

UTFORDRINGER I FORBINDELSE MED TILKNYTNING AV PRODUKSJON I DISTRIBUTJONSNETTET

av Astrid Petterteig, SINTEF Energiforskning AS

Sammendrag og konklusjon:

Det er en stadig økende interesse for utbygging av mindre kraftverk i distribusjonsnett. Det medfører store endringer i nettet, både i normal drift og ved feil. For nettselskapene som er ansvarlige for leveringskvalitet, spenningskvalitet og sikkerhet i nettet medfører det nye utfordringer og muligheter. Det er viktig at alt produksjonsutstyr tilfredsstillende nødvendige kvalitetskrav, at det tåler de påkjenninger det utsettes for og ikke bidrar med ekstra feil i nettet. Tekniske retningslinjer er et hjelpemiddel for å oppnå dette. Samtidig må unødvendig strenge og fordyrende krav unngås. Hvor stor innvirkning en produksjonsenhet vil få på det lokale nettet vil avgjøre hvilke krav, tilpasninger og analyser som er nødvendige for å kunne godkjenne nettilknytning av enheten. Innvirkningen på nettet avhenger ikke bare av produksjonstype og ytelse, men også av plassering i nettet og nettets kortslutningsytelse. Dermed er det viktig å få vurdert hver ny produksjonsenhets innvirkning i det lokale nettet samt alternative tiltak (i nett eller produksjonsutstyr) så tidlig som mulig i en tilknytningsprosess. Effektiv håndtering av nødvendige aktiviteter (informasjonsutveksling og analyser) i denne prosessen er viktig både for utbygger og nettselskap.

1 KONSEKVENSER AV LOKAL PRODUKSJON

Små lokale kraftverk er ofte privat eid og er uten store tekniske eller økonomisk ressurser på eiersiden. De har små ytelser i forhold til konvensjonelle kraftverk, er tilknyttet lav- eller høyspenningsnett, bidrar ikke i reguleringen av frekvens eller spenning og er ikke styrt av sentrale produksjonsplaner. Og innmating av produksjon ble ikke tatt hensyn til da distribusjonsnett ble planlagt utbygd.

Tradisjonelt er distribusjonsnett drevet radielt, med kun forbrukskunder og en klart definert effektlyt. I et slikt nett vil spenning og strøm alltid være størst i stasjonen der vern, effektbrytere og måleutstyr er plassert. Innmating av effekt medfører store endringer ved at effekten kan flyte i begge retninger spesielt i en feilsituasjon, stasjonære spenninger og spenningskvalitet påvirkes, forholdene for linjevern endres og øydrift blir mulig.

Ethvert nett har en begrenset kapasitet til å ta imot produksjon uten at spesielle tiltak må settes i verk, enten i form av krav til produksjonsenheten eller tilpasninger i nettet. Både langsomme og hurtige spenningsvariasjoner må holdes innenfor akseptable grenser. Det må sikres at alle nødvendige frakoblinger ved feil og ukontrollert øydrift skjer sikkert og effektivt og helst uten unødvendig frakoblinger. Det er også viktig å unngå effektpendlinger og ustabilitet både i normal drift og ved feil.

1.1 Langsomme spenningsvariasjoner

Nettselskapene er pålagt [1] å sikre at spenningen hos sluttbruker er innenfor $\pm 10\%$ av nominell verdi. Dermed må det settes grenser for laveste og høyeste tillatte stasjonære spenning i ulike punkt i nettet. Grensene vil variere med tilknytningspunktet og være avhengige av normale last- og produksjonsvariasjoner. Ved beregning av disse må det tas hensyn til spenningsfall i lavspenningsnettet. Høylast og null produksjon vil gi laveste linjespenning, mens lavlast med full produksjon gir høyeste linjespenning. Høyeste tillatte linjespenning kan sette begrensinger for hvor mye aktiv effekt en produsent kan mate inn i nettet.

