

Spændingsregulering Københavns Lufthavne

Delrapport til
Elforsk PSO-projekt nr. 343-004

November 2012

Spændingsregulering Københavns Lufthavne

Forfattere: Søren Hansen, Kuben Management
Jesper Siegmann, Københavns Lufthavne
Hans Andersen, Københavns Lufthavne

November 2012

Indhold

| | | |
|-----|---------------------------------------------------------------------|----|
| 1 | Forord | 3 |
| 2 | Indledning | 4 |
| 3 | Test af spændingsreduktionsudstyr og manuel kobling af transformere | 5 |
| 3.1 | Spændingsregulering st.26 | 5 |
| 3.2 | Problemstilling | 5 |
| 3.3 | Gennemførte test | 5 |
| 4 | Spændingskontrol i CPH – 48 stationer | 13 |
| 4.1 | CPHs 10kV net | 13 |
| 4.2 | Omfang af spændingskontrol | 13 |
| 4.3 | Opgørelse af årlig elbesparelse | 14 |
| 5 | Gener ved gennemførelse af spændingsregulering | 16 |
| 5.1 | Problemstilling | 16 |
| 5.2 | Svagere forsyning til kritiske maskiner | 16 |
| 5.3 | Svagere forsyning ved momentan indkobling af større elmotorer | 16 |
| 5.4 | Ændret forsyning til laboratorieområder | 16 |
| 5.5 | Ændret prioritering mellem Normal-, UPS- og Dieselforsyning | 17 |
| 5.6 | Ændret forsyning til regulatorer for banelys | 17 |
| 5.7 | Reduceret styrke og kvalitet for almene belysningsanlæg | 17 |
| 5.8 | SKP spænder ben for dybere sparetiltag | 17 |
| 6 | Spændingsvariationer som barriere | 18 |
| 6.1 | Spændingsvariation station 6 - Indenrigsgaarden | 19 |
| 6.2 | Spændingsvariation station 49 - Hilton | 21 |
| 7 | Test af rådgiverværktøj | 23 |
| 7.1 | Hilton | 23 |
| 7.2 | Shopping center Ralph Lauren | 24 |
| 7.3 | Shopping center Hugo Boss | 25 |
| 7.4 | Lufthavnsparkeringen, P4 | 26 |
| | Bilag 1. Kort beskrivelse af Elforsk-projekt nr. 343-004: | 27 |

1 Forord

I perioden 2010 til 2012 har Københavns Lufthavne gennem et større elbesparelses-program indeholdende nedjustering af det generelle spændingsniveau i Lufthavnen til ca. 220 volt.

Arbejdet er gennemført i tæt samarbejde med Kuben Management som har dokumenteret de opnåede elbesparelser efter foreliggende metoder/modeller på implementeringstidspunktet.

I samme periode har Københavns Lufthavne indgået i et generelt udviklingsprojekt betalt af Dansk Energi med nedenstående øvrige aktører:

- Dansk Energi Analyse, projektleder
- Teknologisk Institut, værktøjsudvikler & laboratoriemålinger
- Lokal Energi, test af værktøj
- Kuben Management, test af værktøj

Projektets hovedformål har været at udvikle et validt værktøj, som energirådgivere kan anvende sammen med slutbrugere for vurdering af potentialet i regulering af spændingsniveau.

Værktøjet skal endvidere kunne anvendes som dokumentationsgrundlag i fald en virksomhed beslutter at gennemføre en evt. spændingsregulering.

Københavns Lufthavne har pr. 30. august 2012 gennemført spændingskontrol på ca. 60% af lufthavnens elforbrug. Hvilket har resulteret i en årlig elbesparelse på ca. 3 % af lufthavnens elforbrug.

Værktøjet har oktober 2012 været afprøvet i 3 konkrete anvendelser. En er ved vurdering af potentialet for en mindre butik i shopping centret. En er ved vurdering af potentialet ved spændingsregulering for Hilton-hotellet. En er ved vurdering af potentialet for et P-Hus

Søren Hansen, Kuben Management
Jesper Siegmann, Københavns Lufthavne
Hans Andersen, Københavns Lufthavne

November 2012

2 Indledning

Elbesparelses tiltag, som skal gennemføres i Københavns Lufthavne vil altid blive screenet med henblik på nedenstående:

- Er der evt. risici (funktionalitet af anlæg) forbundet med gennemførelse af et givet tiltag
- Er der en solid business case forbundet med gennemførelse af et givet tiltag
- Er der garantier fra leverandører såfremt business case forudsætter besparelse realiseret over flere år i kombination med at investering skal gennemføres år 0

På ovenstående baggrund besluttede CPH tilbage i foråret 2010 at gennemføre nogle pilot-test på en forholdsvis "ufarlig" transformestation – station 26 – for at evaluere business-delen af en evt. spændingsregulering.

I og med at CPH kun har besluttet at regulere til 220 volt og rigtig mange ældre installationer er projekteret til dette spændingsniveau blev ikke foretaget en større risiko-analyse, men i separat kapitel er beskrevet, hvilke ulemper/gener CPH har erfaret i forbindelse med den meget gennemgribende ændring af spændingsniveauet – 60 % er forbruget er udsat for regulering.

I forbindelse med spændingsreguleringen har det også været et tema at få vurderet stabiliteten af den valgte påtrykte spænding. Stabiliteten kan have betydning for, hvor lavt et spændingsniveau der kan tillades reguleret til. Der er foretaget en række undersøgelser omkring nogle konkrete transformestationer. Disse undersøgelser er rapporteret i rapporten.

Endelig er det udviklede rådgiver værktøj testet i 3 konkrete anvendelser. Værktøjstesten er beskrevet og evalueret i denne rapport – evalueringen dækker både værktøjets anvendelighed samt validiteten af de potentialer, som udpeges.. Værktøjet kan anvendes til såvel anvisning som dokumentation af en gennemført spændingsregulering.

Værktøjet forelå ikke, da CPH gennemført hovedparten af til dato gennemført spændingskontrol. Besparelserne er på den baggrund opgjort på anden vis. Logikken bag anvendt metode er beskrevet i indeværende rapport.

3 Test af spændingsreduktionsudstyr og manuel kobling af transformere

3.1 Spændingsregulering st.26

CPH har gennem en periode udvalgt station 26 som demonstrationsområde pga. at stationen udelukkende forsyner ikke kritiske installationer. På denne transformerstation er afprøvet spændingsregulering efter nedenstående 3 metoder:

- Spændingsreduktionsudstyr lånt af firmaet PSS-energi.
- Spændingsreguleringsudstyr lånt af firmate ABB
- Spændingsregulering via anvendelse af viklingskobler på trafo
-

3.2 Problemstilling

Spændingsregulatoren fungerer ud fra en hypotese om, at spændingen generelt i CPH-området er blevet hævet 10-15 volt, indenfor intervallet af de fra elværket garanterede og EU-harmoniserede 230 volt $\pm 10\%$, (dvs. maks. 253 volt minimum 207 volt). Med højere spænding på nettet kan der overføres mere effekt.

Spændingsregulatoren fastholder spændingen dynamisk på eksempelvis 210 volt, ud fra at alt udstyr/apparater skal kunne fungere under denne spænding. En reduktion af spændingen forventes at resultere i en el/effekt-besparelse. På nogle installationer (køling, behovsstyret lys m.v.) vil reguleringen selv kompensere for den lavere spænding med en højere strøm, alternativt kompenseres med længere driftstid. Dog har størstedelen af lufthavnens anlæg ikke sådanne "lukkede reguleringssløjfer".

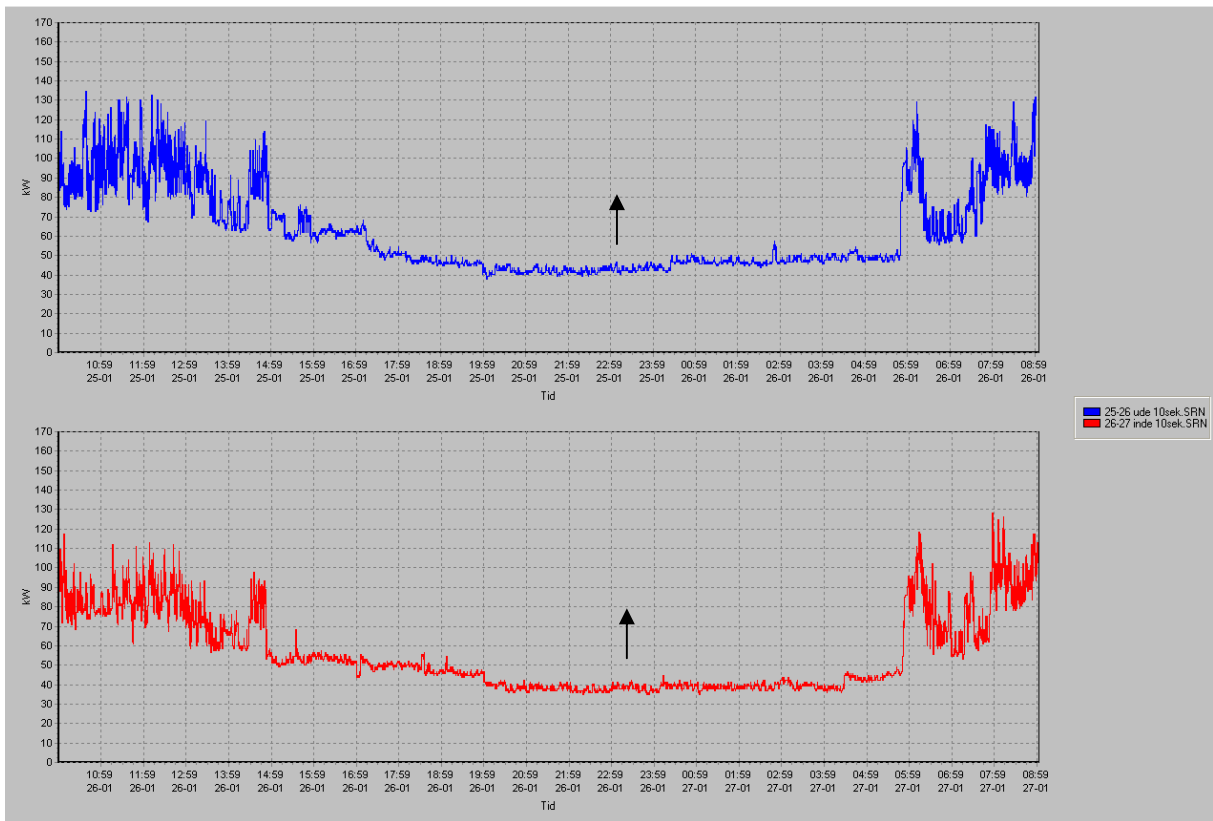
3.3 Gennemførte test

3.3.1 Test 1 – Schuntermann fra PSS

På station 26 er belastningen meget blandet – fra køl, lys, køkken m.v. til teknikergården i Magleby.

