

Paal Ek

Alternative teknologier i distribusjonsnett

En analyse ved implementering av teknologier i
distribusjonsnett

Bacheloroppgave i Elektroingeniør - Elkraft og bærekraftig energi

Veileder: Ian Norheim

Medveileder: John Kristoffer Haugan

Mai 2023

Paal Ek

Alternative teknologier i distribusjonsnett

En analyse ved implementering av teknologier i
distribusjonsnett

Bacheloroppgave i Elektroingeniør - Elkraft og bærekraftig energi
Veileder: Ian Norheim
Medveileder: John Kristoffer Haugan
Mai 2023

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for elkraftteknikk



Kunnskap for en bedre verden

Sammendrag

I mange år er det diskutert metoder og nødvendigheten av å utsette utbyggingen av nytt strømmnett ved hjelp av andre teknologier. Metoder som tradisjonelt blir henvendt til er forsterkning av eksisterende strømmnett. Men finnes det andre teknologier som kan brukes slik at dette ikke er nødvendig? Er det mulig å gjøre analyser og se hvordan dette hadde utartet seg med moderne teknologi?

De som ønsker å bygge et forsterket strømmnett argumenterer for at dette er den mest hensiktsmessige løsningen på lang sikt. Mens de som argumenterer for ny teknologi mener at det kan være aktuelt å anvende teknologier for å redusere kostnadene ved utbygging av nytt strømmnett. Samtidig peker nytt forsterket strømmnett i retningen av at det er en høy oppstarts kostnad, men det vil resultere i en mer stabil og bærekraftig strømforsyning. Mens ny teknologi kan redusere prisen, hvorav resultatet angivelig vil være det samme.

Oppgaven skal skildre bruk av trintransformator og kondensatorbatteri, samt oppkobling av batteribank. Det gjort analyser av utviklingen til de forskjellige teknologiene. Dette for å dra en linje av hvem av disse som kunne vært mest aktuell i problemstillingen som er blitt gitt.

Det er utført en redegjørelse av de forskjellige teknologiene, får å få en forståelse av hvordan de opererer. Oppgaven tar for seg analyser som skildrer de forskjellige utfallvinklene på de forskjellige teknologiene. Hvorav utfordringen er å øke spenningen i Østre Trysil/Fulufjellet grunnet et lang strekk med 22kV strømlinje.

I analysen kom det frem følgende: Grunnet mangel på informasjon er det vanskelig å dra noen overordnet konklusjon ettersom oppgaven ikke tar for seg temaer som økonomi. Det er fler analyser som bør gjøres rede for før det skal tas noen form for avgjørelse på hvilket teknologi som er mest hensiktsmessig. Uavhengig, dreier analysene som blir gjort i retning av at kondensatorbatteri er den mest egnede løsningen. Gjennom oppgaven vil det gis en forståelse hvorfor denne konklusjonen er dratt, samt hvorfor dette er med usikkerhet.

Abstract

For many years there have been discussions about methods and the necessity to postpone the construction of new grid using other technologies. Methods traditionally approached are the reinforcement of existing electricity networks. But are there other technologies that can be used so that that this is not necessary? Is it possible to do analysis and see how this would have degenerated with modern technology?

Those who want to build a reinforced grid argue that this is the most appropriate solution in the long term. While those arguing for new technologies believe that it may be appropriate to use technologies to reduce the cost of building a new electricity grid. At the same time, new reinforced grid points in the direction that there is a high initial price, but it will result in a more stable and sustainable electricity supply. While new technology can reduce the price, of which the result will allegedly be the same.

The task should depict the use of step-up transformer and capacitor battery, as well as the connection of battery bank. The development of the different technologies will be analyzed. This is to draw a line of which of these could be most relevant in the problem statement that has been given.

A investigation of the different technologies has been made, to get an understanding of how it works. The paper deals with analyses that depict the different outcomes of the different technologies. Where of the problem is to increase the voltage in Østre Trysil/Fulufjellet due to a long stretch of 22kV power line.

What was concluded is the following. Due to lack of information it is difficult to to draw any overall conclusion as the task does not address topics such as economics. There are several analyses that should be accounted for before making any kind of decision on which technology is most appropriate. Independently, the analyses that are made tend to direction that the capacitor is the most suitable solution. Throughout the task, it will provide an understanding of why this conclusion has been reached and why this is with uncertainty.

Forord

«Alternative teknologier i distribusjonsnett» er en bacheloroppgave skrevet av Paal Ek (elektrostudieretning elkraft). Oppgaven er skrevet for og i samarbeid med Elvia AS. Arbeidet med oppgaven startet 11. januar 2023 og ble levert 21. mai 2023. Det har vært god hjelp fra Elvia, veileder ved NTNU og andre studenter/bekjente slik at oppgaven kom godt ut.

Det er ønskelig å benytte anledningen til å rette en takk til John Kristoffer Haugan fra Elvia for en spennende oppgave. Mange gode innspill, teknisk hjelp og veiledning. Det utmerkes en takk til den interne veilederen fra NTNU i Gjøvik, Ian Norheim. Som har vært god hjelp med faglige og akademiske innspill. Sist men ikke minst er en takk til alle studenter og bekjente som bisto med innvendinger og rettskrivning.



Paal Ek

Innhold

Sammendrag	v
Abstract	vi
Forord	vii
Innhold	viii
Figurer	x
Tabeller	xii
1 Innledning	1
1.1 Problemstilling	1
1.2 Avgrensninger	2
1.2.1 Andre teknologier	2
1.2.2 Økonomi	2
1.3 Oppbygging av rapporten	2
2 Teori	4
2.1 Forskrift om leveringsikkerhet (FOL)	4
2.1.1 Plasseringer av komponenter og områder	5
2.2 Strømnettet	6
2.2.1 Oppbygging av strømnettet	6
2.3 Spenningsfall	7
2.4 Energilagring	9
2.5 Potensielle løsninger	9
2.5.1 Autotransformator	9
2.5.2 Kondensatorbatteri	12
2.5.3 Energilagring batteri	13
2.6 Netbas	14
2.7 Nettanalyse og kraftproduksjon	15
2.7.1 Kriterier for nettanalyse	15
3 Scenarioer og resultater	17
3.1 Last scenario	17
3.1.1 Last scenario 1	17
3.1.2 Last scenario 2	18

3.1.3	Last scenario 3	18
3.2	Situasjon med høy last lav produksjon scenario 1	18
3.2.1	Spenningsfall i linjen	19
3.2.2	Bruk av kondensatorbatteri scenario 1	20
3.2.3	Bruk av trinntransformator ved scenario 1	20
3.3	Situasjon med scenario 2	22
3.3.1	Bruk av kondensatorbatter scenario 2	23
3.3.2	Bruk av trinntransformator last scenario 2	24
3.4	Scenario 3	25
3.4.1	Bruk av kondensatorbatteri scenario 3 spenningsprofil	26
3.4.2	Bruk av trinntransformator scenario 3 spenningsprofil	27
3.4.3	Bruk av batteribank scenario 3 spenningsprofil	28
3.4.4	Oppsummering spenningsfall	29
4	Diskusjon	30
4.1	Løsninger og problemstillinger transformator	30
4.1.1	Løsninger og problemstillinger kondensatorbatteri	31
4.1.2	Løsninger og problemstillinger batteribank	31
5	Konklusjon	33
6	Videre arbeid	35
6.1	Teknologier	35
6.1.1	Økonomi	36
Litteraturliste		37

Figurer

2.1	Illustrasjon av de forskjellige plasseringene av komponenter og områder . . .	5
2.2	Illustrasjon av spenningsnivåene i strømmettet [4]	6
2.3	Illustrasjon av forskjellige master for forskjellige deler av strømmettet[6] . . .	7
2.4	Illustrasjon av enlinjeskjema høyspentradial i distribusjonsnettet[7]	8
2.5	Illustrasjon av spenningsvariasjon gitt laststrøm og nettimpedans [7]	8
2.6	Funksjon graf Autotransformator	10
2.7	Illustrasjon av fasespenningen på sekundersiden av transformatoren med auto- matisk trinnkobler [10]	11
2.8	Illustrasjon av trinningen til transformatoren med kort tidshorisont [10].	12
2.9	Illustrasjon av fasekompensering [9]	13
2.10	Illustrasjon av peakshaving [14]	14
2.11	Eksempel spenningsprofil [16]	16
3.1	Illustrasjon av spenningsfallet i Østre Trysil/Fulufjellet	19
3.2	Illustrasjon av spenningsfallet i Km fra NETBAS	19
3.3	Illustrasjon av spenningsfallet ved bruk av kondensatorbatteri	20
3.4	Illustrasjon av spenningsfallet ved bruk av trintransformator	21
3.5	Illustrasjon av spenningsfallet i km ved bruk av trintransformator	22
3.6	Illustrasjon av spenningsfallet ved installasjon av 1.5MW belastning i Ljørdalen og Fulufjellet	22
3.7	Illustrasjon av spenningsfallet ved bruk av kondensatorbatteri på 5MVAR med 1.5MW belastning plassert i Fulufjellet og Ljørdalen.	23
3.8	Illustrasjon av spenningsfallet ved bruk av trintrafo 9% økning på sekundersiden med 1.5MW belastning plassert i Fulufjellet og Ljørdalen.	24
3.9	Illustrasjon av spenningsfallet med og uten tilkobling av produksjon i Ljørdalen, spenningsfallet er illustrert fra Trysil til produksjonspunkt ved ENS08213 (Ljørdalen)	25
3.10	Illustrasjon av spenningsfallet med og uten tilkobling av produksjon i Ljørdalen, spenningsfallet er illustrert fra fra Trysil til ytterpunkt av radial høyre fløy, nettstasjon ENS12043	25

3.11	Illustrasjon av spenningsfallet i scenario 3 med kondensatorbatteri fra nettstasjon ENS12043 med utkobling ved lavlast	26
3.12	Illustrasjon av spenningsfallet med og uten tilkobling av produksjon i Ljørdalen, spenningsfallet er illustrert fra fra Trysil til ytterpunkt av radial høyre flanke/ Lines ved ens12043	26
3.13	Illustrasjon av spenningsprofilen ved trinnstrafo	27
3.14	Illustrasjon av spenningsprofilen ved bruk av batteribank	28

Tabeller

3.1	Tabell for trinningen av transformatoren	27
3.2	Tabell for batteribank produksjon/last, samt effekt ulike scenarier	28
3.3	Oppsummering spenningsfall scenario 1 og 2	29
3.4	Oppsummering spenningsfall scenario 3	29

Kapittel 1

Innledning

I dagens samfunn er elektrisitet en sentral del av samfunnet vårt, og leverandøren av denne ressursen spiller derfor en viktig rolle og har en stor innvirkning på våres liv. Elvia AS, heretter kalt Elvia, har som oppdrag å levere effektiv, bærekraftig og god elektrisitet til sine kunder. Elvia er et nettselskap som er ansvarlig for leveranse av strøm til Norges største nettområde og sørger for at 2 millioner mennesker i Innlandet, Viken og Oslo får strøm til sin bolig. [1] Denne virksomheten er samarbeidspartner i denne oppgaven, og vil bistå med nødvendig informasjon for å utføre oppgaven på en forsvarlig måte.

Behovet for elektrisitet og hvordan vi sikrer strømmettet og opprettholder sikker levering øker. Derfor er det viktig å undersøke løsninger når det kommer til å dekke dette behovet. Er det dermed sagt at nye utbygginger eneste løsningen? Bakgrunnen for oppgaven er å undersøke muligheten for å bruke alternative teknologier til å øke spenningskvaliteten ved Østre Trysil/Fulufjellet. Oppgaven vil undersøke og ta for seg forskjellige teknologier som kan være med på å løse nevnt problemstilling, fremfor å utbygge nåværende forsyningsnett. Videre vil oppgaven utrede ulike utregninger og analyser. Basert på hva som er mest hensiktsmessig, hvor vi fokuserer på de tekniske løsningene.

1.1 Problemstilling

Problemstillingen tar utgangspunkt i at fra Trysil er det en betraktelig distanse med 22kV strømlinje som forsyner Østre Trysil/Fulufjellet. Dette resulterer i en lav spenning i et området som i tillegg vil være utsatt for et enda høyere strømforbruk i fremtiden da det ligger insentiver for stor utbygging. Spesielt i form av fritidsboliger i området. Oppgaven vil undersøke og ta for seg forskjellige teknologier som kan være med på å løse nevnt problemstilling, fremfor å utbygge nåværende forsyningsnett.

1.2 Avgrensninger

Etter som oppgaven tar for seg et bredt felt, er det nødvendig å sette noen former for avgrensninger. Kapittel 1.2.1 - 1.2.2 beskriver aktuelle temaer for problemstillingen, men er nedprioritert på bakgrunn av omfanget. Dette ligger til bakgrunn av av oppgaven er skrevet at en person, og at for at det ikke skal bli en for omfattende oppgave må noen temaer nedprioriteres.

1.2.1 Andre teknologier

Det er teknologier som kunne vært av interesse å se på, som foreksempel energilagring. Teknologier som inngår i dette feltet kan være elektrolyse/brenselceller og spenningsbooster. Dette er ikke tatt med på bakgrunn av tid. Et annet interessant aspekt kan være å se på hvordan man kan påvirke fleksibiliteten i lasten i strømmettet. Det er ikke tatt med batteribank i scenario 1 og 2 etter som dette var en teknologi som kom sent inn i oppgaven. Samt at det er implikasjoner med denne teknologien i scenario 3. Det ville også vært interessant å se på hvordan utbygging av sterkere strømmett hadde påvirket spenningsutviklingen.

1.2.2 Økonomi

For at det skal kunne gjøres en undersøkelse av nettet, er det avgjørende å se på de økonomiske aspektene ved de forskjellige teknologiene. Hvilke teknologier som er mest lønnsomme tatt i utgangspunkt til hvor mye det koster.

1.3 Oppbygging av rapporten

Denne rapporten er rettet mot personell som har grunnleggende kompetanse innenfor elkraft. Videre skal det kildres innholdet i oppgaven.

- Kapittel 1 tar for seg bakgrunn, problemstilling og oppdragsgiver.
- Kapittel 2 med teori knyttet til oppgaven. Dette kapitlet tar for seg grunnleggende informasjon som er nødvendig for leser, for å forstå både problemstillingen og arbeidet knyttet til analyse. Dette inkluderer foreksempel: forskrift om leveringsikkerhet, strømmettet, spenningsfall, potensielle løsninger, Netbas og nettanalyse.
- Kapittel 3 tar for seg metode, hvor det henvises til hvordan datagrunnlaget er lagt frem, hvor de ulike variablene blir forklart. Denne delen av oppgaven viser til hvordan oppgaven har blitt gjennomført, og hvordan de forskjellige kretsene er moderert. Herunder er det tatt utgangspunkt i forskjellige scenarier fra nettsystemet, som alle

krever forskjellige løsninger. Både på eksisterende og kommende utfordringer knyttet til strømleveransen.

