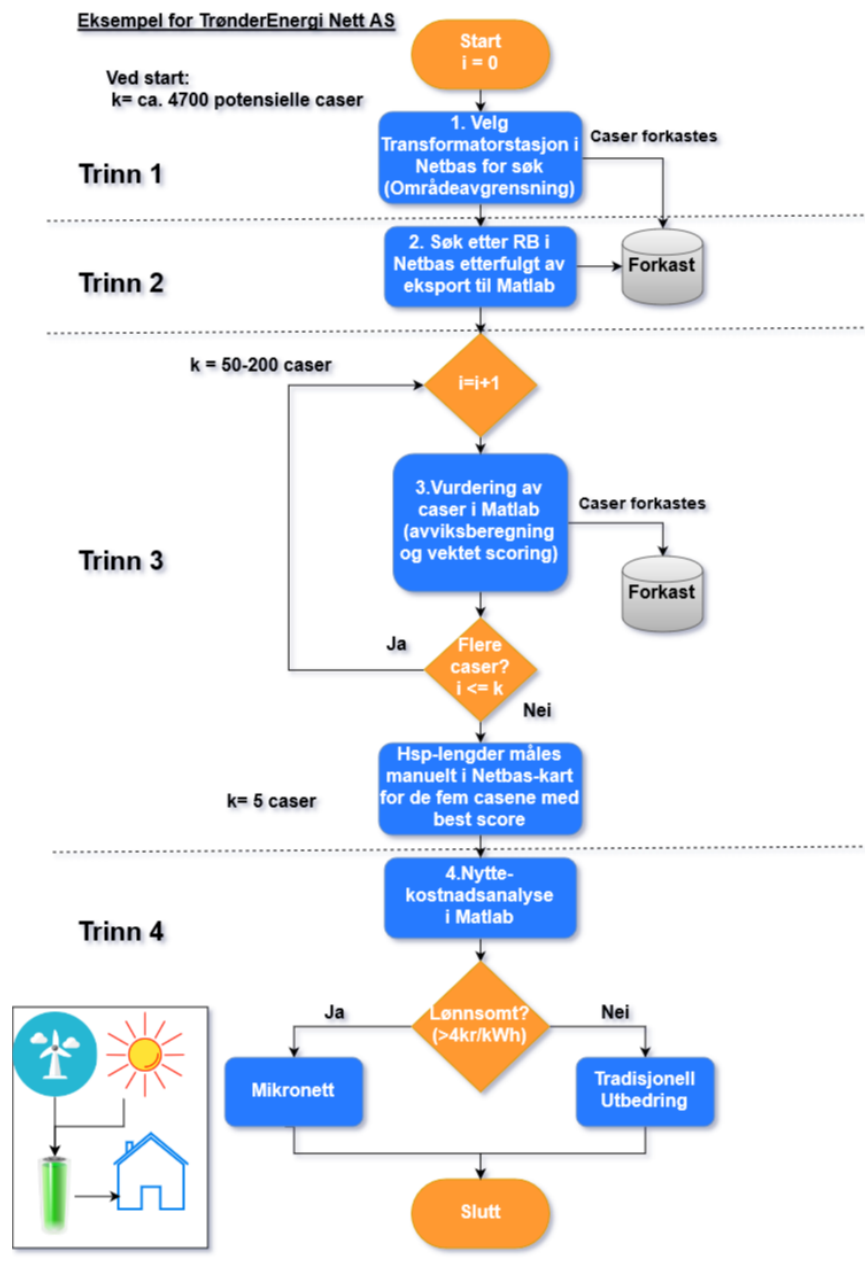
Metode

I dette metodekapittelet presenteres de fire trinnene i metodikken for identifisering av potensielle mikronett-områder. I avsnitt [8.1](#) gir et flytskjema oversikt over metoden og det forklares hvordan den skal utprøves ved to ulike testcaser. Deretter følger en detaljert beskrivelse av metodikkens fire hovedtrinn i avsnittene: [8.2](#), [8.3](#), [8.4](#) og [8.5](#).

8.1 Presentasjon av fire-trinns metodikk og testcaser

8.1.1 Flytskjema for metodikk

Figur [8.1](#) viser flytskjema for metodikken fra start til slutt. Metodikken deles inn i fire hovedtrinn markert i venstre side av figuren. I venstre side er det også lagt inn en eksemplifisering av antall potensielle caser (k) med TrønderEnergi Nett AS sitt kraftnett som eksempel. Ettersom det utføres søk og vurderinger i trinn 1-3 så minker antallet potensielle caser k , hvilket vises ved at caser forkastes til høyre i figuren. Til kostnad-nytte-analyse i trinn 4 gjenstår det fem endelige caser.



Figur 8.1: Flytskjema for mikronett-metodikk

Oppsummert består metodikkens fire trinn av:

1. Valg av transformatorstasjon ut fra innledende søk
2. Søk etter RB i Netbas og eksport av nettdata til Matlab
3. Vurdering av potensielle caser ved rangering i Matlab
4. Kostnad-nytte-analyse av de fem beste casene

Trinn 1 og 2 tar for seg søk i Netbas, mens i trinn 3 vurderes caser i Matlab med beregning

av avvik og vektet scoring av ulike kriterier. For de fem beste casene med høyest rangering undersøkes hsp-lengder ut til casenes nettstasjon manuelt i Netbas, og det sjekkes om nettstasjon er ytterst på radiell. Deretter utføres den endelige kostnad-nytte-analysen i Matlab med hsp-lengder inntastet manuelt. Ut fra om endelig kostnad blir over eller under $4 \frac{kr}{kWh}$ konkluderes det om mikronett er gunstig løsning.

8.1.2 Testcasene "Fillan" og "Hele kraftnettet"

Metodikken ble ved utarbeiding testet for to forskjellige testcaser. I avsnitt 8.2 gjøres det innledende søk for å finne områder med mange forekomster av svakt lsp-nett. Ut fra de innledende søkene ble transformatorstasjon Fillan valgt som første testcase.

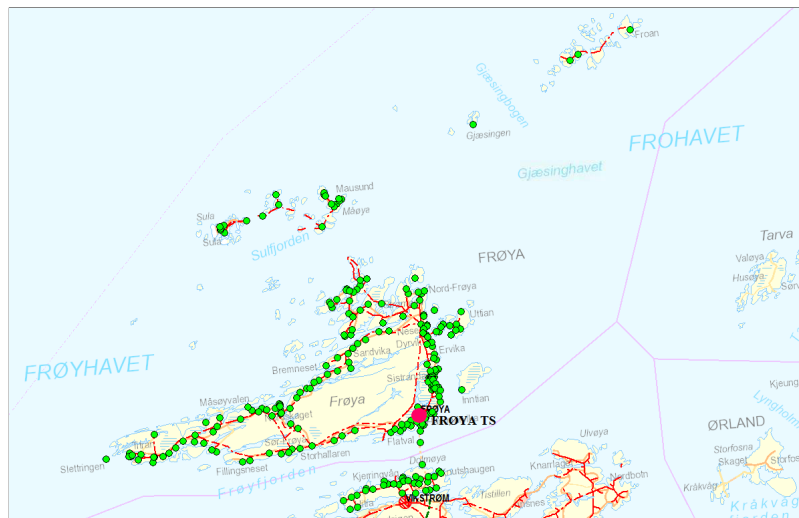
For det andre testcaset prøves metodikken for hele kraftnettet, altså uten å velge en transformatorstasjon som kriterium i Netbas-søk. Det andre testcaset ble utført for å få etterprøvd metodikken og får å teste at matlab-koden var generisk i forhold til antall caser. I de to testcasene benyttes samme søkekriterier (bortsett fra TS) i trinn 2 og samme vektning av kriterier i Matlab for trinn 3.

8.2 Trinn 1 - Velg Transformatorstasjon

I metodikkens første trinn utføres det innledende Netbas-søk for å få et inntrykk av antall forekomster av svakt lsp-nett ved ulike transformatorstasjoner (TS). Deretter velges en TS for første testcase ut fra søkeresultatene. Det blir ikke søkt opp eller eksportert ut nettdata for potensielle mikronett-caser i dette trinnet av metodikken.

8.2.1 Avgrensning søkeområdet

Avgrensning av søkeområdet ved å velge TS i metodikken gjøres for å begrense antallet søkeresultater i Netbas. For en initiell avgrensning av søkeområdet ble kommuner diskutert som et naturlig kriterium, dog ble det funnet frem at transformatorstasjoner (TS) er bedre egnet, da disse i flere tilfeller kan supplere på tvers av kommunegrenser. I figur 8.2 vises et eksempel der transformatorstasjon Frøya (rød sirkel) supplerer nettstasjoner (grønne punkter) både på Frøya og til nabokommunen Hitra nederst i figuren. De røde strekene er hsp-ledninger.



Figur 8.2: Nettstasjoner supplert av trafostasjon på Frøya

8.2.2 Identifisering av TS med svakt lsp-nett

For å identifisere transformatorstasjoner med mye svakt lsp-nett utføres det tre innledende søk med nøkkelkriteriene fra avsnitt 6.2. De tre nøkkelkriteriene kombineres med forskjellige verdier i de ulike søkene. Dette for å se hvilke utslag endring av verdiene gir for antall forekomster. Det lå ikke en bestemt metode eller algoritme til grunn for å utføre akkurat tre innledende søk. Hovedpoenget var å få et inntrykk av tilstanden til lsp-nettet ved forskjellige transformatorstasjoner hos TrønderEnergi Nett AS, for deretter å kunne velge en TS til første testcase.

Søkene utføres etter RB-komponenter i Netbas og deretter benyttes MS Excel til oppstilling av antall nettstasjoner hver TS har. Hver RB-komponent har en tilhørende nettstasjon med svak lsp-krets. Resultatene for de tre søkene illustreres med grafer som viser antall nettstasjoner for hver TS. Om et nettselskap har kjennskap til interessante områder med svakt lsp-nett fra

før, så kan søkeområdet avgrensnes direkte med TS til de interessante områdene, og innledende søk for å velge TS trengs i så fall ikke å utføres.

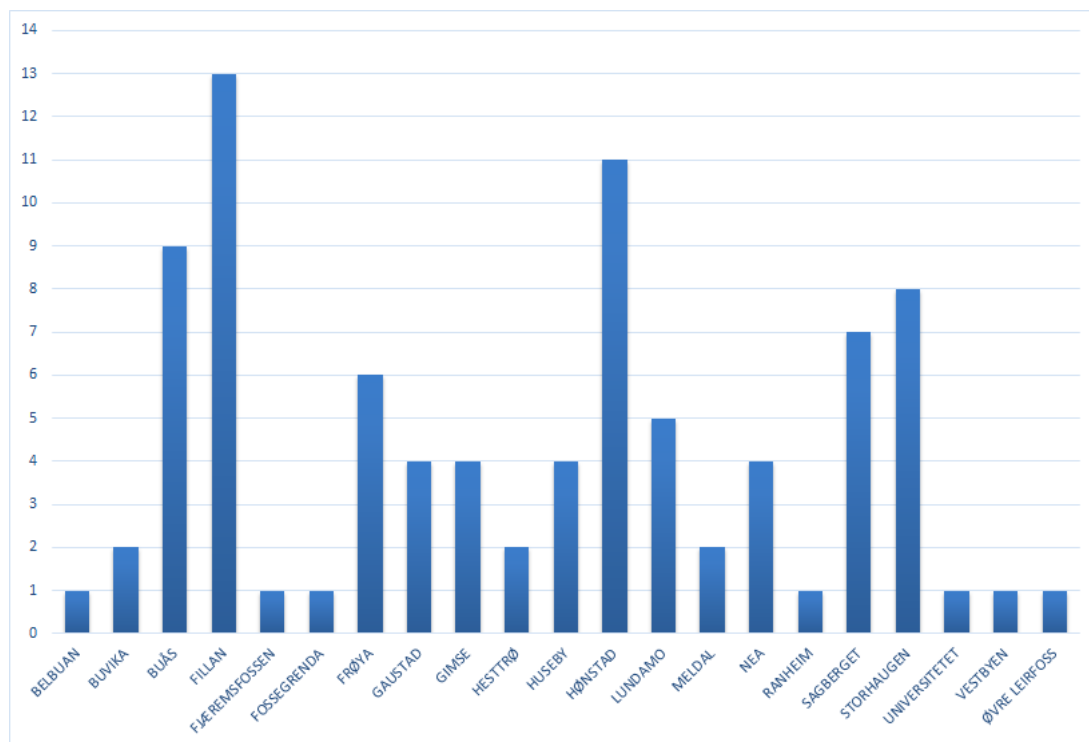
Innledende søk med alle tre nøkkelkriterier

For det første innledende søket ble kriteriene og verdiene i tabell 8.1 benyttet. Grensene for søkekriterienes verdier begrunnes i avsnitt 6.2.