Der er derfor blevet gennemført nedenstående koblingssekvens, samtidig med at den indeholdte del af installationen har været forsynet med en datalogger (effektmåling over tid):

- Fredag 22. januar kl. 8.30 - Udstyret kobles på, Måling med 10 sek. tidsopløsning
- Mandag 25. januar kl. 8.30 - Udstyret kobles fra
- Tirsdag 26. januar kl. 8.00 - Udstyret kobles på
- Onsdag 27. januar kl. 8.00 - Udstyret kobles fra
- Torsdag 28. januar kl. 8.25 - Udstyret kobles på
- Fredag 29. januar kl. 08.08 - Udstyret kobles på
- Søndag 30. januar kl. 10.40 - Måling stoppes
- Søndag 30. januar kl. 10.45 - Måling startes med 10 ms tidsopløsning - Udstyret kobles på/fra i 3-4 minutters intervaller



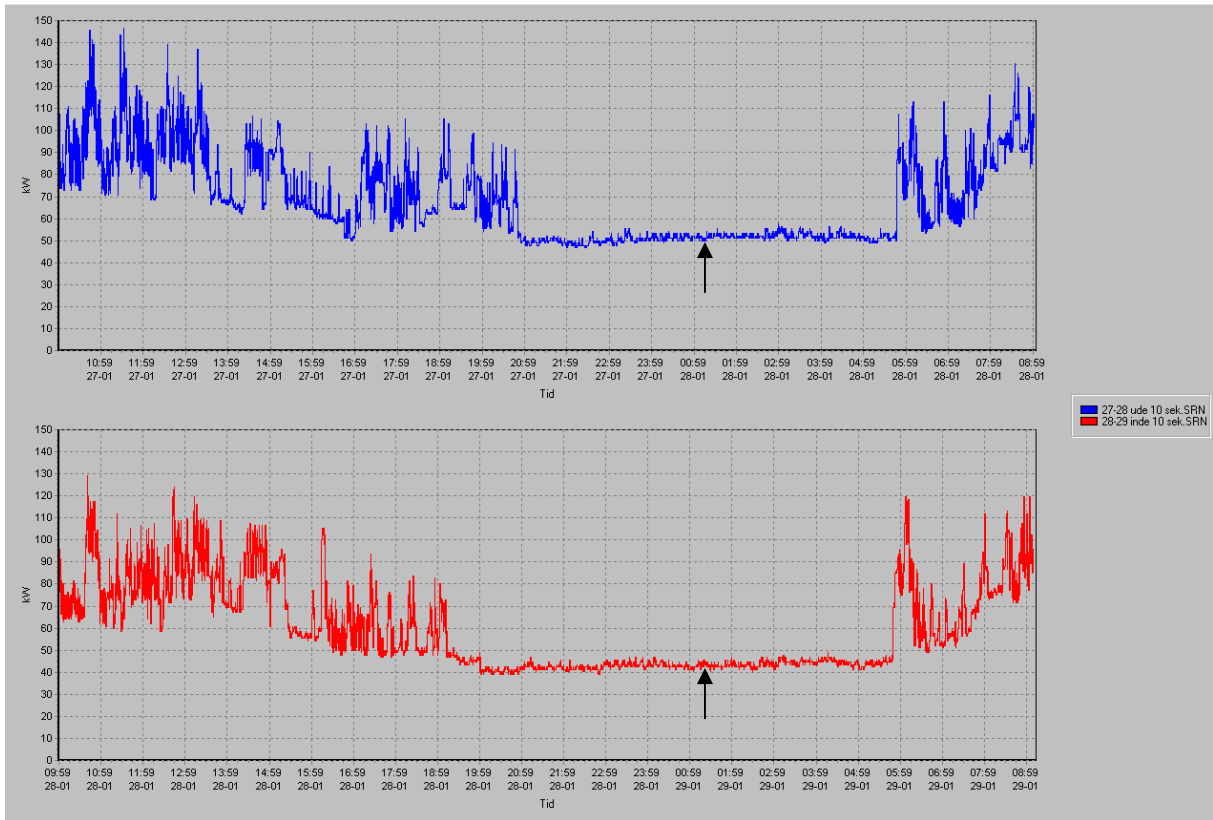
Figuren illustrerer, hvor ensartet de to døgn er i form af kurvernes ensartede udvikling – og giver således god mulighed for sammenligning.

Den 25. januar (blå graf) viser et almindeligt døgn uden spændingsregulering. Fra kl. 17 til og med kl. 6.00 den 26. januar viser grafen effekten for nattedrift, der ligger og svinger på mellem 40 – 50 kW. Den 26. januar (rød graf) viser et døgn med tilkobling af spændingsreguleringsudstyret. Her falder spændingen i dagtimerne, men mest interessant er det, at kurven falder på et stabilt mindre niveau om natten.

Yderligere kan ses – ved at se detaljeret på grafen – at effekten om natten ved stabil belastning falder fra ca. 42 kW uden udstyret tilkoblet til ca. 38 kW ved tilkobling af udstyr, dvs. 10 % reduktion af effekten.

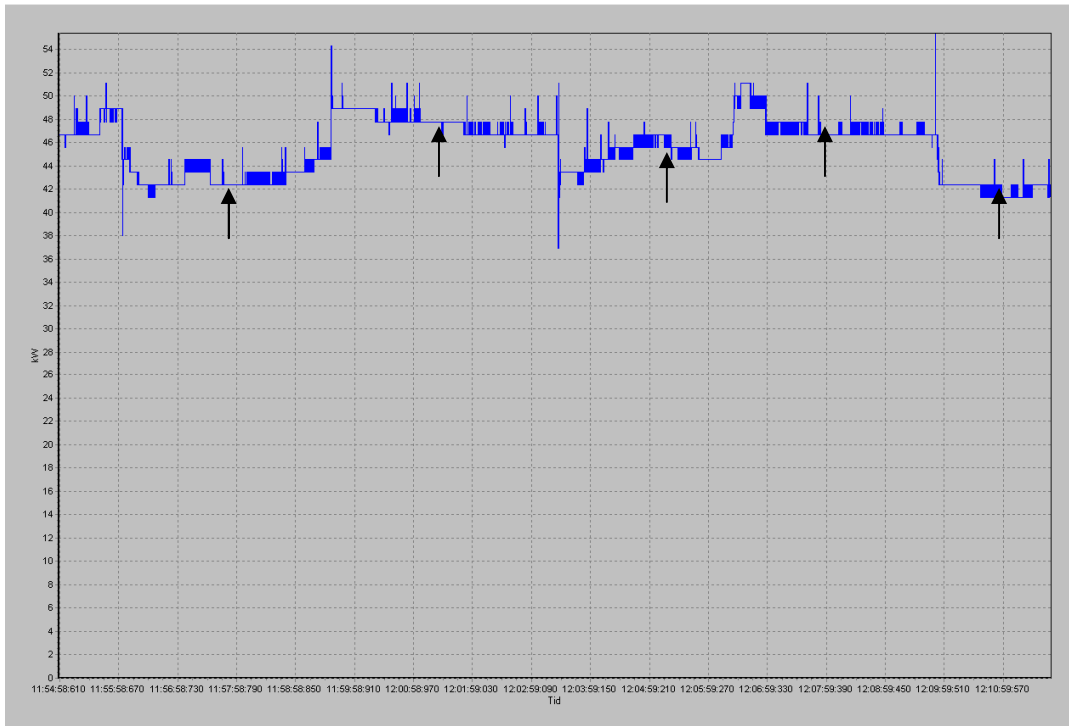
Den gennemsnitlige effekt beregnet på en 23-timers periode er, uden tilkobling, 63 kW, mens den gennemsnitlige effekt efter tilkobling er reduceret til 56 kW, dvs. 11 % effektreduktion.

De nævnte værdier er beregnet med databehandlingsprogrammets makroer – altså ikke skønnet ved aflæsning af kurverne.



Figuren illustrerer, at de to døgn er svært sammenlignelige, da belastningen mellem de to dage er meget forskellig i dagstimerne. Derfor giver effekten i dagstimerne ikke grundlag for sammenligning.

Dog er det igen tydeligt at natten med spændingsregulering tilkoblet, ligger markant lavere – ca. 10% lavere - rent effektmæssigt.



Når der ses mere detaljeret på graferne (her 30. januar) er til- og frakoblingerne med det spændingsregulerende udstyr meget tydelige på kurven (se pile). Udstyret tilkobles 3 gange, og hver gang reduceres effektoptaget med ca. 10 % (de tre dyk i kurven). Udstyret frakobles 2 gange (de to stigninger i kurven), og hver gang stiger effekten med ca. 10 % tilbage til niveauet før tilkoblingen.

Konklusion

De udførte målinger på station 26 viser, at en spændingsreduktion resulterer i markante el-besparelser.