1.2 Spenningsssprang og hurtige spenningsvariasjoner

Forskriften pålegger også nettselskap å sørge for at spenningsssprang i nettet ikke overstiger visse grenseverdier. Spenningsssprang er sprang i spenningens effektivverdi, og oppstår på grunn av momentane last- eller produksjonsendringer. Størrelsen på spranget vil være avhengig både av nettets kortslutningsytelse og av last/ produksjonsendringens størrelse og effektfaktor. I svake nett med store produksjonsenheter kan spenningsssprang bli et problem. I normal drift må det sørges for at alle effektendringer skje så sakte at det ikke oppstår store spenningsssprang. Ved frakobling på grunn av feil vil imidlertid all produksjon frakobles momentant. Det som ofte vil medføre de største spenningsssprangene er tilfeller der flere produksjonsenheter frakobles samtidig. Med flere store produksjonsenheter i samme nett er det spesielt viktig å unngå samtidige unødvendige frakoblinger for eksempel ved en spenningsdip forårsaket av feil andre steder i nettet.

Spenningsvariasjoner med frekvenser under 50 Hz (f.eks. flimmer ved omkring 10 Hz), kan oppstå på grunn av at produsert effekt variere hurtig, for eksempel ved bruk av vindturbiner med fast hastighet i et svakt nett [2]. Strømmer eller spenninger som ikke er sinusformede medfører harmoniske, som er variasjoner med frekvenskomponenter over 50 Hz. Både produksjon og last som tilknyttes nettet via en

kraftelektronikk omformer vil introdusere overharmoniske frekvenskomponenter med størrelse og frekvens gitt hovedsaklig av henholdsvis ytelse og svitsjefrekvens.

Alle hendelser og kunder i nettet bidrar til spenningsvariasjoner, men ikke alle bidrar like mye. Enheter med stor ytelse bidrar generelt mer enn enheter med mindre ytelse. Siden effekten per produksjonsenhet i distribusjonsnettet normalt vil være mye større enn for de største lastenhetene er det viktig å sørge for å begrense produksjonsenhetenes bidrag til negativ spenningskvalitet. Det må tas hensyn til at andre både produksjons- og lastkunder også skal kunne tilknyttes nettet. For at det ikke skal stilles unødvendig strenge krav kan en enhet som er nærmest alene om å bidra med spenningsprang tillates å generere større og hyppigere sprang enn en enhet i en del av nettet der andre også bidrar med spenningsprang. Det vil da være nødvendig å kunne skjerpe kravet ved behov, f.eks. hvis det kommer andre produksjonsenheter inn i samme nettdel. På den måten kan enkelte investeringer, som for eksempel styrt innkobling, utsettes til de blir nødvendige.

1.3 Andre konsekvenser av produksjon i distribusjonsnettet

Med aktive produksjonsenheter i nettet blir det svært viktig å unngå at et kraftverk fortsetter å mate elektrisk kraft inn i en del av nettet som er koblet fra hovednettet. Ved feil er ikke feilen klaret før all produksjon i området er frakoblet. Utisiktet øydrift i et område vil kunne medføre ukontrollerte tilstander med hensyn på spenning og frekvens [3], usynkron kobling mot andre spenningsatte deler av nettet og havari av brytere. Dermed er øydrift viktig å få detektert, men det kan i enkelte tilfeller være vanskelig [4]. Vern mot øydrift vil det bli mer fokus på framover på grunn av flere uheldige episoder.

Strømpåkjenningene i nettet kan bli både større og mindre etter tilknytning av ny produksjon. Dette kan i normal drift gi for høye strømmer i linjer, transformatorer eller andre komponenter som opererer nær grensen for hva de tåler.

Innføring av distribuert produksjon medfører endrede forhold for linjevernet, spesielt på grunn at strømmen kan flyte i begge retninger. I nett som ikke er utrustet med retningsbestemt overstrømsvern kan en feil på en naboavgang medføre utkobling av en avgang uten feil på grunn av en produksjonsenhet på den feilfrie avgangen bidrag til feilstrømmen. Det kan også oppstå problemer med å detektere og lokalisere feil på grunn av reduserte feilstrømmer i stasjonen ved feil på egen avgang [5].