- Kapittel 4 tar for seg diskusjon. Der det diskuteres rundt de forskjellige teknologiene, om deres fordeler og ulemper.
- Kapittel 5 tar for seg konklusjonen til oppgaven.
- Kapittel 6 tar for seg videre arbeider. Dette kapitlet tar for seg forskjellige informasjon som er nødvendig å se videre på for å få en bedre konklusjon.

Kapittel 2

Teori

I dette kapitlet skal det fremstilles en oversikt over de forskjellige teknologiene samt normene som brukes, for å anvende dem i metoden.

2.1 Forskrift om leveringsikkerhet (FOL)

jp. FOL, også kalt Leveringskvalitetsforskriften, §1-1: *"Forskriften skal bidra til å sikre en tilfredsstillende leveringskvalitet i det norske kraftsystemet, og en samfunnsmessig rasjonell drift, utbygging og utvikling av kraftsystemet. Herunder skal det tas hensyn til allmenne og private interesser som blir berørt."*[2]

FOL, Forskriften om leveringskvalitet i kraftsystemet, er en sentral del om hvordan et nettselskap skal forholde seg til eksisterende strømmnett og kommende utbygginger. Kravene FOL setter skal innfris, og nettselskapene må ta løpende vurderinger for å opprettholde et strømmnett av høy kvalitet.

Hva som defineres som høy spenningskvalitet kan være et mangt konsept. Herunder avgrenses denne oppgaven til å fokusere på langsomme spenningsvariasjoner. Det defineres slik jf. FOL §3-3 *"Nettselskap skal sørge for at langsomme variasjoner i spenningens effektivverdi, er innenfor et intervall på $\pm 10\%$ av nominell spenning, målt som gjennomsnitt over ett minutt, i tilknytningspunkt i lavspenningsnettet."* [2]

Det betyr at spenningsvariasjonene fra høyspentnettet til tilkoblingspunkt i lavspenningsnettet ikke skal overskrive $\pm 10\%$. [3] For å underbygge dette, er det nødvendig å sette en øvre grense og en nedre grense for tillatte spenningsvariasjoner i nettet basert på den nominelle spenningen. Elvia etterstreber at spenningsfallet i høyspenningnettet (22kV) ikke skal overskrive 5%. Kravet om maksimalt spenningsfall på 5% på høyspent siden av distribusjonsnettets settes for å ha margin med tanke på spenningsfall i lavspenningsnettet.

Primært er formålet langsomme spenningsvariasjoner.

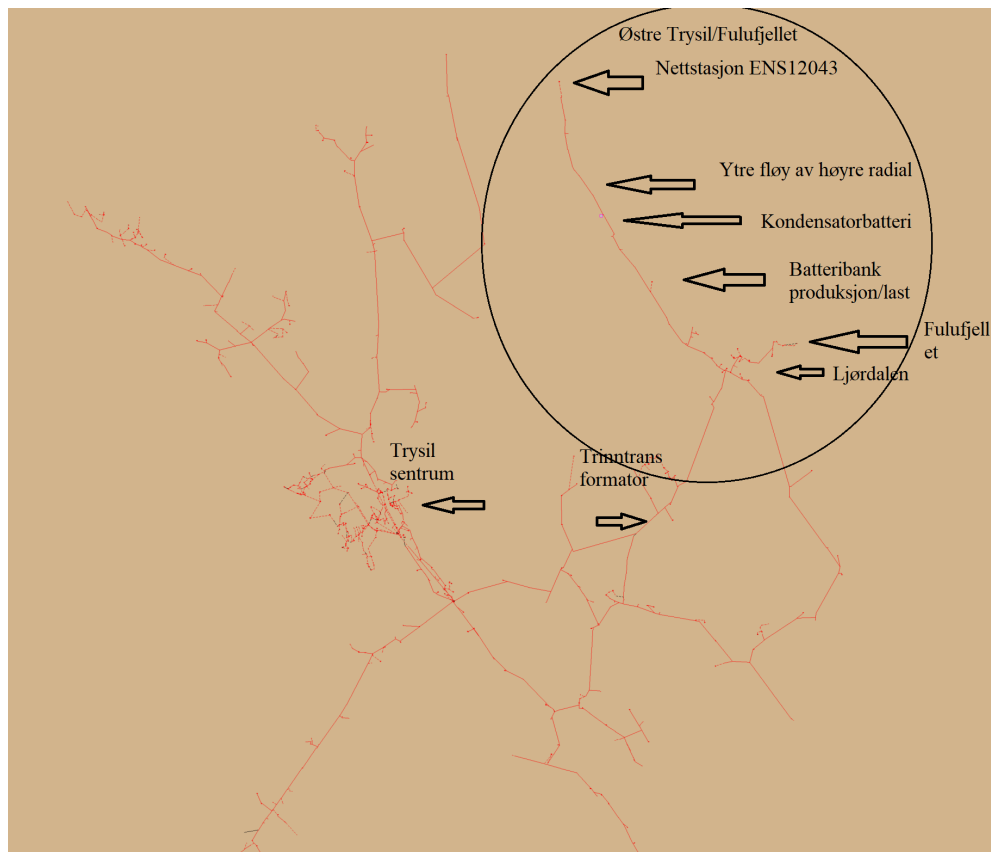
$$U_{stasjoner} = \frac{\Delta U_{stasjoner}}{U_{avtalt}} \quad (2.1)$$

Det er ønskelig at spenningen som kunden mottar, helst ikke skal fravike mer enn 10% av avtalt spenning. Dette er det flere grunner til, blant annet for å ikke ødelegge elektronikk som er beregnet for et gitt spenningsnivå.

Hvis ikke disse bestemmelsene blir overholdt vil det bli pålagt saksjoner. Noe som ikke er ønskelig for nettselskapene.

2.1.1 Plasseringer av komponenter og områder

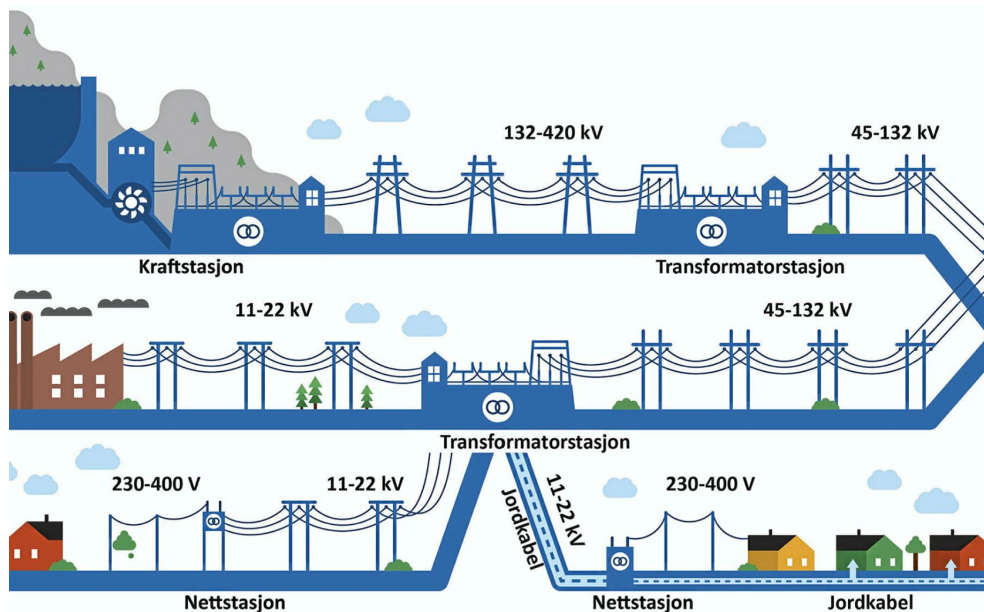
Trysil er et området som ligger i Innlandet og ligger nord-øst for Hamar og Elverum. Området bærer preg av forskjellige vinteraktiviteter, etter som trysilfjellet ligger sentralt som et anlegg for ski og skisport. På bakgrunn av mangel på tiltak i dette området av elektrisk infrastruktur er det nødvendig med forbedringer, som oppgaven skal dreies inn på. Illustrert i figur 2.1 kan man se at området er utsatt for lange radialer som er med på å prege strømmettet. Vedlagt er en illustrasjon av hvor det er plassert de forskjellige komponentene samt området som er kildret videre i oppgaven. Dette er vedlagt for å få en bedre forståelse av oppgaven og se teknologiene og dems virkemåte.



Figur 2.1: Illustrasjon av de forskjellige plasseringene av komponenter og områder

2.2 Strømnettet

Fra Kraftverket er det flere forskjellige nivåer av spenning. Dette er nødvendig for å opprettholde et fungerende strømnett over hele landet, samt redusere tap av elektrisitet. Under blir det fremlagt en illustrasjon som forklarer de ulike nivåene av spenning i strømnettet.



Figur 2.2: Illustrasjon av spenningsnivåene i strømnettet [4]

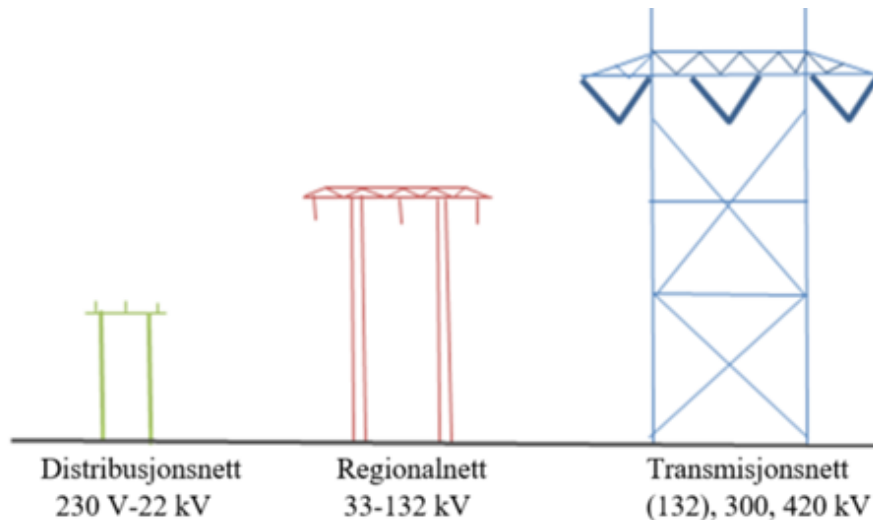
Hensikten med høyespenninger er flere, og de siteres under.

Effektivitet: Det generes varme når elektrisk energi flyter igjennom en ledning. Dette kan enkelt utformes ved hjelp av effektloven ($P = R * I^2$). Varmen som generes vil være et kvadrat av strømmen, det vil si at ved høye spenninger vil strømmen være lav og mengden varme som vil bli avgitt vil være minimal.

Kapasitet: Ved høyere spenninger legges det til rette for at det er større mengder elektrisitet som kan gå i strømlinjene. Man kan dermed levere større mengder strøm med færre og mindre linjer. Dette er å anse som hensiktsmessig fra et økonomisk perspektiv.

2.2.1 Oppbygging av strømnettet

Strømnettet i Norge er klassifisert i 3 forskjellige størrelser: transmisjonsnett, regionalnett og distribusjonsnett. Dette er nødvendig for å ha et velfungerende strømnett. [5]



Figur 2.3: Illustrasjon av forskjellige master for forskjellige deler av strømmettet[6]

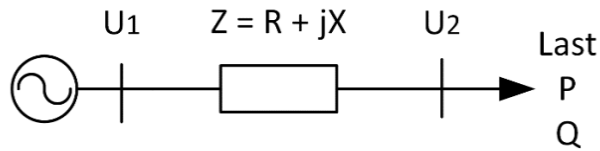
Transmisjonsnettene kobler sammen kraftverk og forbrukere over større distanser. Utenlandsforbindelsene er også koblet opp mot transmisjonsnettene. Transmisjonsnettene har et høyt spenningsnivå, og arbeider på et sted mellom 300 til 420kV, hvor enkelte steder har strømledninger med 132kV. Statnett er operatør og er ansvarlig for 11000 km med denne type ledning i Norge. [5]

Regionalnettet er et bindeledd mellom transmisjonsnettene og distribusjonsnettene. Regionalnettet kan også anvendes til produksjon og forbruk på et høyere spenningsnivå. Regionalnettet arbeider på et spenningsnivå mellom 33kV og 132kV, og utgjør omlag 19000 km i Norge.[5]

Distribusjonsnettene binder regionalnettet til sluttforbrukeren. Dette nettet arbeider opp mot 22kV og leveres helt ned i 230V [5]. Disse nettene er vedlikeholdt av lokale kraftlag, herunder Elvia. Det vil dermed være distribusjonsnettene som skal analyseres i denne rapporten.

2.3 Spenningsfall

I denne oppgaven vil spenningsfall være en viktig faktor for å forstå problemstillingen. Det er (Elvia's mål) standard innad blant nettselskapene at grenseverdien ved spenningsvariasjoner ikke overstrider 5% av nominell spenning. Tatt i betraktning dødbåndet i trinnkobleren i en trintransformator på 2 % blir tillatt spenningsvariasjon i all hovedsak 7% [7]

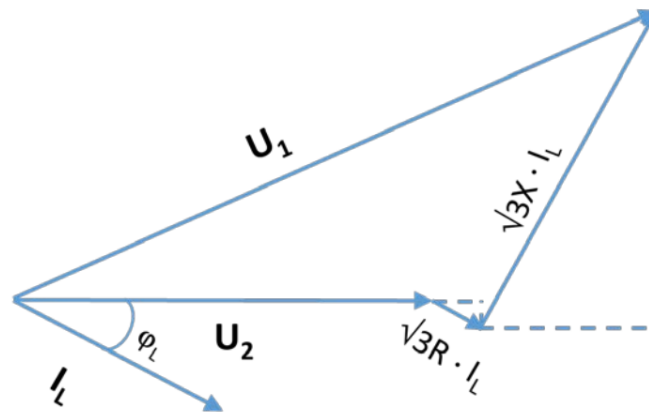


Figur 2.4: Illustrasjon av enlinjeskjema høyspentradial i distribusjonsnettet[7]

Linjespenningsfallet i nettet kan illustreres i figur 2.4. Den kan herved beskrives med ligningen vedlagt. [7]

$$\Delta U = \sqrt{3} * (R + jX) * I \quad (2.2)$$

Forholdet mellom U1 og U2 er gitt ved en gitt laststrøm og nettimpedans, som er illustrert i figur 2.5.



Figur 2.5: Illustrasjon av spenningsvariasjon gitt laststrøm og nettimpedans [7]

For å deffinere laststrømmen, kan man bruke følgende likning. [7]

$$I = \frac{P - jQ}{\sqrt{3} \times \bar{U}_2} \quad (2.3)$$

Kombinerer man ligning 2.2 og 2.3. Får man følgende ligning, som brukes til å definere spenningsfallet. [7]

$$\Delta U = \frac{1}{\bar{U}_2} \times ((RP + XQ) + j(XP - RQ)) \quad (2.4)$$

Hensikten med disse utregningene er å vise til den imaginære delen av formelen for spenningsfall. Dette vil være avgjørende for videre analyser knyttet til tilkobling av kondensatorbatteri.