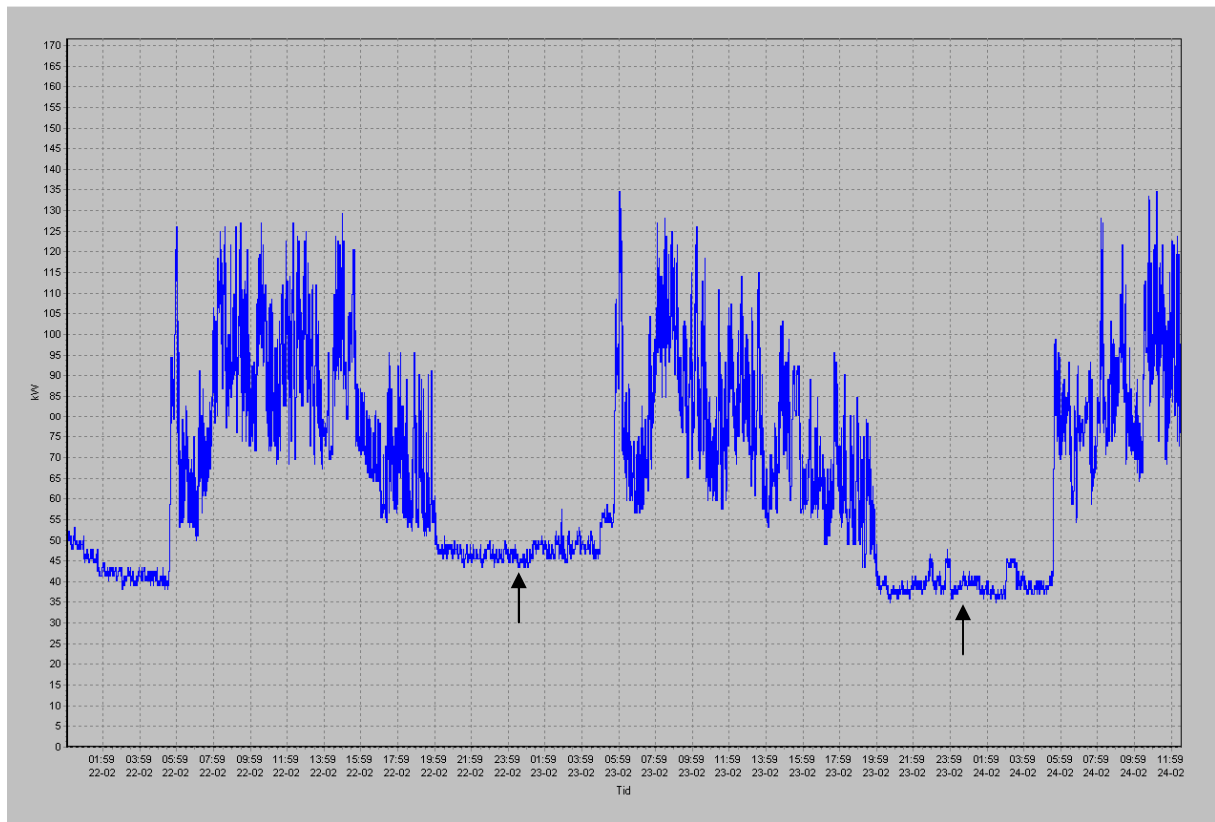
Belastningen er meget blandet på den testede installation, og er forskellig fra dag til dag afhængigt af intensiteten i aktiviteterne:

- Lysanlæg i garagerne
- Kantinegrej – inkl. køle- og fryseanlæg
- Værkstederne – inkl. maskiner og trykluft
- Kontorerne i Magleby

Spændingskontrol med Schuntermann station 26, Magleby - 630 kVA, vil med 10 % besparelse kunne resultere i en årlig el-besparelse på ca. 250.000 kWh – svarende til ca. 250.000 kr., ved den elpris, der er gældende for Københavns Lufthavne. Investeringen for et anlæg af denne størrelse vil med en pris på 800 kr. pr. ampere anslå et niveau på 500.000 kr. – hvilket indikerer, at der umiddelbart findes en business case som kan opfylde CPHs normale investeringsbetingelser.

3.3.2 Forsøg 2 – Converter fra ABB

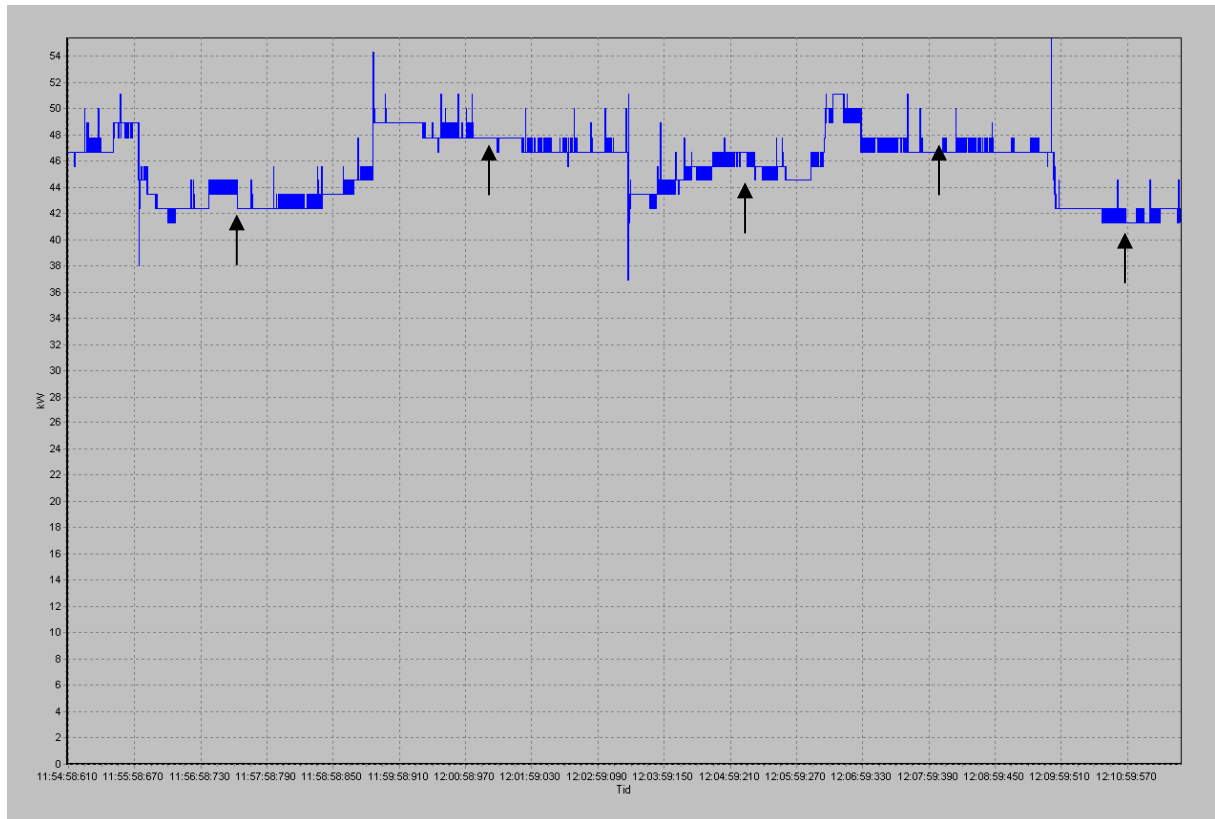
ABB-udstyret var installeret i en periode på 1-2 uger februar 2010 og blev sat til præcis samme udgangsspænding som Schuntermann under forsøg 1 – 212 volt på afgangen fast.



På kurven ses præcis samme effekt ved at kigge specielt på nætterne, når belastningen ligger relativt stabilt.

Effektoptaget reduceres med ca. 10 % fra ca. 45 kW til ca. 40 kW.

Som ved forsøg 1 gennemførtes én supplerende test med høj tidsopløsning – 10 ms, for inspektion af effekten under til- og frakobling:



For ABB-produktet er billedet ligeledes meget tydeligt. Effekten kan tydeligt registreres, hvor kurven henholdsvis stiger og falder, alt efter om ABB-produktet kobles til eller fra (3 tilkoblinger, 2 frakoblinger).

Konklusion

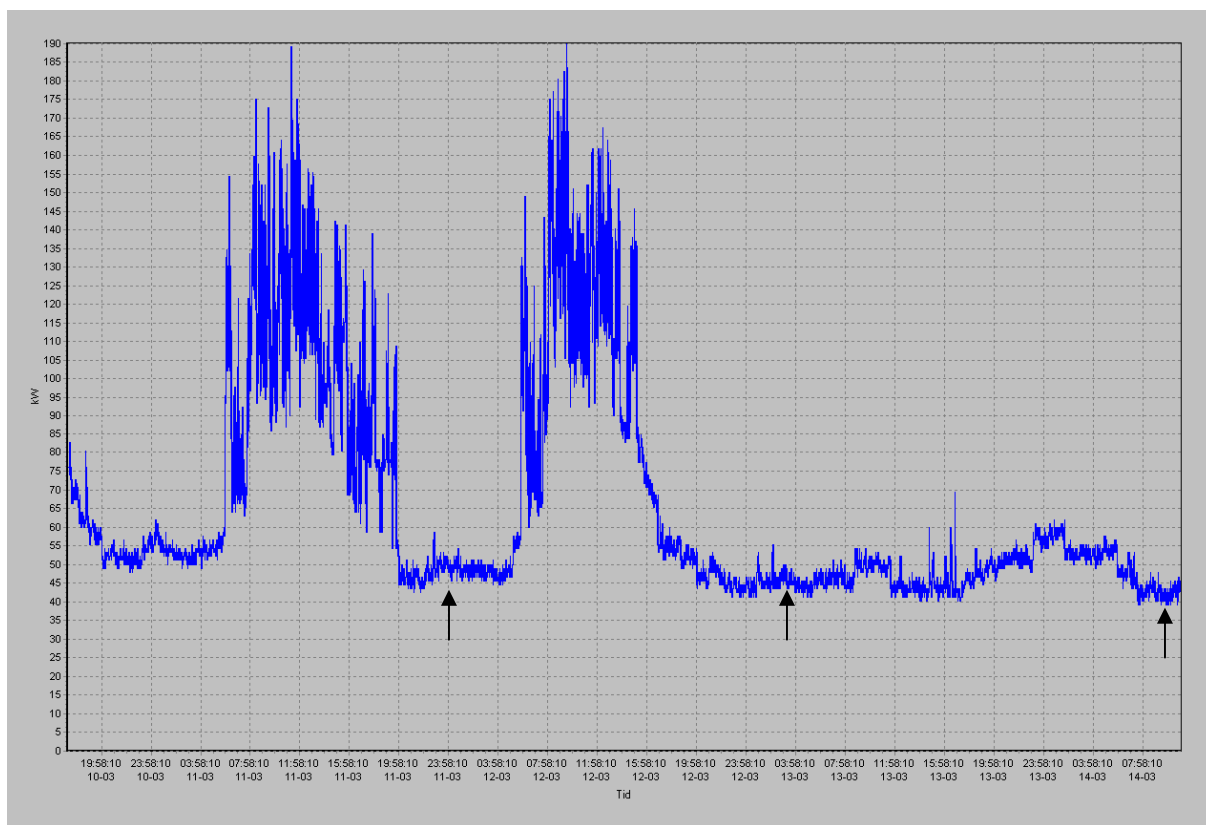
Effektspringene er i størrelsesordenen 4-6 kW ud fra et niveau på 46-48 kW. Dette giver en effektbesparelse på minimum 10 %.