Tabell 8.1: Kriterier for første TS-søk

Kriterium	Verdi
ΔU	$\geq 10\%$
I''_{k2}	$\leq 0.500kA$
Belastningsgrad	$\geq 80\%$

Figur 8.3 viser antallet forekomster av svakt lsp-nett ved de ulike transformatorstasjonene. Totalt ga søket 88 forekomster, der Fillan og Hønstad utpeker seg med flest forekomster hhv. 13 og 11. Fillan TS befinner seg på øya Hitra og Hønstad ligger i Malvik like utenfor Trondheim.



Figur 8.3: Antall nettstasjoner med svakt lsp-nett og høy belastningsgrad ved ulike TS

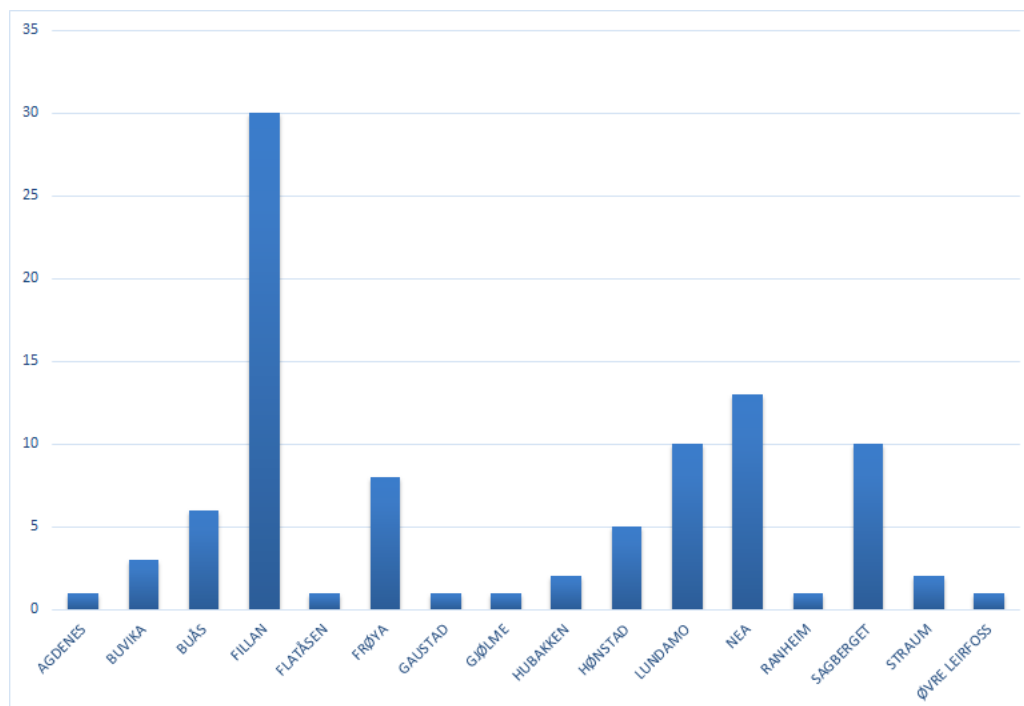
Andre søk - Kun spenningsfall og kortslutningsstrøm

I det andre søket benyttes kun kriteriene spenningsfall og kortslutningsstrøm som vist i tabell 8.2. Spenningsfall har samme verdi som i første søk, mens kortslutningsstrøm er nedjustert til 0.200kA for å identifisere enda svakere lsp-kretser. Således fås et inntrykk av hvilke TS har forekomster av lsp-nett i enda mer kritisk tilstand mtp. feilstrømmer, og derfor kan ha sterkt behov for nettførsterkninger.

Tabell 8.2: Kriterier for andre TS-søk

Kriterium	Verdi
ΔU	$\geq 10\%$
I''_{k2}	$\leq 0.200kA$

Søket returnerte 95 forekomster, hvilket fordeler seg til ulike TS som vist i figur 8.4. Igjen hadde Fillan flest forekomster mens NEA var hadde nest flest, som figuren viser har de hhv. 30 og 13. NEA befinner seg i Tydal kommune.

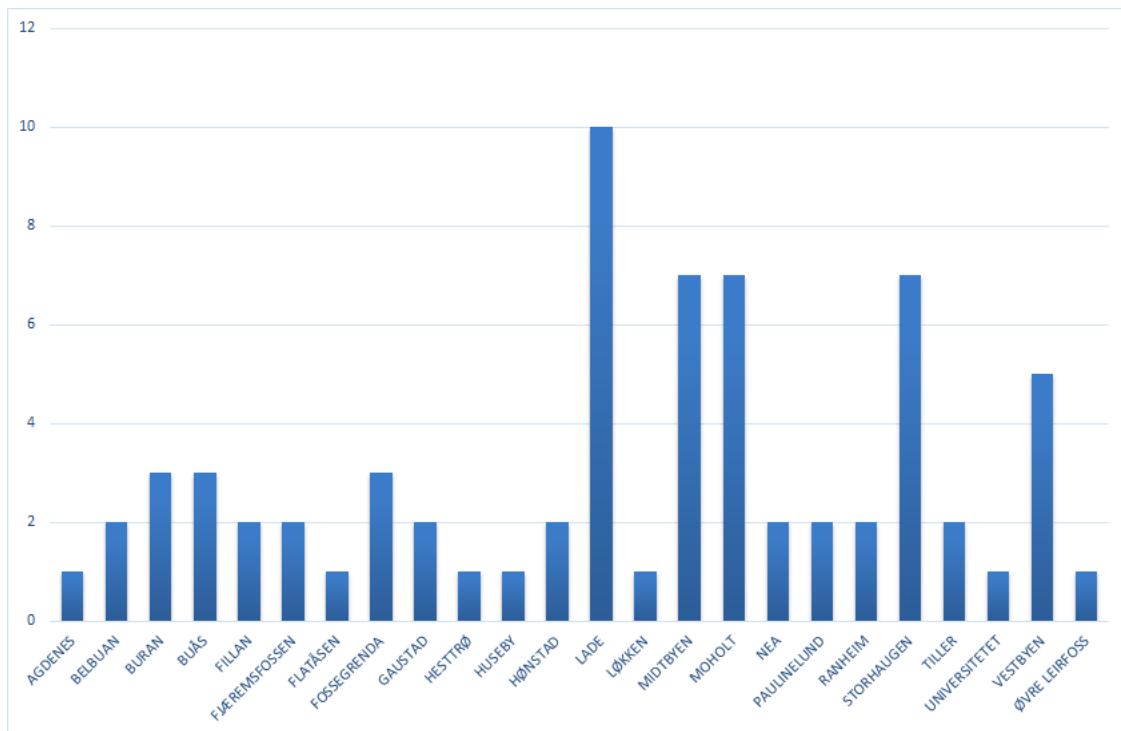


Figur 8.4: Antall nettstasjoner med svakt lsp-nett ved ulike TS

Tredje søk - Belastningsgrad

I det tredje søket benyttes kun belastningsgrad $\geq 140\%$ som kriterium. Hensikten med dette søket er å identifisere TS der belastningen i luftlinjer og kabler er ekstremt høy. For disse forekomstene vil det være sterkt behov etter å øke kapasiteten med å forsterke luftlinjer/kabler.

Resultatet for søket vises i figur 8.5, og det var totalt 70 forekomster. Transformatorstasjonene med flest treff befinner seg hovedsakelig nær Trondheim by (Lade, Moholt, Midtbyen, Storhaugen og Vestbyen). Hvilket er logisk, siden det i by og tettsteder ofte vil være høyt forbruk og derfor høy belastning på kabler og linjer.



Figur 8.5: Antall nettstasjoner med høy belastningsgrad i LL/KA ved ulike TS

Valg av transformatorstasjon til testcase

Ut fra de tre innledende søkene ble Fillan utvalgt som testcase til de øvrige trinnene i metodikken. Dette fordi TS-Fillan hadde flest forekomster av svakt lsp-nett i de to første søkene, og da spesielt at den hadde overveldende mange tilfeller med svak kortslutningsstrøm i det andre søket. Det tredje søket etter kun belastningsgrad i LL/KA ble ikke vektlagt, da det for et gunstig mikronett case helst skal være både svakt lsp-nett og lavt energiforbruk i caser. Potensielle caser i byene har gjerne litt høyere energiforbruk enn caser i avsidesliggende områder.

8.3 Trinn 2 - Identifisering av potensielle caser

8.3.1 Søk etter RB-komponenter

I de følgende delavsnittene skal potensielle caser for mikronett identifiseres ved søk etter RB-komponenter i Netbas. I delavsnitt [8.3.1.1](#) gis kriteriene for det første testcasets med valgt TS Fillan, mens i avsnitt [8.3.1.2](#) gis kriterier for testcase uten valgt TS (Hele kraftnettet). Det andre testcasets utprøver altså metodikken uten å benytte trinn 1.

Begrunnelse for valg av søkekriterier og deres verdier er beskrevet i avsnitt [6.2](#) om nøkkeltkriterier. For å begrunne kort så avdekkes det ved to RB-søk caser med to ulike tilstander: Svakt lsp-nett og høy belastning i LL/KA. Således kan potensielle caser med behov for nettførsterkninger identifiseres relativt enkelt ved å sammenslå kun to søk. I vedlegg [B.1](#) er det lagt to skjermbilder som viser hvordan søkene etter RB utføres.

8.3.1.1 Søkekriterier "Fillan"

Søkene etter RB for testcase Fillan tar utgangspunkt i TS Fillan som befinner seg på Hitra, transformatorstasjonen legges derfor til som et eget kriterium i søkene. Hvis en annen TS er interessant for undersøkelse, så velges den som kriterium i stedet for Fillan.

Tabellene [8.3](#) og [8.4](#) viser søkekriterier for de to søkene i Fillan-testcasets. Variabelnavn brukt i tabellene er de navnene Netbas benytter ved utføring av søk. De tilsvarer som følger med register-navnet i parentes: MSTASJON (Transformatorstasjon), LAVEST-SP-FALL

(spenningsfall), LAVEST-ST-STRØM (minimum to-polt kortslutningsstrøm) og SEKSJON-BELGRAD (belastningsgrad i LL/KA).

Tabell 8.3: Kriterier RB-søk nr.1 - Fillan

Kriterium	Verdi
MSTASJON	Fillan
LAVEST-SP-FALL	$\geq 10\%$
LAVEST-ST-STRØM	$\leq 0.500kA$

Tabell 8.4: Kriterier RB-søk nr.2 - Fillan

Kriterium	Verdi
MSTASJON	Fillan
SEKSJON-BELGRAD	$\geq 80\%$

Det første søket med kriteriene fra tabell 8.3 returnerte 50 resultater, mens det andre søket etter belastningsgrad fra tabell 8.4 ga 17 resultater. Altså totalt 67 potensielle caser, der noen av disse kan være duplikater som vil bli fjernet senere i Matlab-skriptet. De to søkene eksporteres deretter ut til to Excel-ark og lagres.

8.3.1.2 Søkekriterier "Hele kraftnettet"

For prosjektets andre testcase ble metodikken testet på hele TrønderEnergi Nett AS sitt kraftnett uten å avgrense etter et bestemt område. I likhet med søkene etter RB i Fillan-testcase, så utføres det også her to RB-søk. Søkekriterier til de to søkene for "Hele kraftnettet" vises i tabellene 8.5 og 8.6. Eneste endring i forhold til første testcase er at "MSTASJON = Fillan" ikke tas med som kriterium.

