

TR A7394- Åpen

Rapport

Virkingen av spenningsregulering på energibruk

Forfatter(e)
Henrik Kirkeby



Foto: Shutterstock

SINTEF Energi AS

Postadresse:
Postboks 4761 Sluppen
7465 Trondheim

Sentralbord: 73597200
Telefaks: 73597250

energy.research@sintef.no
www.sintef.no/energi
Foretaksregister:
NO 939 350 675 MVA

Rapport

Virkningen av spenningsregulering på energibruk

EMNEORD:
Spenningsregulering
Energibruk

VERSION
1.0

DATO
2014-03-25

FORFATTER(E)
Henrik Kirkeby

OPPDRAKSGIVER(E)
Enova SF

OPPDRAKSGIVERS REF.
Oskar Gärdeman

PROSJEKTNR
502000701

ANTALL SIDER OG VEDLEGG:
10

SAMMENDRAG

Denne rapporten tar for seg virkningene av spenningsregulering på energibruk, sikkerhet ved bruk av elektriske apparater ved spenningsregulering, og påvirkning på kraftsystemet som helhet. Spenningsregulering for å redusere energiforbruk vil være hensiktsmessig i noen spesifikke tilfeller. Energibesparelser vil kunne realiseres i tilfeller hvor lasten består av utstyr som leverer mindre effekt når spenningen senkes og som ikke er termostatstyrt. I hovedsak gjelder dette noen typer belysningsanlegg og lavt belastede asynkronmotorer uten kraftelektronikk. En energibesparelse vil i disse tilfellene hovedsakelig bli realisert gjennom mindre lys og mindre utført arbeid av asynkronmotorene. Ytelsen av elektriske apparater kan påvirkes negativt om ikke forhåndsregler blir tatt ved spenningsregulering. Virkningen på distribusjonsnettet ved spenningsregulering er positiv så lenge virkning på energiforbruk også er positiv.

UTARBEIDET AV
Henrik Kirkeby

KONTROLLERT AV
Helge Seljeseth

GODKJENT AV
Knut Samdal

SIGNATUR



SIGNATUR



SIGNATUR



RAPPORTNR
TR A7394

ISBN
978-82-594-3584-2

GRADERING
Åpen

GRADERING DENNE SIDE
Åpen

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	3
2	Forutsetninger for at spenningsregulering gir redusert energiforbruk	4
3	Sikkerhet ved bruk av elektrisk utstyr	7
4	Påvirkning av spenningsregulering på kraftsystemet	8
5	Konklusjon	9
6	Kilder	10

1 Innledning

For å kunne si noe om virkningen av spenningsregulering er det naturlig å beskrive hvordan spenningen påvirker energiforbruket til en last. Forbruk av elektrisk energi kan karakteriseres på ulike måter, en vanlig måte å karakterisere last på er ved en såkalt ZIP-modell. I denne modellen representerer:

- "Z" konstant impedanslaster, og effekten i denne typen last er proporsjonal med kvadratet av spenningen. Eksempler på denne type last er glødepærer og varmeelementer.
- "I" konstant strømlaster, og effekten i denne type last er proporsjonal med spenningen. Eksempler på konstant strømlast er lysstoffrør og asynkronmotorer.
- "P" konstant effektlaster, som er uavhengig av spenningsnivået. Denne typen last inkluderer ulike typer elektronikk, PC'er og noen typer lysstoffrør, som alle benytter kraftelektronikk.

Alle laster modelleres med en viss andel av hver type lastkarakteristikk ved bruk av koeffisienter, men det er ofte en karakteristikk som dominerer.

Denne modellen tar ikke høyde for at noen typer laster er termostatstyrt. Termostatstyrt last vil i praksis ha tilnærmet likt energiforbruk, fordi mengden energi som trengs for å holde en temperatur til et bestemt nivå ikke er avhengig av spenningen. Derfor vil for eksempel en termostatstyrt varmeovn ha konstant gjennomsnittlig effekt, selv om den uten termostatstyring vil modelleres som en konstant impedanslast.