Spændingskontrol med ABB-Converter station 26, Magleby - 630 kVA, vil med 10 % effektbesparelse kunne resultere i en årlig el-besparelse på ca. 250.000 kWh – svarende til en årlig besparelse på ca. 250.000 kr med elpriserne gældende for Københavns Lufthavne. Med en pris på ca. 800 kr. pr. ampere vil der være en fornuftig businesscase ved at gennemføre tiltag.

3.3.3 Forsøg 3 – manuel kobling med CPH-transformer

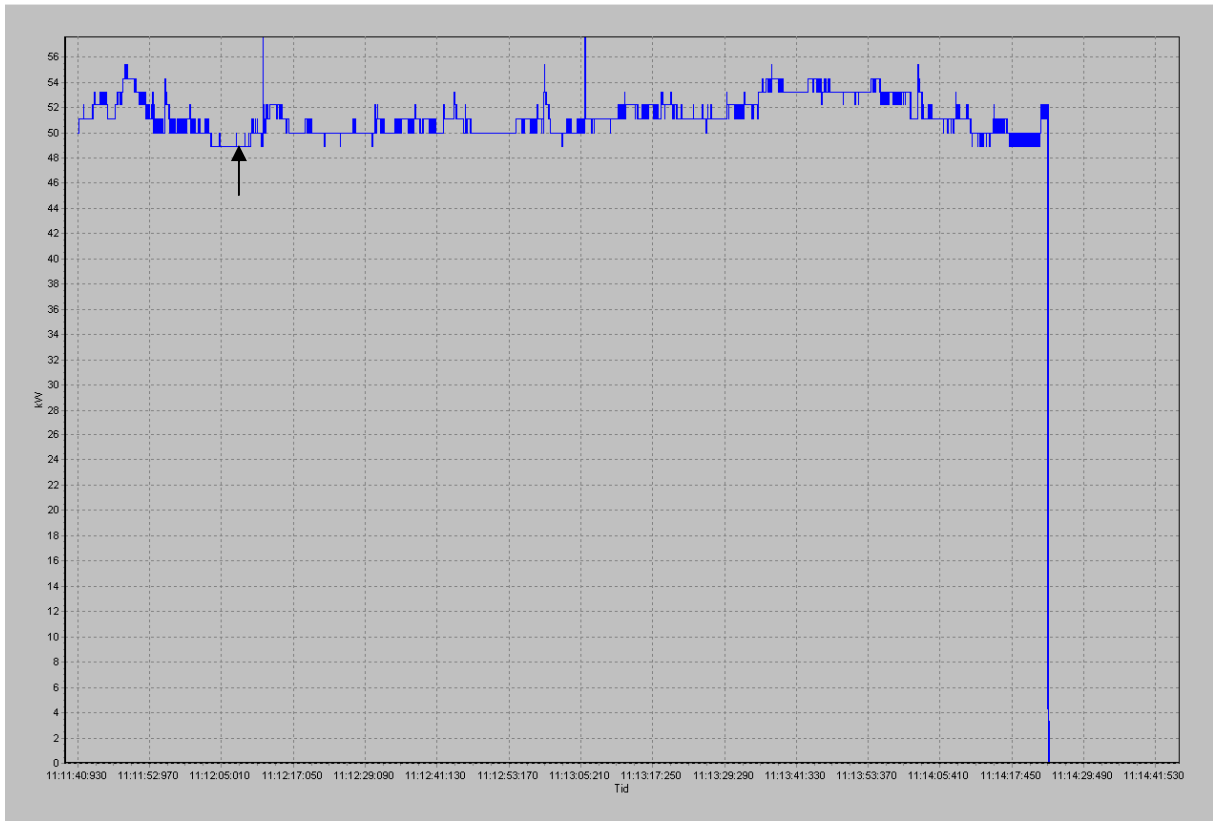
Det sidste forsøg blev foretaget marts 2010 med manuel trinregulering.

Figuren nedenfor viser effektbilledet med transformerkobleren placeret i det laveste trin 1 (nedsat fra trin 3). I dette trin er spændingen reduceret til 215-220 volt, afhængigt af transformerens primærspænding.



Figuren illustrerer, at effekten om natten reduceres til et niveau på ca. 44 kW – altså noget højere end tilfældet var med de 2 tilkoblede produkter, Schuntermann og ABB. Dette svarer fint til forventningen, da spændingsniveauet er noget højere end de 211 volt som tilfældet var med de 2 indkoblede udstyr.

Da en til- og frakobling af transformeren er en længerevarende sekvens, af en varighed på op til 3-5 minutter, er det ikke muligt at producere en måling, som følger effekten lige omkring koblingssekvensen. Nettet gøres helt spændingsløst under frakobling, hvilket betyder at bl. a. pumper kobler momentant ind ved tilkoblingen igen.



Der er produceret en måling ved første trinkobling, som illustrerer at den nye "blivende effekt" når et niveau på 48-50 kW, hvilket indikerer et spare-potentiale på 8 – 10 %.

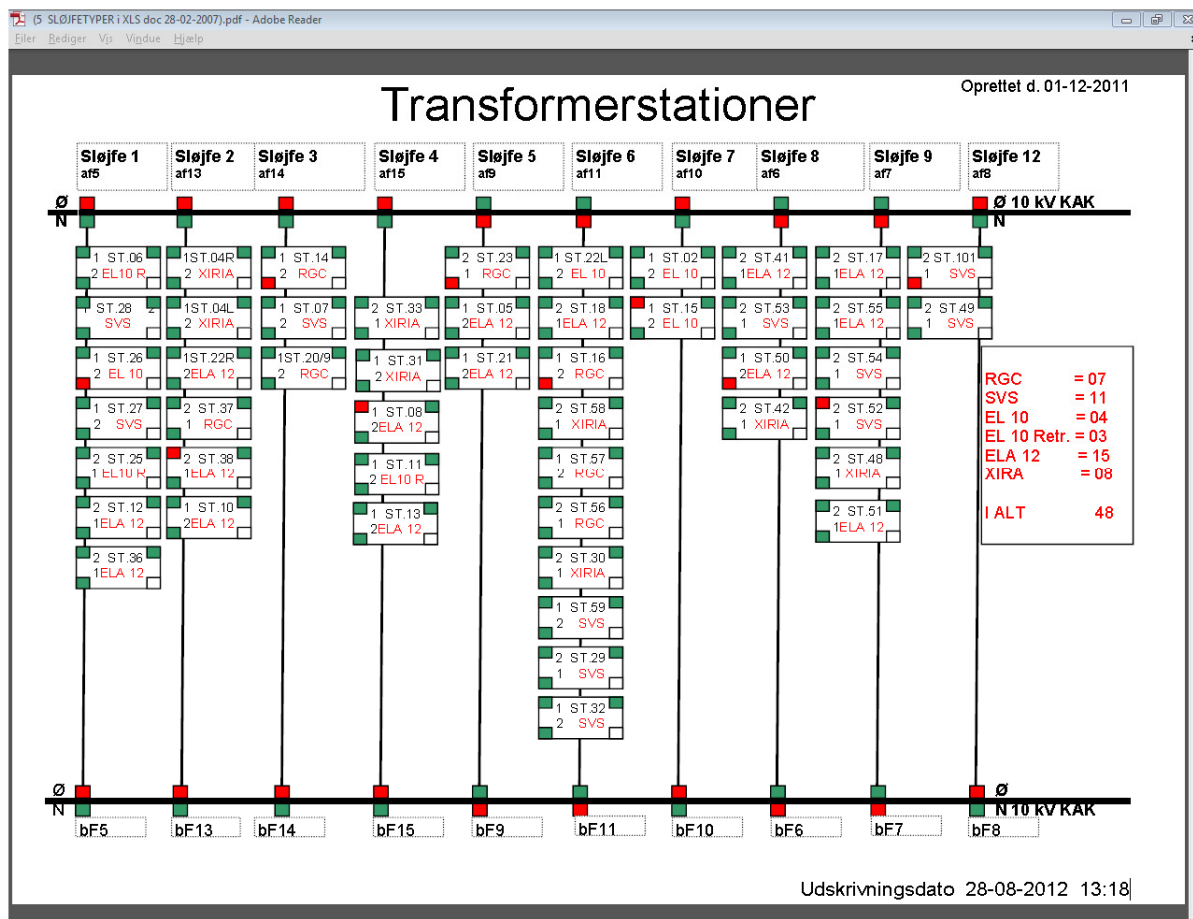
Konklusion

På station 26 er spændingen nu permanent reduceret ved at trinkobleren er sat fra trin 3 til trin 1. Spændingen er reduceret: Søndage 229v til 220v, svarende til 4 % (målt søndag 14. Marts kl. 10-11) Det månedlige elforbrug er reduceret med 8 %, svarende til en årlig besparelse på 160.000 kWh.

4 Spændingskontrol i CPH – 48 stationer

4.1 CPHs 10kV net

I figuren nedenfor er vist, hvorledes CPHs elnet består af 2 10kV skinner (egne anlæg) som forsyner ca. 48 10/04 stationer i 10 separate sløjfer. Sløjfen kan afbrydes fleksibelt, således at alle stationer kan forsynes fra hver skinne af hensyn til forsyningsikkerheden.



4.2 Omfang af spændingskontrol

I tabellen nedenfor er de 20 største transformerstationer grupperet efter størrelse af årligt elforbrug (2010 elforbrug).

For de med grønt markerede stationer er spændingskontrollen gennemført. Øvrige stationer er endnu ikke koblet. Manglende kobling kan skyldes at stationen er "et-benet", hvilket bevirker at kobling nødvendiggør en længerevarende strømafbrydelse som kræver nøje planlægning.