Tabell 8.5: Kriterier RB-søk nr.1 - Hele kraftnettet

Kriterium	Verdi
LAVEST-SP-FALL	$\geq 10\%$
LAVEST-ST-STRØM	$\leq 0.500kA$

Tabell 8.6: Kriterier RB-søk nr.2 - Hele kraftnettet

Kriterium	Verdi
SEKSJON-BELGRAD	$\geq 80\%$

Det første søket resulterte i 323 treff i Netbas-registeret, mens det andre ga 520 treff. Altså

hele 843 potensielle caser ved søk i hele kraftnettet, deriblant noen duplikater. Prøving av metodikken uten å velge TS gir altså mange hundre flere potensielle caser enn i Fillan-testcaset.

8.3.2 Oppsett av presentasjonsformat til registervindu

Før eksportering av data fra Netbas til MS Excel, så er det viktig at riktig presentasjonsformat er satt opp for registervinduet i Netbas. Denne prosessen er beskrevet i avsnitt 5.2.3. Det kan være en noe tidkrevende prosess å sette opp dette, men det behøves kun å gjøres en enkelt gang for hver Netbas-bruker. Etter at det først er satt opp, så kan samme presentasjonsformat benyttes i ulike testcaser. Dataene som hentes ut fra RB til registervindu, kan videre benyttes i metodikkens tredje trinn med vurdering i Matlab. Dette er et viktig punkt i metodikken for at nettdata skal kunne hentes ut og Matlab-kode skal fungere korrekt.

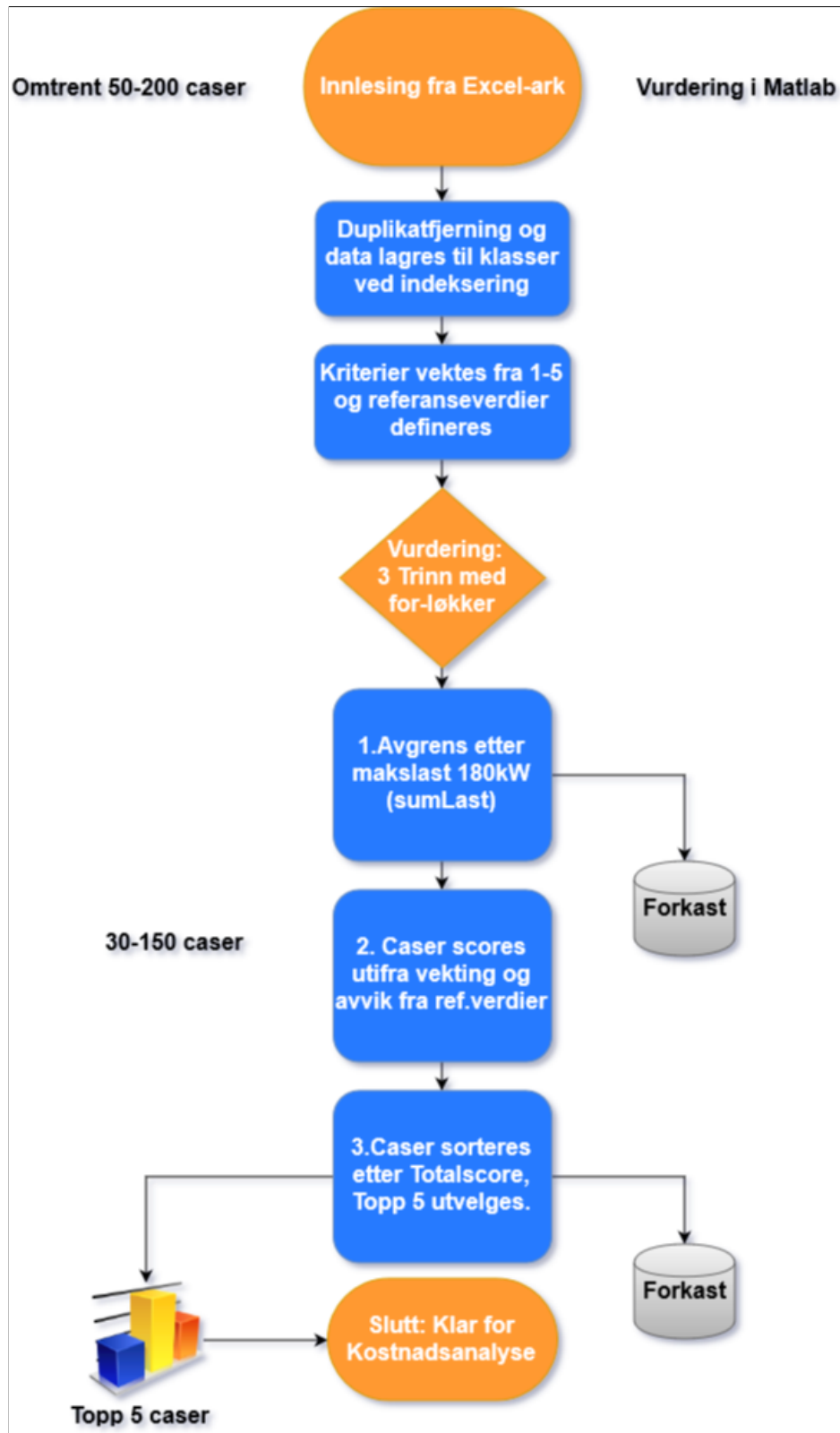
8.3.3 Eksport til Excel og sammenslåing av søk

Hvert av de to RB-søkene må eksporteres hver for seg ved å trykke "Eksporter til Excel" i register-vinduet til Netbas. Etter to RB-søk vil det altså for hvert testcase oppstå to Excel-ark, disse to må slås sammen til et Excel-ark for hvert testcase. De slås sammen ved å kopiere over all data fra det ene arket til det andre. De to øverste radene inneholder kriterienes navn og enheter, så de radene skal ikke kopieres over ved sammenslåing (kun dataverdier).

8.4 Trinn 3 - Vurdering av caser i Matlab

8.4.1 Flytskjema for Matlab-vurdering

For å vurdere de potensielle casene for mikronett, så ble et matlab-skript laget som leser inn og vurderer nettdata. Figur 8.6 viser grovt sett fremgangsmåten til Matlab-koden. Matlab-skriptet i sin helhet er vedlagt i rapportens vedlegg C.



Figur 8.6: Flytskjema for vurdering av caser i Matlab

Startpunkt i fig. 8.6 er innlesing av nettdata fra Excel-ark, det første som må gjøres deretter er fjerning av duplikate caser og lagre data til klasser for casene. Deretter settes ønsket vektning av kriterier fra 1 til 5 og referanseverdier for avviksberegning defineres.

Deretter består vurderingen av tre trinn:

1. Avgrensning etter makslast 180kW
2. Scoring av caser
3. Sortering og utveling av fem caser med best score

Disse trinnene forklares i delavsnitt [8.4.2](#). Koden er som tidligere beskrevet, avhengig av at presentasjonsformat i Netbas register-vinduet har nøyaktig samme kriterier og rekkefølge som figurene viser i vedlegg [B.2](#).

8.4.2 Vurdering og scoring av caser i Matlab

Tabell [8.7](#) viser kriteriene som ble utvalgt for å benyttes i vurdering med deres referanseverdier. Referanseverdiene brukes i avviksberegningen for kriterier. Verdiene ble hovedsakelig satt ved testing av skriptet og deretter evt. justert. Hovedpoenget med verdiene er å ha et startpunkt for sammenligning av caser.

Kriteriet makslast benyttes kun til å avgrense og sette en øvre maksgrense for total last i casene. Denne ble satt fra ca. grense for makslast TrønderEnergi Nett AS har operert med for mikronett i sine hitille prosjekter [24]. Kriteriet "eldste alder for komponent" var egentlig tiltenkt å benyttes i vurdering, men siden datagrunnlaget for registrering av eldre komponenter i Netbas var for usikkert, så ble denne droppet. I tilfeller der alder ikke er registret for gamle komponenter, så kan det være oppført 1900, hvilket vil resultere i helt feil utslag for scoringen. Alle kriterier i tab. [8.7](#) bortsett fra "Makslast" og "Eldste alder for komponent", benyttes altså i videre beregninger for avvik og vektet scoring.

Tabell 8.7: Vurderingskriterier med referanseverdier

Kriterium	Referanseverdi for avviksberegning
ΔU	10%
Laveste I''_{k2} ved knutepunkt i krets	0.5kA
I''_{k2} innmatningspunkt	0.5kA
Belastningsgrad i KA/LL	70%
Belastningsgrad transformator	70%
Totalt Energiforbruk	Gjennomsnitt energiforbruk til caser [kWh]
Sum Luftlinje (LL)	1km
Sum kabel (KA)	1km
Makslast	180kW
Eldste alder for komponent	30års levetid

8.4.2.1 Vekting av kriterier

For å ha en metode til å justere vektleggingen av ulike kriterier, så ble det valgt å vekte kriterier med vekttall fra 1 til 5 i vurderingen. 5 gir høyest og best vekting mens 0 gir lavest og dårligst utslag for score. Tabell 8.8 viser de endelige vekttallene som ble brukt for testcasene "Fillan" og "Hele kraftnettet".

Tabell 8.8: Vekting av kriterier i testcaser

Kriterium	Vekting
ΔU	1
Laveste I''_{k2} ved knutepunkt i krets	3
I''_{k2} innmatningspunkt	1
Belastningsgrad i KA/LL	1
Belastningsgrad transformator	1
Totalt Energiforbruk	5
Sum Luftlinje (LL)	3
Sum kabel (KA)	3
Makslast	0
Eldste alder for komponent	0

Siden de identifiserte casene tidligere alt er utvalgt etter svakt lsp-nett, så ble kriterier som virket å ha størst innflytelse på kostnader i testcasene vektlagt høyest. Dette etter ønske om å ende opp med fem caser som kunne bli økonomisk gunstige for mikronett. Totalt energiforbruk ble derfor vektet høyest med 5, siden det divideres på energiforbruket som siste trinn i kostnadsanalysen (se avsnitt 4.2). Mens lengden av luftlinjer og kabler i casene ble gitt vekting 3, i likhet med laveste I''_{k2} i kretsen. Dette siden lengdene multipliseres med linje- og kabelkostnader, og siden det for laveste I''_{k2} var en korrelasjon mellom svært lave kortslut-

ningsstrømmer og lange lsp-lengder.

ΔU , I''_{k2} ved innmatningspunkt og belastningsgrader i transformator og KA/LL ble ikke gitt noen viktigere vektning og ble alle satt til 1. Avslutningsvis fikk makslast 0 da den kun skal benyttes i avgrensning, mens eldste alder for komponent ble droppet grunnet usikkert data-grunnlag og også satt til 0 i vektning.

8.4.2.2 Avgrensning etter makslast

Første vurdering av caser i Matlab-logikken er å avgrense caser etter makslast. Caser med total makslast (sumLast) høyere enn 180kW blir sortert fra og forkastet (se fig. 8.6).

8.4.2.3 Avviksberegning

Etter avgrensning beregnes avvik fra referanseverdier i tab. 8.7 for alle kriterier. Det er i vurderingsfasen ønskelig å score kriterier i verst tilstand høyest. I beregning av avvik for kriterier, så kan det variere om det er gunstig med høy eller lav verdi i forhold til referanseverdi. For f.eks. spenningsfall er det ønskelig med høyest mulig prosent, derfor vil avviket for spenningsfall beregnes slik:

$$\delta U = \frac{\Delta U}{\Delta U_{ref}} \quad (8.1)$$

For kortslutningsstrømmer vil lavest mulig verdi betegne et svakere nett, så for kriterier der lave verdier skal gi høyere score vil avviket beregnes slik:

$$\delta I''_{k2} = \frac{I''_{k2ref}}{I''_{k2}} \quad (8.2)$$

For spenningsfall, belastningsgrader, luftlinje-lengder og kabellengder gjelder formel 8.1, mens for kortslutningsstrømmer og totalt energiforbruk gjelder formel 8.2.