2.4 Energilagring

Elektrisk energi må brukes momentant etter produksjon. Slik at den kan ikke lagres slik som den er. Uavhengig finnes det forskjellige måter der energien kan lagres for å bruke på et senere tidspunkt. Hvordan man vil lagre denne energien er situasjonsavhengig, både lagringsform og lagringsteknologi og tidsrom avhenger av situasjonen. [8]

Forskjellige eksempler på lagring kan være kjemisk lagring som hydrogen. Kraft kan også lagres direkte enten i superkondensator eller superledere, hvilket som er primært lagring i det korte tidsrom. [8]

Mest utbredt er pumpekraft, hvor man kan pumpe vann inn i vannmagasiner og bruke vannet som potensiell energi til senere bruk i et kraftverk. Det er også mulig å bruke mekanisk lagring i form av svinghjul, eller gjennom kompresjon av for eksempel luft. Et annet alternativ er lagring av varme eller kulde, men dette er mest hensiktsmessig når energien som skal tas i bruk som termisk energi og ikke elektrisk energi. [8]

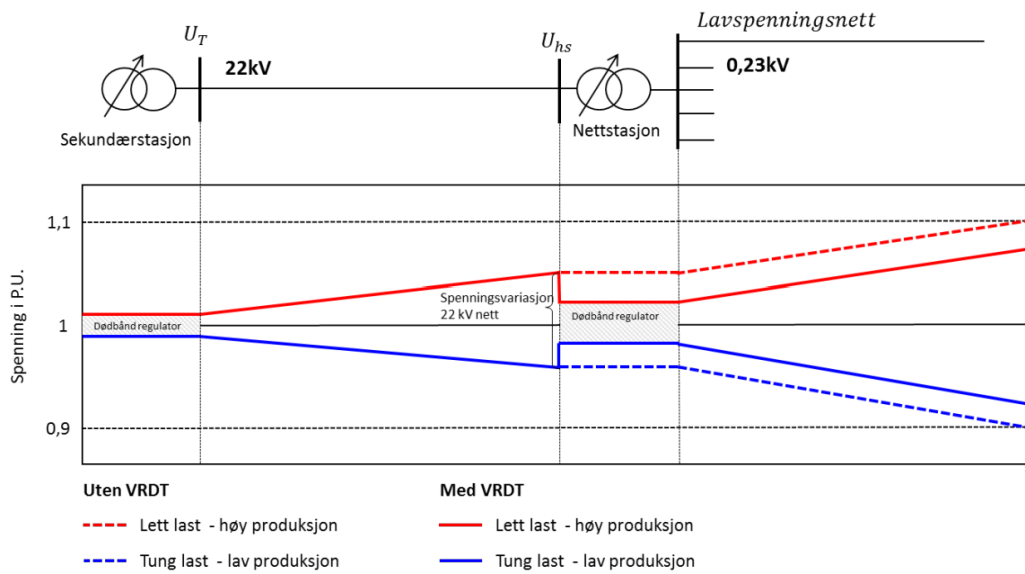
Elektrokjemisk lagring av energi spiller stadig en større rolle av hvordan vi forholder oss til lagring av energi. Ikke bare i nettsystemet, men også i transport. Hvor man anvender lagret elektrisk energi i batteriet, for å så bruke den på et senere tidspunkt. [8] Dette er en teknologi som rapporten skal se videre på. Hvordan man kan anvende i nettsystemet, for å regulere spenningen ved å legge til og trekke fra energi fra nettsystemet slik at man kan opprettholde et riktig spenningsnivå.

2.5 Potensielle løsninger

2.5.1 Autotransformator

Autotrafo eller også kalt transformator med automatisk trinnkobler er en skilletransformator som kan regulere spenningsnivået på sekundærsiden avhengig av forskjellige laster og spenningsvariasjoner. Dette er en teknologi som er godt kjent i Norge i dag, og brukes primært i regionalnett og sentralnett. [3]

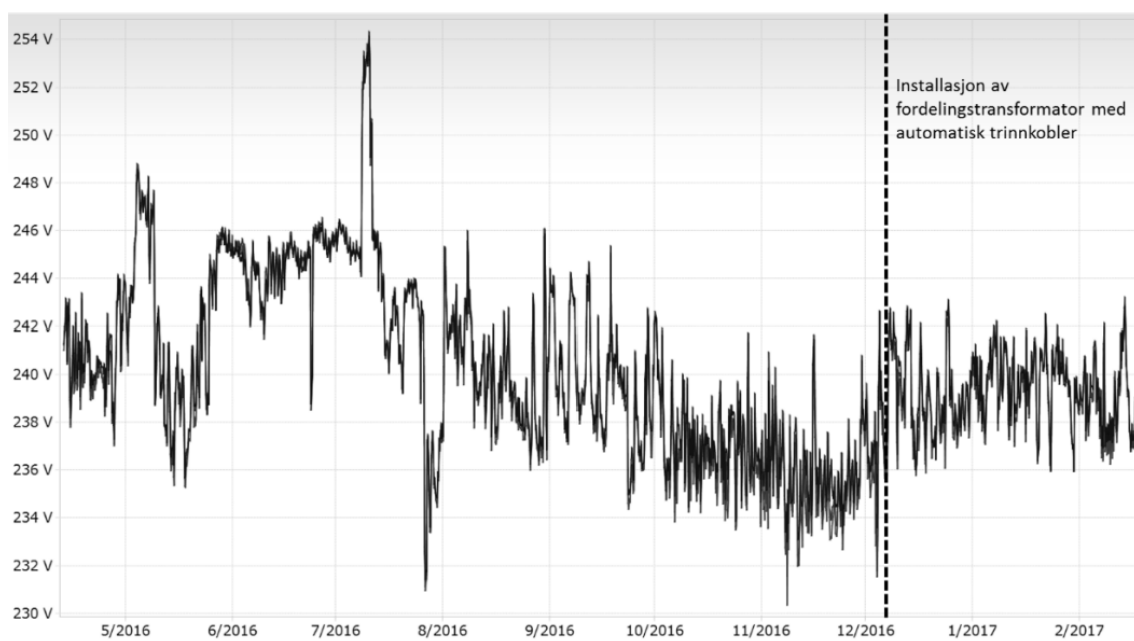
Transformator med trinnkobler er en løsning for å forhindre at for store spenningsvariasjoner ikke forplanter seg ut i strømmettet. I perioder med høylast og lav spenning vil transformatoren implementere med trinnene for å kompensere for spenningsnivået, og vica versa. Dette illustreres i grafen under. [9] Det tas forbehold om at illustrasjonene som er gitt er for 22/0.23kV transformator. Prinsippet er likt, grunnet mangel på dokumentasjon var det ikke mulig å finne illustrasjon for 22/22kV transformator.



Figur 2.6: Funksjon graf Autotrasformator

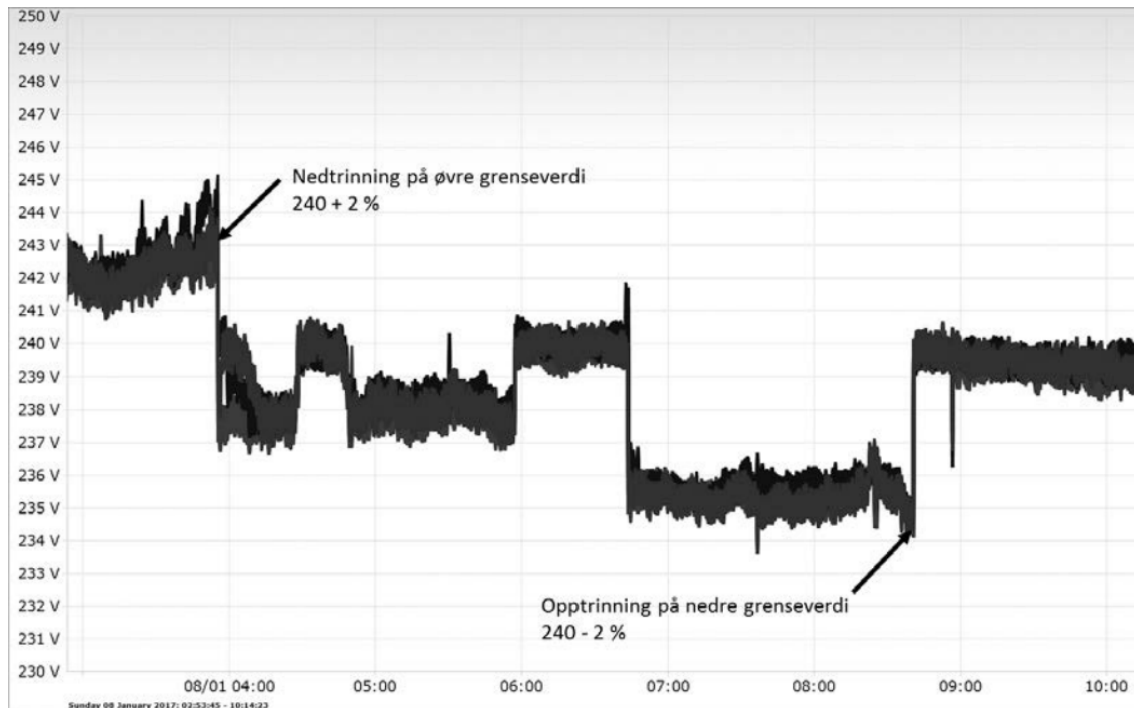
Figur 2.6 illustrerer hvordan spenningen varierer med og uten fordelingstraformator med trinnkobler i forskjellige scenarier. I denne illustrasjonen defineres fordelingstransformatoren med trinnkobler som "VRDT" (Voltage regulated distribution transformer).

Nedenfor vises illustrasjoner av hvordan en autotransformator er koblet inn for å kompensere for spenningsvariasjoner. Problemstillingen ved vedlagt illustrasjon var at et småkraftverk lagde problemstillinger for spenningskvaliteten på bakgrunn av at den var koblet opp mot en nettstasjon som var ytterpunkt av et lang radial. Vedlagte illustrasjon viser hvordan spenningsnivået stabiliseres ved tilkobling av autotransformator gitt over tid. Det vises av grafen vedlagt at spenningsvariasjonene reduseres betraktelig etter 12/2016, som viser til at transformatoren fungerer etter sin hensikt. [10]



Figur 2.7: Illustrasjon av fasespenningen på sekundersiden av transformatoren med automatisk trinnkobler [10]

I figur 2.8 kan man se de forskjellige trinningene med en kortere tidshorisont. Det observeres at transformatoren trinnet for å kompensere for spenningsvariasjonene. Opp og ned trinningen reguleres av spenningsregulatoren som er innstilt på $240V \pm 2\%$. [10]



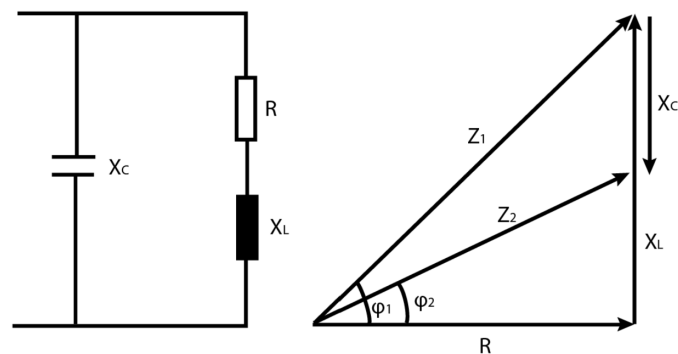
Figur 2.8: Illustrasjon av trinningen til transformatoren med kort tidshorisont [10]

2.5.2 Kondensatorbatteri

Bruk av kondensatorbatteri er en løsning for å redusere den induktive lasten i nettet og komponenter. De fleste elektriske komponenter lager kapasitive eller induktive laster, spesielt EL-motorer og lysrør. Disse lastene defineres som blindlaster etter som det i all hovedsak ikke gjør noen nytte for forbrukeren. Problemstillingen med induktive laster er at den reaktive strømmen ligger 90° faseforskyvet etter den ohmske strømmen. For å fasekompensere for dette kan det kobles inn et kondensatorbatteri. På samme måte som om man har kapasitive laster, så ligger strømmen faseforskjøvet 90° grader før den ohmske strømmen noe man kan løse med å koble inn en spole.

[11]

Problemstillingen med disse lastene er at det legges til i strømtrekket som går i linjen, som resulterer i en høyere strømstyrke. Noe som igjen resulterer i mer tap og spenningsfall enn hva man ville hatt hvis man primært hadde aktiv effekt. Dette ønsker man å eliminere da det er mest hensiktsmessig å ha en $\cos\phi$ som er nærmest mulig 1.



Figur 2.9: Illustrasjon av fasekompensering [9]

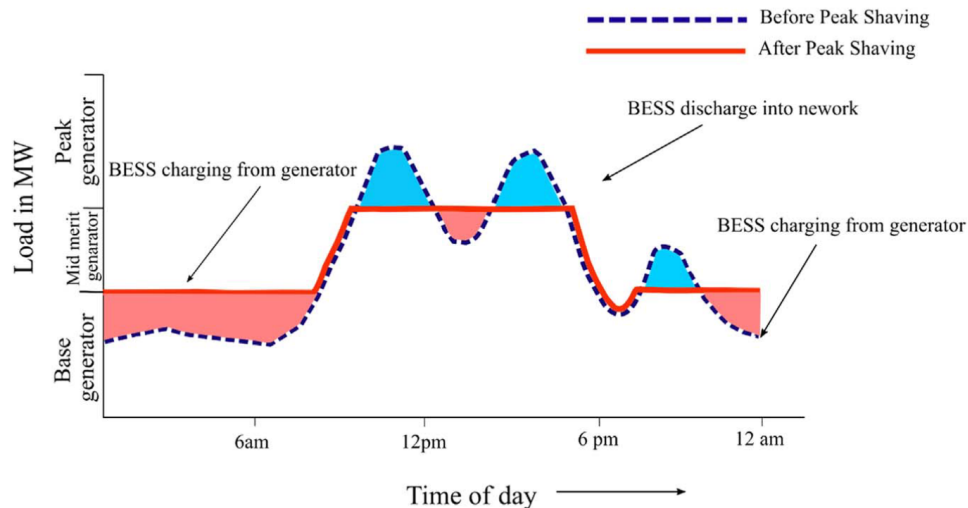
I Figur 2.9 kan man se hvordan en kondensator er med på å redusere en induktiv last. Noe som resulterer i at Z_2 blir mindre en Z_1 som gjør at man bruker strøm på en mer effektiv måte.[12]

2.5.3 Energilagring batteri

Bruk av batteri i strømmettet er en teknologi som blir stadig mer i bruk. Det er flere grunner til dette, foreksempel for å redusere kostnadden ved produksjonlinjer ved å bruke batteriene for å redusere strøm-prisen ved perioder med høy last.[13] Noe som kan være kostnadseffektivt for en produksjonsbedrift.

