

## Sænk spændingen og spar på elektriciteten

v. Mogens Johansson, Dansk Energi Analyse A/S, og Claus Hvenegaard, Teknologisk Institut

Artiklen beskriver de første resultater fra et Elforsk-projekt om elbesparelser ved spændings-sænkning i erhvervslivet. Ved at sænke spændingen reducerer man elforbruget i lysstofrør, kompaktlysstofrør og damplamper med konventionelle forkoblinger, men lysstrømmen reduceres også. Elforbruget i direkte forsynede motorer, der er lavt belastede, falder også, når spændingen sænkes. Der kan være god økonomi i at sænke spændingen med det særlige udstyr, der er på markedet, eller med transformerens trinkobler.

### Indledning

I elforsyningen skal leveringsspændingen ifølge standarden (ref. 1) være  $230\text{ V} \pm 10\%$  eller 207-253 V (yderspændingen 359-438 V). Hos en meget stor del af danske forbrugere er leveringsspændingen ret høj, ofte 230-235 V, og elforbruget bliver større end nødvendigt. Det er især elforbruget til en række lyskilder og til lavt belastede motorer, som kan reduceres ved at sænke spændingen.

Udstyr til spændingssænkning ude hos forbrugerne markedsføres i dag af en række leverandører, se tabel 1. Som figur 1 viser, placeres udstyret typisk i forsyningspunktet, f. eks. lige efter forbrugerens 10/0,4 kV transformer.

Firma	Produktnavne	e-postadresse
ABB	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PCS 100 AVC</li> <li>• PVC</li> </ul>	<a href="http://www.abb.com/product/seitp322/e039976253ee76f8c12576f600410658.aspx">www.abb.com/product/seitp322/e039976253ee76f8c12576f600410658.aspx</a>
Mariendal El-teknik A/S	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PowerSines Energy Controller</li> </ul>	www.mariendal.dk
PSS Energi A/S	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schuntermann Renecost</li> <li>• Cleancost</li> </ul>	www.pssenergy.com
TecPartnering	<ul style="list-style-type: none"> <li>• powerPerfector</li> </ul>	www.powerperfector.dk
Danish Wattguard ApS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wattguard</li> </ul>	www.wattguard.dk
Llaison Link ApS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• EMU–EnergiSpare- &amp; Optimerings System</li> </ul>	www.links3.eu

Tabel 1. Nogle danske leverandører af spændingssænkende udstyr (de to sidstnævnte leverer primært til belysningsanlæg)



Figur 1. 10/0,4 kV station med 1000 kVA spændingssænkende udstyr (de to blå bokse)

Det mest solgte udstyr sænker spændingen med en valgt procentsats. Er spændingssænkningen eksempelvis 8%, vil spændingen variere 207-216 V hvis forsyningsspændingen varierer 225-235 V. Der er dog også udstyr, som holder en fast spænding på eksempelvis 210 V, så længe forsyningsspændingen er større end det. Forbrugere med egen 10/0,4 kV transformer har også den mulighed at nedregulere spændingen på transformeren med trinkobleren, som typisk har et reguleringsområde på 10%.

### Besparelsmulighederne kort

Tabel 2-4 viser en oversigt over effektreduktionen ved en spændingssænkning på 10%. Effektreduktionen opnås især på lyskilder med konventionelle forkoblinger og opnås på bekostning af lysniveauet, der også falder (se ref. 2 for nærmere data om dette). Også lavt belastede asynkronmotorers effektoptag falder, hvilket skyldes at magnetiseringstabene falder. Effekten til lyskilder med elektroniske forkoblinger og til motorer med frekvensomformere påvirkes derimod ikke af en spændingssænkning. (Effekten kan dog falde lidt til en lavt belastet motor med frekvensomformer, der holder V/f konstant, idet spændingssænkningen overføres til motoren, så længe denne kører med maksimal eller næsten maksimal frekvens).