Tanken bak spenningsregulering er at om man senker spenningen, så vil to av disse tre lasttypene få lavere gjennomsnittlig effekt så lenge lasten ikke er termostatstyrt, og dermed synker energiforbruket. Denne rapporten har spenningssenkning som fokus, men spenningsregulering kan i teorien også bestå av å øke spenningen. Spenningsregulering som energiltak er en hittil ikke så mye brukt metode i Norge, men det har i de siste årene blitt gjennomført noen norske prosjekter. Teknologien er mer vanlig i andre deler av Europa, blant annet i Danmark og Storbritannia. I 1995 ble spenningsnivået i Europa harmonisert, så flere land gikk fra 220 V eller 240 V til 230 V. I for eksempel Storbritannia var nominell nettspenning tidligere 240 V, og populariteten til spenningsregulering i Storbritannia kommer blant annet av at spenningsnivået flere steder i nettet fortsatt er høyt i forhold til den normaliserte standarden på 230 V. Å tilbakebetale kostnaden ved installasjon av spenningssenkende utstyr er også kortere i Europa, ettersom kraftprisene er høyere enn i Norge.

Denne rapporten er i hovedsak utarbeidet basert på generell kunnskap fra SINTEF Energi, arbeid i forbindelse med SINTEF Energis prosjekt "Verifikasjon av energiøkonomisk spenningsregulering i distribusjonsnett" og fra rapporten "Guide til spændingsstyring i erhvervsvirksomheder" av Dansk Energi Analyse A/S [1]. Den danske rapporten er et resultat fra et forskningsprosjekt i regi av danske ELFORSK, hvor virkningen av spenningsregulering på energibruk i næringslivet er studert. Forskningsprosjektet belyser i stor grad hvilken nytte spenningsregulering vil ha blant annet ut i fra informasjon om hvilke typer last som gir redusert energiforbruk ved spenningssenkning.

2 Forutsetninger for at spenningsregulering gir redusert energiforbruk

Forskningsprosjektet som ELFORSK gjennomførte, viser at om spenningsregulering skal være økonomisk så må brukstiden og størrelsen på den delen av lasten som får redusert effekt ved lavere spenning, være tilstrekkelig høy. Spenningssenking i et anlegg uten å kartlegge energibesparelspotensialet ved å undersøke lasten er ikke god praksis. Spenningsavhengig last må kartlegges og brukstiden må fastslås. Størrelsen på den mulige spenningssenkingen må bestemmes, og gevinsten til energibesparelsen bør sammenlignes med andre alternativer som å bytte ut det elektriske utstyret eller å installere nye kontrollsystemer.

Det er i hovedsak belysningsanlegg uten kraftelektronikk, og unntatt LED-lys, som har den største gevinsten av spenningssenking. Asynkronmotorer uten kraftelektronikk vil også kunne realisere besparelser om det er mindre motorer lavere belastet enn 50 %.

Ulempen med spenningssenking er at avgitt lys og motoreffekt minker. Et belysningsanlegg vil avgi mindre lys om spenningen senkes, hvor mye belysningen minker avhenger av typen belysning. En oversikt over påvirkningen av spenningssenking på ulike lyskilder finnes i [2]. En fordel ved å senke spenningen er at avgitt lux per watt er høyere ved lavere spenningsnivåer for blant annet lysstoffrør med konvensjonelle spoler. Ved 10 % spenningssenking ble det registrert 6 % økning i lux per watt for denne lyskilden. Det er dermed to faktorer som kommer inn i spill ved spenningssenking i belysningsanlegg: belysningen og energiforbruk synker, men energiforbruk synker ikke like mye som forventet fordi effektiviteten til lysstoffrør er høyere ved lavere spenninger. Virkningen av redusert energibruk og utstråling er større enn virkningen av høyere virkningsgrad. Potensialet for spenningsregulering er dermed størst i anlegg som har et for kraftig dimensjonert lysanlegg hvor lysnivået kan senkes uten problemer. I et fornuftig dimensjonert anlegg (passe mengde lys ved nominell spenning) vil det dermed ikke være store besparelser å realisere ved spenningssenking, med mindre spenningen er unaturlig høy i utgangspunktet og påvirker levetiden eller funksjonaliteten av apparatene negativt.