Uavhengig skal denne rapporten ta for seg bruk av energilagring i batteri for å redusere belastningen i strømmettet ved perioder med høy/lav last og Høy/lav produksjon. Noe som vil være hensiktsmessig i scenario 3, på bakgrunn av at batteriet kan lade når produksjonen er høy og forbruket er lavt. Samtidig som man kan bruke energien når produksjonen er lav og forbruket er høyt.

Dette vil videre redusere stresset som blir lagt på nettsystemet slik at man kan bruke dette som et alternativ for å bygge ut nettet. Denne teknologien er definert som peakshaving av den årsak at hensikten er å redusere peakene i nettet. Selve batteri lagringsystemet er definert som BESS (battery energi storage system). [14]



Figur 2.10: Illustrasjon av peakshaving [14]

I figur 2.10 illustreres hvordan peakshaving vil fungere i nettsystemet. Ved lav last vil batteriet bli oppladet av strømmettet, samtidig vil batteriet bli utladet i perioder med høy last. Dette vil resultere i at strømmettet er bedre egnet til å håndtere svingninger mellom last og produksjon. [14]

Et interessant perspektiv i denne teknologien er at foreløpig er det bare eksterne batteribanker som kan anvendes i denne typen nettbygging. Forutsatt at elbilmarkedet blir større, åpner det seg en mulighet for å bruke elbilene som batteripakker for å redusere toppene i strøm-nettet (V2G/vehicle to grid). Samtidig kan elbilene bli lagret med elektrisk energi, som er handlet til en lav pris og blir solgt tilbake til nettet til en høyere pris. Dette vil resultere til at det kan være et økonomisk perspektiv ved teknologien. Uavhengig er dette en teknologi som enda ikke er utbredt, men potensielt åpne seg for i fremtiden. [14]

2.6 Netbas

Netbas er et informasjonssystem for å gi informasjon om elektrisk infrastruktur i nettsystemet. Informasjonssystemet er utviklet av Powel og er et GIS-basert informasjonssystem, som gir en god forståelse av forskjellige former for dokumentasjon på infrastruktur, samt planlegging og analyse. Dette er et nødvendig verktøy for å simulere forskjellige typer løsninger som kan implementeres i nettverksutbygging for å kunne løse eksisterende problemstillinger. Denne programvaren vil være avgjørende for denne oppgaven for å se og illustrere hvilke løsninger som egner seg best for gitte problemstillinger. [15]

2.7 Nettanalyse og kraftproduksjon

Et nettselskap skal gjøre analyser og dokumentere for om nettet har kapasitet for å ta i mot ny produksjon i nettet (DG), dette gjøres med innlendene nettanalyse (INA). INA er en utredning basert på stasjonære og langsomme spenningsvariasjoner i høyspent distribisjonsnett. INA er utført i et nettinformasjonsystem (NIS). [16] Dette er for å ha en oversikt over spenningsvariasjonene og spenningsprangene som kommer ved ny produksjon i nettet.

2.7.1 Kriterier for nettanalyse

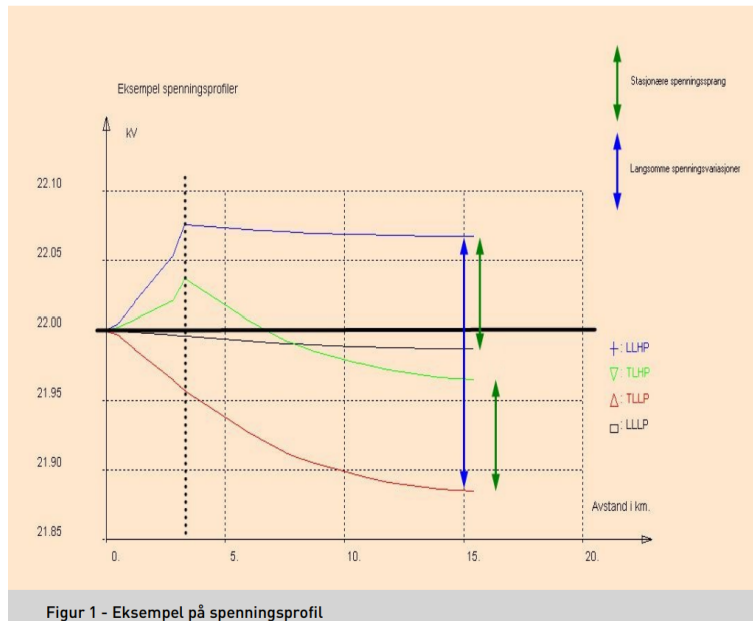
For å avgjøre om det er teknisk kapasitet i strømmettet skal følgende scenarier utredes.

- Lav last- Lav produksjon (LLLP)
 - Forutsatt lavlast i fremtidig nett - ingen produksjon fra DG
- Høy last - Lav produksjon (HLLP)
 - Forutsatt høy last i fremtidig nett - ingen produksjon fra DG
- Lav last -Høy produksjon (LLHP)
 - Forutsatt lavlast i fremtidig nett - maksimal produksjon fra DG
- Høy last - Høy produksjon (HLHP)
 - Forutsatt høy last i fremtidig nett - maksimal produksjon fra DG

[16]

Det tas forbehold at ved gitte kilder er tunglast definert som TL, videre i denne rapporten er det deffinert som høylast, HL.

Hvilke verdier som skal benyttes for høylast og lavlast, er en vurdering som må tas av nettselskapene, hvorav hvilket som er mest egnet. For lavlast kan det brukes verdier som 20% av høylast. Hvis det er spesifikke faktorer som spiller inn som hyttefelt etc. kan det brukes 15% av høylast. Dette er basert på historiske måleverdier. [16] I denne rapporten er det tatt forbehold til bruk av 15% grunnet at det er primært hyttefelt og last i regi av vinteraktiviteter som skal anvendes. Temperaturkorregert maxlast er 13.9MW derfor vil lavlast i dette eksempelet vil være 2.085MW.



Figur 2.11: Eksempel spenningsprofil [16]

Dimensjonerende spenningsendringer i høyspent distribusjonsnett er oppgitt i % av nominell spenning. Dimensjonerende spenningsprang er grenseverdien 3%. Det vil være forskjellen mellom lav last høy produksjon, og lav last lav produksjon. Langsomme spenningsvariasjoner er grenseverdien satt til 5%. Dette vil være forholdet mellom lav last høy produksjon og høy last lav produksjon.[16]

Denne verdien tar hensyn til videre fall i transformering. Slik at det i praksis godkjennes 7% spenningsvariasjoner til tilknytningspunktet. De lagsomme spenningsvariasjonene tar for seg ytterpunktene av spenningsprofilen. [16]

Kapittel 3

Scenarier og resultater

3.1 Last scenario

Tatt i betraktning at det er usikkerhet knyttet til fremtidens lastutvikling, er det nødvendige stillinger å ta i forhold til hvordan anlegget skal prosjekteres. Dette er kritisk informasjon siden det kan være forskjellige løsninger på de forskjellige problemstillingene.

Når det skal observeres de forskjellige teknologienes virkemåte vil det vær hensiktsmessig å lage forskjellige scenarier. Dette er for å observere de forskjellige teknologienes virkemåte hvilke fordeler de har, samt begrensninger.

En utfordring er at det er usikkerhet i hvilken størrelse på trinningene/kondensatorbatteriet det skal brukes i de forskjellige last scenarioene. Hvis en løsning fungerer i LLHP (lav last høy produksjon) vil dette mulig utgjøre at spenningen vil bli kritisk når lasten har LPHL (lav produksjon høy last). Derav er det hensiktsmessig å se hvordan de forskjellige løsningene utarter seg i de forskjellige scenarier.

Når det fremstilles løsninger, og spenningsfallet reduseres. Kan det ikke reduseres i den graden at spenningen heves/senkes til over 5%. Da vil løsningen bli en ny problemstilling.

3.1.1 Last scenario 1

Lastforbruket forblir det samme, Det vil ikke være noen økning i forbruket. Dette vil resultere i et spenningsfall som er i ytterpunkt 8.77% som resulterer i at det kan være hensiktsmessig å komme med løsninger på spenningsfallet. Scenariet vil ta for seg dagens høylast med og uten implementering av kondensatorbatteri og trintransformator.

3.1.2 Last scenario 2

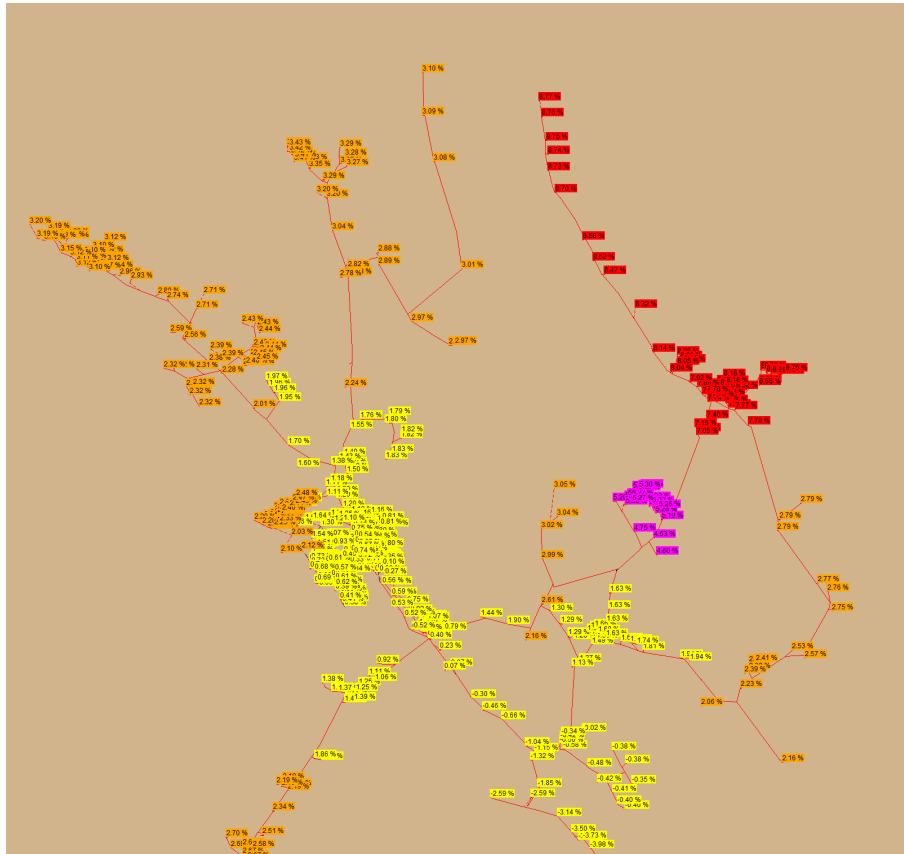
Dette lastforbruket innebærer at det vil være en full utbygging av Fulufjellet. Det innebærer blandt annet alpinanlegg, hytteutbygging og utleiehytter. Med dette kan en forvente en lastøkning på omlag 1,0MW. Samtidig vil man se en utvikling i Ljørdalen sentrum på omlag 0,5 MW. Dette vil si en total økning i belastning på 1,5MW som vil resultere i at det er nødvendig å utføre tiltak. Scenariet vil ta for seg dagens situasjon med ekstra last med og uten kondensatorbatteri og trintransformator.

3.1.3 Last scenario 3

Tilkobling av distribuert produksjon i nærheten av Ljørdalen sentrum. Produksjonen vil være på 1,5 MW. Det vil ha en påvirkning på det lokale nettet. Scenariet vil gå ut på å se på de forskjellige utfallsvinkelen i nettet med og uten produksjon, samt med høy/lav last. Scenariet tar utgangspunkt i dagens situasjon(last), det vil si ingen last økning. Det vil bli implementering av kondensatorbatteri og trintransformator i de forskjellige utfallsvinklene.

3.2 Situasjon med høy last lav produksjon scenario 1

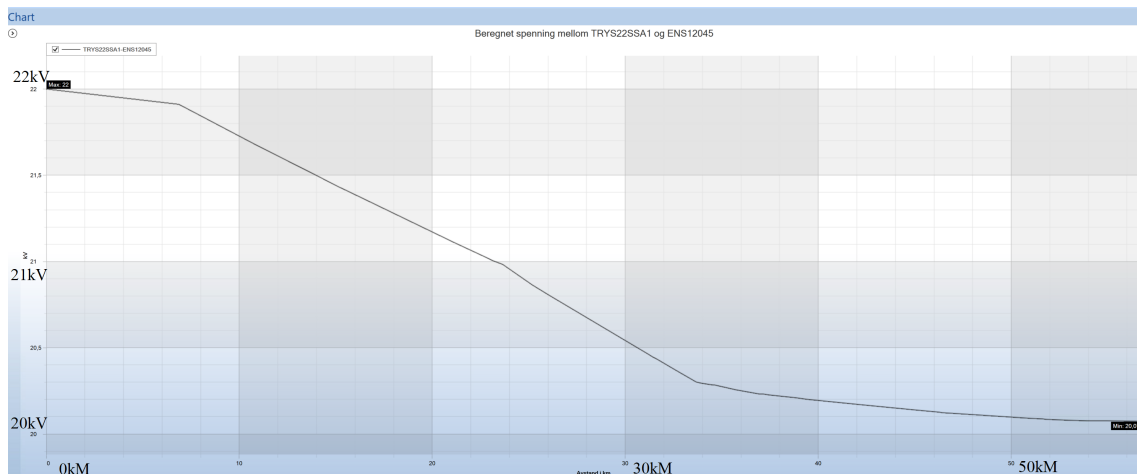
Situasjonen for eksisterende anlegg i Østre Trysil/Fulufjellet er at fra Trysil er det et langt strekk med 22kV linje, resulterer i et betraktelig spenningsfall. Per dags dato er det ikke innenfor normen på 5%. Samtidig som det forventes mer utbygginger i fremtiden. Som resulterer i at spenningsfallet vil øke ytterligere. Derfor vil man bruke moderne teknologi for å modernisere strømmettet om mulig, for å slippe unødvendige utbyggingskostnader. Nedenfor kan man se en illustrasjon i NETBAS hvordan spenningsfallet er i prosent. De stedene der spenningsfallet er mest kritisk er merket i rødt, og er tett opp mot 10 prosent.