Den optagne effekt i elvarmelegemer falder ved lavere spænding, men er elvarmen styret af termostater eller lignende, vil den være tændt i længere tid, så der ikke spares på elforbruget.

Ud over elbesparelserne, som vi fokuserer på i artiklen, kan en spændingssænkning også give fordele i form af lavere vedligeholdelseskostninger og længere levetid for lyskilder og andet udstyr.

<i>Lyskilde</i>	<i>Forkobling</i>	<i>Effektreduktion</i>
Lysstofrør	Konventionel (spole)	20%
Lysstofrør (inkl. alle T5 rør)	Elektronisk	ingen
Kompaktlysstofrør (PLT), 2 stifter	Konventionel	12%
Kompaktlysstofrør (PLT), 4 stifter	Elektronisk	ingen

Sparepærer (skruesokkel)	Elektronisk typisk	ingen
Glødelamper		15%
Natriumdampplamper	Konventionel	20%
Kviksølvdamplamper	Konventionel	23%
Metalhalogenlamper		Ikke egnede
LED	Elektronisk	ingen

Tabel 2. Eksempler på den typiske effektreduktion ved 10% lavere spænding til lyskilder

Mærkeeffekt, kW	Motorbelastning, %			
	0-5	6-15	16-40	41-
0 - 1,0	18	12	7	2
1,1 – 4,0	15	8	3	0
4,1 - 15	14	6	2	0
16 - 100	10	4	1	0
101 -	7	3	1	0

Tabel34. Eksempler på effektreduktion ved 10% lavere spænding (fra 400 V til 360 V) til direkte forsynede asynkronmotorer

Udstyr	Effektreduktion
Asynkronmotor med frekvensomformer	ingen
Synkronmotor, jævnstrømsmotor og andre med omformer	ingen
PC'ere, skærme, opladere mv.	ingen
Varmelegemer, radiatorer mv., styret med f. eks. termostat	19%, men tilsvarende længere driftstid
Varmelegemer, radiatorer mv. uden styring	19%

Tabel 4. Eksempler på den typiske effektreduktion ved 10% lavere spænding til andet udstyr

### Analyseværktøj på vej

Det kan være svært for en virksomhed og dens energirådgiver at vurdere, om virksomheden med fordel kan reducere spændingen, fordi besparelsen helt afhænger af det konkrete udstyr. Elforsk gav derfor i 2011 tilskud til et projekt, der skal udvikle et værktøj til vurdering af elbesparelsen ved at sænke spændingen. Projektet tager udgangspunkt i de erfaringer, der allerede er opnået herhjemme og i udlandet, og indsamler yderligere information gennem laboratorieforsøg og ved afprøvning i flere virksomheder.

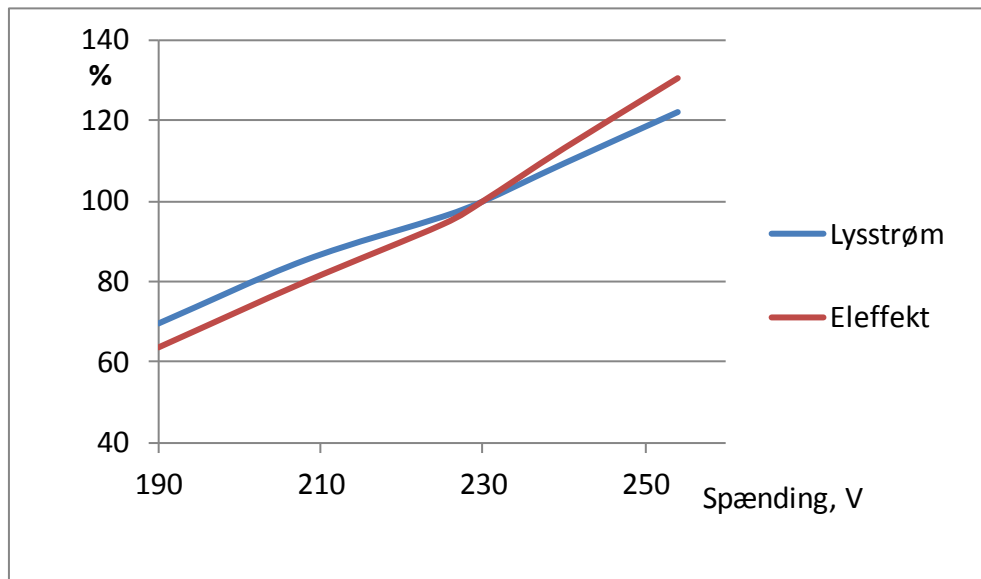
Projektet udføres af Dansk Energi Analyse og Teknologisk Institut, elselskaberne Lokalenergi og NRGi samt Københavns Lufthavne. I projektets følgegruppe deltager fire leverandørfirmaer samt rådgivere, elselskaber og brugere.