For alle koblede stationer er registreret:

- Koblingstidspunkt
- Spænding før (øjebliksmåling)
- Spænding efter (øjebliksmåling)

| Stationsnummer & navn | Årligt forbrug | Ufør | Trin før | Dato | Klokke slet | Uefter | Trin efter | Tid | Ufør | Uefter |
|---------------------------------------|----------------|------|----------|------------|-------------|--------|------------|------|------|--------|
| Station 023 - Terminal 3 | 10.759.478 | | | | | | | | | |
| Station 008 - Terminal 2 øst | 9.559.850 | 226 | 3 | 10-06-2011 | 8 | 220 | 2 | 8 | 226 | 220 |
| Station 005 - Terminal 2 vest | 7.004.350 | 225 | 3 | 05-07-2011 | 9 | 220 | 2 | 9 | 225 | 220 |
| Station 016 - SAS Cargo og Hangar 3+4 | 5.546.675 | 229 | 3 | 29-06-2011 | 10,5 | 217 | 1 | 10,5 | 229 | 217 |
| Station 014 - Bagagesortering m.v. | 5.242.753 | 234 | 3 | 03-04-2012 | 10,5 | 223 | 2 | 10,5 | 234 | 223 |
| Station 049 - Hilton og P9 m.v. | 5.072.519 | | | | | | | | | |
| Station 051 - GAP Cargo Center | 3.334.454 | 229 | 3 | 16-06-2010 | 10 | 222 | 2 | 10 | 229 | 222 |
| Station 027 - SLV blok 5 og 6 | 3.280.544 | | | | | | | | | |
| Station 050 - Veterinære Cargo m.v. | 3.244.503 | 231 | 3 | 21-03-2011 | 9 | 223 | 2 | 9 | 231 | 223 |
| Station 037 - KLH administration | 3.211.269 | 227 | 3 | 06-07-2011 | 8,5 | 221 | 2 | 8,5 | 227 | 221 |
| Station 011 - Finger C midt | 3.076.611 | 226 | 3 | 16-06-2010 | 11 | 221 | 2 | 11 | 226 | 221 |
| Station 007 - Kontorhus NV | 2.976.419 | 231 | 3 | 16-06-2010 | 7,5 | 221 | 2 | 7,5 | 231 | 221 |
| Station 025 - SLV tårn og sikring | 2.941.265 | | | | | | | | | |
| Station 036 - Terminal 1 vest | 2.414.237 | 230 | 3 | 28-05-2010 | 8 | 224 | 2 | 8 | 230 | 224 |
| Station 013 - Finger C ydre | 2.097.451 | 223 | 2 | 22-02-2011 | 8,5 | 223 | 2 | 8,5 | 223 | 220 |
| Station 017 - Hangar 5 | 1.979.092 | 230 | 3 | 10-03-2011 | 9 | 230 | 3 | 9 | 230 | 220 |
| Station 010 - Finger B midt | 1.902.078 | 232 | 3 | 16-02-2011 | 9 | 221 | 1 | 9 | 232 | 221 |
| Station 015 - Hangar 1 | 1.605.689 | 228 | 3 | 28-06-2011 | 13,5 | 221 | 2 | 13,5 | 228 | 221 |
| Station 020 - Finger A ydre | 1.580.157 | 228 | 3 | 08-07-2011 | 8,5 | 221 | 2 | 8,5 | 228 | 221 |
| Station 026 - Teknikergård m.v. | 1.484.465 | 229 | | | | 220 | | | 229 | 220 |
| Station 052 - SAS Commuter | 1.357.528 | | | | | | | | | |

De 20 største transformerstationer dækker et samlet elforbrug på ca. 80GWh svarende til 80% af det totale elforbrug i Københavns Lufthavn.

Figuren viser at fasespændingen før kobling typisk har ligget i området 227-230 volt og der efter kobling tilstræbes et niveau på ca. 220 volt fasespænding.

De med gult markerede stationer har ikke kunnet kobles endnu grundet manglende mulighed for strømafbrydelse.

4.3 Opgørelse af årlig elbesparelse

Som figuren viser, er størstedelen af koblingerne foregået i 2010 og 2011. Det har været meget vanskeligt at opgøre effekten af tiltaget, da elforbrug i Københavns Lufthavne er en meget dynamisk størrelse afhængig af:

- Passagerantal
- Vejrlig
- Belægning i lufthavn - hvor kommer/går trafikken fra
- Udvikling i butikscentre
- Udvikling i kontor faciliteter

Det vurderes dog meget sandsynligt at "spændingskontrol" har en mærkbar positiv effekt i og med det totale elforbrug i Lufthavnen er reduceret fra 101,3 GWh i 2009 til 98,3 GWh i 2011. I samme periode er passagertallet steget fra 19,7 millioner passagerer til 22,7 millioner passagerer.

Til dato er anvendt følgende opgørelsesmetode:

Besparelse = faktor*(1-(Ue/Uf)^2)*årsforbrug

Den anvendte faktor vurderes ud fra brugsandelen med "spændingsafhængigt" forbrug.

På de 13 koblede stationer er realiseret/dokumenteret et potentiale på 2,9 GWh pr. år svarende til ca. 6 % af det spændingsregulerede elforbrug.

5 Gener ved gennemførelse af spændingsregulering

5.1 Problemstilling

Københavns Lufthavne har siden foråret 2010 reduceret spændingen på 30 ud af 54 10/0,4 transformerstationer. Ca. 60 % af Lufthavnens årlige elforbrug på 100 GWh er nu omfattet af spændingskontrolprogrammet, omtalt SKP i den resterende del af notatet.

Lufthavnen har besluttet at anvende transformerens viklingskoblere til at ramme en spænding på transformerens sekundærside tæt på 220V. Spændingen på sekundærsiden af transformerne var før SKP ca. 229 V. Der er typisk koblet 2 trin.

Lufthavnen er forsynet fra 132kV niveau gennem en på Lufthavnsområdet placeret 132/10 koblingsstation. Det er på den baggrund antagelsen at Lufthavnens er forsynet med en relativ "stiv spænding".

Spændingskontrol-programmet er udelukkende implementeret med henblik på meget kost-effektiv realisering af elbesparelser. Lufthavnen har pr. 1. juli 2012 realiseret ca. 3,5 GWh/år med en investering på under 500.000 kr., da SKP er implementeret som en del af den lovpligtige højspændingsservice på transformerne.

I perioden er der registreret nogle udfordringer/ulemper i forbindelse med SKP, hvilket den resterende del af kapitlet behandler

5.2 Svagere forsyning til kritiske maskiner

I forbindelse med SKP på bane-station (store fysiske afstande for 400V system) oplevedes, at UPS-forsyningen til en radar fik ustabil drift. Nedsættes spændingen til 220V bør man sikre sig via fysisk måling, at der haves minimum 207V ved fjerneste udtag. Løsning kunne være en lokal "op transformering" såfremt øvrige forbrugere på installationen kan operere med en spænding på eksempelvis 207V.

5.3 Svagere forsyning ved momentan indkobling af større elmotorer

I forbindelse med SKP på en station som forsyner Hangar område er der konstateret momentane drop til under grænsen på 207V ved indkobling af kompressor-anlæg. Den generelle sænkning på ca. 10V har bevirket, at der er større risiko for, at spændingen ind imellem falder så langt ned, at motorer har vanskeligt ved at starte. Løsningen på problemet kan være installation af "soft-starter udrustning" på den pågældende kompressor, således at effekterne fra en momentan indkobling af større elmotorer helt elimineres.

5.4 Ændret forsyning til laboratorieområder

I forbindelse med SKP på en station som forsyner værksteder med finmekanik er oplevet ændret funktionalitet for nogle af de anvendte måleinstrumenter. En løsning kan være at installere dynamisk SKP i det pågældende område, således at man er helt sikker på den forsynde spænding og kan kalibrere måleinstrumenter i henhold hertil. Det er lidt tilfældigt, at der i det pågældende værksted før SKP har været en "stiv forsyning" meget tæt på 230V. En løsning kunne også være at købe/kalibrere måleudstyr, som fungerer i hele området 207-253 V.

5.5 Ændret prioritering mellem Normal-, UPS- og Dieselforsyning

Den reducerede normalforsyning ved SKP har bevirket at UPS-forsyningen har overtaget forsyningen på installationer. Løsningen på problemet er at justere set-punkter på UPS- og Dieselanlæg, således at de følger det nye generelle spændingsniveau på 220V.

5.6 Ændret forsyning til regulatorer for banelys

Det gennemførte SKP på stationer som forsyner banelys har givet gener ved skift fra KAT3 drift (Diesel forsyning i tåget vejr) til normalforsyning. Det pågældende lyssystem er via regulatorer styret til at levere konstant effekt (konstant lys). De uens set-punkter for Dieselmaskine og normalforsyning bevirker at regulatorer kompenserer med højere strøm for at levere den konstante effekt til lampen, hvilket betyder øget slid på lamperne. Løsning kan være at justere setpunkter Dieselforsyningen og normalforsyning imellem. Alternativt kan SKP udelades på banestationer, da sparepotentialet er beskedent som følge af det anvendte reguleringsprincip på banelys.

5.7 Reduceret styrke og kvalitet for almene belysningsanlæg

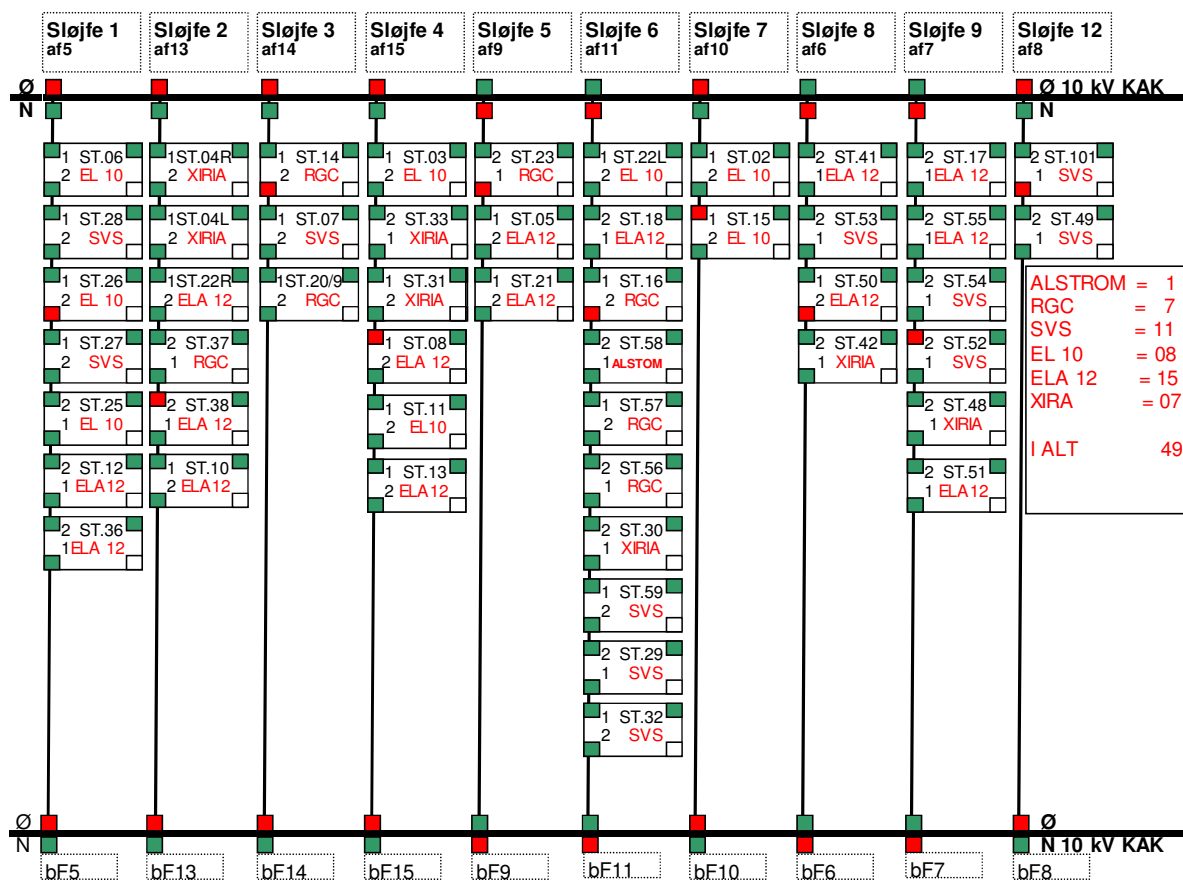
Der er gennemført SKP for alle typer af almen belysning i CPHs terminal-område. De ca. 10V reduktion har ingen bemærket overhovedet – heller ikke i CPHs shoppingcenter hvor der er meget metalhalogen anvendt som dekorationsbelysning. Skulle enkelte klager på sigt opstå har CPH besluttet at designe nyt anlæg med udgangspunkt i de 220V fremfor at lade et mindre område sætte standarden for en hel transformer.