Hvordan motorer blir påvirket av spenningsregulering avhenger av belastningen og størrelsen til motoren. Å redusere spenningen til en lavt belastet motor, fører til økt effektivitet og redusert ytelse. Denne virkningen er større om motoren er liten, potensialet er beskrevet i [3]. Dermed vil effekten av spenningssenking på lavt belastede motorer følge lignende mekanismer som spenningssenking på belysningsanlegg. I termostatstyrte utstyr som kjøleanlegg så vil ikke energien brukt til kjøling reduseres, kun den økte effektiviteten i kompressoren vil bidra til redusert energibruk. Dermed vil samme komfortnivå oppnås ved lavere energibruk. Størrelsen av energibesparelsen er avhengig av motorens størrelse og belastning, så det må derfor kartlegges i hvert enkelt tilfelle om spenningsregulering kan bidra til redusert energiforbruk i termostatstyrt utstyr. For eksempel vil en 20 % belastet 22 kW motor har potensiale til å redusere tapene i motoren 20 % [4]. Å redusere spenningen til en høyt belastet motor vil føre til en noe redusert ytelse, men stor økning i tap fordi motoren trekker en høyere strøm når spenningen blir redusert. Totalt sett vil motoren trekke mer effekt, men utføre mindre arbeid. Den økte strømmen bidrar også til økte tap i tilledningen til motoren. Det er dermed svært ugunstig å senke spenningen på motorer belastet over ca. 50 %. I mange typer motorarbeid dimensjoneres motoren for en gjennomsnittlig belastning over 50 %. Gjennomsnittlig motorbelastning for ulike typer arbeid er listet opp i [1]. Om det oppdages besparelspotensialer i motorlaster under kartlegging av mulige energibesparelser, så kan dette derfor bety at motoren er feildimensjonert. Dermed bør det også vurderes om det skal installeres en motor med en lavere ytelse for å oppnå en høyere belastningsgrad, heller enn å senke spenningen.

Noen typer last er ugunstig å spenningsregulere. Kraftelektronikk i for eksempel i PC'er, TV'er, T5 lysstoffrør, frekvensstyrte motorer, og mange ulike typer elektrisk forbruksutstyr vil regulere strømmen slik at effekten levert til apparatet blir konstant uavhengig av spenningen, så lenge denne er innenfor

operasjonsområdet til kraftelektronikken som ofte er helt ned til rundt 100 V. Å senke spenningen vil dermed ikke bidra til noen reduksjon i energiforbruk, tvert om vil den økte strømmen skape større tap i tilledningen til utstyret og internt i utstyret. Dette kan også forringe levetiden på utstyret.

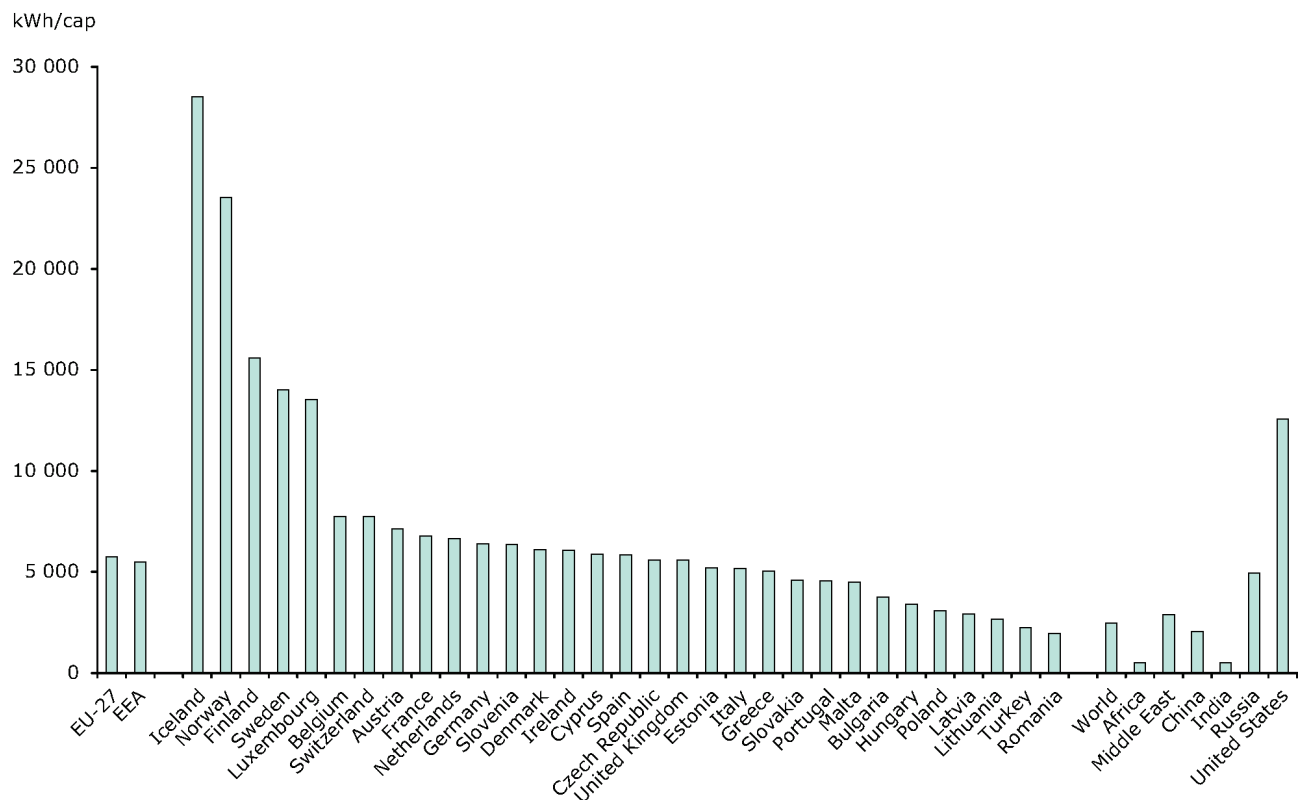
En annen type last som er ugunstig å regulere er termostatstyrt last. I norske husstander er dette i hovedsak romoppvarming og oppvarming av varmtvann. Energiforbruket er i dette tilfellet styrt av mengden energi som er påkrevd for å dekke oppvarmings- og varmtvannsbehovet i installasjonen, og en redusert spenning bidrar dermed ikke til redusert energiforbruk. Effekten i hvert enkelt apparat vil synke, men tiden apparatet er på vil øke så energiforbruket og gjennomsnittlig effekt i apparatet er konstant. Å spenningsregulere termostatstyrt last vil ha en negativ påvirkning på kraftsystemet, dette er mer diskutert i kapittel 4.