Denne artikel beskriver nogle af de foreløbige resultater i projektet.

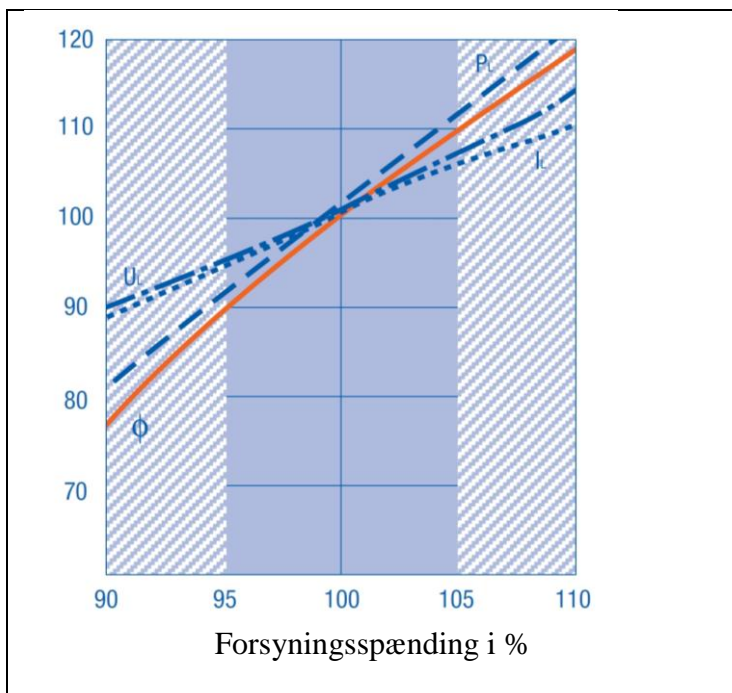
### Lyskilder

Figur 2 viser målinger på lysstofrør med konventionel forkobling (induktiv spole), udført af Teknologisk Institut i 2011. Den optagne eleffekt falder i dette tilfælde med ca. 24% pr. 10% spændingssænkning ved spændinger over 230 V og med ca. 20% ved lavere spændinger. Lysstrømmen falder knapt så meget, så effektiviteten stiger lidt med faldende spænding.

Figur 3 viser et datablad for en Osram natriumdamplyampe på 50-70 W, hvor eleffekten vil falde ca. 20%, hvis spændingen sænkes 10%. Ved lave spændinger kan der være problemer med at tænde damplamper, hvilket leverandørerne bør konsulteres om.



Figur 2. 36 W lysstofrørs optagne elfekt og lysstrøm som funktion af forsyningsspændingen. Armaturet har induktiv spole.