5.8 SKP spænder ben for dybere sparetiltag

SKP har resulteret i elbesparelser på 5-6% for involverede installationer. Dette vil i teorien betyde, at toppen af benefits i evt. besparende foranstaltninger allerede er realiseret og dermed kan gøre det svært at komme igennem med øvrige tiltag. I CPH vil de allerede realiserede 5-6 % dog ikke spænde ben for sparetiltag i og med det som oftest er markante ændringer i anlægsydelse, ændrede driftstider og/eller ny teknologi der er på bordet for at imødegå CPH generelle krav til afkast på energibesparende investeringer.

6 Spændingsvariationer som barriere

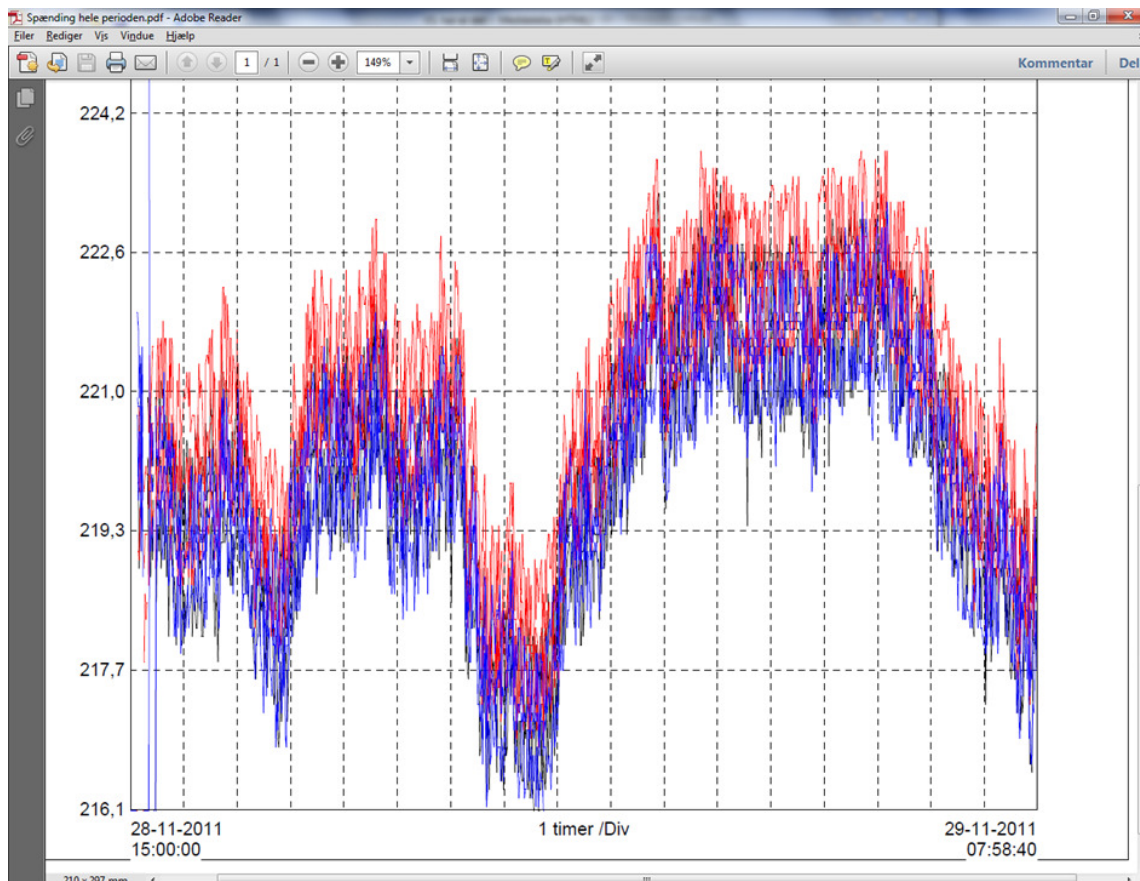
Figuren nedenfor viser, hvorledes CPHs 10/04 transformere er installeret på 10 10kV sløjfer:



Det er forventningen, at 10kV spændingen – primær spænding på CPH-net – er meget stabil, da der er korte 10 kV kabler til en central 132/10 kV transformerstation.

6.1 Spændingsvariation station 6 - Indenrigsgaarden

På trods af forventningen om en stabil spænding er der foretaget en måling for vurdering af evt. døgnvariation i spændingen på 400V siden af transformeren:



Målingen er foretaget efter spændingsregulering.

Station 6 som er en del af højspændingsløjfe nr. 1 er placeret 7-800 meter fra de 2 10kV samleskinner. 10 kV ledningen fra samleskinnen ud til station 06 belastes i den normale koblingsituation med elforbruget fra stationerne:

- St06, 1175 MWh pr. år
- St26, 1184 MWh pr. år
- St28, 169 MWh pr. år

Et andet forhold som kendetegner sløjfen med station06 er lokal elproduktion i tilknytning til station 26. Den lokale elproduktion består af 2 80 kW naturgasdrevne turbiner, som i et normalt år producerer ca. 1200 MWh som indføres via station 26.

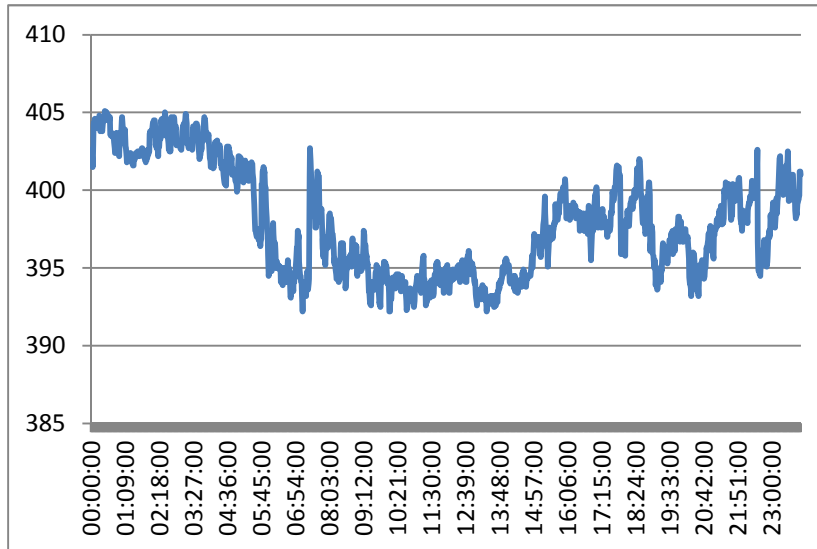
På basis af ovennævnte er spændingsvariationen på halvdelen af sløjfe 1 vurderet som at være typisk for CPH's stationer.

Variationen understøtter i øvrigt CPH's tilgang med viklingskablerne: Nedregulering til 220 Volt.

Ved 220 Volt som spændingsmål gives luft ned til 207 Volt, således at variationer kan accepteres i et givent omfang.

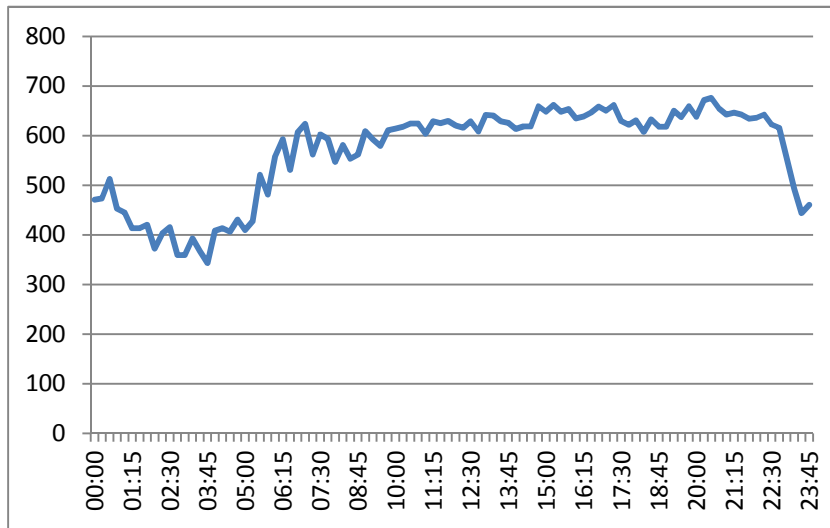
6.2 Spændingsvariation station 49 - Hilton

Der er også er gennemført spændingsmåling over et repræsentativt døgn i forbindelse med vurdering af Hiltons egnethed for gennemførelse af spændingsreduktion.