Figur 3.1: Illustrasjon av spenningsfallet i Østre Trysil/Fulufjellet

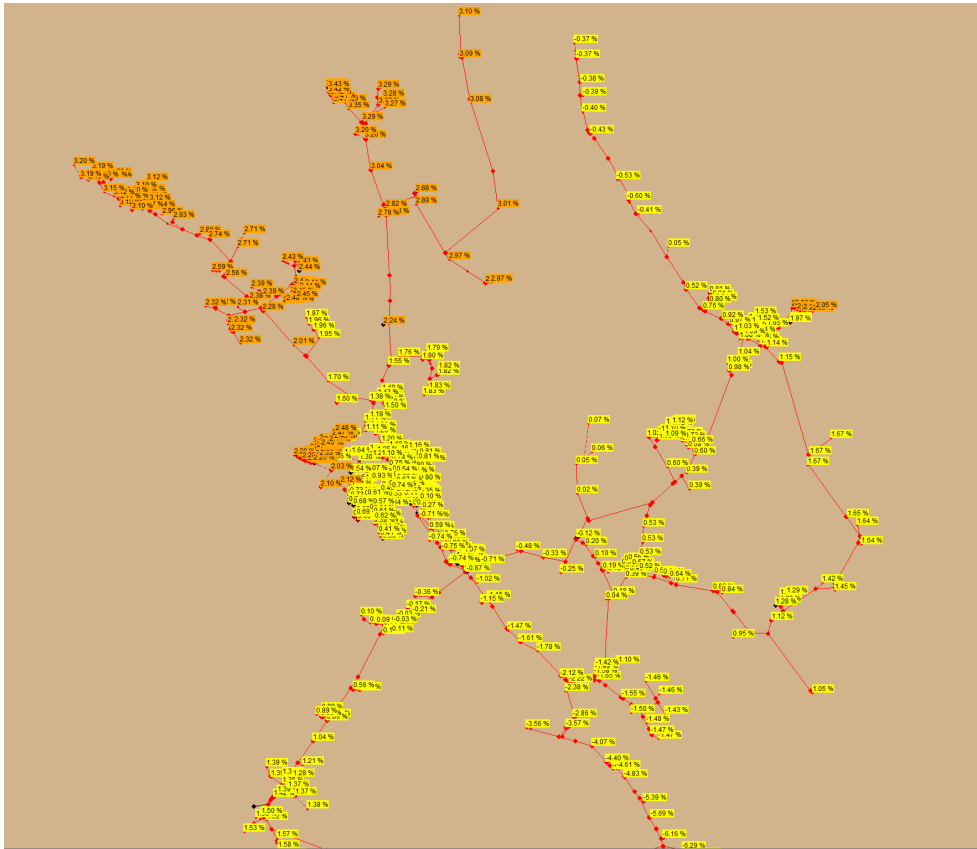
3.2.1 Spenningsfall i linjen

Nedenfor illustreres det hvordan spenningsfallet utvikler seg tatt i betraktning linjens lengde (spenningsprofil), og dagens belastning.



Figur 3.2: Illustrasjon av spenningsfallet i Km fra NETBAS

3.2.2 Bruk av kondensatorbatteri scenario 1



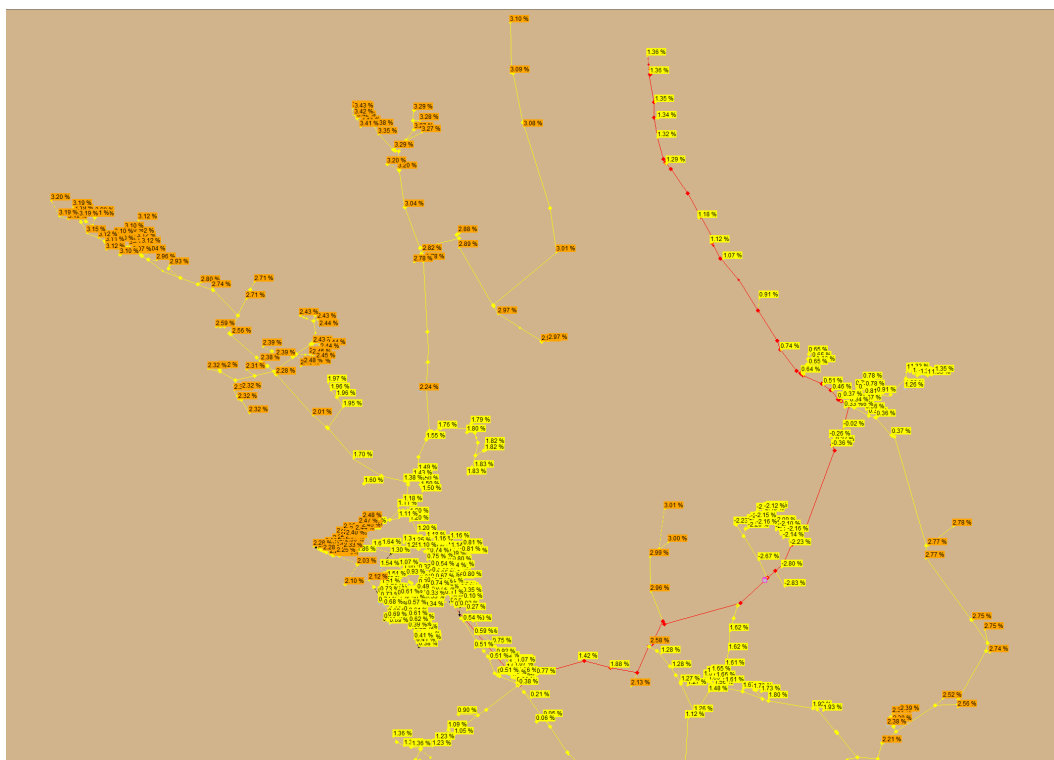
Figur 3.3: Illustrasjon av spenningsfallet ved bruk av kondensatorbatteri

I illustrasjonen kan man se resultatet av montasje av et 3MVAR kondensator batteri i Østre Trysil. Spenningsfallet i ytterpunkt har endret seg fra 8.77% til å bli -0.23%. Som viser til at det kan være en hensiktsmessig løsning. Ved å bruke kondensator med trinning, kan man tilpasse kondensatorbatteriets stilling, i forhold til last og spenningsforhold i strømmettet. Plasseringen av kondensatorbatteri er plassert omtrent midt på radialen i høyre fløy. Det tas i betraktning at plasseringen av denne komponenten ikke er like kritisk som plassering av en trintransformator.

3.2.3 Bruk av trintransformator ved scenario 1

Som illustrert i figur 3.2 kan man se spektret av spenningsfall fordelt på kilometer. Herunder er det å finne en hensiktsmessig plassering for en potensiell trintransformator. Å finne potensiell plassering kan være en problemstilling for blant annet å få mest mulig effekt ut av investeringen. Trintransformatoren bør ikke være for nærme Trysil transformatorstasjon, samtidig kan den ikke være for nærme ytterpunktet av Fulufjellet. Plassering et sted omlag midt på vil angivelig være den beste løsningen.

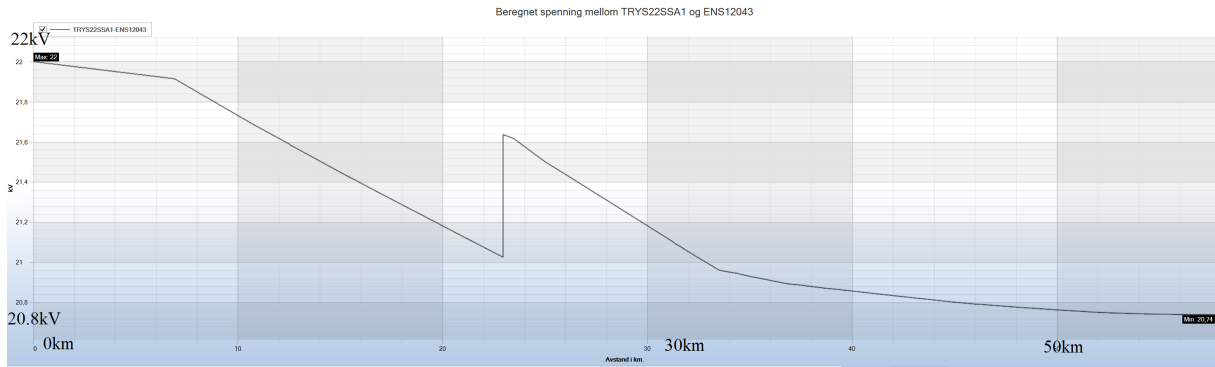
En nyanse som er viktig å se på er hvilken trinning av transformatoren som er riktig når transformatoren er i bruk. Samtidig vil det være et premiss at hvert trinn vil kunne reguleres ut i fra de forskjellige situasjonene.



Figur 3.4: Illustrasjon av spenningsfallet ved bruk av trintransformator

Korrigert fra figur 3.4 kan man se utviklingen ved bruk av trintransformatoren, og hvordan dette påvirker nettet. Spenningsfallet fra ytterpunkt i linjen har gått fra å være 8.77% til 0.37%. Dette kan vise til at dette kan være en attraktiv løsning. I figur 3.4 er trinningen innstilt til 3% (trinn nr.2) som resulterer i at primærsiden har en spenning på 22kV og sekundærsiden har en spenning på 22.660kV. Det kommer frem at dette er den mest egnede trinningen i dette scenariet, på bakgrunn av at spenningen etter transformatoren kan bli hevet til et nivå som er uegnet for strømmettet.

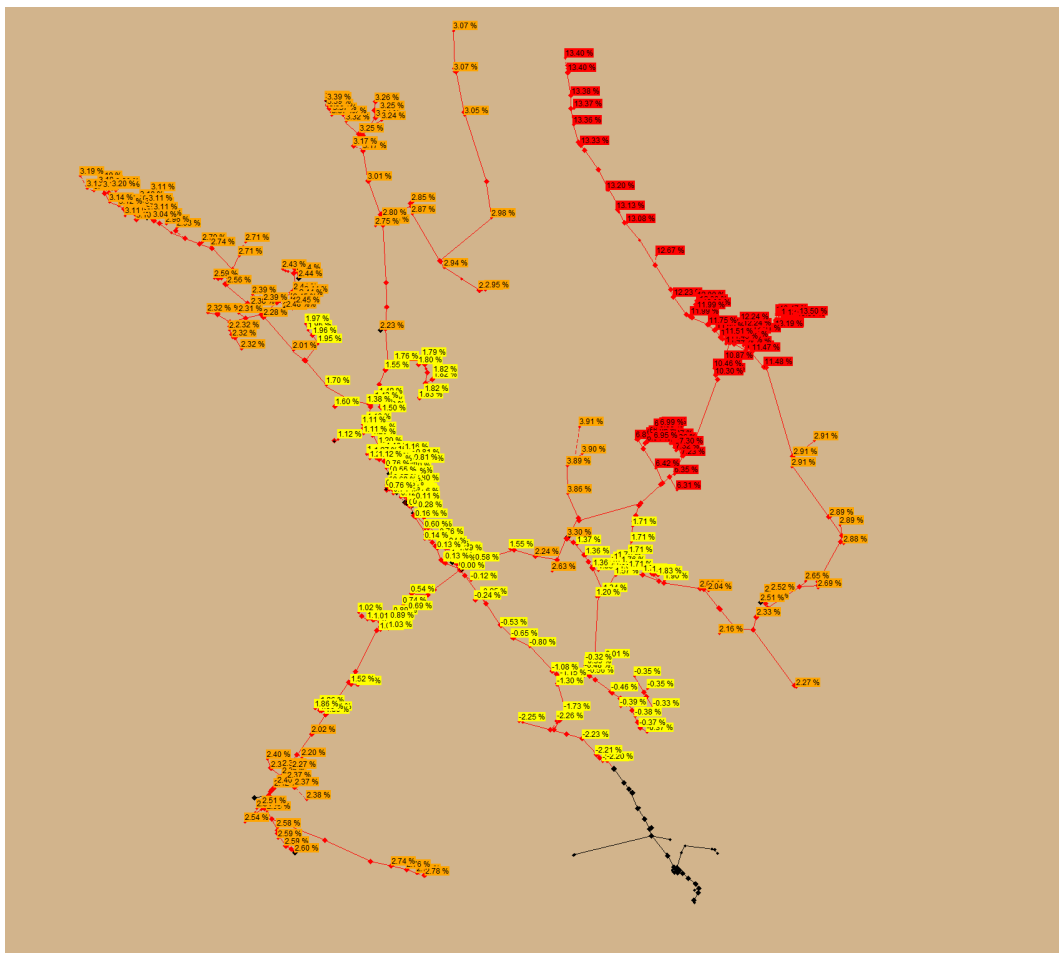
I figur 3.5 illustreres hvordan utviklingen i spenningsfallet har utartet seg i forhold til kilometer. Sammenligner man spenningsnivået i figur 3.5 med figur 3.2 kan man se at i nettstasjonen i ytterpunkt av linjen i høyre radial har spenningen blitt hevet med 0,67kV. Samtidig som det kan observeres transformatorens virkemåte, og hvordan spenningen blir hevet.



Figur 3.5: Illustrasjon av spenningsfallet i km ved bruk av trintransformator

3.3 Situasjon med scenario 2

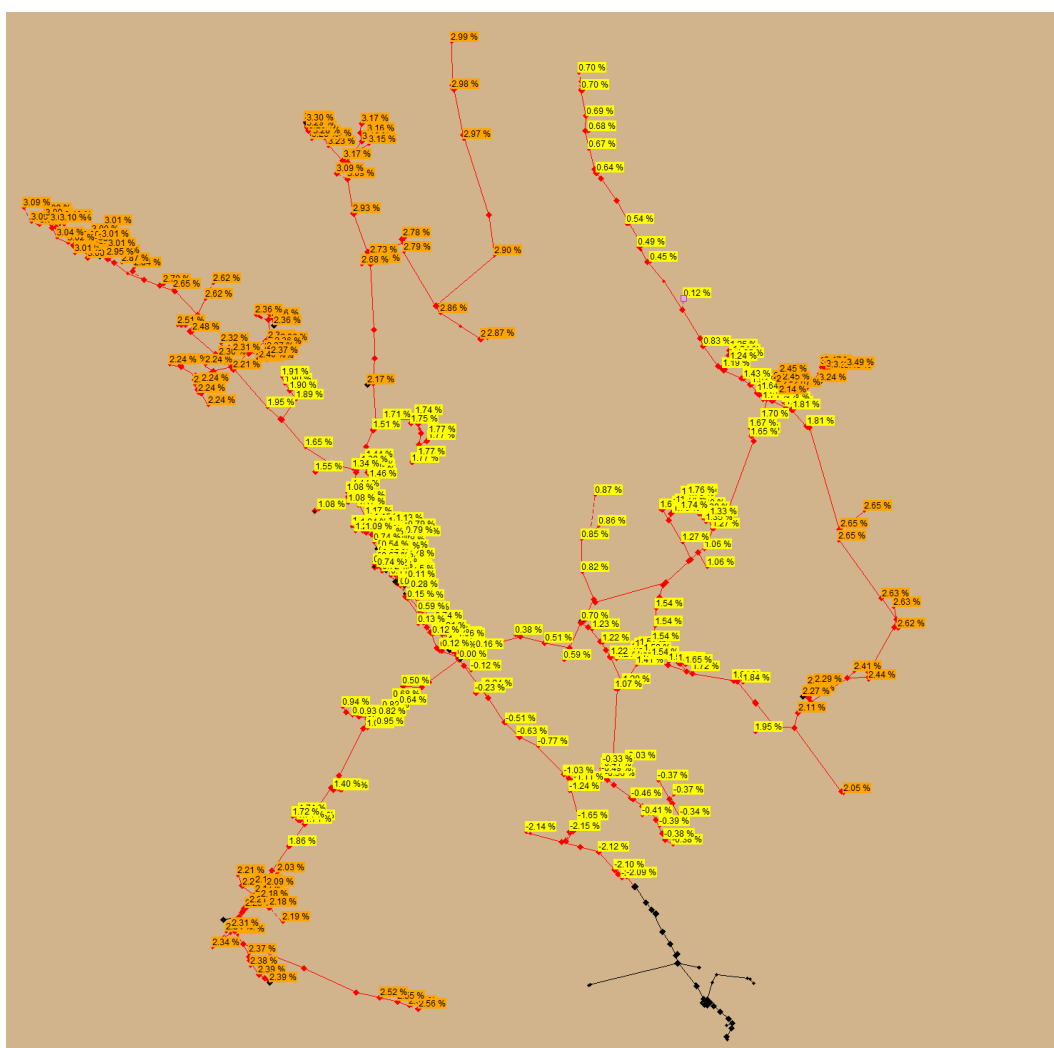
Ved dette scenarioet er belasting økt med totalt 1.5MW. I Ljørdalen er det lagt til 0.5MW og i Fulufjellet er det lagt ved 1MW. Dette er for å dekke kommende utbygginger som skianlegg og hytter/hus.