2 NETTSELSKAPENES UTFORDRINGER

Introduksjon av produksjon i distribusjonsnettet kan føre med seg nye muligheter for driften av nettet, men for nettselskapene medfører tilknytning av produksjon i nettet først og fremst en rekke utfordringer. Både ressursmessig og teknisk medfører tilknytning av produksjon i distribusjonsnettet andre utfordringer enn tilknytning av produksjon på sentralnettnivå.

Nettselskapene er ansvarlig for drift og sikkerhet i nettet og har ansvaret for å godkjenne nye tilknytninger av småkraftverk. Det innebærer at det må gjøres tekniske vurderinger av produksjonens innvirkning på nettet, av hvor mye produksjon nettet kan ta imot, av om produksjonsenheter tilfredsstillende nødvendige kvalitetskrav og av mulige tiltak for tilpasning i nett eller i produksjonsenheten.

For å kunne gjøre disse vurderingene er det behov for ny kunnskap (om utstyr, stabilitet, spenningsregulering, o.s.v.). Det er også behov for en effektiv behandling av søknader om tilknytning. Det innebærer effektiv utveksling av nødvendig informasjon og rutiner som sikrer gode nok, men ikke for omfattende, analyser i hvert enkelt tilfelle.

Det blir også en utfordring å se framover. Det forventes at andre produksjonsformer enn vannkraft tas i bruk også i Norge og at det blir økt interesse for installasjon av små produksjonsenheter i lavspenningsnettet. Det kan bety at tilknytning av distribuert produksjon blir aktuelt overalt i Norge, ikke bare i områder med vannkraftressurser. Det må tas hensyn til potensiell produksjon ved planlegging, nybygginger og investeringer i nettet. Det som installeres av produksjonsutstyr i dag skal stå i nettet i minst 20 år fremover. Det blir dermed viktig å sørge for at det utstyret kan tilpasses framtidige behov (f. eks. for spenningsregulering) og gi muligheter for samarbeid mellom aktører i nettet (for eksempel ved hjelp av kommunikasjon). Med stor utbygging av produksjon kan nye utfordringer bli å unngå uønska samtidige frakoblinger og å få til kontrollert øydrift.

3 RETNINGSLINJER

Tekniske retningslinjer er et hjelpemiddel for å oppnå at produksjonsenheter tilfredsstillende nødvendige kvalitetskrav. For både nettselskaper, utbyggere og industri vil det være en fordel om flere benyttet de samme retningslinjene. I dag finnes det ingen felles norske

eller europeiske tekniske retningslinjer for tilknytning av produksjon i distribusjonsnett.

I prosjektet "Distribusjonsnett 2020" er det utarbeidet et forslag til tekniske retningslinjer [6] beregnet på norske forhold, primært for tilknytning av synkron- eller asynkrongeneratorer i høyspenning distribusjonsnett. Ved utarbeidelse av disse ble det tatt hensyn til både nasjonale forskrifter, internasjonale normer og lignende retningslinjer fra andre land. De foreslåtte retningslinjene kan være et utgangspunkt for nettselskaper som ønsker å sette opp egne retningslinjer, eller de kan benyttes i et eventuelt samarbeid for å få til felles norske tekniske retningslinjer for tilknytning av produksjon i distribusjonsnett.

"Distribusjonsnett 2020" er et kompetanseoppbyggingsprosjekt hos SINTEF Energiforskning innenfor Forskningsrådets RENERGI-program. ABB er hovedsponsor og andre partnere er Agder Energi Nett, Hafslund, TEV, HelgelandsKraft, NTE, Nortroll, Siemens og NTNU. Tema for prosjektet er feilhåndtering og integrasjon av distribuert produksjon.