Figur 3. Osram natriumdamplyampe, 50-70 W. Relative værdier for lampens spænding ( $U_L$ ), strøm ( $I_L$ ), effekt ( $P_L$ ) og lysstrøm ( $\Phi$ )

### Asynkronmotorer

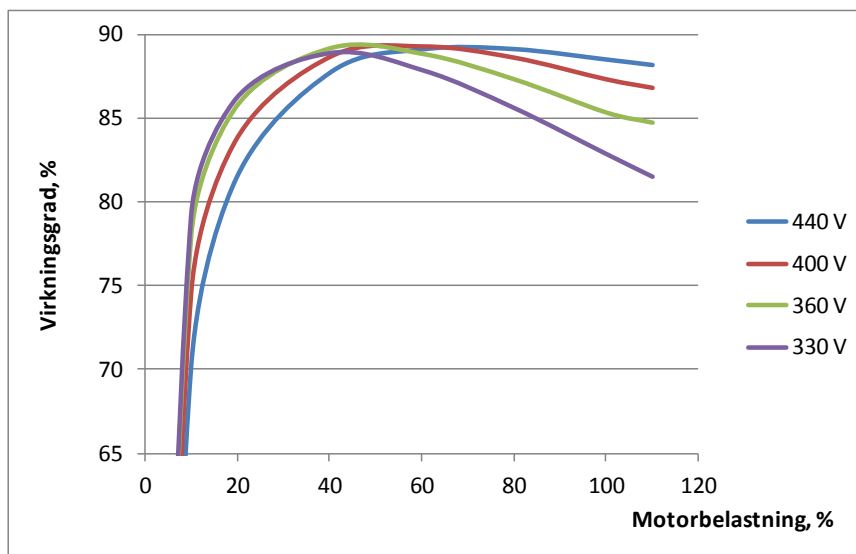
Når spændingen sænkes, vil asynkronmotoren køre en smule langsommere, og samtidig ændres tabene. For motorer belastet over 40-60% reduceres akseffekten en smule som følge af den lavere hastighed – ændringen er størst for motorer, der driver ventilatorer og pumper mv. – mens tabene vokser, fordi strømmen og dermed strømvarmetabene stiger. Sammenlagt

vil effekten stige lidt, og energiforbruget stiger også, især hvis motoren må køre længere tid for at præstere et bestemt arbejde, f. eks. hejse en elevator op.

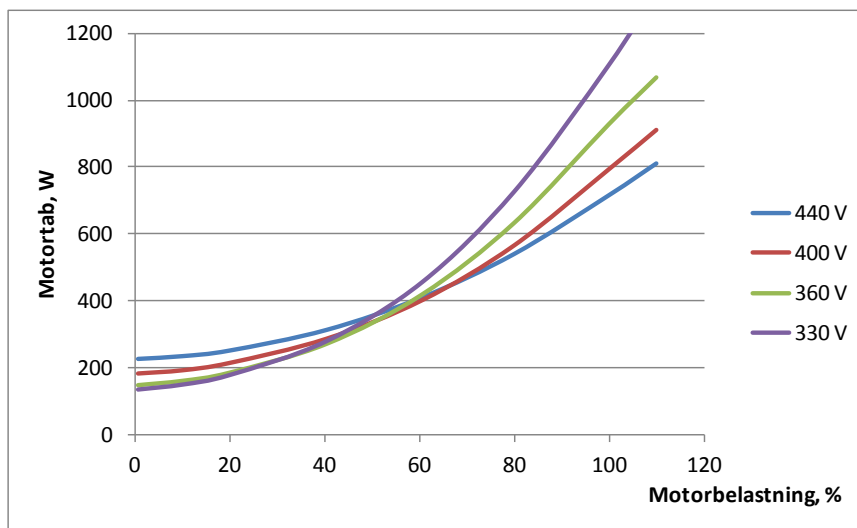
Lavt belastede motorer kører nær den synkrone hastighed (slippet er næsten 0), hvor en hastighedsændring kun har lille betydning. Tabene falder meget, fordi magnetiseringstabene falder med spændingen og fordi strømmen og strømvarmetabene falder som følge af motorens bedre  $\cos\phi$ .