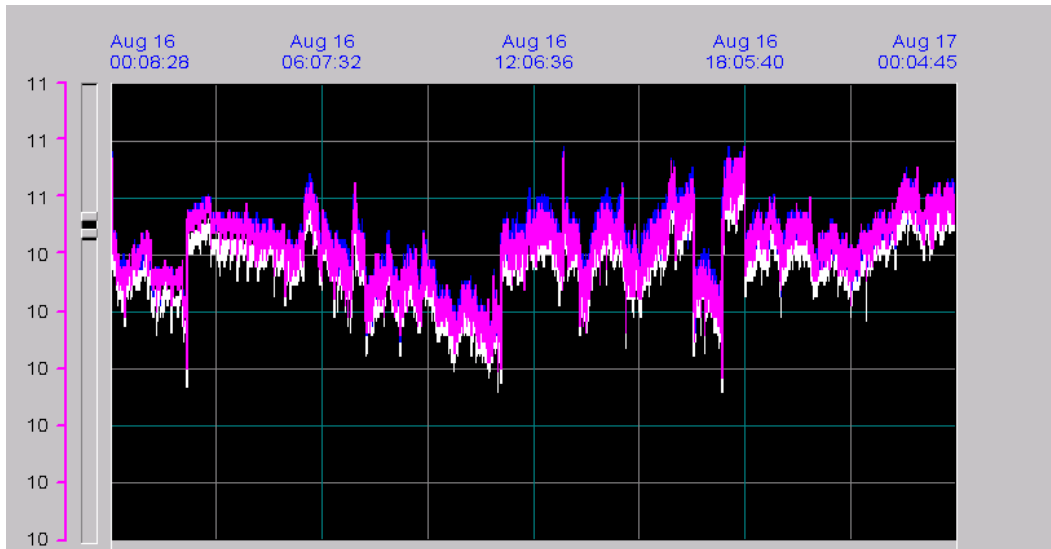
Billedet er stort set det samme som ved målingen i Indenrigsgaarden, hvilket betyder variationer i fasespændingen på op til 7V, 234-227 V.

I Figuren nedenfor ses belastningsvariationen i samme repræsentative døgn for den pågældende transformer.



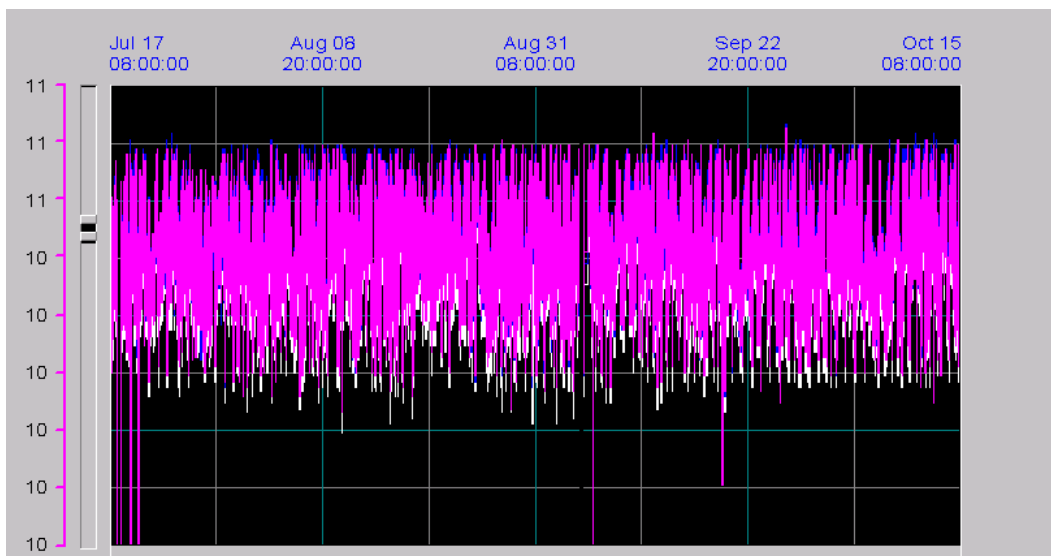
De to figurer viser sammen, at spændingsvariationen på lavspændingssiden ikke alene kan skyldes variationer i belastningen på lavspændingssiden. I perioder ses spændingen at henholdsvis stige og falde på trods af en relativt konstant belastning på 600 kW i perioden fra kl. ca. 6.30 til kl. 22.30.

Som supplement til de gennemførte målinger på lavspændingssiden af transformerne er gennemført nogle "screen-dumps" fra overvågningssystemet på højspændingssiden.



Figuren ovenfor viser, at spændingen på 10 kV-skinen, Indgangsfeltet fra DongEnergy, varierer med ca. 400 V, 10,2kV–10,5kV i løbet af et repræsentativt døgn. På lavspændingsniveau svarer dette til en variation i fasespænding på op til 9 Volt.

Figuren Nedenfor – de sidste 3 måneder - viser at spændingsvariationen på højspændingssiden er gennemgående



7 Test af rådgiverværktøj

7.1 Hilton

7.1.1 Anvendelse af værktøj

Spændingssænkning:

| Periode | Nuværende sp., V | Spænding sænkes til, V | Spændingsreduktion, % | Driftstid, h/år |
|--------------------------------|------------------|------------------------|-----------------------|-----------------|
| 1 | 229,5 | 220,0 | 4,1 | |
| 2 | | | 0,0 | |
| 3 | | | 0,0 | |
| Sum | | | | 0 |
| Manglende timer ift. 8760 h/år | | | | 8.760 |

Spændingsreduktionen på Hilton udføres ved at bruge 10/0,4 transformernes viklingskoblere. Således er det primært spændingen før omkobling der skal vurderes. I Hiltons tilfælde med et årligt elforbrug på mere end 4 GWh er foretaget en før-måling af spændingen på de 3 faser, og middelspændingen er beregnet til 229,5 Volt. Spændingen efter er sat til målsætningen 220 Volt, hvilket måske ikke kan rammes præcist med viklingskablerne.

Resultater:

| | Periode 1 | |
|-----------|------------------|-------------------|
| | Elforbrug kWh/år | Besparelse kWh/år |
| Lyskilder | 155.691 | 12.889 |
| Motorer | 368.095 | 1.436 |
| Varme | 0 | 0 |
| I alt | 523.787 | 14.325 |

På Hilton er udarbejdet energimærke for nylig, dermed er overblik over tekniske anlæg samlet i denne rapport.

På belysnings siden er efter gennemgang og dialog med teknisk personale kortlagt nogle anlæg med lysstofrør.

Samlet er kortlagt et forbrug på 524 MWh pr. år som spændingsafhængigt elforbrug. Dette svarer til 12 % af det årlige elforbrug for det ca. 10 år gammelt hotel, som har skiftet meget halogenlys til LED-lys.

7.1.2 Anvist potetiale

| Data til lagkage: | kWh/år | % |
|------------------------------|-----------|------|
| Lyskilder efter besparelsen | 142.802 | 3,3 |
| Elbesparelse, lyskilder | 12.889 | 0,3 |
| Motorer efter besparelsen | 366.659 | 8,4 |
| Elbesparelse, motorer | 1.436 | 0,0 |
| Varme efter besparelsen | 0 | 0,0 |
| Elbesparelse, varme | 0 | 0,0 |
| Elforbrug, der ikke påvirkes | 3.862.710 | 88,1 |

Et meget beskedent spare potentiale på ca. 14 MWh er anvist på Hilton hotel.

Viklingskoblingen på Hilton har derfor lav prioritet og vil/skal ske i koordination med andre arbejder på transformerstationen, som er planlagt til 1. halvår 2013.

7.2 Shopping center Ralph Lauren

7.2.1 Anvendelse af værktøj

Spændingssænkning:

| Periode | Nuværende sp., V | Spænding sænkes til | Spændingsreduktion, | Driftstid, h/år |
|--------------------------------|------------------|---------------------|---------------------|-----------------|
| 1 | 225,2 | 217,0 | 3,7 | 8.760 |
| 2 | | | 0,0 | |
| 3 | | | 0,0 | |
| Sum | | | | 8.760 |
| Manglende timer ift. 8760 h/år | | | | 0 |

Det årlige elforbrug er på 32.234 kWh. Middelspændingen er beregnet til 225,2 Volt, ud fra et gennemsnit af trafo 46-47 og 48. Spændingen efter er et målt gennemsnit af de 3 transformere på 217 Volt.

Resultater:

| | Periode 1 | |
|-----------|---------------------|----------------------|
| | Elforbrug kWh/år | Besparelse kWh/år |
| Lyskilder | 31.378 | 1.827 |
| Motorer | 0 | 0 |
| Varme | 0 | 0 |
| I alt | 31.378 | 1.827 |

Kortlægningen af belysningen - der består af Halogenspots og lysstofrør, hvor største delen er halogenspots - har afstedkommet et registreret årligt forbrug på 31.378 kWh. En mindre afvigelse set i forhold til det oplyste forbrug.

7.2.2 Anvist potentiale

| Data til lagkage: | kWh/år | % |
|------------------------------|--------|------|
| Lyskilder efter besparelsen | 29.552 | 91,7 |
| Elbesparelse, lyskilder | 1.827 | 5,7 |
| Motorer efter besparelsen | 0 | 0,0 |
| Elbesparelse, motorer | 0 | 0,0 |
| Varme efter besparelsen | 0 | 0,0 |
| Elbesparelse, varme | 0 | 0,0 |
| Elforbrug, der ikke påvirkes | 856 | 2,7 |

Spændingsregulering: København Lufthavn: November 2012

7.3 Shopping center Hugo Boss

7.3.1 Anvendelse af værktøj

Spændingssænkning:

| Periode | Nuværende sp., V | Spænding sænkes til | Spændingsreduktion, | Driftstid, h/år |
|--------------------------------|------------------|---------------------|---------------------|-----------------|
| 1 | 225,2 | 217,0 | 3,6 | 5.110 |
| 2 | | | 0,0 | |
| 3 | | | 0,0 | |
| Sum | | | | 5.110 |
| Manglende timer ift. 8760 h/år | | | | 3.650 |

Det årlige elforbrug er på 53.455 kWh. Middelspændingen er beregnet til 225,2 Volt, ud fra et gennemsnit af trafo 46-47 og 48. Spændingen efter er et målt gennemsnit af de 3 transformere på 217 Volt.