Figur 3.6: Illustrasjon av spenningsfallet ved installasjon av 1.5MW belastning i Ljørdalen og Fulufjellet

Som illustrert i bildet ovenfor kan man se at spenningsfallet er å betrakte som kritisk. I ytterpunkt av radial langs høyre fløy er spenningsfallet 13.4%. Dette viser at det er nødvendig med tiltak for å realisere denne utviklingen.

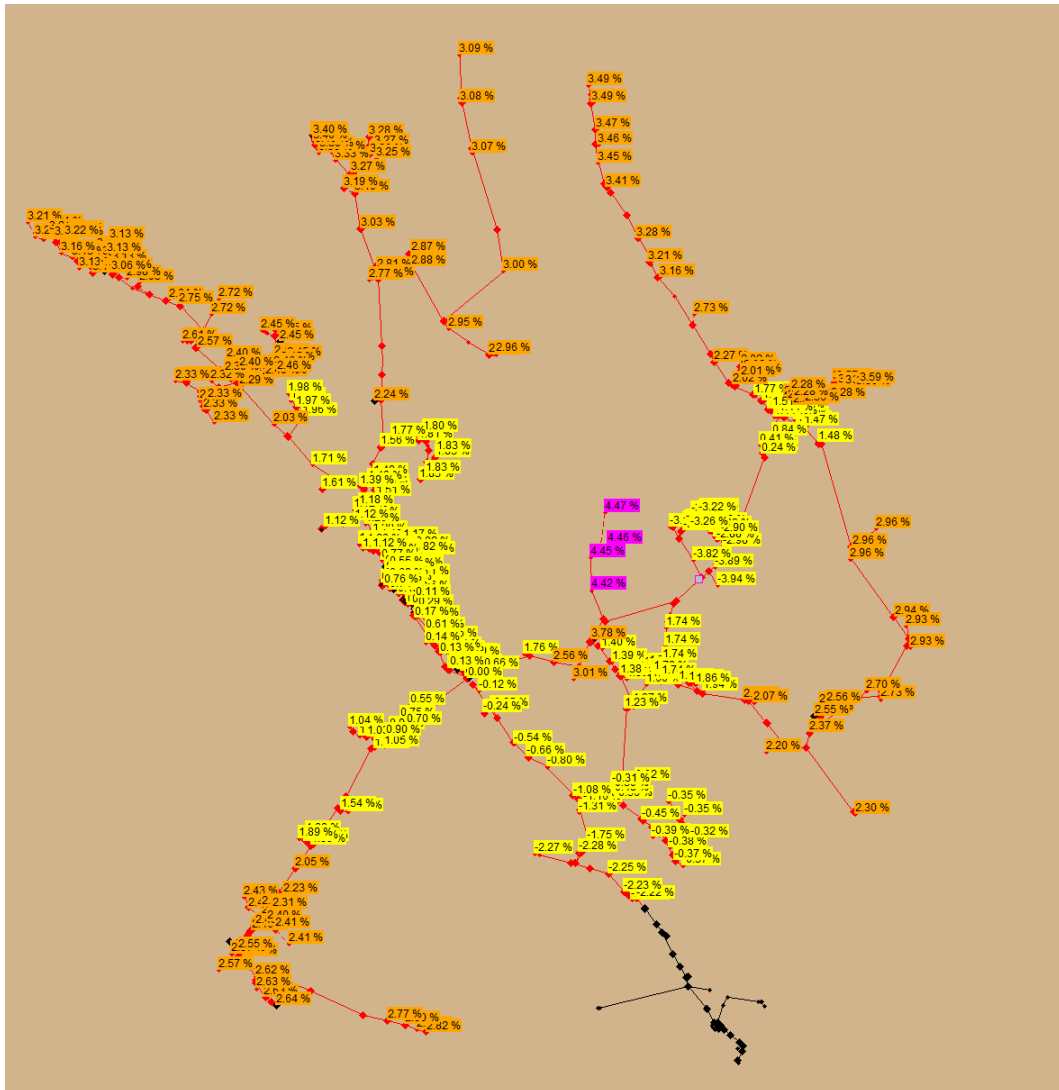
3.3.1 Bruk av kondensatorbatter scenario 2



Figur 3.7: Illustrasjon av spenningsfallet ved bruk av kondensatorbatteri på 5MVAR med 1.5MW belastning plassert i Fulufjellet og Ljørdalen.

I figur 3.7 kan det observeres hvordan spenningsfallet utvikler seg ved implementering av en 5MVAR kondensatorbatteri i Ljørdalen området. Etter testing av forskjellige kondensatorbatterier ble det konkludert med at 5MVAR var den mest hensiktsmessige størrelsen på kondensatorbatteriet for å få spenningsfallet til å bli redusert.

3.3.2 Bruk av trintransformator last scenario 2

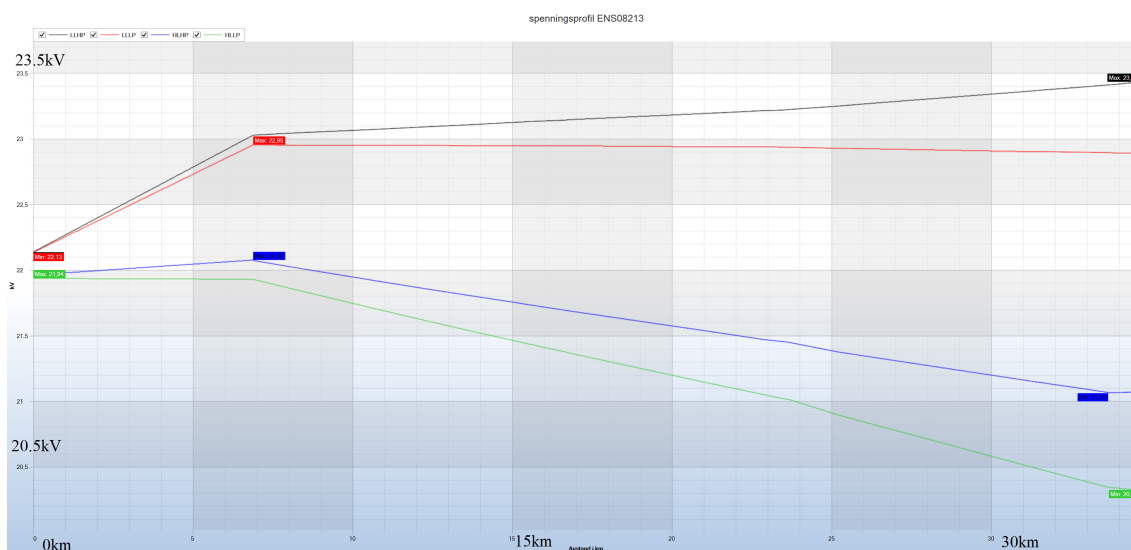


Figur 3.8: Illustrasjon av spenningsfallet ved bruk av trintrafo 9% økning på sekundærsiden med 1.5MW belastning plassert i Fulufjellet og Ljørdalen.

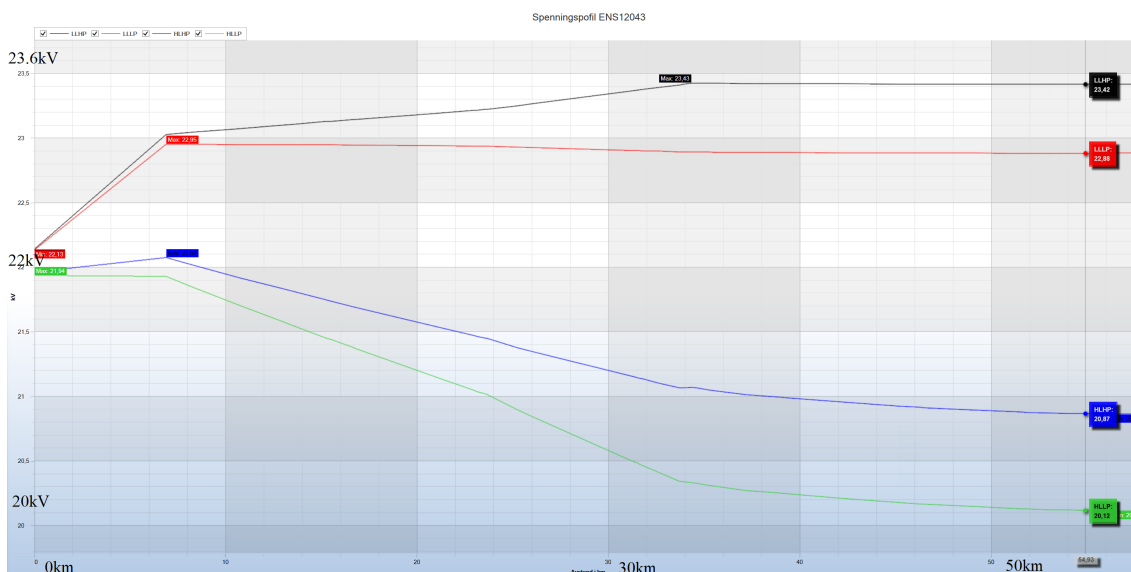
Ovenfor er det illustrert hvordan en implikasjon av en trintransformator er med på å påvirke strømmettet. Trinningen som er brukt i dette eksempelet er trinn nr. 6 og har en økning på 9% på spenningen på sekundærsiden. Det betyr i dette tilfellet at spenningen på sekundærsiden har en spenning på 23.98kV. Det vises i illustrasjonen at denne trinningen er den mest hensiktsmessige. Dette ligger til grunn av at hvis spenningen på sekundærsiden av transformatoren blir for høy vil det komme implikasjoner for kundene som er tilkoblet etter transformatoren. Dette vil resultere i at man kan forsake havari i elektronikk som ikke er laget for det spenningsnivået. Med trinningen i dette eksempelet har man en balanse mellom spenningsfallet i ytre høyre fløy og spenningen etter sekundærsiden på transformatoren.

3.4 Scenario 3

Nedenfor er en illustrasjon av hvordan utviklingen er i dag med og uten produksjon og med høy og lav last. Hensikten er å minimere disse forskjellenene mellom de forskjellige utfallene, slik at det holder seg innenfor retningslinjer som er stilt av FOL og Elvia. Bildene som er referert til er spenningsprofiler av utvikling i spenning i forhold til lengde. Der man har krav på 3% og 5% forhold mellom spenningsprangene og spenningsvariasjonene. På den måten brukes spenningsprofilene til å se om det er innenfor kravene som er stilt med de forskjellige teknologiene.



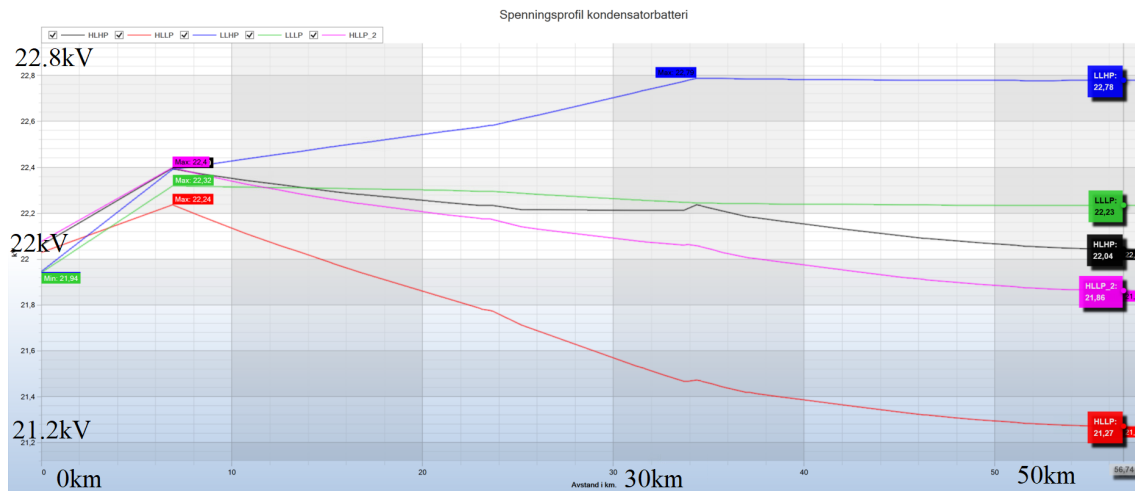
Figur 3.9: Illustrasjon av spenningsfallet med og uten tilkobling av produksjon i Ljørdalen, spenningsfallet er illustrert fra Trysil til produksjonspunkt ved ENS08213 (Ljørdalen)



Figur 3.10: Illustrasjon av spenningsfallet med og uten tilkobling av produksjon i Ljørdalen, spenningsfallet er illustrert fra fra Trysil til ytterpunkt av radial høyre fløy, nettstasjon ENS12043

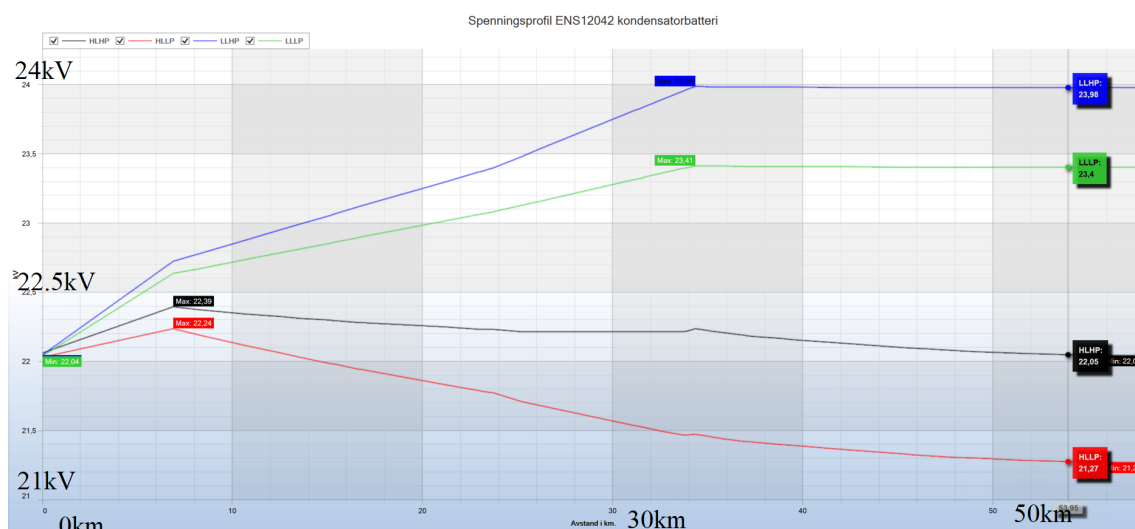
3.4.1 Bruk av kondensatorbatteri scenario 3 spenningsprofil

Nedenfor er det illustrert hvordan strømmettet utvikler seg forbeholdt at det er innkoblet et kondensatorbatteri i nettsystemet, sammen med hvordan det utvikler spenningsvariasjonene. Vi har tatt utgangspunkt for nettstasjon ENS12043.