Figur 4 og 5 viser virkningsgraden og motortabene, målt af Teknologisk Institut for en 5,5 kW motor. Ved belastninger over ca. 50% er motorens virkningsgrad større, jo højere spændingen er. Det modsatte er tilfældet ved lave belastninger, og eksempelvis ved 30% belastning forbedres virkningsgraden fra 85% til 88%, hvis spændingen sænkes fra 440 V til 360 V.

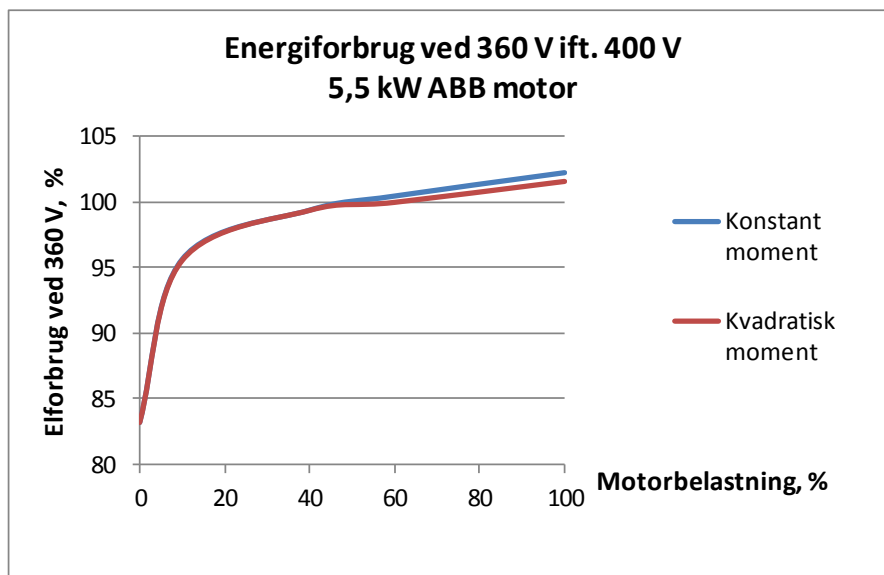
Figur 6 viser motorens beregnede elforbrug ved 360 V i forhold til elforbruget ved 400 V. Der er her antaget, at motoren skal præstere et bestemt arbejde, f. eks. flytte en given luftmængde (kvadratisk moment) eller løfte en masse en given højde (konstant moment). Er motoren belastet 10% af mærkebelastningen, kan der spares 5% af det aktuelle elforbrug ved at sænke spændingen fra 400 V til 360 V. For mindre motorer og motorer med lave virkningsgrader vil forskellen i elforbrug være større end vist i figur 6, mens den vil være mindre for større og/eller mere energieffektive motorer.



Figur 4. Virkningsgrad for 5,5 kW 4-polet ABB motor ved forsyningspændinger på 330-440 V (fasespænding 191-254 V)



Figur 5. 5,5 kW 4-polet ABB motors tab ved forsyningspændinger på 330- 440 V



Figur 6. 5,5 kW 4-polet ABB motors elforbrug til løsning af given opgave ved 360 V i forhold til elforbruget ved 400 V