4 HÅNDTERING AV TILKNYTNING AV PRODUKSJON

4.1 Tilknytningsprosessen

For en utbygger er det en lang prosess fra ønske om å bygge et nytt kraftverk fram til idriftsettelse. Det er mye som skal tas hensyn til og mange valg som skal gjøres. Men også for det lokale nettselskapet krever det å behandle en søknad om tilknytning både tid og ressurser. For begge parter er det viktig at prosessen med å få godkjent en tilknytning gjøres mest mulig effektivt og til laves mulig kostnad. For å få til det er det viktig med kunnskap om hva som er viktig, når grundige beregninger er nødvendige og når en forenklet vurdering er nok. Det er også viktig at partene utveksler nødvendig informasjon og utfører nødvendige oppgaver i riktig rekkefølge. [6][7] viser hvordan oppgaver og informasjonsflyt kan organiseres i en tilknytningsprosess.

4.2 Vurdering av produksjonens innvirkning på nettet

Behovet for analyser og vurderinger vil være større ved tilknytning av enheter med stor innvirkning på nettet enn ved tilknytning av enheter med liten innvirkning på nettet. Dette gjelder også de kravene som må stilles til produksjonseenheten (til teknisk utstyr og til drift) og behovet for tilpasninger i nettet. Generelt vil enheter med stor produksjonskapasitet ha større innvirkning på nettet enn enheter med liten produksjon, men også tilknytningspunkt, nettets kortslutningsytelse,

last og annen produksjon vil ha stor betydning. En produksjonsenhet i enden av en radial vil for eksempel generere betydelig større spenningsproblemer i tilknytningspunktet enn om samme enhet var plassert nær transformatorstasjonen.

Det er viktig å få vurdert en ny produksjonsenhets innvirkning på nettet tidlig i tilknytningsprosessen. Det er også viktig at spesielle forhold i nettet gjøres kjent og at nødvendige tilpasninger identifiseres tidlig. Da kan utbygger få realistiske og tilpassede systemkrav å forholde seg til allerede før arbeidet med prosjektering starter.

Unødvendig strenge krav kan fordyre design- og utviklingsprosessene og kan ødelegge lønnsomheten i mange nye utbygginger. På den andre siden kan det medføre både tap av inntekter og store ekstra kostnader for utbygger senere hvis det ikke stilles riktige krav tidlig. Tilknytning av produksjonsenheter som ikke tilfredsstiller nødvendige kvalitetskrav kan medføre økt risiko for feil, alvorlige konsekvenser ved feil og merkostnader til utbedringer. Hvis ukontrollert øydrift oppstår kan det medføre store skader ikke bare på eget utstyr, men også i nettet og hos andre nettkunder.

5 EKSEMPLER PÅ INNVIRKNING PÅ NETTET

I det følgende presenteres enkle beregninger for å illustrere den innvirkning produksjon kan ha i distribusjonsnettet. Nettet er svært enkelt, en 24 kV radial med følgende data, hvis ikke annet er nevnt:

- Spenningen i stasjonen er satt lik 22,8 kV
- 10 seksjoner á 3 km - 30 km fra stasjonen til siste last
- Kraftledning med tverrsnitt 50 mm²
- Lasten er representert ved ti nettstasjoner á 600 kW (høylast)
- Lasten er induktiv med $\cos \phi$ lik 0,98
- Produksjon og last tilknyttes i enden av hver seksjon
- Sum aktivt effekttrekk i høylast er rundt 6 MW
- Lavlast er satt til 25 % av høylast