8.4.2.4 Beregning av score

Score for hvert kriterium beregnes ved å multiplisere vektall fra tabell 8.8 med avvik fra referanseverdier. For f.eks. spenningsfall vil beregning av kriteriescore derfor bli:

$$Kriteriescore_{\Delta U} = 1 \cdot \delta U \quad (8.3)$$

Og for laveste kortslutningsstrøm i krets:

$$Kriteriescore_{I''_{k2}} = 3 \cdot \delta I''_{k2} \quad (8.4)$$

Etter at score er beregnet for alle kriteriene, så beregnes totalscore ved å summere alle de otte kriteriescorene:

$$Totalscore = \sum_{n=1}^8 Kriteriescore \quad (8.5)$$

Dette utgjør en simpel metode for å vurdere flere kriterier samtidig for mange potensielle caser, og den innehar mulighet for å justere viktigheten av kriterier gjennom vektingen. Avslutningsvis sorteres casene etter beregnet Totalscore og de fem med høyest score velges ut til endelig kostnadsanalyse.

8.4.3 Manuell måling av hsp-lengder i Netbas kartvindu

Eneste kriterium som mangler i Matlab til kostnad-nytte-analysen er hsp-lengden for radiell ut til nettstasjon. Løsningen ble å oppmåle disse manuelt fra kartvinduet i Netbas for de fem casene med høyest totalscore. For disse fem casene sjekkes det om nettstasjon befinner seg ytterst på radiell i distribusjonsnett, og hvis det er tilfellet måles hsp-lengden til radiell opp. For nettstasjoner som ikke befinner seg ytterst på radiell, så medberegnes ikke hsp-lengder i kostnadsanalysen.

8.4.4 Soldata fra kartkoordinater

Kartkoordinater til casene ble også lagret i Matlab ved henting av nettdata fra Netbas. Disse koordinatene kan brukes til å manuelt søke opp potensialet for solenergi fra ulike databaser som f.eks. Metrosol, PVGIS eller norske solkart. Koordinatene ble ikke benyttet i vurderingen, men de er en nyttige parametre å ha lagret for mulig videre prosjektering av interessante caser for mikronett. I avsnitt [2.3.1](#) forklares de nevne ulike kildene for soldata.

8.5 Trinn 4 - Kostnad-nytte-analyse

Kostnad-nytte-analysen utføres avslutningsvis i Matlab-skriptet ved å implementere formelene presentert i teorikapittel [4.2](#). Kostnadsanalysen utføres i to trinn. Først beregnes et initielt kostnadsanslag for alle potensielle caser i Matlab ut i fra lsp-lengder og komponentpriser. Dette anslaget gjøres automatisk i skriptet, og vektingen av kriterier er justert for at caser med høyt initielt kostnadsanslag skal få høy totalscore. Den initielle kostnadsanalysen er altså ekskludert hsp-lengder.

De fem casene med best totalscore fra avsnitt [8.4](#) utvelges til endelig kostnadsanalyse. Før den endelige kostnadsanalysen oppmåles hsp-lengder i Netbas-kartet, og det sjekkes om nettstasjon er ytterst på radiell i distribusjonsnett. Deretter inntastes hsp-lengdene i Matlab og endelig kostnad beregnes. Siden disse faktorene må sjekkes manuelt i Netbas så ble endelig kostnadsanalyse begrenset til kun fem caser.

Kapittel 9

Resultater og diskusjon

9.1 Resultater for testcaser

9.1.1 Fillan

Tabell 9.1 presenterer de fem casene (med vekting gitt i tabell 8.8) rangert etter høyest totalscore i Matlab-vurderingen. Totalscorene tas ikke med i resultatvisning, siden kun kostnaden er av endelig interesse. Prisen i tabellen er for nettforsterkning ekskludert hsp-lengder, så videre følger manuell undersøkelse av hsp-lengder for de fem casene.

Tabell 9.1: Kostnader for Fillan ekskl. hsp-lengder

Case nr.	Plassering	Pris [kr/kWh]
1	22060 OLDERØY VEST	4.85
2	20650 KULVIK	2.14
3	21750 FAKSVÅG	1.45
4	21400 GJØSSØY	1.33
5	21900 HELGEBOSTAD	1.40

Manuell undersøkelse i Netbas-kartvindu

Case nr.1 "Olderøy Vest" befinner seg ikke for enden av radial, men den har svært lange lsp-luftlinjer fra nettstasjon og ut til abonnenter i kretsen, hvilket er svært ugunstig. Lange lsp-ledninger og lavt energiforbruk, gjør dette til et eksepsjonelt tilfelle der mikronett kan vise seg gunstig uten å sløyfe hsp-føring til nettstasjon. De fire resterende casene befinner seg alle for enden av radial og hsp-lengdene til disse er listet opp i tabell 9.2.

Testresultater for Fillan - Inkludert hsp-lengder

Med hsp-lengdene manuelt lagt til ble endelig kostnad beregnet til resultatene vist i tabell 9.2.

Kun case "Olderøy Vest" ble gunstig for mikronett med et kostnadsnivå over $4 \frac{kr}{kWh}$.

Tabell 9.2: Kostnader for Fillan inkl. hsp-lengder

Case nr.	Plassering	hsp-lengde [km]	Pris [kr/kWh]
1	22060 OLDERØY VEST	0	4.85
2	20650 KULVIK	0.488	2.47
3	21750 FAKSVÅG	0.134	1.53
4	21400 GJØSSØY	0.208	1.43
5	21900 HELGEBOSTAD	0.414	1.74

Hsp-lengder beregnet for å nå kostnadsgrense

For å eksemplifisere kostnadspåvirkning ved lengre hsp-ledninger for radiell, så ble det for Fillan-casene beregnet hypotetiske hsp-lengder for gunstig mikronett-løsning. Altså hva hsp-lengdene måtte vært, for at mikronett blir gunstig løsning. I tabell 9.3 vises hsp-grenselengder for kostnadsnivå lik $4 \frac{kr}{kWh}$. Bemerk at case "Olderøy Vest" alt var gunstig basert på lsp-kostnader, så hsp-grenselengden for den settes lik 0 km.

Tabell 9.3: Fillan hypotetiske hsp-grenselengder for gunstig mikronett

Case nr.	Plassering	hsp-lengde[km]	Pris [kr/kWh]
1	22060 OLDERØY VEST	0	4.85
2	20650 KULVIK	2.73	4.00
3	21750 FAKSVÅG	4.27	4.00
4	21400 GJØSSØY	5.36	4.00
5	21900 HELGEBOSTAD	3.15	4.00

9.1.2 Hele kraftnettet

For å få en etterprøving av metodikken ble den i det andre testcasen utprøvd på hele kraftnettet til TrønderEnergi Nett AS. For å gjøre resultatene sammenlignbare med resultatene for Fillan i avsnitt 9.1.1 ble de samme søkekriteriene for identifisering av caser benyttet, og casene ble deretter vurdert etter samme vektning fra tabell 8.8. Forskjellen var altså bare at søkene i kapittel 8.3 ble gjort uten "MSTASJON=FILLAN" som et kriterium. Dette ga også en test for om matlab-koden kunne takle ett større antall caser.

Kostnadsanalyse for hele kraftnettet

Tabell 9.4 viser de fem beste casene rangert etter totalscore og med kostnadsanslag uten hsp-ledninger til nettstasjon. Bemerk at case nr.1 kun har et nettstasjon-nummer lagret som plassering og ikke et stedsnavn.

Tabell 9.4: Kostnader for hele kraftnettet ekskl. hsp-ledninger

Case nr.	Plassering	Pris [kr/kWh]
1	NS13349	1.34
2	22060 OLDERØY VEST	4.85
3	55502 KROKSTADLØKKJA	1.24
4	01670 KRÅKFJORD	1.58
5	54414 WALDUM	1.10

Av de fem casene befant kun "Kråkfjord" og "Waldum" seg for enden av en radiell i distribusjonsnett. De resterende casene har ikke hsp-ledninger som kan inkluderes i kostnadsanalysen. Hsp-lengdene til "Kråkfjord" og "Waldum" samt resultat fra endelig kostnadsanalyse vises i tabell 9.5. "Olderøy Vest" var også i dette testcasen eneste gunstige mikronett-case.

Tabell 9.5: Kostnader for hele kraftnettet inkl. hsp-ledninger

Case nr.	Plassering	hsp-lengde [km]	Pris [kr/kWh]
1	NS13349	0	1.34
2	22060 OLDERØY VEST	0	4.85
3	55502 KROKSTADLØKKJA	0	1.24
4	01670 KRÅKFJORD	0.560	2.12
5	54414 WALDUM	0.209	1.21

9.2 Diskusjon

9.2.1 Prototype til metodikk

Prosjektets hovedresultat er en prototype til metodikk som nyttiggjør seg av den store mengden nettdata et nettselskap besitter. Potensielle caser identifiseres og hentes ut i programmet Powel Netbas, deretter vurderes casene i Matlab ved en beregning av avvik for kriterier og påfølgende scoring etter kriteriers vektning. For de fem casene med best totalscore utføres en avsluttende kostnad-nytte-analyse. Ved ett kostnadsnivå lik eller større enn $4 \frac{kr}{kWh}$ vil etablering av mikronett i gjeldende case anses som gunstig [24]. Viktigste forutsetning i metodikken er at RB-resultatberegningene i Netbas er oppdaterte med reell data som best mulig speiler tilstanden i kraftnettet. Jo mer nøyaktig nettdata som hentes ut, jo mere presis og riktig vil vurderinger og kostnadsanslag til metodikken kunne være. På tidspunktet for gjennomkjøringen av metodikken var forrige beregningsoppdatering av RB-komponenter gjort 11.07.2016, altså allerede over et år siden.

I utarbeiding av metodikken var hovedutfordringen hvordan data skulle hentes ut fra Netbas og kvantifiseres i en ryddig metodikk. Svaret ble etter testing å søke opp disse RB-komponentene, da de inneholder mye verdifull data om nettstasjoner og lsp-kretsen under nettstasjonen. Fra disse ble 44 kriterier hentet ut og lagt i presentasjonsformatet i registeret til Netbas. Etter den tidkrevende prosessen med utvelging av kriterier, så ble metodikken ganske automatisk da Matlab videre kan ta seg av analyse til flere hundretalls caser. Konklusjonen fra arbeidet er at Powel Netbas er en solid kilde til nettdata men det er et noe stort og tregt dataprogram, så videre analyser og simuleringer av data ved et stort antall caser bør utføres i andre programmer som f.eks. Matlab eller MS Excel.

Den avsluttende kostnad-nytte-analysen bør anses som en prisindikasjon, da den er ganske forenklet. I en mer detaljert prosjekteringsfase for mikronett bør den utføres spesifikt for et gjeldende case. F.eks. vil priser for nettførsterkninger av linjer og kabler kunne variere ut i fra område og sted, mens komponentkostnader i rapporten er anslått til faste priser. Kostnadsanalysen tar også kun for seg prisanslag for mikronett i øydrift. Det kunne også vært interessant å kartlagt kostnadsnivåer for nettilknyttede mikronett med f.eks. en mikronett-løsning som innehar både solenergi, batteri og nettilknytning eller f.eks. en løsning med kun batteri og nettilknytning. I noen tilfeller kan det tenkes at leveringskvaliteten kan bedres tilstrekkelig

kun ved distribuert energilagring og nettilknytning. En kartlegging av pris-gunstige grensenivåer for ulike driftstyper og løsninger av mikronett ville vært interessant.

9.2.2 Styrker og svakheter

Metodikkens styrke er at ved kun to RB-komponentsøk i Netbas kan nettdata hentes for flere hundretalls caser for videre analyse. Metoden i arbeidet er relativt grei å utføre og har god automatikk, uten at caser manuelt må undersøkes i søke-fasen i Netbas (hvilket blir svært tidkrevende og ineffektivt). Videre evner metodikken ved analyse i Matlab å vurdere mange ulike kriterier, og vektning av kriterier kan i koden enkelt forandres etter ønsket vektlegging. Dette er en klar styrke, da det i prosjektet har vist seg at mange ulike kriterier og forhold må ligge til rette, for at mikronett skal tilby en gunstig løsning kontra tradisjonelle løsninger. Det som må utføres manuelt i metodikken er å legge kriterier inn i presentasjonsformat til Netbas-registeret, hvilket kun behøves å gjøre første gang ved oppsett av en Netbas-bruker. En annen ganske viktig faktor som utføres manuelt er sammenslåing av de to Excel-arkene fra de to RB-søkene ved kopiering. Sammenslåing av Excel-ark anses dog som en enkel prosedyre som unnagjøres relativt fort for hver testkjøring av metodikken.