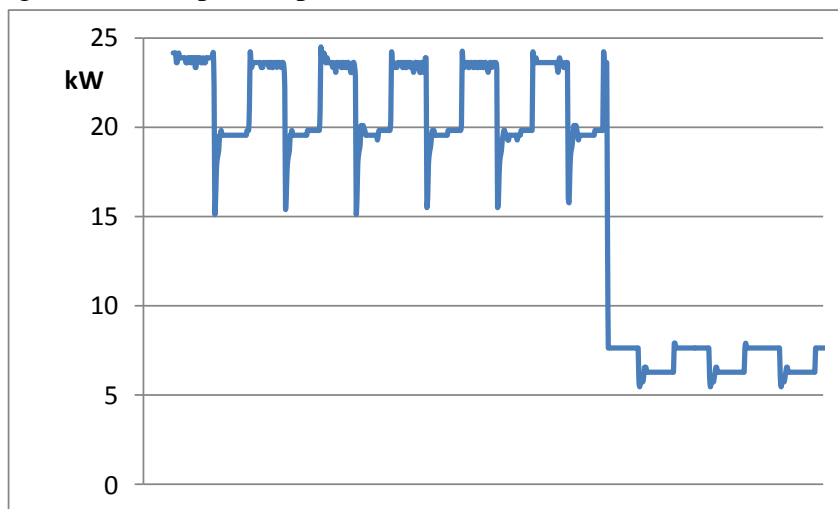
Teknologisk Institut har også målt på motortabene ved usymmetrisk spænding, idet en del spændingssænkende udstyr kan reducere eller fjerne usymmetrier i spændingen. Spændingen i én fase blev sænket fra 230 V til 184 V (80%), hvorved virkningsgraden for 5,5 kW motoren i figur 4 faldt 3-4%. I praksis forekommer der ikke så store usymmetrier i motorspændingerne, hvorfor den energimæssige gevinst af udstyrets spændings-opretning er ret beskeden.

En del spændingssænkende udstyr kan også reducere eller - for det mere avancerede udstyrs vedkommende – fjerne harmoniske i spændingen. Målinger på motortabene som følge af harmoniske viser imidlertid, at tabene er under 1% af motorens mærkeeffekt ved de forstyrrelse, der forekommer i danske installationer (THDU under 10%).

### Danske erfaringer

I Danmark er der inden for de seneste år installeret spændingssænkende udstyr i mange administrationsbygninger, skoler, sportshaller og lignende bygninger med en stor andel af elforbruget til belysning.

Figur 7 viser elbelastningen på en tavle i DSB's værksteder i København. Tavlen forsyner hovedsageligt belysning. For at bestemme elbesparelsen er det spændingssænkende udstyr ind- og udkoblet med 15 minutters mellemrum. Spændingen skifter således mellem ca. 230 V og 207 V. Ved 230 V er den optagne effekt målt til 23,6 kW, mens belastningen er 17% lavere, 19,6 kW, ved 207 V. (Efter arbejdstid – til højre i kurven – er effekterne 7,6 kW og 6,3 kW, også her en besparelse på 17%).



Figur 7. Elbelastning på tavle i DSB-værksted. Det spændingssænkende udstyr er ind- og udkoblet med 15 minutters intervaller.

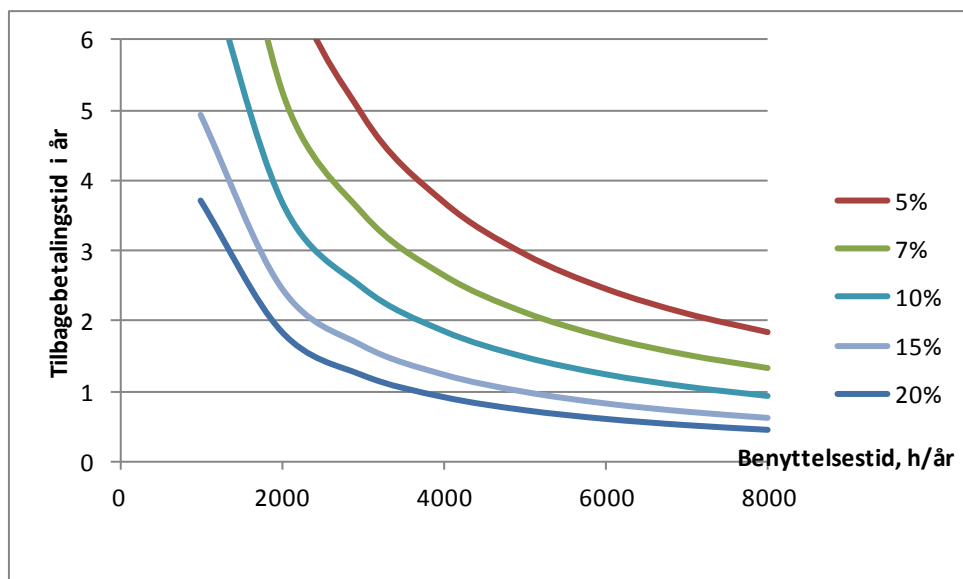
Målinger på flere bygninger, foretaget af Lokalenergi, viser en elbesparelse på i gennemsnit 8% ved en spændingssænkning på ca. 10%. På Tårnby Rådhus er elbesparelsen således opgjort til 9% efter at spændingen blev sænket fra omkring 233 V til fast 212 V.