Ved et overslag over mulig redusert energiforbruk ved spenningsregulering er det viktig å ta med effektiviteten til spenningsregulatoren, som ligger på rundt 99 %. Norske AC Enko Klima og Energi som leverer utstyr fra PSS Energy bruker blant annet en Cleancost spenningsregulator, som har en oppgitt effektivitet på 99,2 % ved merkeeffekt¹.

Sluttforbruket av elektriske energi i Norge skiller seg fra resten av Europa, slik figur 1 viser. Årsaken til at energiforbruk er høyere i Norge, er bruken av elektrisitet til oppvarming, som kommer av at kraftprisen både har vært og er lav sammenlignet med Europa. I en gjennomsnittlig husstand i Norge vil ca. 80 % av sluttforbruket av elektrisk energi være relatert til oppvarming av rom og varmtvann som krever en bestemt energimengde [5]. Når sluttforbruket av elektrisitet i hovedsak består av denne typen last vil spenningsregulering ikke gi energibesparelser, energiforbruket i husstanden vil faktisk øke på grunn av den lavere systemeffektiviteten når spenningsreguleringsutstyr kobles på. 6 % av sluttforbruket går til belysning, som er den største kilden til mulige energibesparelser. Potensialet for energibesparelser i sluttforbruk av elektrisitet i elektronikk, vasking og kjøling (ca. 10 % av alt sluttforbruk) vil eventuelt være relatert til høyere effektivitet i motorer som er lavt belastet. Det er viktig å påpeke at 5 % av dette potensialet er kjølebehovet, og selve energien brukt til nedkjøling vil være konstant ved spenningsregulering, kun høyere effektivitet i kompressorer og vifter vil føre til redusert energiforbruk. De resterende prosentene går til bruk av PC og matlaging, hvor det potensialet for energibesparelser er svært lavt. Å redusere spenningen med spenningssenkende utstyr i en gjennomsnittlig norsk husstand vil dermed ikke føre til store besparelser. Disse besparelsene må også veies mot tap i spenningsreguleringsutstyret og installasjonskostnadene forbundet med spenningsregulering.

Spenningsregulering i husstander kan ha noen positive effekter. Levetid på elektrisk utstyr kan være lavere om spenningen i installasjonen er høy og spenningssenking kan da øke levetiden til en del utstyr. Spesielt i belysningsanlegg kan det være fordelaktig å senke spenningsnivået for å sikre god levetid på anlegget. Om spenningsoptimering installeres heller enn spenningsregulering, så kan dette bidra til å øke spenningskvaliteten i installasjonen. Et spenningsoptimeringsapparat har som mål både å senke spenningen og å holde den på et konstant nivå, heller enn å senke spenningen for eksempel 10 %. Disse apparatene finnes blant annet i Storbritannia, og vil bidra til økt spenningskvalitet i den aktuelle installasjonen. Ulempen til disse apparatene er høyere tap og innkjøpskostnad.