Svakhetene til metodikken er at hsp-lengder ut til en case, må sjekkes manuelt i Netbas kartvinduet for hvert case. Ut i fra omfattende testing og diskusjoner så finnes det nok ingen enkel løsning eller funksjonalitet per nå, som ville gjort at hsp-lengder kan legges automatisk inn i metodikken [27]. Videre er det en utfordring, at nettstasjon til potensielle caser ikke nødvendigvis befinner seg ytterst på en radiell i distribusjonsnettet, her finnes det heller ikke en enkel Netbas-funksjon for å filtrere bort RB-resultater som ikke ligger ytterst på radiell. For at nettselskaper skal ha grunnlag for å søke dispensasjon fra leveringsplikt til NVE, så er det viktig at caser ligger ytterst på radiell, slik at de innehar hsp-ledninger som kan medberegnes i kostnadsanalysen. Disse to svakhetene er også listet opp som forslag til videre arbeid i avsnitt [10.1](#). Hadde det vært mulig å automatisk inkludere hsp-lengder, så ville endelig kostnadsanalyse kunne utføres for alle identifiserte caser fremfor kun fem.

9.2.3 Testresultater "Fillan" og "Hele kraftnettet"

I avsnitt 9.1.1 viste resultatene i tabell 9.2 at mikronett kan være et lønnsomt alternativ i ett av de fem endelige Fillan-casene. Casen "Olderøy Vest" hadde en kostnad på $4.85 \frac{\text{kr}}{\text{kWh}}$ og kan anses som økonomisk gunstig grunnet svært lavt energiforbruk og lange lsp-føringer i case. De lange lsp-ledningene er ugunstig både for leveringskvaliteten og pris for nettførsterkning i casen.

I avsnitt 9.1.2 ble metodikken testet på hele kraftnettet til TrønderEnergi Nett AS. Av de fem endelige casene i tabell 9.5, så var enda en gang "Olderøy Vest" eneste potensielt lønnsomme case. Grunnen til at casen dukket opp i begge testene av metodikken var nok fordi samme søkekriterier og vekting ble benyttet for potensielle caser. Testingen utført for hele kraftnettet viser at Matlab-koden er generisk og kan håndtere 700-800 caser uten problem. Testen viste også at metodikken kan benyttes uten å avgrenses til et bestemt område i kraftnettet, altså uten utføring av trinn 1 i kap. 8.2. Den mulige fordel vil kunne være å identifisere de beste casene for mikronett, uavhengig av hvor i kraftnettet disse måtte befinne seg. Allikevel vil det for en slik fremgangsmåte være lurt med økt finjustering av både søkekriterier og vekting for å senke antallet potensielle caser og bedre kunne sortere ut lønnsomme caser. Det kan bli ganske uoversiktlig å vurdere nesten tusen potensielle mikronett-caser.

Hvis et nettselskap ønsker en ryddig metode for å gjennomgå hele distribusjonsnettet, så foreslås det å utføre initielle søk som i metodikkens trinn 1 for å kartlegge nettområder med mye svakt lsp-nett. Med en liste over mulige områder og tilhørende transformatorstasjoner, så kan metodikken kjøres for hver enkel transformatorstasjon og siden kan resultater til områdene sammenlignes. Således kan områdene i distribusjonsnettet med best potensiale for mikronett finnes. En gjennomkjøring av metodikken er som tidligere beskrevet relativt raskt utført, da den kun krever to RB-søk i Netbas, som sammenslås til ett Excel-ark og til slutt kjøres vurdering automatisk av Matlab-skriptet.

9.2.4 Avgjørende kriterier og faktorer for mikronett-potensiale

Ut fra resultater i prosjektet, så konkluderes det med at de fire viktigste faktorene for at mikronett kan anses som samfunnsøkonomisk lønnsomt i et case er:

- Lavt energiforbruk [kWh]
- Svakt lsp-nett med behov for oppgraderinger
- Nettstasjon ytterst på radiell i distribusjonsnett
- Lange hsp-linjer for radiell ut til NS [km]

Det legges videre til at lengden for lavspenninglinjer og -kabler også påvirker den økonomiske lønnsomheten til et case. Hsp-lengdene spiller allikevel en viktigere rolle, da disse er dyrere enn lsp-linjer og som oftest lengre enn lsp-kabler (dyreste komponent). Priser for de ulike komponentene fremgår av tabell 4.1 i avsnitt 4.2.

I avsnitt 9.1.1 ble en hypotetisk test av kostnadspåvirkning ved lengre hsp-lengder for de fem endelige casene i Fillan-testcaset utført. I tabell 9.3 vises beregnede grense-lengder for å nå case-spesifikk kostnadsgrense. Resultatet fra kostnadsanalysen i tabellen tyder på at hsp-lengder på ca. 3-4 km vil gi et kostnadsnivå over $4 \frac{kr}{kWh}$ og altså gjøre caser samfunnsøkonomisk lønnsomme. Resultatet for grenselengder varierer etter casene sitt kostnadsnivå for lsp-siden, altså før hsp-lengder legges inn (se tabell 9.1). Det viktige å konkludere med fra dette er at hsp-lengdene spiller en avgjørende rolle for økonomisk lønnsomhet i potensielle caser. Kan en metode fremarbeides, til å raskt søke opp og få en liste over alle nettstasjoner i kraftnettet som befinner seg ytterst på radiell i distribusjonsnettet, og med f.eks. hsp-lengder for radiell $\geq 2 km$. Så ville metodikken fra dette prosjektet, enkelt kunne brukes til å identifisere de nettstasjonene som er best egnet for mikronett i øydrift.

Videre avgjør vekting av kriterier i Matlab-koden hvilke fem caser metoden ender opp med for endelig kostnadsanalyse. Derfor er det viktig at vektningen best mulig justeres for å finne de økonomisk gunstige casene. Ut i fra test-resultater konkluderes det med at høy vekting for kriteriene: Lavt energiforbruk [kWh], lsp-lengder KA/LL og I''_{k2} i høy grad trekker frem caser med et bra økonomisk potensiale for mikronett. Lavt energiforbruk grunnet det divideres på forbruket avslutningsvis i kostnadsanalysen (jf. formel 4.8) og I''_{k2} grunnet en korrelasjon mellom lave verdier for kortslutningsstrøm og lange lsp-føringer i caser (økonomisk dyrt å

nettforsterke).

9.2.5 Andre mulige utvelgelseskriterier og tilnærminger

Avslutningsvis for diskusjonsdel legges det til, at testkjøringene av metodikken ikke nødvendigvis fant beste kombinasjoner av søkekriterier i Netbas og vektning i Matlab for identifisering av caser for mikronett. Det er utallige muligheter for kriterier og grenseverdier som kan testes og søkes opp i Netbas. Det som står klart er at et stort antall caser med svakt lsp-nett ble identifisert med nøkkelkriteriene spenningsfall, to-polt kortslutningsstrøm og belastningsgrad. Deretter var det en utfordring å finne ut hvilke mikronett-caser som ble økonomisk gunstige. Testene i prosjektet ble utført med utvelgelseskriterier som virket rasjonelle ut fra elkraftforståelse og fra drøfting med veiledere.

Andre mulige utvelgelseskriterier kunne vært å f.eks. kombinere lavt energiforbruk og lav belastningsgrad i LL/KA som søkekriterier. Dette for å se påvirkningen det ville hatt for endelig kostnadsresultat. Hvis formålet er å identifisere caser i avsidesliggende områder så er kanskje lav belastningsgrad å foretrekke fremfor høy. Høy belastningsgrad kan være en bedre indikator for identifisering av caser i byer og tettbygde strøk. Noe resultatene fra innledende søk med høy belastningsgrad i avsnitt [8.2.2](#) ga et inntrykk av.

En annen mulig tilnærming for metodikken kunne vært å f.eks. utvelge noen transformatorstasjoner med svakt lsp-nett. Deretter med utgangspunkt i valgt TS, følge samtlige radialavganger fra TS i distribusjonsnett helt ut til siste nettstasjon, og så vurdere om nettstasjonene er aktuelle for mikronett. Undersøkelsene av radialer må i så fall utføres manuelt i Netbas kartvinduet. Antallet radialer ut fra TS kan variere et sted mellom 2-8 og er nok ikke overveldende mange. Fordelen vil være at de endelige casene alltid har nettstasjon ytterst på radiell i distribusjonsnett. Denne idéen for tilnærming ble tenkt ut i slutfasen til prosjektet og derfor ikke testet.

Kapittel 10

Konklusjon

Formålet med prosjektet var å fremarbeide en metodikk for identifisering av potensielle områder for mikronett i distribusjonsnettet til TrønderEnergi Nett AS. Det konkluderes med at en fungerende fire-trinns metodikk for mikronett i øydrift ble oppnådd. Metodikken identifiserer og henter ut nettdata til potensielle caser i programmet Powel Netbas, deretter vurderes caser i Matlab og avslutningsvis gjøres en kostnad-nytte-analyse for de fem best vurderte casene. Kostnadsanalysen gir en prisindikasjon om etablering av mikronett kan være samfunnsøkonomisk lønnsomt i casene.

Styrken til metodikken er at den klarer å håndtere og vurdere nettdata til flere hundre caser samtidig. Svakheterne er at det ikke lar seg gjøre å automatisk identifisere caser ytterst på radiell i distribusjonsnett, og at lengder til høyspent-ledninger ut til nettstasjon må sjekkes manuelt i kartet til Netbas. Det ble konkludert med at følgende fire kriterier bør vektlegges i et case, for at mikronett kan være lønnsomt alternativ til tradisjonelle nettopgraderinger:

- Lavt energiforbruk [kWh]
- Svakt lsp-nett med behov for oppgraderinger
- Nettstasjon ytterst på radiell i distribusjonsnett
- Lange hsp-linjer for radiell ut til NS [km]

Fra testresultater i avsnittene: 9.1.1 og 9.1.2 trekkes case "22060 Olderøy Vest" frem som eneste potensielt lønnsomt mikronett-case med et kostnadsnivå på $4.85 \frac{kr}{kWh}$. For vekting i Matlab-vurdering, så konkluderes det med at høy vekting for kriteriene lavt energiforbruk [kWh], lavspent-lengder for KA/LL og I''_{k2} resulterer i caser med et bra økonomisk potensiale for mikronett. Det konkluderes også med at nøkkelkriteriene for Netbas-søk: Spenningsfall, to-polt kortslutningsstrøm og belastningsgrad, i stor grad identifiserte caser med svakt lsp-nett. Selvom nøkkelkriteriene fant caser med behov for nettførsterkning, så fant de ikke nødvendigvis økonomisk gunstige caser for mikronett. Det konkluderes derfor med at kriteriet lavt energiforbruk også burde benyttes i søk sammen med nevnte nøkkelkriterier.

For å besvare problemstilling om størrelser og systemgrenser til mikronett, så ble det i kap. 7 redegjort for tre ulike mikronett-størrelser knyttet opp mot nettnivåer i Netbas.

Avslutningsvis konkluderes det med at Powel Netbas er en solid kilde til nettdata, men det er også et stort og tregt dataprogram, så videre analyser for et stort antall caser bør utføres i programmer som f.eks. Matlab eller MS Excel.

10.1 Forslag til Videre Arbeid

For videre arbeid trekkes det spesielt frem å utvikle funksjonalitet i Netbas til å enklere identifisere aktuelle nettstasjoner ytterst på radiell i distribusjonsnett, og for å inkludere "hsp-lengden" til radiell mer automatisk i metodikk. Til å utvikle disse to funksjonalitetene vil nok samarbeid med konsulentfirmaet Powel være behjelpelig, siden det per dags dato ikke finnes enkle funksjoner i Netbas for dette [27].