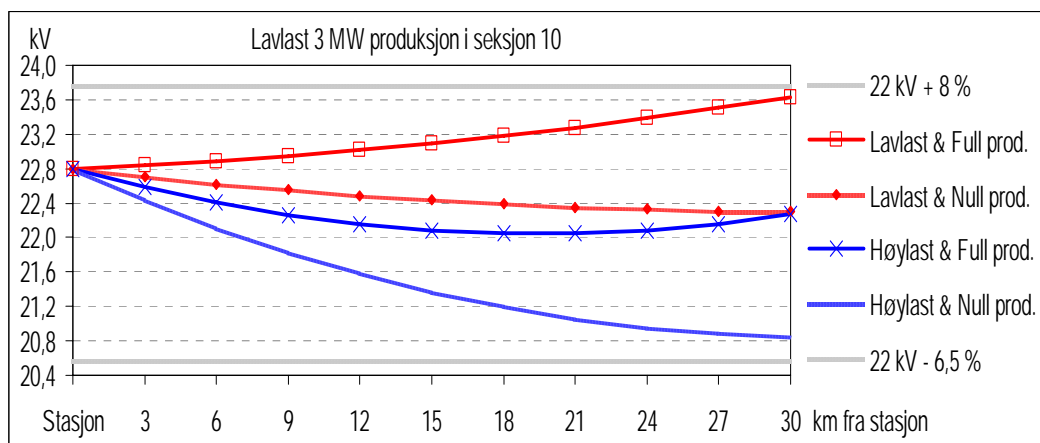
5.1 Stasjonær spenning

Grenser for laveste og høyeste tillatte stasjonære spenning i nettet velges lik henholdsvis $-6,5\%$ og $+8\%$ av 22 kV. Laveste spenning oppstår på enden av avgangen i driftstilfellet høylast uten produksjon. Høyeste spenning oppstår i produksjonens tilknytningspunkt i lavlast med full produksjon. Figur 1 viser stasjonær spenning utover radialen for de mest aktuelle lasttilfellene, høylast og lavlast med og uten

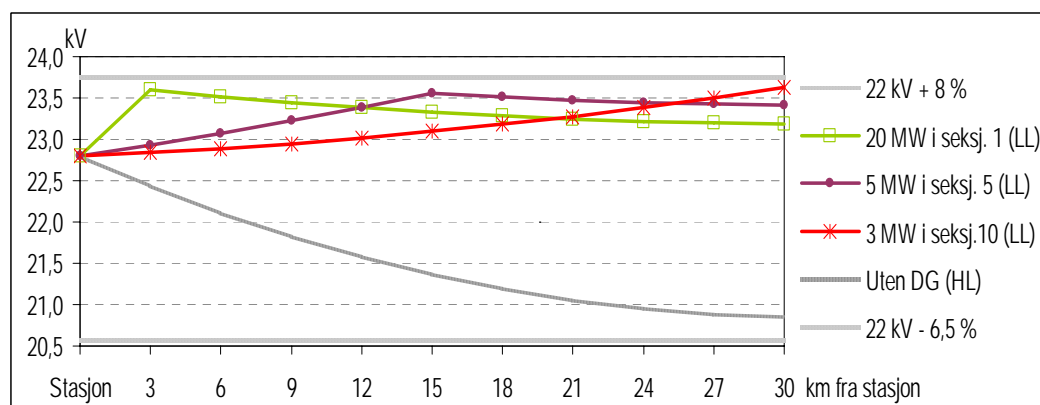
produksjon (3 MW plassert i enden av radialen). Her er variasjonsområdet for stasjonært spenning nær opp til det som tillates.

Figur 2 viser at samme avgang kan ha en betydelig større produksjon nær stasjonene enn langt ute på avgangen før grensen for høyeste tillatte stasjonære spenning overskrides. I dette tilfellet blir stasjonær spenning i tilknytningspunktet omtrent den samme når 20 MW tilknyttet 3 km fra stasjonen som når 3 MW tilknyttes 30 km fra stasjonen eller 5 MW tilknyttes 15 km fra stasjonen.

Er produksjonen mindre enn minimum last etter tilknytningspunktet vil ikke strømretningen endres og spenningen vil ikke bli høyere enn stasjonsspenningen uten at det er innmating av reaktiv effekt i nettet.