¹ http://www.pssenergy.com/en/Solutions/Col3/cleancost_02.shtml



Figur 1 Sluttforbruk av elektrisk energi per capita [6]

3 Sikkerhet ved bruk av elektrisk utstyr

Det viktigste momentet ved bruk av spenningsregulering med tanke på sikkerhet, vil være å kontrollere om alt utstyr, spesielt kritisk utstyr som IT-infrastruktur, medisinsk utstyr og heiser, vil være innenfor det spesifiserte spenningsområdet for at utstyret skal fungere.

Ytelsen til motorer kan bli påvirket negativt av spenningsregulering. Ved lavere spenning får motorer lavere startstrøm og dermed lavere startmoment. Reduseres spenningen 10 % så vil startmomentet reduseres med 19 %, som resulterer i lengre oppstartstid og i noen tilfeller oppstartsproblemer. Ved bruk av spenningsregulering bør derfor virkningen av spenningssenkning på utstyr som heiser og annet utstyr som krever høy pålitelighet, kontrolleres nøye.

I Storbritannia hvor spenningsregulering er mer vanlig enn i Norge, så har Lift and Escalator Industry Association utgitt en nyhetsartikkel: "Energy Saving by Building Voltage Reduction: Considerations for Lifts and Escalator products"[7]. Her tar de for seg noen momenter som bør undersøkes ved bruk av spenningsregulering, som for eksempel at:

- Det må kontrolleres om spenningsnivået er innenfor det tillatte nivået til utstyret
- Innstillingene til eventuelle transformatorer bør stilles inn på nytt til det nye spenningsnivået
- Det må kontrolleres om kontrollsystemet fungerer etter spenningssenkning
- Det må foretas en vurdering om hastigheten på heisen eller rulletrappen er akseptabel etter spenningssenkningen

Dette viser at spenningsregulering ikke er en rett fram prosedyre, og at funksjonaliteten til utstyr som påvirkes av spenningsreguleringen bør kartlegges. Elektriske apparater som har settpunkter for når de skal skrus av og på, som for eksempel UPS'er, må kontrolleres og eventuelt stilles inn på nytt etter en foretatt spenningssenkning.

Ved spenningssenkning på noen typer apparater, som for eksempel høyt belastede motorer og kraftelektronikk, så vil også strømmen øke når spenningen faller, og dette kan forringe levetiden på utstyret.

Et viktig moment ved spenningsregulering er at det blir tatt hensyn til det punktet i installasjonen som har lavest spenning når det blir dimensjonert for spenningsregulering. Selv om inntaket til installasjonen for eksempel har 240 V, betyr ikke dette at spenningen er 240 V over alt i installasjonen. Anbefalt maksimum spenningsfall i en installasjon i NEK 400 2006:525 [8] er 4 %, men spenningsfallet kan være enda litt større. Det vil derfor være punktet med lavest spenning, eller et annet punkt med utstyr som setter begrensninger på minimumspenning, som er dimensjonerende for maksimal tillatt spenningssenkning. Videre bør spenningen i det aktuelle punktet måles på det tidspunktet i året hvor spenningen er lavest, noe som typisk vil være de kaldeste vinterdagene i de fleste installasjoner i Norge.

Ved spenningssenkning kan utstyr i installasjonen bli mer sensitivt for spenningsdipp ved feil i kraftnettet. De laveste spenningsdippene installasjonen opplever, vil bli enda lavere når spenningsregulering benyttes, og dette kan påvirke utstyr i installasjonen negativt. Er for eksempel spenningen regulert fra 230 V med 5 % til 218.5 V, så vil en spenningsdipp på 13 % fra uregulert spenning gi en spenning på 200.1 V, mens for en nedregulert spenning vil dette resultere i en spenningsdipp ned til 189.6 V. Dermed blir utstyret i installasjonen mer sårbart.