Skal metodikken benyttes til identifisering av potensielle nettområder i videre prosjekt, så bør TrønderEnergi Nett AS kjøre en oppdatering av RB-komponenter i Netbas (sist oppdatert 11.07.2016). Verdier fra RB vises ved vanlige søk og komponent-oppslag, så de er viktige å ha oppdatert til annet arbeid som f.eks. nettplanlegging og nettanalyse.

Avslutningsvis oppsummeres samtlige forslag til videre arbeid punktvis:

- Metode/funksjon i Netbas til å identifisere nettstasjoner ytterst på radiell i dist.nett
- Metode/funksjon i Netbas til å inkludere "hsp-lengden for radiell" i analyser uten manuell innlesning fra kartvindu.
- Identifisere potensielle caser for andre mikronett-størrelser som f.eks. gruppering av lsp-kretser (større virtuelt nett) og for enkelt bygg (små nanonett).
- Kartlegge gunstig kostnadsnivå i $\frac{kr}{kWh}$ for at nettilknyttede mikronett skal være lønnsomme å investere i for nettselskaper.
- Videre teste metodikk med andre utvelgelseskriterier for å identifisere enda bedre mikronett-caser.
- Videre undersøkelser for potensielt mikronett i case: "22060 Olderøy Vest"

Bibliografi

- [1] IEC. TC8/WG7 Guidelines for general planning and design of microgrids. *Committee Draft*, IEC/TS 62898-1 Ed.1, 2016.
- [2] Alexandre Oudalov Celine Mahieux. The mainstreaming of microgrids using ABB technologies. *ABB review*, 2014.
- [3] National Renewable Energy Laboratory (NREL). Best Research-Cell Efficiencies, 2017. URL <https://www.nrel.gov/pv/assets/images/efficiency-chart.png>.
- [4] Björn Nykvist SEI. Rapidly falling costs of battery packs for electric vehicles, 2015.
- [5] Kjell Sand. Smart grid på norsk side 20/37 (powerpoint presentasjon), 2015.
- [6] Helge Seljeseth, Kjell Sand, and Tarjei Solvang. Håndtering av utfordrende elektriske apparater som tilknyttes elektrisitetsnettet. *Sintef Energi AS*, versjon 1.3:18–21, 2012.
- [7] Hjelpesfunksjon (F1) i Powel Netbas. Powel AS, 2017.
- [8] Helge Seljeseth and Henning et al. Storskala spenningsmåling med AMS. *Sintef Energi AS*, 2014.
- [9] Statistisk sentralbyrå, 2017. URL <https://www.ssb.no/transport-og-reiseliv/statistikker/bilreg/aar/2017-03-28>.
- [10] Terje Osmundsen. Solenergi - hvor stor andel kan den ta? *Norsk Klimastiftelse*, Rapport nr. 05, side:15, 2015.
- [11] Kjell Sand. Planlegging av plussbus og mikronett i lys av krav til leveringskvalitet og nye rammevilkår fra EU, 2014.
- [12] Ole-Morten Midtgård. Work Plan 4 - Microgrids. *FME CINELDI*, 2017.

- [13] Bjørn Thorud, Multiconsult. Hva er det med distribuert solenergi? *Praktisk økonomi & finans*, Vol. 32, 2016. sider: 297 – 306.
- [14] Sintef Energi og REN. *Planleggingsbok for kraftnett. Kap. 2: Økonomiske begreper, Kap.3: Systematikk ved planlegging av kraftnett*. REN AS, 2016.
- [15] Petter Stoa Shailendra Kumar Jha and Kjetil Uhlen. Socio-economic impact of a rural microgrid. *Sintef Energi AS*, 2013.
- [16] Dr. Simon Philipps og Werner Warmuth. Photovoltaics report. *Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, ISE*, 2016.
- [17] Norsk Solenergiforening. Om solenergi, 2017. URL <http://solenergi.no/om-solenergi/>.
- [18] PVGIS, 2017. URL <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?lang=en&map=europe>.
- [19] Solcellespesialisten, 2017. URL <https://solkart.no/>.
- [20] Samtale med Martin Brunstad Høydal. Bachelor-oppgave ved NTNU: Dimensjonering av solcelleanlegg for Bergheim Amfi i Trondheim, 2017.
- [21] Teknisk Ukeblad. Skal lage bedre solkart for Norge, 2017. URL <https://www.tu.no/artikler/skal-lage-bedre-solkart-for-norge/387813>.
- [22] Anslag fra sol-databasen Meteonorm ver. 7.1, 2017.
- [23] Samtale med Bernhard Kvaal, 2017. Utviklingssjef, TrønderEnergi Kraft AS.
- [24] Samtale med Gøril Forbord, 2017. Forretningsutvikler NyFornybar, TrønderEnergi Nett AS.
- [25] Kjell Sand and Helge Seljeseth. Leveringskvalitet - en oversikt, arbeidsnotat. *Sintef Energi AS*, pages 36–38, 2008.
- [26] Sweco Norge AS. Vurdering av behov for å sette grenseverdi for minimum kortslutningsytelse i lavspenningsnettet konsulentrapport. *Rapport for NVE*, pages 18–21, 2015.
- [27] Samtale med John Kristian Evjen, 2017. Fagsjef netttutbygging, TrønderEnergi Nett AS.

- [28] NVE: Knut Hofstad og Tormod Eggan. Fritak for leveringsplikt - prinsipper og prosedyrer, 1999.

Vedlegg A

Ordliste

AB Abonment, brukt om sluttbruker i Netbas

Hsp Høyspent, 1kV-400kV

IEA International Energy Agency

IEC International Electrotechnical Commission

KA Kabel, kabel nedgravd i bakken

LL Luftledning, luftlinje i NetBas

Lsp Lavspent, 230-400V

Lsp-krets Lavspenkrets under nettstasjon.

NS Nettstasjon

RB Resultatberegning

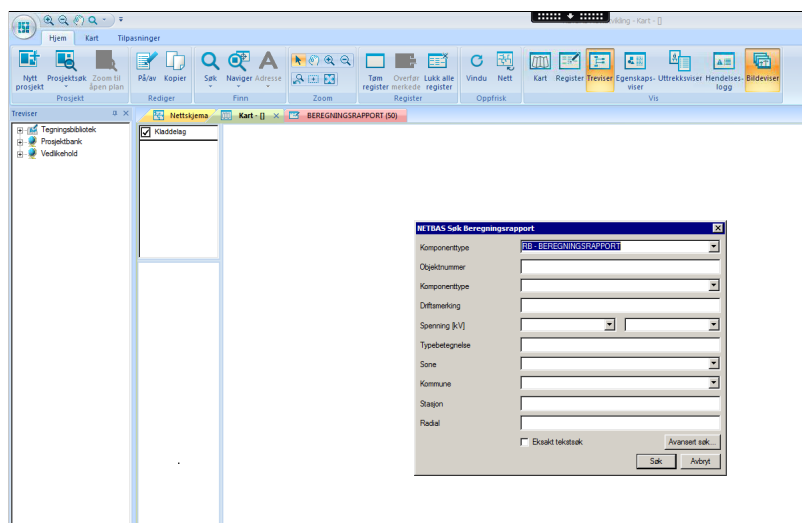
TS Transformatorstasjon

Vedlegg B

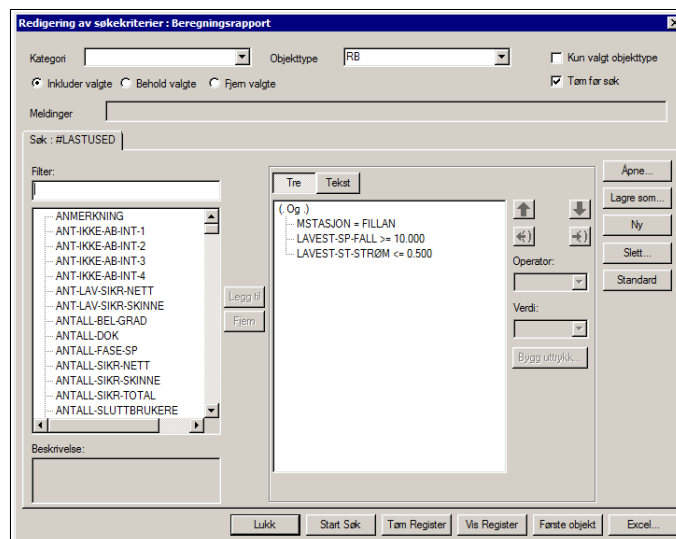
Skjermbilder fra Netbas

Versjon 11.5.2.44 av Netbas ble brukt i oppgaven.

B.1 Søk etter RB (Resultatberegninger)

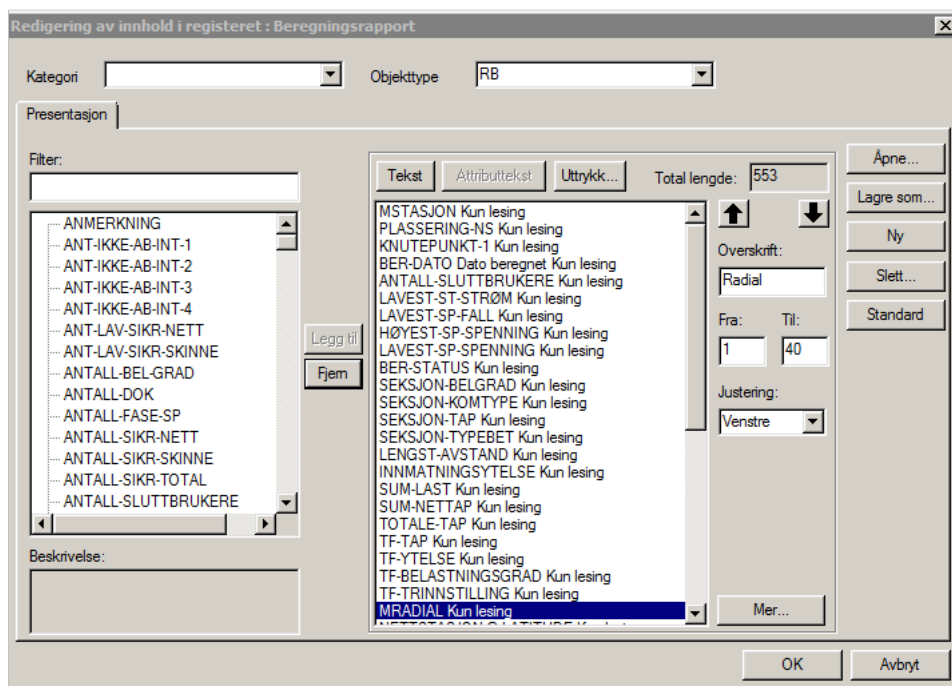


Figur B.1: Utføre søk etter RB-komponenter

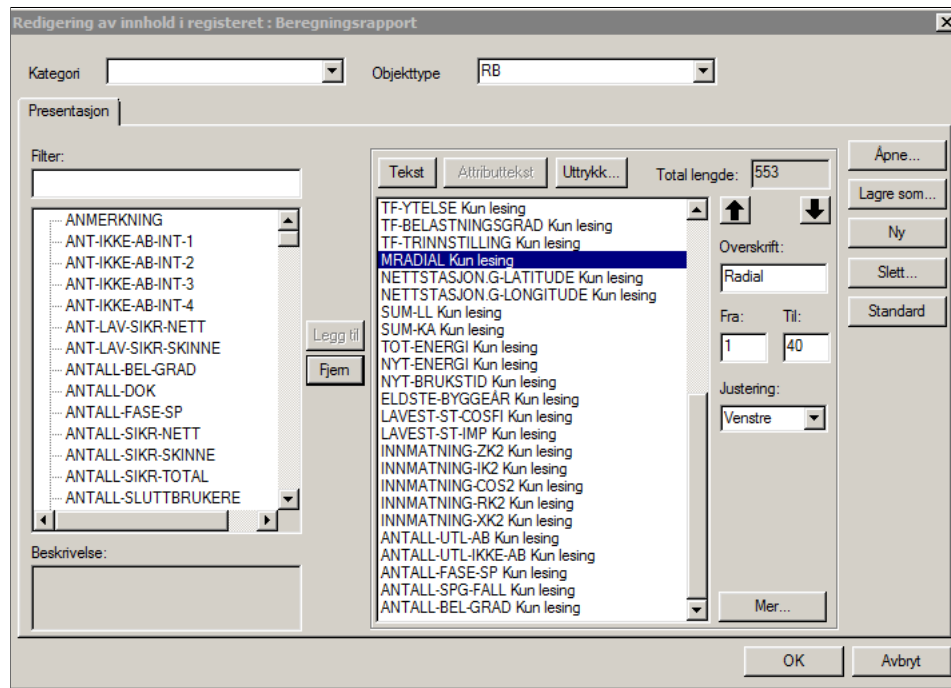


Figur B.2: Avansert søk - Legge til søkekriterier

B.2 Presentasjonsformat for RB benyttet i metodikk



Figur B.3: Valg av datakriterier til Presentasjonsformat1



Figur B.4: Valg av datakriterier til Presentasjonsformat2

B.3 Nyttige snarveitaster i Netbas

F1 Hjelpesfunksjon, nyttig til å søke opp informasjon.