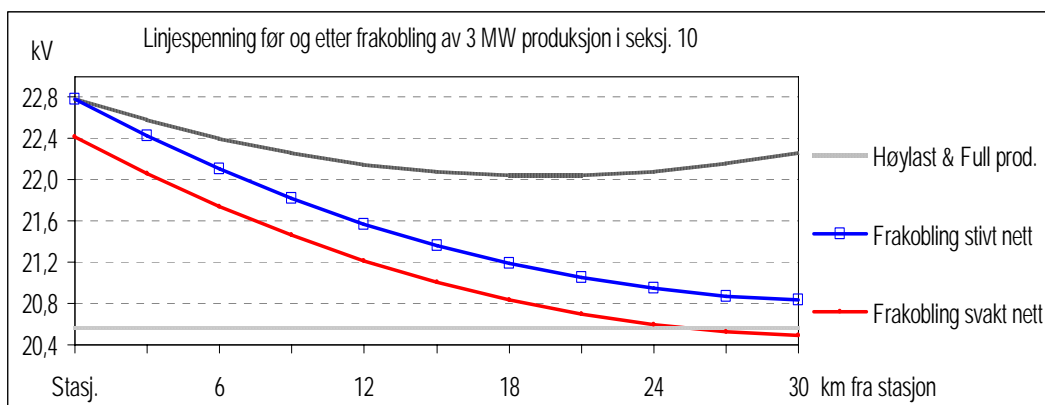
Figur 1 Spenning utover avgangen med og uten 3 MW og 0 MVAR produksjon i enden av avgangen i både lav- og høylast.



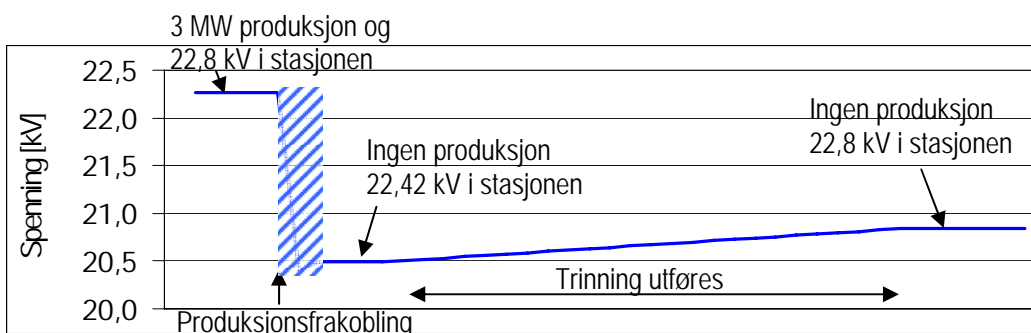
Figur 2 Spenning i lavlast med 20, 5 og 3 MW og 0 MVAR produksjon henholdsvis 3, 15 og 30 km fra stasjonen. Minimum spenning (HL uten produksjon) er med for sammenligning.

5.2 Spenningsprang

En hurtig endring i produksjonen kan medføre et betydelig sprang i stasjonær spenning. Forskjellen i stasjonær spenning med og uten produksjon indikerer hvor stort spenningspranget på grunn av produksjonsendringen blir. Men spenningspranget avhenger også av hvor stivt nettet er, som illustrert i Figur 3 for avslag av 3 MW produksjon (30 km fra stasjonen). I det stive nettet er spenningen i stasjonen upåvirket av avslaget. I det svake nettet faller den stasjonære spenningen i stasjonen fra 22,8 kV før til 22,42 kV umiddelbart etter avslaget, som vist i Figur 4, før hovedtransformatorens trinning etter hvert bringer spenningen i stasjonen tilbake til ønsket spenningsnivå (22,8 kV i dette tilfellet). Det er ikke tatt hensyn til overgangen mellom disse stasjonære tilstandene (som er skravert i Figur 4). Spenningsfallet er størst i tilknytningspunktet (6,4 % med stivt nett og 8 % med svakt nett) i høylast. I lavlast er det 5,1 % med stivt nett.