Støy i nettet vil kunne påvirke kontrollsystemet til det spenningsregulerende utstyret, men påvirkningen på kontrollsystemet av støy er et område SINTEF Energi ikke besitter kunnskap om. Men som for alt annet utstyr, så gjelder det at spenningsregulerende utstyr skal være godkjent for å kunne tåle støy opp til de tillatte grensene for støy i distribusjonsnettet som er satt i "Forskrift om leveringskvalitet" [9].

4 Påvirkning av spenningsregulering på kraftsystemet

Påvirkningen på distribusjonsnettet ved bruk av spenningsregulering avhenger av lasten i de tilknyttede installasjonene. Spenningsavhengig utstyr uten termostattstyring vil bidra til å redusere effekt i distribusjonsnettet, og har dermed positiv virkning på kraftsystemet. Utstyr som har konstant effekt vil ikke påvirke kraftsystemet, ettersom den økte strømmen i installasjonen vil bli transformert i spenningsreguleringsutstyret til den strømstyrken apparatet ville trukket fra nettet uten spenningssenking. Utstyr som trekker en noenlunde konstant strøm, som for eksempel motorer og lysstoffrør, vil også bidra til å redusere nettap og effektopper i nettet.

I en husholdning vil ca 80 % av lasten være termostattstyrt, som har et upåvirket energibruk ved spenningsregulering. Spenningsregulering medfører at brukstiden til apparatet vil bli høyere, og det må være på over en lengre periode for å dekke det samme energibehovet. Om en større gruppe kunder i et område installerer spenningsregulering, så vil dette bety at sammenlagingsfaktoren minker, siden sannsynligheten øker for at flere apparater er på ved samme tidspunkt [10]. At sammenlagingsfaktoren i distribusjonsnettet går ned, vil bety større tap i distribusjonsnettet, spesielt ved høy last hvor en inkrementell økning i last gir en mye større økning i tap enn ved lavere last. En tidligere undersøkelse i Trondheim viste at om spenningen under en nettstasjon økes fra 234 til 238 V, så vil tapene synke fra ca. 9.5 kW til litt under 7 kW. Tapene synker med andre ord over 26 % ved mindre enn 2 % spenningsøkning, ved høy last [5]. Disse tallene vil i noen grad være påvirket av lavere tap i kablene på grunn av den høyere spenningen, men mest på grunn av sammenlagingseffekten i distribusjonsnettet. Det er derfor forventet at om en større gruppe kunder senker spenningen i installasjonen i samme område, så vil tapene i nettet gå opp, spesielt ved høy last. Siden sammenlagingseffekten går ned, må man også forvente at makseffekten i distribusjonsnettet går opp.

Spenningsregulering har dermed en positiv virkning på distribusjonsnettet i de situasjonene spenningsregulering har en positiv virkning på energibruken i de tilkoblede installasjonene. SINTEF Energi kan ikke se noen signifikante påvirkninger på distribusjonsnettet annet enn påvirkning på tilledet effekt til installasjonen som diskutert ovenfor.

En sekundær effekt er at spenningsregulerende utstyr også kan påvirke spenningskvaliteten. Virkningen av det spenningsregulerende utstyret avhenger av teknologivalget. Omformerbasert utstyr vil kunne gi gode gevinster for spenningskvalitet, men har likevel ulempen at det produserer harmoniske strømmer som må filtreres og kan skape støy i kraftnettet og hos kunden. For spenningsregulering i form av en fast spenningssenking ved bruk av viklinger, så vil spenningskvaliteten stort sett være upåvirket. SINTEF Energi har inntrykk av at det er denne typen utstyr som er vanlig i dag, og dermed er mest relevant å kommentere. Denne typen utstyr vil kunne filtrere bort høyfrekvente overharmoniske, slik at kunden bak det spenningsregulerende utstyret får noe høyere spenningskvalitet enn ellers i nettet. Emisjonen i form av overharmoniske fra kundens elektriske utstyr som inneholder kraftelektronikk vil da også kunne bli mindre. Dette er ikke en fremtredende virkning ved bruk av spenningsregulerende utstyr.

5 Konklusjon

Spenningsregulering kan være et godt alternativ for å redusere energiforbruk i installasjoner hvor det er tilstrekkelig mengde last som får redusert effekt ved spenningsreduksjon. Dette vil i praksis være belyningsanlegg, unntatt lys med elektroniske forkoblinger og LED-lys, samt installasjoner med lett belastede motorer, som indikert i tabell 1. I andre type anlegg, som anlegg med høyt belastede motorlaster, kraftelektronikk eller termostattyrt last er spenningsregulering ugunstig.