Resultater:

| | Periode 1 | |
|-----------|------------------|-------------------|
| | Elforbrug kWh/år | Besparelse kWh/år |
| Lyskilder | 29.541 | 2.136 |
| Motorer | 0 | 0 |
| Varme | 0 | 0 |
| I alt | 29.541 | 2.136 |

Kortlægningen af belysningen der består af Metalhalogen og lysstofrør, hvor største delen er metalhalogen, har afstedkommet et registreret årligt forbrug på 29.541 kWh. En større afvigelse set i forhold til det oplyste forbrug. Det viser vigtigheden i at få interviewet personale / teknisk personale og få så korrekte oplysninger om drift forhold som muligt. Der vil altid være en forskel i det oplyste og registrerede forbrug. Ikke alle forbrugskilder vil kunne lokaliseres og registreres, idet personalet ikke kender til alt installeret udstyr, ligesom der kan være forbrugskilder der ikke er synlige og derfor ikke noteres i værktøjet

7.3.2 Anvist potentiale

| Data til lagkage: | kWh/år | % |
|------------------------------|--------|------|
| Lyskilder efter besparelsen | 27.405 | 51,3 |
| Elbesparelse, lyskilder | 2.136 | 4,0 |
| Motorer efter besparelsen | 0 | 0,0 |
| Elbesparelse, motorer | 0 | 0,0 |
| Varme efter besparelsen | 0 | 0,0 |
| Elbesparelse, varme | 0 | 0,0 |
| Elforbrug, der ikke påvirkes | 23.914 | 44,7 |

7.4 Lufthavnspareringen, P4

7.4.1 Anvendelse af værktøj

Spændingssænkning:

| Periode | Nuværende sp., V | Spænding sænkes til, V | Spændingsreduktion, % | Driftstid, h/år |
|--------------------------------|------------------|------------------------|-----------------------|-----------------|
| 1 | 234,0 | 200,0 | 14,5 | 8.760 |
| 2 | | | 0,0 | |
| 3 | | | 0,0 | |
| Sum | | | | 8.760 |
| Manglende timer ift. 8760 h/år | | | | 0 |

Det årlige elforbrug er på 600.000 kWh. Middelspændingen er beregnet til 234 Volt, efter spændingsreduktionen efter er et målt til faktiske spænding 200 Volt.

| | Periode 1 | |
|-----------|------------------|-------------------|
| | Elforbrug kWh/år | Besparelse kWh/år |
| Lyskilder | 582.904 | 169.196 |
| Motorer | 2.803 | 122 |
| Varme | 0 | 0 |
| I alt | 585.707 | 169.318 |

7.4.2 Anvist potentiale

| Data til lagkage: | kWh/år | % |
|------------------------------|---------|------|
| Lyskilder efter besparelsen | 413.708 | 69,0 |
| Elbesparelse, lyskilder | 169.196 | 28,2 |
| Motorer efter besparelsen | 2.681 | 0,4 |
| Elbesparelse, motorer | 122 | 0,0 |
| Varme efter besparelsen | 0 | 0,0 |
| Elbesparelse, varme | 0 | 0,0 |
| Elforbrug, der ikke påvirkes | 14.293 | 2,4 |

Der er blevet målt på forbruget i stueetagen før og efter spændingsreguleringen. Denne måling påviser en besparelse på 26 %. Ifølge værktøjet bliver besparelsen på 28 %.

Besparelsen der fremgår i værktøjet viser at der ikke er en større afvigelse i forhold til det målte. Det kan være drift forhold, lyskilder der ikke virker osv. der viser afvigelsen.

Generelt er værktøjet nemt at bruge, resultatet afhænger dog meget af de data der indtastes i værktøjet er valide.

Bilag 1. Kort beskrivelse af Elforsk-projekt nr. 343-004:

Spændingsstyring i erhvervsvirksomheder – værktøj til fastlæggelse af muligheder og besparelspotentiale

Formålet med projektet

Projektets formål har været at vurdere, i hvilket omfang der kan spares elenergi ved at sænke spændingen. Det har endvidere været formålet at udvikle et værktøj til energirådgivere og virksomheder til vurdering af, om en konkret virksomhed med fordel vil kunne reducere spændingsniveauet. Desuden har erfaringerne skullet formidles, så spændingsstyring kan vælges der, hvor det er teknisk-økonomisk optimalt.

Aktiviteter

Ved projektets start var der en del usikkerhed om, hvad en lavere spænding betyder for elmotorers elforbrug. Der er derfor hos Teknologisk Institut gennemført laboratorie-undersøgelser af asynkronmotorers spændingsafhængighed. Der er målt på fem direkte forsynede motorer samt på en motor, forsynet fra frekvensomformer og motorer med usymmetrisk spændingsforsyning.

Lyskildernes spændingsafhængighed var bedre kendt, da projektet startede, men der manglede pålidelige tal for størrelsen denne afhængighed. Teknologisk Institut har derfor målt på en række forskellige lyskilde med forskellige forkoblinger ved spændinger i intervallet 190-254 V.

Med de to laboratorieundersøgelser som grundlag er der udarbejdet et værktøj til vurdering af besparelsemulighederne i konkrete installationer. Værktøjet er bl. a. afprøvet i den århusianske kontorejendom Jægergården, der anvender spændingssænkende udstyr, og i Københavns Lufthavne i Kastrup, hvor spændingen er sænket med brug af 10/0,4 kV transformernes trinkoblere. Erfaringerne med værktøjet har været, at det er nemt at bruge og at brugervejledningen (guiden) er nyttig.

Projektets resultater er løbende formidlet gennem en serie rapporter, foredrag og artikler. Projektet påbegyndtes i marts 2011 og afsluttedes november 2012.

Værktøjet

Der er udarbejdet et regnearks-baseret værktøj til fastlæggelse af muligheder og besparelspotentialer ved spændingsstyring i en konkret virksomhed eller et bygningsområde. For lyskilder, der påvirkes af en spændingssænkning, skal man opgøre antal lyskilder og drifts-tiden pr. type og wattage. For direkte forsynede asynkronmotorer, der er lavt belastede, skal motorernes effektoptag og driftstid opgøres. De samme to oplysninger – effektoptag og driftstid – skal opgøres for de elvarmelegemer, hvis elforbrug er spændingsafhængigt. Ud fra disse oplysninger beregner værktøjet elbesparelsen og økonomien ved den planlagte spændingssænkning.

Vejledningen til værktøjet findes i værktøjet selv samt i rapporten " Guide til spændingsstyring i erhvervsvirksomheder". Den nyeste version af værktøjet kan hentes fra www.elforsk.dk under projekt nr. 343-004.

Rapporter

Laboratiemålinger af asynkronmotorers spændingsafhængighed. Januar 2012.

Rapporten beskriver målinger, der hos Teknologisk Institut er gennemført på en række motorer. Målingerne omfatter optagen effekt og motortab samt øvrige elektriske data ved seks spændingsniveauer i intervallet 330 – 440 V (fasespænding 191 – 254 V). Målingerne er udført på tre nye motorer på 1,1, 5,5 og 18,5 kW samt på to ældre på 5 og 18,5 kW, alle direkte forsynede. Der er endvidere målt på en 4 kW motor, forsynet via frekvensomformer. Målingerne er udført med symmetriske spændinger, og for 4 kW samt 5,5 kW motoren er der også målt ved usymmetrisk spænding.

Laboratiemålinger af lyskilders spændingsafhængighed. April 2012.

Effekttaget og belysningsstyrken er målt for en række lyskilder ved spændinger fra 190 V til 254 V. Målingerne er udført af Teknologisk Institut og har omfattet lysstofrør, kompakt-lysstofrør, kvikslvdamplamper, højtryksnatriumlamper og metalhalogenlamper, alle med dels konventionelle forkoblinger, dels elektroniske forkoblinger. Desuden er der målt på en LED lyskilde samt på en glødelampe.

Guide til spændingsstyring i erhvervsvirksomheder. November 2012.

Guiden beskriver i tekst og ved rutediagram, hvordan besparelsesmulighederne analyseres og kortlægges med brug af værktøjet. Herunder beskrives også vurderingen af den mulige spændingssænkning. I guidens del II er der en generel beskrivelse af spændingssænkning og hvordan besparelsen kontrolleres. Der omtales en række vigtige forhold ud over økonomien. Desuden omtales alternative besparelsesmuligheder, og der gives en række gode råd.

Effekten af spændingssænkning i Jægergården, Aarhus. November 2012

Der er foretaget målinger på den kommunale ejendom Jægergården i Aarhus. I lavlastperioder er effekttaget ikke afhængigt af spændingsniveauet. I højlastperioder er der opnået en besparelse på 2%. Målingerne er foretaget efter, at en del af lysinstallationen er fornyet med rør med elektroniske forkoblinger, hvor der ikke spares noget.

Eksempler på elbesparelser ved spændingsstyring i kommunale bygninger. November 2012

Rapporten beskriver elbesparelsen og økonomien i seks bygninger, hvor der er installeret spændingssænkende udstyr. Elbesparelsen er opgjøret ved målinger – udført af PSS Energy – af bygningernes optagne eleffekt med det spændingssænkende udstyr skiftevis indkoblet og udkoblet.

Spændingsregulering. Københavns Lufthavne. November 2012

Københavns Lufthavne startede i 2010 med at sænke det generelle spændingsniveau. Der afprøvedes flere typer spændingssænkende udstyr, men det valgtes at sænke spændingen til ca. 220 Volt med brug af transformernes trinkobler. Pr. august 2012 er spændingen sænket for ca. 60% af lufthavnens elforbrug, og besparelsen opgøres til ca. 3% af lufthavnens samlede elforbrug. Rapporten beskriver erfaringerne og analyserer de opnåede elbesparelser i to butikker i lufthavnens shoppingcenter og i et parkeringshus. Desuden analyseres besparelsespotentialet i Hilton hoteller, hvor spændingen endnu ikke er sænket.

Artikel

Sænk spændingen og spar på elektriciteten. HVAC nr. 3. 2012.

Projektgruppe

Dansk Energi Analyse A/S Mogens Johansson (projektleder)

Københavns Lufthavne A/S Hans Andersen

Jesper Siegmann

Kuben Management Søren Juul Hansen (fra april 2012)

Jesper Hansson (til marts 2012)

Lokalenergi Christina Monrad Andersen (fra januar 2012)

Jonas Lassen (til december 2011)

Teknologisk Institut Claus Hvenegaard

J. C. Sørensen

Følgegruppe

Leverandører Finn Christensen, Wattguard

Kristoffer L. Bech, ABB

Jørgen Nielsen, PSS Energy

Morten Nyholm, TecPartnering

Torben Steen Jensen, Mariendal electrics

Elnet Niels Chr. Nordentoft, Dansk Energi

Stig Kortsen, DONG Energy

Rådgivere Henning Højte Hansen, Balslev

Kenneth Søegaard, Moe & Brødskov

Elforsk Jørn Borup Jensen, Dansk Energi