Figur 3.11: Illustrasjon av spenningsfallet i scenario 3 med kondensatorbatteri fra nettstasjon ENS12043 med utkobling ved lavlast

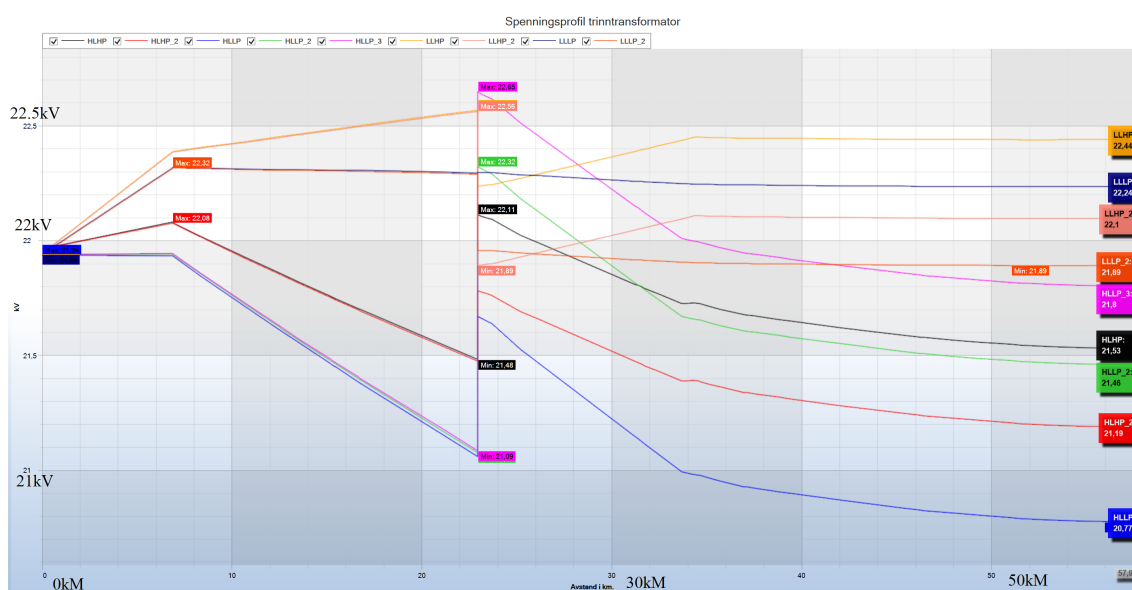
I figur 3.11 illustreres det spenningsprofilen ved bruk av et 2MVAR kondensatorbatteri ved Ljørdalen sentrum (nettstasjon ENS06213). Spenningsfallet vises mot ytre radial i høyre fløy (nettstasjon ENS12043) fra Trysil sentrum. Kondensatorbatteriet utkobles ved lav last. Diagrammet viser også (HLLP_2) som skal illustrere hvordan en 3MVAR kondensatorbatteri kan implementere ved høy last lav produksjon. Dette vil være med på minimere forskjellene mellom spenningsnivå gitt de ulike spenningsnivåene.



Figur 3.12: Illustrasjon av spenningsfallet med og uten tilkobling av produksjon i Ljørdalen, spenningsfallet er illustrert fra fra Trysil til ytterpunkt av radial høyre flanke/ Lines ved ens12043

I figur 3.12 kan man se utviklingen av at kondensatorbatteriet ikke kobles ut ved lavlast. Det observeres at spenningsfallet i lavlast blir betraktelig hevet til et nivå som ikke er egnet for nettsystemet. Spenningsnivået i høylast blir hevet, samtidig blir også spenningen i lavlast hevet og det er en differanse på 11.3%. Som viser til at dette vil være fravikende kravet fra nettselskapet på 5%. Som et resultat er det nødvendig å ha en form for trining på kondensatorbatteriet.

3.4.2 Bruk av trinntransformator scenario 3 spenningsprofil



Figur 3.13: Illustrasjon av spenningsprofilen ved trinnstrafo

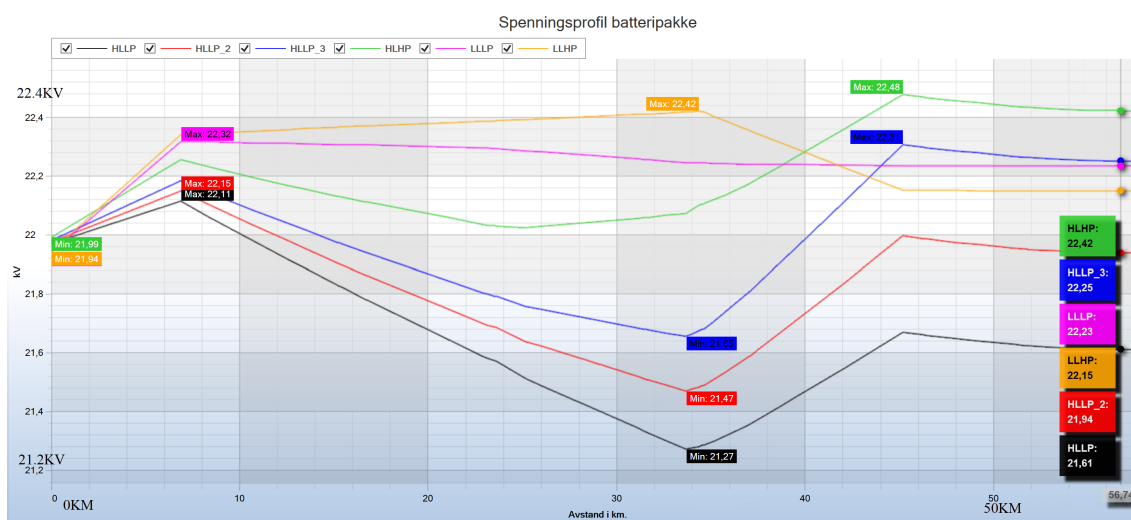
Tabell 3.1: Tabell for trinningen av transformatoren

Last/produksjons scenario	Trinn på transformatoren	Spenningsendring i prosent	Spenningsendring Sekundærside
HLHP	Trinn 2	+3%	22/22.66 kV
HLHP_2	Trinn 1	+1.5%	22/22,33 kV
HLLP	Trinn 3	+4.5%	22/22.99 kV
HLLP_2	Trinn 4	+6%	22/23.32 kV
HLLP_3	Trinn 5	+7.5%	22/23.65 kV
LLHP	Trinn -2	-1.5%	22/21.67 kV
LLHP_2	Trinn -2	-3%	22/21.34 kV
LLLAP	Trinn 0	0%	22/22 KV
LLLAP_2	Trinn -1	-1.5%	22/21.67 kV

Diagrammet ovenfor viser hvordan spenningen utvikles fra Trysil til ytre radial høyre fløy (ENS12043). Ved målinger, er det tatt høyde for trinningen i transformatoren. Det er forbeholdt en balanse mellom de forskjellige ytterpunktene i området rundt Østre Trysil. Hvis transformatortrinnet er for høyt, vil nettspenningen etter transformatoren bli for høy. Det

vil være tilsvarende hvis transformatortrinnet blir for lavt, da vil det gå på bekostning av lavspenning i ytterpunktene. I tråd med dette har det blitt balansert på trinningen. Det man kan observere er at til tross for de forskjellige trinningene, vil spenningsfallet før transformatoren være for høyt. Noe som viser til at det ikke er hensiktsmessig løsnig. Uavhengig hvilket tiltak som blir gjort blir problemet forskjøvet.

3.4.3 Bruk av batteribank scenario 3 spenningsprofil



Figur 3.14: Illustrasjon av spenningsprofilen ved bruk av batteribank

Tabell 3.2: Tabell for batteribank produksjon/last, samt effekt ulike scenarier

Last/prod utfall	Effekt	Produksjon\Last
HLLP	2MW	Produksjon
HLLP_2	2.5MW	Produksjon
HLLP_3	3MW	Produksjon
HLHP	2MW	Produksjon
LLHP	1MW	Last
LLLHP	0MW	Ingen Prod/last

I figur 3.14 kan man se hvordan utviklingen har vært ved bruk av batteribanker, ved produksjon i scenario 3. Her kan vi se at utviklingen opp mot ytterpunkt av høyre radial. Det man kan observere er at forholdene mellom de forskjellige last scenarioene, og det observeres at forskjellen ikke er stor.

Ved grafen kan det illustreres at spenningspranget mellom LLHP og LLLP er ca 0.35% og spenningsvariasjonene i ytterpunkt 1.2%. Det som kan observeres er spenningsvariasjonene som er før batteribanken. Spesielt HLLP_3 er sentral fordi den er veldig fravikende de andre

utfallene ved bruk av batteribank. Før implementeringen av batteribanken kan det observeres at spenningspranget er 1.9% og at spenningsvariasjonene er 3.43%. Dette er herved utregninger som er refererer til HLLP_3, som vil være det kritiske aspektet ettersom kravet om 5% og 3% spenningsfall og spenningsprang gjelder over hele nettet og ikke bare en del. Et spørsmål som må stilles ved en slik løsning er tidsaspektet som skal være med å regulere nettet. Det vil ikke være hensiktsmessig å ha gitt mengde med effekt tilgjengelig hvis det anvendes innen for et kort tidsintervall.

Samtidig er det usikkerhet knyttet til oppladning/last, ettersom det tar en gitt tid før batteribanken er oppladet, og i all hovedsak ikke vil bistå med last. Det vil resultere i at lasten til batteripakken ikke vil spille noen avgjørende rolle for reguleringen av nettet. Hvis dette skal være en teknologi som kan anvendes i denne problemstillingen vil batteribankens kapasitet, både i forsyning og lagret effekt spille en avgjørende rolle i om dette kan være en attraktiv løsning i denne problemstillingen. Det vil også være problematisk i forhold til at det skal ta for seg spenningsvariasjoner i et langt tidsrom. Om batteriene blir ladet opp på sommeren vil ikke dette ha noen spesiell innvirkning når det er vinter og effekten er høy.

En kritisk faktor for bruk av batteribank, er last og spenningsvariasjonene gjennom døgn, uke og år. Batteribank er best egnet i det korte tidsrom. Foreksempel en time der lastforbruket er høyt.

En årsak til at man kan bruke batteribank i scenario 3 er at ved bruk av batteribanken er det mulig å regulere spenningsnivået ved å legge til last/ produksjon. Vi kunne implimentert samme teknologien i de øvre scenarioene, men lot være fordi scenario 3 viser til at det blir med implikasjoner med teknologien.

3.4.4 Oppsummering spenningsfall

Tabell 3.3: Oppsummering spenningsfall scenario 1 og 2

Scenario	Spenningsfall	Kondensatorbatteri	Transformator
1	8.77%	-0.37%	1.36%
2	13.40%	0.70%	3.49%

Tabell 3.4: Oppsummering spenningsfall scenario 3

Scenario 3	Ren last	Kondensatorbatteri	Transformator	Transformator sekundærside	Batteribank før	Batteribank etter
Spenningsprang	10.8%	2.41%	0.95%	1.81%	1.9%	0.35%
Spenningsvariasjon	14.09%	4.03%	2.89%	6.88%	3.43%	1.2%

Kapittel 4

Diskusjon

I oppgaven er det presentert forskjellige teknologier for å løse den gitte problemstillingen. Det finnes ulike implikasjoner med de forskjellige teknologiene, hvordan disse teknologiene preger strømmettet. Dette er et tema som er diskutert i diskusjonskapittelet.

4.1 Løsninger og problemstillinger transformator

Det kan observeres at i scenario 1 og 2 er transformator med trinning en egnet løsning. Med den rette innretningen på trinningen kan man kompensere for spenningsfallet. En problemstilling man kan observere med denne løsningen er at trinningen spiller inn en rolle for hvor man plasserer transformatoren. Hvis trinningen er for høy og transformatoren er for nærme Trysil, vil dette være med å påvirke nettet i den retningen som resulterer i et negativt spenningsfall. Dette kan resultere i at løsningen på problemstillingen blir et nytt problem, siden man vil ikke ha for høy spenningsøkning. Det indikerer at hvis man skal bruke en slik teknologi må det nøye studeres hvilket innvendinger som er mest hensiktsmessig.

Scenario 3 illustrerer et strømmett der det er implementert et kraftverk, og man bruker spenningsprofiler for å illustrere om det er mulighet for å anvende teknologier for å justere spenningsnivået. Dette er på bakgrunn av at kraftverket produserer strøm som resulterer i at spenningen øker. Av den grunn fattet det interesse for både Elvia og rapportskriver, å bruke trintransformator for å regulere spenningsnivået både opp og ned i lav produksjon og høy produksjon. Noe som kunne vært en attraktiv løsning. Etter videre undersøkelser og simuleringer kommer det frem til at dette ikke er en optimal løsning.