Last med høy andel av følgende type utstyr	Virkning av spenningsregulering på energibruk
Enkelte typer lysanlegg ²	Positiv
Lavt belastede motorer	Positiv
Termostattyrt last ³	Negativ
Last med høy andel kraftelektronikk	Negativ
Høyt belastede motorer	Negativ

Tabell 1: Oppsummering av spenningsregulerings virkning på energiforbruk for ulike typer last

Det må i alle tilfeller utredes om hvilken virkning spenningsregulering har i det bestemte anlegget, både med tanke på belyningsstyrke, motoreffekt, energibesparelser, sikkerhet og økonomi for å kunne fastslå om spenningsregulering vil være et godt tiltak. I eksisterende anlegg vil spenningssenkning også gi lavere belyningsstyrke, og mindre levert effekt av motorene. I et fornuftig dimensjonert anlegg vil det dermed ikke være ønskelig å redusere belyningsstyrken, med mindre det ønskes å oppnå andre effekter som økt levetid på anlegget. For mange typer installasjoner vil et fornuftig dimensjonert anlegg også tilsi at det heller ikke er ønskelig å minske motorlastene. I anlegg hvor det er et besparelspotensial ved spenningsregulering, så bør dette vurderes mot andre tiltak som for eksempel å installere lysstyringssystemer, eller å bytte ut hele eller deler av anlegget.

Spenningsregulering kan være et alternativ for å redusere energibruk ved nybygging om det tas høyde for at lux per watt er høyere ved lavere spenning for noen belynings typer. Om spenningen er høy i anlegget kan det også være ønskelig å senke spenningen for å bidra til høyere levetid på anlegget. Det kan være et besparelspotensial ved høyere effektivitet ved lavere belastning på små motorer, men hovedprioriteringen bør være å installere rett størrelse og type motor til oppgaven som skal utføres.

Spenningsregulering av husstander vil være ugunstig for en normal norsk husholdning, om formålet er redusert energiforbruk. Potensiell energibesparelse er lav, systemeffektiviteten i installasjonen går ned, i stor skala implementering vil påvirkningen på nettap i distribusjonsnettet være negativ, og det vil være en kostnad å installere utstyret. Spenningsregulering av husstander, og andre installasjoner, kan likevel være en god idé i de tilfellene hvor spenningen er høy i utgangspunktet som for eksempel hos kundene nærmest nettstasjonen, formålet vil da være økt spenningskvalitet og levetid heller enn energiøkonomisering.

² Gjelder belyningsanlegg bortsett fra LED-lys eller lys med elektroniske forkoblinger

³ Gjelder termostattyrt laster med konstant impedans, ikke termostattyrt motorlast som for eksempel kjøleanlegg

6 Kilder

- [1] Guide til spændingsstyring i erhvervsvirksomheder, Delrapport til Elforsk PSO-projekt nr. 343-004, 2012
- [2] Laboratoriemålinger af lyskilders spændingsafhængighed, Delrapport til Elforsk PSO-projekt nr. 343-004, 2012
- [3] Laboratoriemålinger af asynkronmotorers spændingsafhængighed, Delrapport til Elforsk PSO-projekt nr. 343-004, 2012
- [4] Elmotoren bliver nu endnu mere effektiv, Mogen Johansson Dansk Energi Analyse A/S, artikel i Vedlikehold, Drift & Økonomi, Nr.1 februar 2010
- [5] Regression Analysis of electric load and losses in a Smart Grid, Tommy Svarva Hårstad, Study specialization project work, department of Electrical Power Engineering at NTNU, 2013
- [6] Electricity consumption per capita (in kWh/cap) in 2008, European Environment Agency, <http://www.eea.europa.eu/>
- [7] Energy Saving by Building Voltage Reduction: Considerations for Lifts and Escalator products, LEIA UK, 2011
- [8] NEK 400 2006:525, NK64, Norsk Elektroteknisk Komite, 2006
- [9] Forskrift om Leveringskvalitet, FOR-2004-11-30-1557, Olje og Energidepartementet, 2012
- [10] Spenningsavhengighet i tap for termostatstyrte impedanser, Håkon Gabrielsen, SINTEF Energis prosjekt: Verifikasjon av energiøkonomisk spenningsregulering i distribusjonsnett, 2013



Teknologi for et bedre samfunn

www.sintef.no