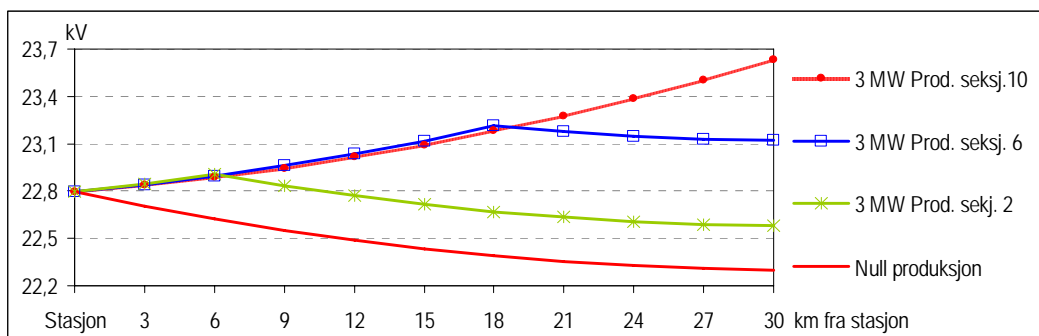


Figur 3 Spenningen med 3 MW og 0 MVAR prod. i seksjon 10 (før) og etter et avslag av produksjonen i svakt og stivt nett. Høylast.



Figur 4 Illustrasjon av spenningsforløp i tilknytningspunktet (seksj. 10) ved momentan frakobling av 3 MW (0MVAR). Svakt nett.

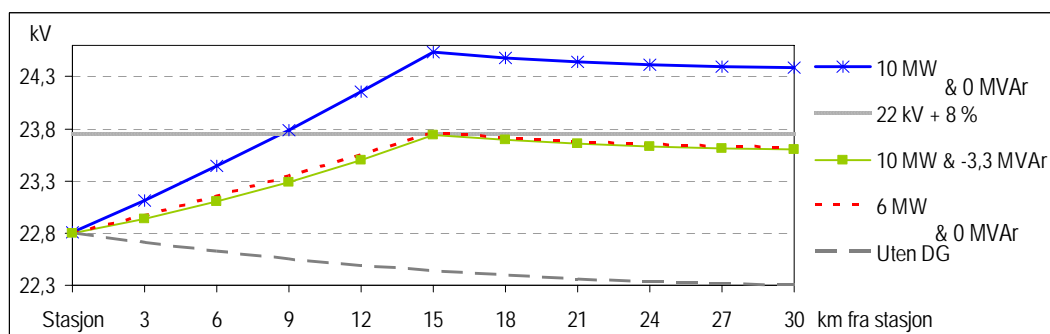
Figur 5 illustrer at spenningsfallet i ett gitt punkt på radialen blir tilnærmet det samme for samme produksjonsavslag, uavhengig av hvor mye lenger ute på radialen produksjonen er plassert. Ved avslag av 3 MW plassert 18 km fra stasjonen medfører et minimum spenningsprang på 0,8 kV (23,2 – 22,4 kV). Tilsvarende minimum spenningsprang for samme produksjon i andre tilknytningspunkt kan leses ut fra differansen mellom spenningsprofilen for 3MW produksjon tilknyttet i enden av radialen og spenningen uten produksjon, øvre og nedre kurve i Figur 5.



Figur 5 Spenning langs radialen med 3 MW og 0 MVar produksjon plassert 6, 18 og 30 km fra stasjonen. Lavlast og stivt nett.