F2 Søk på komponent

F7 Zoom inn

F8 Zoom ut

F9 Panorer vindu

B.4 Bulletliste med samtlige variabler eksportert fra Netbas

Siden hele 44 kriterier eksporteres fra Netbas, så listes de kun kort med register-variabelnavnet her. For utfyllende informasjon om variabelenes betydning se: Oppslag av RB i Netbas, og for forklaring av forskjell på søke-navn og register-navn i Netbas se avsnitt [5.2.5](#).

Variabler listet etter rekkefølge brukt i presentasjonsformat:

- Stasjon
- Plassering fra NS
- Knutepunkt 1
- Dato beregnet
- Antall sluttbrukere i kretsen
- Laveste kortslutningsstrøm
- Spenningsfall
- Høyeste spenning
- Laveste spenning
- Beregningsstatus
- Seksjon belastningsgrad
- Seksjon komponenttype
- Seksjon tap
- Seksjon typebetegnelse
- Avstand
- Innmatningsytelse
- Sum last
- Sum nettap
- Totale tap
- Trafoens totale tap

- Trafoens merkeytelse
- Trafoens belastningsgrad
- Trafoens trinnstilling
- Radial
- G latitude
- G longitude
- Sum luftlinje
- Sum kabel
- Energiforbruk + energitap i kretsen
- Energiforbruk i kretsen
- Brukstilid aktiv last
- Eldste byggeår
- Laveste cosfi
- Impedans ved lavest kortsl.strøm
- 2-polt impedans, innmatn. pkt
- 2-polt kortsl.strøm, innmatningspunktet
- 2-polt $\cos(\phi)$, innmatningspunktet
- 2-polt resistans, innmatn. pkt
- 2-polt reaktans, innmatningspunktet
- Antall knpkt. med ab med lang utløsetid
- Ant knpkt uten ab med for lang utløsetid
- Ant. knpkt. med for lav fasepenning
- Ant. knpkt med for stort spenningsfall
- Antall ledere med for stor belastning

Vedlegg C

Matlab-kode

Koden er fremarbeidet og testet for metodikken i prosjektet. Kjøretiden i Matlab er 1-2 sekunder. Koden er generisk og fungerer bra, selvom det ble brukt lite tid på kode-forbedring (f.eks. nedkorte antall linjer). Det anbefales å kopiere koden til et skript i Matlab, både for enklere forståelse og kjøring av simuleringer:

```
1 %%=====
2 %Matlabskript til vurdering av potensielle caser for mikronett
3 %Skrevet av masterstudent Tomas Oskar Hellesoe i forbindelse med masteroppgave
4 %Vaaren 2017 ved NTNU.
5 %Kommentarer: HV=High voltage (hsp), LV=Low voltage (lsp).
6 %Avslutningsvis i koden slettes endel variabler, se linje 370 for variabler som beholdes
7 %For aa lagre koden i ShareLateX-rapport maatte norske symboler byttes til: ae, oe, aa
8
9 clc
10 close all
11 clear all
12
13 %% %=====1.Innlesing av nettdata fra Excel-fil og indeksering til klasser=====
14 %Skriptet er generisk ifm. antall caser.
15 [caser, caserText] = xlsread('Fillan.xlsx','Ark1'); %Tallverdier lagres i caser, Tekst/'
16 %For aa innlese ulike excel-filer skriv: 'Fillan.xlsx' eller 'TOTAL.xlsx' evt. annet navn
17 n=size(caser); % n(1)=antall caser/rader, n(2)=antall kriterier/kolonner.
18 caserText2=caserText; %En reserve initiell caserText2 for aa kunne sjekke initiell matr
19
```

```

20 %% Innmatingsspenning(lsp-side av trafo) kalkuleres : Vinn = (100*Vmin)/(100-%vdelta)
21 % Vinn brukes dog ikke i analysen, ble kalkulert i tilfelle nødvendig.
22 % OBS OBS! Vinn fra innmatingspunkt er forskjellig fra maks knp.spenning i kolonne 4.
23 for i=1:n(1)
24     Vinn(i)=(100*caser(i,5))/(100-caser(i,3));
25 end
26 for j=1:(n(1)+2) %tekstfil har +2 rader jf. verdi-fil.
27     VinnText(j)=caserText(j,9);
28 end
29 Vinn=Vinn';
30 VinnText=VinnText';
31 VinnText(1,1)={'Spenning innmatning'};
32 caser=[caser(:,1:5) Vinn caser(:,6:end)];
33 caserText=[caserText(:,1:9) VinnText caserText(:,10:end)];
34 n=size(caser); %oppdaterer stoerrelsesantall (en ekstra kolonne)
35
36 %% Duplikatfjerning fra de to sammenslaatte soekene
37 [caserdup, index]=sortrows(caser,14); %Data til SUMLAST [kW] benyttes til aa identifiser
38 caserdupText=caserText(3:end,:); %Fjerner de to oeverste radene med navn og enheter, saa
39 caserdupText=caserdupText(index,:); %sorterer tekstfilen likeledes som caserdup
40 s=n(1);
41
42 for i=1:(n(1)-1) %Loekken avsluttes ved nest-siste verdi
43     if (i==s(1))
44         break
45     end
46     if (caserdup(i,14)== caserdup((i+1),14)); %sjekker kW-verdier for finne duplikater
47         caserdup=caserdup([1:i, (i+2):end] ,:);
48         caserdupText=caserdupText([1:i, (i+2):end] ,:);
49         s=size(caserdup);
50         %caserdupText=[caserdupText(i,:) caserdupText((i+2):end,:)];
51         %Matrix_2 = Matrix_1( [1:2,4:8,10:end] , : )
52     end
53 end
54 caser=caserdup;
55 caserText=caserdupText;
56 clear caserdup caserdupText index Vinn VinnText m s n
57
58 %% Data lagres og indeksres til riktige klasser