På det grunnlaget at man kan bruke trinningen på transformatoren til å trinne spenningen i ytterpunkt av høyre radial, men det vil være et sprik i spenningen i området rundt der transformatoren er plassert. Det man kan se i tabell 3.4 er at ved trintransformatoren vil spenningsvariasjonen være 6.88% som er over akseptert nivå. Produksjonen hever

spenningen i den grad at det forbigår kravet om 3% spenningsprang og 5% spenningsvariasjoner. Som viser til at dette potensielt ikke er løsning for å redusere spenningsnivået ved høy spenning. Som det i første omgang ble antatt. Uavhengig, dersom man ikke skal legge ved kraftproduksjon kan det være en potensiell løsning.

4.1.1 Løsninger og problemstillinger kondensatorbatteri

I de forskjellige scenarioene kan man se hvordan kondensatorbatteri har påvirket strømnettet. Det som kan observeres er at det har fungert i de forskjellige scenarioene. Det kan observeres i tabell 3.3 og 3.4. Der man ser at spenningsfallet er -0.37, 0.7, 2.41 og 4.03 oppgitt i prosent. Dette er innenfor kravene som er stilt til spenningsvariasjon og spenningsprang. Uavhengig er det slik at det finnes problemstillinger ved bruk av kondensatorbatteri. En utfordring ved denne teknologien er at det bare er mulig å regulere spenningsnivået opp. Dette er uønsket spesielt når man vil ha mer produksjon i nettet. Da det kan være hensiktsmessig å kunne regulere spenningen ned. Samtidig er det spørsmålsteget hvordan det blir med trinning i forhold til spenningsprang.

Hvis kondensatorbatteriene blir trinnert ut og inn, hvordan vil de kortsiktige spenningsvariasjonene reagere. Med tilkobling av kondensatorbatteri, er det ikke mulig å regulere kapasitans spesifikt til den induktive effekten som er i nettet. basert på dette må man trinne inn og ut med forskjellige størrelser på kondensatorbatteriet. Uavhengig kan det observeres i tabell 3.3 og tabell 3.4 at utbygging av kondensatorbatterier vil være hensiktsmessig. Etter som det observeres at de er innenfor kravene stilt til spenningsprang og spenningsvariasjon og spenningsfall.

4.1.2 Løsninger og problemstillinger batteribank

I scenario 3 ble det brukt batteribanker/peakshaving for å regulere spenningsnivået i de forskjellige utfallene. Dette viste til en hensiktsmessig løsning hvis man tar utgangspunkt i forholdet mellom spenningsprang og spenningsvariasjoner. Denne teknologien fungerer av den grunn av at når strømnettet har en høy spenning, kan man lade opp batteribanken som trekker effekt av strømnettet som resulterer i at spenningsnivået går ned. På samme måte når strømnettet har høy last og spenningen er lav kan man implementere med batteribanken og tilføre effekt og dermed heve spenningsnivået.

Batteripakken blir en DG (produksjon) man kan implementere når det er nødvendig. En ulempe med denne teknologien er at det vil være usikkerhet knyttet til batteripakkens kapasitet og leveringskapasitet. En batteripakke kan ha 2MW med effekt, men hvordan påvirker dette forholdet mellom mellom de forskjellige lastscenarioene mellom foreksempel sommer

og vinter. Hvis en batteribanken er oppladet, og samtidig er spenningsnivået i strømmettet høyt, vil ikke batteribanken være med å regulere spenningsnivået ned, og visa versa.

Hvis spenningen strømmettet er lavt, og batteribanken er tom for energi vil ikke dette være med på å heve spenningsnivået. Det viser til at hvis man skal ha en slik type løsning i denne problemstillingen av strømmettet, må man ha en større oversikt over bruksmønstret over tid. Det vil innebære en grundigere undersøkelse av strømmettets belastning, ikke bare per dag, men også per uke og år. Dette må til før en slik løsning kan implementeres i strømmettet i denne problemstillingen. Hvis det er et strømmett med lange radialer og lite forbruk kunne denne teknologien være en attraktiv løsning. Dette er fordi fra figur 3.3 og 3.4 er spenningsfallet 0.35% og 1.2% i spenningsprang og spenningsvariasjon etter batteribanken. 1.9% og 3.43% før batteribanken. Noe som er innenfor kravene som er stilt.

Kapittel 5

Konklusjon

Å lage en konklusjon for en gitt problemstilling kan være krevende prosess. På den bakgrunn av at det er implikasjoner av de forskjellige teknologiene som ikke er blitt studert nærmere. For å dra en overordnet konklusjon er det nødvendig å se på blant annet de økonomiske aspektene. Dette er for å se hvordan teknologiene fungerer i forhold til dens pris å realisere i strømmettet. Dette er analyser som ikke er gjort, og det er skrevet i oppgavens avgrensninger. I forhold til pris er det også viktig å se på hvor mye teknologiene koster i forhold til å bygge et sterkere strømmett.

Samtidig må det ses på forskjellige teknologier i forskjellige tidsrom. Batteribanker er en fungerende teknologi på rapporten som er vedlagt, men det er usikkerhet knyttet til tidsaspektet i forhold til kapasitet. Samtidig må det undersøkes hvordan kondensatorbatteriene fungerer ved inn og utkobling. Dette er fordi spenningspranget kan påvirke spenningskvaliteten.

Når det gjelder trintransformator, var det bundet positivitet rundt denne teknologien. Dette er av den grunn av at ved bruk av denne teknologien er det mulig å både regulere spenningen både opp og ned, som ikke er mulig med kondensatorbatteri fordi man bare kan regulere spenningen opp. Etter videre undersøkelser, spesielt scenario 3 viser det til at dette ikke er en egnet løsning. Dette er fordi problemstillingen som løses skaper et nytt problem som kan ses i spenningsprofilen og er diskutert ved den delen av oppgaven. Noe som var en interesse innvending.

Uavhengig når denne rapporten tar for seg de teknologiene som er fremstilt og man tar i betraktning til informasjonen som er vedlagt. Viser det potensial for at kondensatorbatteri er den teknologien som stemmer mest overens med utfordringene som er gitt. Dette er fordi de analysene som er tatt for de forskjellige problemstillingene til spenningsfall og spenningsprofiler viser det til at kondensatorbatteri er den løsningen som går igjennom med minst utfordringer. Det gjøres en antagelse om at dette er den teknologien som vil koste minst

å bygge ut. Anslagsvis vil det være langt rimeligere enn å bygge ut nye linjer, til tross for mangelfulle undersøkelser. Slik at det ligger gode sjanser for at dette er en løsning som kan benyttes ved større utbygginger i Østre Trysil/Fulufjellet. Uavhengig er dette en konklusjon som må undersøkes videre ettersom det foreligger informasjon som ikke er vedlagt.

Kapittel 6

Videre arbeid

Videre arbeider er nødvendig innvending i denne oppgaven. Det er forskjellige aspekter av oppgaven som kunne vært redegjort. Dette er kritisk for å lage en helhetlig oppgave. Under siteres det temaer som kunne vært studert nærmere.

6.1 Teknologier

Det er flere teknologier som kunne vært med på justere spenningsnivået/spenningskvalitet, deriblant transformatorer. Det finnes forskjellige typer transformatorer, som regulerer spenningen på forskjellige måter. Oppgaven har tatt for seg transformatorer med trinning, men det finnes også Faseskifte-transformatorer. Om dette ville gjort noe anderledes utfall på analysene er usikkert, men potensielt kunne det det så det kunne vært interessant å se videre på.

Man har også forskjellige typer teknologer som spenningsbooster og Regulerbare reaktorer som det kunne blitt sett nærmere på om det kan være en alternativ teknologi. Det de forskjellige teknologiene faller også ned på et spørsmål om pris. Så om teknologien ikke løser problemet helt kunne det vært en provisorisk løsning. Ved implementering av kondensatorbatterier observeres det at teknologien grunnleggende bare kan heve spenningen.

Det er teknologi som heter statisk synkron kompensasjon, eller Static VAR compensator (STATCOM) som er en teknologi som både kan tilføre og frigjøre reaktiv effekt. Som resulterer i at det er mulig å forholde seg til spenningsvariasjonene. Dette er en teknologi som vi ikke hadde kunnskap om ved innledning av denne oppgaven, men som kunne vært interessant å studere videre. Dette er noe på bakgrunn av at oppgavens konklusjon dreide i retning av kondensatorbatteri, men denne teknologien hadde utfordringer men det kan muligvis bli endret med denne typen ny teknologi.

Uavhengig av hvilken teknologi man hadde brukt, er det også avgjørende å se på hvordan strømmettet hadde sett ut vis det hadde blitt bygget ut et nytt strømmett. Spesielt iforhold

til hvordan nettet blir ved utbygging visa bruk av alternative teknologier.

Det kunne også blitt undersøkt forskjellige smartgrid løsninger, samt en overvåkning av dem. Hvordan hadde kombinasjonen av solceller og batteribanker utformet seg? samt fleksibelt forbruk hos sluttbruker. samtidig er det ikke undersøkt kombinasjon av ulike teknologier. Foreksempel kombinasjon av trintransformator med kondensatorbatteri. Denne oppgaven tar for seg i all hovedsak hver enkelt teknologi for seg selv.

6.1.1 Økonomi

Det økonomiske aspekter ved slike investeringer er viktig. For å gjøre en vurdering av de forskjellige teknologiene må det studeres deres virkemåte og utbytte opp mot dens kost å bygge. Økonomiske aspekter som er viktige se på er om hvordan teknologien virker på strømmettet. Investeringen må gi en positiv avkastning for nettselskapene, hvordan dette blir gjort er forskjellig. Aspekter som kan endres er å redusere kostnaddene ved drift, øke salg av strøm eller redusere kostnaddene for vedlikehold. Samtidig er en investering i nettsystemet en investering med en lang tidshorisont, som må bli vedlagt til en eventuelt nå-verdi vurdering. Spørsmål som må stilles er hvordan ser den økonomiske investeringen ut hvis man veier opp de forskjellige teknologiene opp mot hverandre. Som igjen er med å avgjøre hvilket av teknologiene som blir valgt. Til tross for dette kan det vurderes til at det kan være rimeligere å bygge ut kondensatorbatterier enn å bygge om strømmettet til transformator/batteribank. På bakgrunn at det angivelig vil være færre komplikasjoner. hvorav dette bare er en antagelse.

Dette er viktige faktorer å ha hvis man skal foreta seg en investering i strømmettet. Med tilstrekkelig informasjon kan man få en god avkastning for strømmettet, det økonomiske og samfunnet. Samlet sett er økonomi en avgjørende faktor når det skal investeres i nettsystemet så dette er nødvendig å studere nærmere.

Litteraturliste

- [1] Elvia AS. «Om oss.» (2021), Tilgjengelig: <https://www.elvia.no/hva-er-elvia/om-oss/> (sjekket 02.02.2023).
- [2] Olje- og energidepartementet. «Forskrift om leveringskvalitet i kraftsystemet.» (2023), Tilgjengelig: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-11-30-1557> (sjekket 06.02.2023).
- [3] Sintef energi AS. «Alternative tiltak for å øke tilknytningskapasitet i distribusjonsnett.» (2023), Tilgjengelig: <https://www.ren.no/doc/api/rest/download/open/3e4b6b52-fd22-432b-aace-39f6eca69554?filename=TRA%5C%207561%5C%20Alternative%5C%20tiltak%5C%20for%5C%20tilknytningskapasitet%5C%20i%5C%20distribusjonsnett.pdf> (sjekket 09.02.2023).
- [4] BKK. «Spenningsnivå i strømmettet.» (2019), Tilgjengelig: <https://nett.bkk.no/artikkel/7f59a21f-cdbd-454e-a5c0-d13173cb6bd4> (sjekket 01.05.2023).
- [5] Olje- og energidepartementet. «Strømmettet.» (2019), Tilgjengelig: <https://energifaktanorge.no/norsk-energiforsyning/kraftnett/>.
- [6] NVE. «Endringer i regelverket om anleggsbidrag styrker vernet av kundene.» (2019), Tilgjengelig: <https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten/nytt-fra-rme/nyheter-reguleringsmyndigheten-for-energi/endringer-i-regelverket-om-anleggsbidrag-styrker-vernet-av-kundene/> (sjekket 29.04.2023).
- [7] Bendik Nybakk torsæter, Magne Lorenzen Kolstad. «Kraftsystemdata.» (2022), Tilgjengelig: <https://www.ren.no/doc/api/rest/download/open/5c33d107-6516-453b-bdb7-8dc6c012a9d0?filename=2017-00882%5C%20-%5C%20Spenningsregulering%5C%20i%5C%20nett%5C%20med%5C%20distribuert%5C%20produksjon.pdf>.
- [8] NVE. «Energilagring.» (2019), Tilgjengelig: <https://www.nve.no/energi/energisystem/energibruk/energilagring/?ref=mainmenu>.
- [9] Sintef energi AS. «Bruk av fordelingstransformator med automatisk trinnkobler.» (2017), Tilgjengelig: <https://www.ren.no/doc/api/rest/download/open/418352d7-3cb0-4154-9c2e-65c60a239798?filename=2017-00585%5C%20-%5C%20Bruk%5C%20av%5C%20>

- 5C%20fordelingstransformator%5C%20med%5C%20automatisk%5C%20trinnkobler.pdf (sjekket 09.02.2023).
- [10] Magne Lorentzen Kolstad. «BRUK AV FORDELINGSTRANSFORMATOR MED AUTOMATISK TRINNKOBLER.» (2016), Tilgjengelig: <https://www.sintef.no/globalassets/project/nef-tm-2017/rapporter-2017/sesjon-7-4-20-bruk-av-fordelingstransformator-med-automatisk-trinnkobler-v2.pdf>.
- [11] Knut A. Rosvold. «Forskrift om leveringskvalitet i kraftsystemet.» (2019), Tilgjengelig: <https://snl.no/fasekompensering> (sjekket 10.02.2023).
- [12] elinist. «Fasekompensering teori.» (2020), Tilgjengelig: <https://sites.google.com/site/01elinst/elektroteknisk-%20grunnteori/fasekompensering> (sjekket 15.03.2023).
- [13] exro. «Peakshaving.» (2022), Tilgjengelig: <https://www.exro.com/industry-insights/peak-shaving> (sjekket 19.04.2023).
- [14] Moslem Uddin, Mohd Fakhizan Romlie, Mohd Faris Abdullah, Syahirah Abd Halim, Ab Halim Abu Bakar, Tan Chia Kwang. «Renewable and Sustainable Energy Reviews.» (2017), Tilgjengelig: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1364032117314272?token=E9058C197BCFA30EBDAADF9E041C9583B72D0ED34B072FEA853EA2D9296C5920864887268F401&originRegion=eu-west-1&originCreation=20230419132840> (sjekket 20.04.2023).
- [15] Maren Refsnes Brubæk. «Kraftsystemdata.» (2023), Tilgjengelig: <https://www.nve.no/energi/energisystem/nett/kraftsystemdata/> (sjekket 20.02.2023).
- [16] REN. «REN3006.» (2020), Tilgjengelig: https://www.ren.no/doc/api/rest/download/renblad/3006?source_company=1381 (sjekket 23.03.2023).