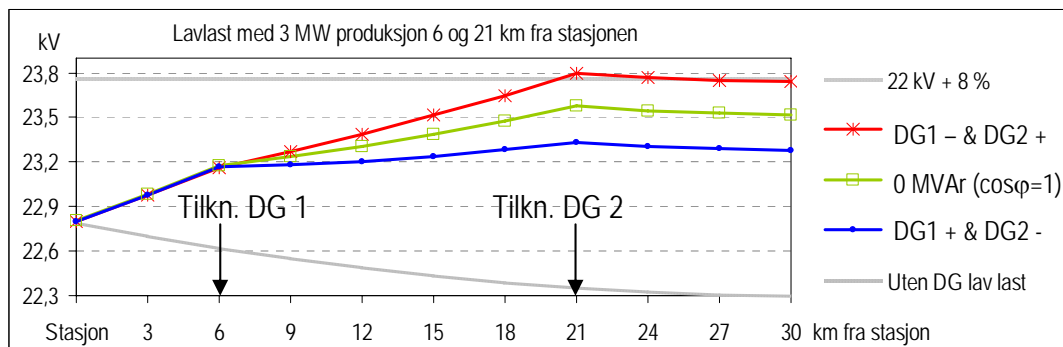
5.3 Reaktiv effekt

Spenningen i tilknytningspunktet kan reduseres ved at det produksjonsenheten trekker reaktiv effekt fra nettet (negativ reaktiv effektproduksjon). Figur 6 viser et eksempel der en enhet som produserer 10 MW og 0MVar medfører for høy stasjonær spenning i tilknytningspunktet (15 km fra stasjonen) i lavlast. For at ikke spenningen i dette tilfellet skal overstige 108 % må den aktive innmatingen i tilknytningspunktet begrenses til 6 MW (med 0 MVar). Det kan imidlertid mates inn 10 MW aktiv effekt hvis det trekkes en reaktiv effekt på 3,3 MVar. Det medfører imidlertid at avgangen har et samlet reaktivt forbruk på over 4,5 MVar. Med 10 MW produksjon i lavlast har denne avgangen et overskudd på aktiv effekt og leverer rundt 7,5 MW inn til stasjonen.



Figur 6 Spenning med ulike produksjonsalternativ (P og Q).

Figur 7 viser stasjonær spenningen utover avgangen når to enheter, DG1 og DG2, produserer 3 MW hver, men med forskjellig reaktiv produksjon. I alle tilfellene er avgangens samlede reaktive last i underkant av 500 kVAr og summen av reaktiv produksjon i DG1 og DG2 lik null. Med til sammen 6 MW produksjon har avgangen et aktivt effektoverskudd på 4,2 MW. Maksimum linjespenningen i DG2s tilknytningspunkt (21 km fra stasjonen) er størst når DG1 trekker reaktiv effekt (produserer $-0,99$ MVar) og DG2 leverer reaktiv effekt (produserer $+0,99$ MVar). Spenningen er lavest når DG1 leverer (+) mens DG2 trekker (-) reaktiv effekt.



Figur 7 Spenning i lavlast for tre tilfeller med produksjon $P = 3$ MW. Reaktiv produksjon, Q , er i et tilfelle null for begge ($\cos \varphi = 1$) og i de to andre tilfellene er Q lik $+0,99$ MVar for den ene og $-0,99$ MVar ($\cos \varphi = 0,95$).

REFERANSER

- [1] FOR-2004-11-30-1557: Forskrift om leveringskvalitet i kraftsystemet.
- [2] Jenkins, Nick; Allan, Ron; Crossley, Peter; Kirschen, Daniel and Strbac, Goran, 2000, "Embedded generation", ISBN 0 85296 774 8, IEE, 273 s.
- [3] Pål Glimen, Elektriske vern i små vannkraftverk, Elektro nr. 7 2006
- [4] Hans Kristian Muggerud, Detektering av øydrift, NEF Teknisk Møte 2007
- [5] Jorun Marvik, Feilstrømmer og kortslutningsvern i nett med distribuert produksjon, NEF Teknisk Møte 2007
- [6] Astrid Petterteig, Olve Mogstad, Thor Henriksen, Øyvind Håland (Agder Energi), Tekniske retningslinjer for tilknytning av produksjonsenheter, med maksimum aktiv effektproduksjon mindre enn 10 MW, til distribusjonsnett, SINTEF TR A6343.01, November 2006, 56 sider
http://www.energy.sintef.no/Prosjekt/Distribution_2020/index.asp
- [7] Astrid Petterteig og Olve Mogstad, Behov for retningslinjer for å knytte småkraft til nettet, Elektro nr. 1 2007