```

```
59 dataset=potensiellCase;
60 besteCase=potensiellCase;
61 m=size(caserText);
62
63 for i=1:(m(1))    %Allokering av sub-klasser til datasettet.
64 dataset(i).Seksjon=seksjon;
65 dataset(i).Trafo=trafo;
66 dataset(i).Kartkoordinater=kartkoordinater;
67 dataset(i).Topoltverdier=topoltverdier;
68 dataset(i).Antallsvakepunkt=antallsvakepunkt;
69 end
70
71 for i=1:(m(1))    %Gjelder aa vaere noeye med riktig indeks for aa innsette fra caser/case
72 dataset(i).id=i;
73 %Tekst indekseres fra caserText:
74 dataset(i).Stasjon=caserText(i,1);
75 dataset(i).PlasseringFraNS=caserText(i,2);
76 dataset(i).Knutepunkt1=caserText(i,3);
77 dataset(i).DatoBeregnet=caserText(i,4);
78 dataset(i).Beregningsstatus=caserText(i,11);
79 dataset(i).Radial=caserText(i,25);
80
81 %Tallverdier indekseres fra caser:
82 dataset(i).AntallSluttbrukere=caser(i,1);
83 dataset(i).LavesteKortslutningsstrom=caser(i,2);
84 dataset(i).Spenningsfall=caser(i,3);
85 dataset(i).HoyesteSpenning=caser(i,4);
86 dataset(i).LavesteSpenning=caser(i,5);
87 dataset(i).InnSpenning=caser(i,6);    %Den beregnede Vinn i skript
88 dataset(i).Avstand=caser(i,12);
89 dataset(i).Innmatningsytelse=caser(i,13);
90 dataset(i).SumLast=caser(i,14);
91 dataset(i).SumNettap=caser(i,15);
92 dataset(i).TotaleTap=caser(i,16);
93 dataset(i).Sum_luftlinje=caser(i,24);
94 dataset(i).Sum_kabel=caser(i,25);
95 dataset(i).TotalEnergiforbruk=caser(i,26);    %netto + tap [kWh], skal per def. alltid vae
96 dataset(i).Energiforbruk_netto=caser(i,27); %Energiforbruk i kretsen, netto. [kWh]
97 dataset(i).Brukstid_aktiv_last=caser(i,28);
```

```
98 dataset(i).Eldste_byggear=caser(i,29);
99 dataset(i).Laveste_cosfi=caser(i,30);
100 dataset(i).Impedans_v_lavest_kortsl_strom=caser(i,31);
101
102 %Tallverdier og tekst indikseres til sub-klasser:
103 dataset(i).Seksjon.Belastningsgrad=caser(i,8);
104 dataset(i).Seksjon.Komponenttype=caserText(i,13);
105 dataset(i).Seksjon.Tap=caser(i,10);
106 dataset(i).Seksjon.TypeBetegnelse=caserText(i,15);
107
108 dataset(i).Trafo.TotaleTap=caser(i,17);
109 dataset(i).Trafo.Merkeytelse=caser(i,18);
110 dataset(i).Trafo.Belastningsgrad=caser(i,19);
111 dataset(i).Trafo.Trinnstilling=caser(i,20);
112
113 dataset(i).Kartkoordinater.G_latitude=caser(i,22);
114 dataset(i).Kartkoordinater.G_longitude=caser(i,23);
115
116 dataset(i).Topoltverdier.impedans_innmatningspkt=caser(i,32);
117 dataset(i).Topoltverdier.kortsl_strom_innmatningspkt=caser(i,33);
118 dataset(i).Topoltverdier.cosfi_innmatningspkt=caser(i,34);
119 dataset(i).Topoltverdier.resistans_innmatningspkt=caser(i,35);
120 dataset(i).Topoltverdier.reaktans_innmatningspkt=caser(i,36);
121
122 dataset(i).Antallsvakepunkt.Antall_knpkt_ab_langutlosetid=caser(i,37);
123 dataset(i).Antallsvakepunkt.Ant_knpkt_uten_ab_lang_utlosetid=caser(i,38);
124 dataset(i).Antallsvakepunkt.Ant_knpkt_lavfasespenning=caser(i,39);
125 dataset(i).Antallsvakepunkt.Ant_knpkt_hoyspenningsfall=caser(i,40);
126 dataset(i).Antallsvakepunkt.Antall_ledere_storbelastning=caser(i,41);
127 end
128
129 %% %===== 2.Vurdering av potensielle caser =====%
130 v=length(dataset);
131 iCase=1; %indeks paa caser som tas med etter avgrensning caser i vurderingsloopen
132
133 % Definerer min/maks referanseverdier for avgrensning og avviksberegning:
134 ikminStandard=0.5; %Satt utifra om nettet er svakt eller ej
135 spfallStandard=10; %Satt utifra FoL
136 sumLastStandard=180; %kW satt standard utifra samtale med Goerild Forbord.
```

```
137 belastningsgradStandard=70; % Satt utifra NetBas grenseverdi=80% skiller paa dette niva
138 alderStandard=30;
139 LLstandard=1; %Referanseverdi for LL/KA settes til 1km, over 1km gir bedre score!
140 KAstANDARD=1;
141
142 %% 2.1. Avgrense etter Referanseverdier
143 %Kun avgrenset etter 180kW makslast
144 %Det kan avgrenses etter flere verdier hvis oensket
145 for j=1:v
146 %if (dataset(j).LavesteKortslutningsstrom <= ikminStandard)
147 %   if (dataset(j).Spenningsfall >= spfallStandard)
148 %       if (dataset(j).SumLast <= sumLastStandard)
149 %           % if (dataset(j).Seksjon.Belastningsgrad >= belastningsgradStandard)
150 %               besteCase(iCase)=dataset(j); %Utvalgte caser lagres i besteCase
151 %               iCase=iCase+1;
152 %           % end
153 %       % end
154 %   % end
155 end
156 end
157
158 %Referanse-energiforbruket beregnes for caser i besteCase:
159 totaleEF=0;
160 v=length(besteCase); %oppdaterer v etter antall utvalgte caser
161 for j=1:v
162 totaleEF=totaleEF+besteCase(j).TotalEnergiforbruk; %sum av energiforbruk i samtlige caser
163 end
164 EFStandard=totaleEF/v; %Referanseverdi for energiforbruk blir snitt-EF i caser
165
166 %% 2.2 Scoring av potensielle caser - med vektete kriterier
167
168 %% Vekting av kriterier:
169 % Her kan oensket vekting for kriterier endres mellom 1-5
170 vektingSpfall=1;
171 vektingIkmin=3;
172 vektingIkmin_inmatingspkt=1;
173 vektingEF=5; %Totalt Energiforbruk kWh
174 vektingBelgrad=1;
175 vektingBelgrad_trafo=1;
```

```
176 vektingLL=3;
177 vektingKA=3;
178 vektingAlder=0; % Ikke paalitelig nok datagrunnlag for alder
179 vektingkwlast=0; %Anses som uvesentlig videre naar caser har blitt avgrenset etter sumla
180
181 %Vektingvektor med alle vekttall:
182 vekting= [vektingIkmin vektingIkmin_innmatingspkt vektingEF vektingSpfall vektingBelgrad
183 numKriterier=length(vekting); %Antall kriterier det vektet etter
184
185 for j=1:v
186     besteCase(j).Score=0; %Startscore for case allokeres til 0
187     besteCase(j).KriterieScore=zeros(1,numKriterier); %Lagrer mellomscore for kriterier
188     besteCase(j).Vekting=vekting; %Vektingvektor lagres for aa kunne se utslag av vektin
189     besteCase(j).NavnScore='Ikmin Ik2_inn EF Spfall Belgrad Belgrad_trafo Alder kmLL
190     k=1;
191     %Ik2min, laveste verdi hos abonnent
192     avvik=(ikminStandard/(besteCase(j).LavesteKortslutningsstrom));
193     besteCase(j).KriterieScore(k)=avvik*vektingIkmin;
194     besteCase(j).Score=besteCase(j).Score+besteCase(j).KriterieScore(k);
195     k=k+1;
196     %Ik2, innmatningspunktet
197     avvik=(ikminStandard/(besteCase(j).Topoltverdier.kortsl_strom_innmatningspkt));
198     besteCase(j).KriterieScore(k)=avvik*vektingIkmin_innmatningspkt;
199     besteCase(j).Score=besteCase(j).Score+besteCase(j).KriterieScore(k);
200     k=k+1;
201     %Totalt Energiforbruk [kWh] (Totalverdi: Forbruk + energitap i kretsen)
202     avvik= (EFStandard/besteCase(j).TotalEnergiforbruk);
203     besteCase(j).KriterieScore(k)=avvik*vektingEF;
204     besteCase(j).Score=besteCase(j).Score+besteCase(j).KriterieScore(k);
205     k=k+1;
206     %Spenningsfall
207     avvik= (besteCase(j).Spenningsfall/spfallStandard);
208     besteCase(j).KriterieScore(k)=avvik*vektingSpfall;
209     besteCase(j).Score=besteCase(j).Score+besteCase(j).KriterieScore(k);
210     k=k+1;
211     %Belastningsgrad i kabel/linje
212     avvik= (besteCase(j).Seksjon.Belastningsgrad)/(belastningsgradStandard);
213     besteCase(j).KriterieScore(k)=avvik*vektingBelgrad;
214     besteCase(j).Score=besteCase(j).Score+besteCase(j).KriterieScore(k);
```



```

215     k=k+1;
216     %Belastningsgrad i trafo
217     avvik= (besteCase(j).Trafo.Belastningsgrad)/(belastningsgradStandard);
218     besteCase(j).KriterieScore(k)=avvik*vektningBelgrad_trafo;
219     besteCase(j).Score=besteCase(j).Score+besteCase(j).KriterieScore(k);
220     k=k+1;
221     %Eldste byggeaar // Alder eldste komponent
222     avvik= (2017-besteCase(j).Eldste_byggear)/(alderStandard);
223     besteCase(j).KriterieScore(k)=avvik*vektningAlder;
224     besteCase(j).Score=besteCase(j).Score+besteCase(j).KriterieScore(k);
225     k=k+1;
226
227     %Sum lengde LL i krets
228     avvik= (besteCase(j).Sum_luftlinje/LLstandard);
229     besteCase(j).KriterieScore(k)=avvik*vektningLL;
230     besteCase(j).Score=besteCase(j).Score+besteCase(j).KriterieScore(k);
231     k=k+1;
232
233
234     %Sum lengde KA i krets
235     avvik= (besteCase(j).Sum_kabel/KAstandard);
236     besteCase(j).KriterieScore(k)=avvik*vektningKA;
237     besteCase(j).Score=besteCase(j).Score+besteCase(j).KriterieScore(k);
238     k=k+1;
239
240     %Andre kriterier som kan vurderes med i vektning f.eks:
241     %Antall sluttbrukere
242     %Totale tap
243
244 end
245
246 %% %===== Trinn 3. Utvelger de 5 beste potensielle casene for manuell innhenting av h
247 % OBS! NS-nummer til hsp-sjekk i Netbas finnes under: finalCase(i).PlasseringFraNS
248
249 [~,idx]=sort(-[besteCase.Score]); %sorterer resultater etter score
250 besteCase=besteCase(idx);
251 finalCase=besteCase(1:5); %Velger ut de fem casene med best totalscore
252 % NS-nummer til sjekk i Netbas finnes under: finalCase().PlasseringFraNS
253

```

```
254 %% %===== Trinn 4. Kostnadsanalyse =====%
255 %FO= Estimert nyverdi [kr], F=aarlig kapitalbelastning [kr]
256 %FDV=Fremtidige drift og vedlikeholdskostnader [kr]
257 %KrTotal = totalt kostnadsestimat [kr], kostnad = [kr/kWh].
258
259 %% 1. Estimert nyverdi:
260 %Anslaatte priser for TE vaar 2017, av John Kristian Evjen.
261 %Nypriser:
262 prisHV_LL=900000; %kr/km
263 prisHV_KA=900000;
264 prisLL=500000; %kr/km
265 prisKA=1100000; %kr/km
266 prisNS=400000; %kr/stk
267
268 %Beregner nypriser for LL, KA og NS:
269 for i=1:length(finalCase)
270 LL(i)=finalCase(i).Sum_luftlinje*prisLL;
271 KA(i)=finalCase(i).Sum_kabel*prisKA;
272 NS(i)=1*prisNS;
273
274 F0(i)=LL(i)+KA(i)+NS(i); %[kr]
275 end
276
277 %% 2. aarlig kapitalbelastning // Annuiteten 2.3 i REN
278 %30 aars avskrivningstid og 4% realrente (7% i formel men 4% er dagens 2017)
279 %Innsett amortiseringsfaktor/epsilon_r fra REN-blad:
280 N=30; %30 aars avskrivningstid
281 r=0.04; % 4% realrente
282 epsilon=(r/(1-(1+r)^(-N)));
283 F=epsilon*F0;
284
285 %% 3. Fremtidige drift- og vedlikeholdskostnader (FDV)
286 %Settes til 2% av nyverdi
287 FDV=F0*0.02;
288
289 %% 4. Samlet kostnadsestimat
290 KrTotal = FDV + F; %[kr]
291
292 %% 5. Kostnad uten hsp-lengder i [kr/kWh] og Navn paa krets
```

```

293 for i=1:length(KrTotal)
294 kostnad(i) = KrTotal(i)/finalCase(i).TotalEnergiforbruk; %[kr/kWh]
295 navn(i)=finalCase(i).PlasseringFraNS;
296
297 end
298
299 %% 6.1 Beregning av hsp-grenselengde noedvendig for aa naa kostnadsgrensen paa 4kr/kWh i
300 for i=1:length(finalCase)
301 hsp_grense(i)=((4*finalCase(i).TotalEnergiforbruk)/(0.02+epsilon)-F0(i))/prisHV_LL;
302 end
303 %For aa se grenselengder, se hsp_grense etter kompilering.
304
305 %% %=====Koding for utskrift =====%
306 navn=navn';
307 B=zeros(1,5);
308 x = 1:length(finalCase);
309 A = [x; kostnad];
310 fprintf('    %s %s\n', 'Case nr.', 'Pris uten Hsp[kr/kWh]');
311 fprintf('    %d          %2.2f\n', A);
312 fprintf('    \n%s\n', 'Plassering caser:');
313 for i=1:length(finalCase)
314     fprintf('    %s\n', strjoin(navn(i)));
315 end
316
317 %% 6.2 Manuell inntasting av Hsp-lengder for de 5 endelige casene:
318 sumLL_HV(1)=0;
319 sumLL_HV(2)=0.488;
320 sumLL_HV(3)=0.134;
321 sumLL_HV(4)=0.208;
322 sumLL_HV(5)=0.414;
323
324 sumKA_HV=(zeros(1,5)); %Ingen HV-kabler (f.eks. sjoekabler) ble funnet i testcaser til p
325 F0_HV=F0; %Lager en ny ny-pris variabel for HV
326
327 for i=1:length(finalCase)
328 LL_HV(i)=sumLL_HV(i)*prisHV_LL;
329 KA_HV(i)=sumKA_HV(i)*prisHV_KA;
330 F0_HV(i)=F0_HV(i)+LL_HV(i)+KA_HV(i); %[kr] Kroner LV beregnet tidligere + HV-priser.
331

```

```
332 end
333
334 %% 6.3 aarlig kapitalbelastning // Annuiteten 2.3 i REN-planboka
335 N=30; %30 aars avskrivningstid
336 r=0.04; % 4% realrente
337 epsilon=(r/(1-(1+r)^(-N))); %amortiseringsfaktor/annuitetsfaktor eller epsilon_r i REN-p
338 F_HV=epsilon*F0_HV; %aarlig kapitalbelastning
339
340 %% 6.4 Fremtidige drift- og vedlikeholdskostnader (FDV)
341 %Settes til 2% av nyverdi
342 FDV_HV=F0_HV*0.02;
343
344 %% 6.5 Samlet kostnadsestimat
345 KrTotal_HV = FDV_HV + F_HV; %[kr]
346
347 %% 6.6 Kostnad i [kr/kWh] og utprint
348 for i=1:length(KrTotal_HV)
349 kostnad_HV(i) = KrTotal_HV(i)/finalCase(i).TotalEnergiforbruk; %[kr/kWh]
350 end
351
352 A = [x; kostnad_HV];
353 fprintf(' \n\n %s %s\n', 'Case nr.', 'Pris inkl. Hsp[kr/kWh]');
354 fprintf(' %d %2.2f\n', A);
355
356 hsp_grense %skriver ut grenselengder for aa naa kostnadsgrense
357
358 %% ===== Annet =====
359 % mellomscorene (KriterieScore) ble lagret i vektor utfor finalCase
360 % For aa kunne vurdere utslag av vekten
361 Totalscorevar=zeros(1,5);
362 for i=1:length(finalCase)
363 Totalscorevar(i)=finalCase(i).Score;
364     for j=1:numKriterier
365         Kriteriescore(i,j)=finalCase(i).KriterieScore(1,j);
366     end
367 end
368 Totalscorevar=Totalscorevar';
369
370 %% Sletting av endel unoevendige variabler etter kompilering, sletting kan kommenteres
```

```
371 clearvars -except caser caserText caserText2 besteCase dataset finalCase vekting Kriteri
372 %oenskes en variabel fra kode i Workspace, inkluder den i listen over
```