Københavns Lufthavne har afprøvet flere typer udstyr og opnået elbesparelser. Lufthavnen har dog valgt en anden løsning, nemlig at sænke spændingen på 10/0,4 kV transformerne med brug af trinkoblerne. Spændingen sænkes fra omkring 230 V til ca. 220 V. Elbesparelsen vurderes til ca. 7%. Besparelsen kan være svær at måle, da ikke to dage er ens i lufthavnen, men årsforbruget er faldet fra 101,9 GWh i 2009 til 98,5 GWh i 2011 eller med 3,3%, trods 11% flere passagerer.

Operaen har også sænket spændingen på transformerne og vurderer, at der er sparet 1% på elforbruget. I Operaen er der frekvensomformere på de fleste motorer og der er elektroniske forkoblinger på lyskilderne, så de fleste belastninger er spændings-uafhængige.

### Økonomi

En typisk pris for det spændingssænkende udstyr inklusive installation er 1000 kr./kVA, lidt mere for små anlæg (under 100 kVA), lidt mindre for store anlæg. Økonomien afhænger ud over af investeringen også af elprisen, den procentvise besparelse og udstyrets benyttelsestid (elforbruget divideret med udstyrets mærkeeffekt i kVA), se figur 8.



Figur 8. Overslag over tilbagebetalingstiden som funktion af besparelsesprocenten og udstyrets benyttelsestid. Elpris 1,50 kr./kWh

I administrationsbygninger vil det spændingssænkende udstyrs benyttelsestid typisk være 1000 – 3000 h/år. Skal man under 4 års tilbagebetalingstid, skal der derfor kunne spares 7–20% af elforbruget med det spændingssænkende udstyr. I erhvervslivet skal besparelserne være dobbelt så store, da elprisen typisk er halvdelen af de 1,50 kr./kWh i figur 8.

### Fremtiden

Alt tyder på, at LED belysning vil vinde frem på bekostning af lysstofrør og damplamper, ligesom flere motorer vil blive drevet af frekvensomformere, og dermed vil besparelsesmulighederne ved spændingssænkning efterhånden blive mindre. Men de nærmeste år vil der være et betydeligt sparepotentiale ved at sænke spændingen. En amerikansk undersøgelse (ref. 3) er kommet frem til, at der i USA kan spares 3,0% af elforbruget ved at sænke spændingen på forsyningstransformerne og holde en "end-of-line" spænding på 117 V (i gennemsnit omkring 3% lavere spænding end i dag). En mulig besparelse på 3% kunne måske inspirerer til en generel spændingssænkning i Danmark. I hvert fald vil det være interessant at gennemføre forsøg med en generel spændingssænkning i et større område til belysning af de landsdækkende muligheder.

### Referencer

1. DS/EN 50160. Karakteristika for spændingen i offentlige elektricitetsforsyningsnet.
2. Elektriske Lyskilder. Lysteknisk Selskab. 1993
3. K. P. Schneider et al. Evaluation of Conservation Voltage Reduction (CVR) on a National Level. Pacific Northwest National Laboratory. July 2010