



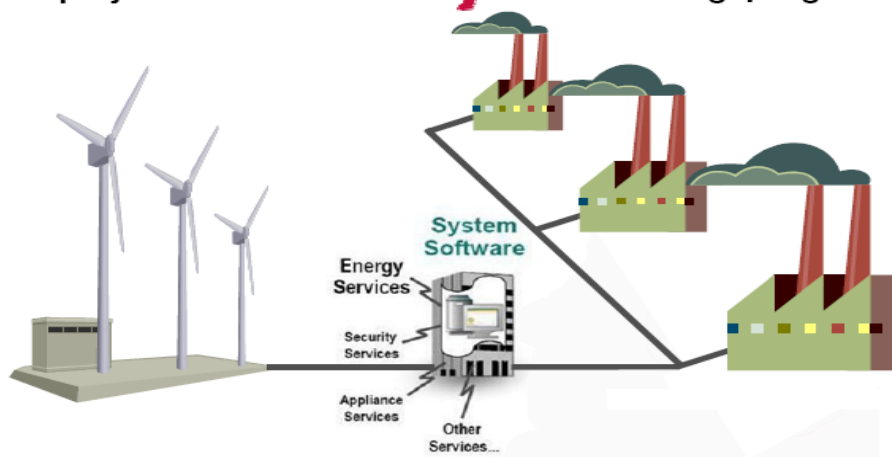
# AFRAPPORTERING AF "FLEKSIBELT ELFORBRUG"

Juni 2012

Tage Petersen, Teknologisk Institut

## FLEXEL

Et projekt under **ENERGINET/DK**'s forskningsprogram



**midt**  
regionmidtjylland

Projektet er støttet af

## Indholdsfortegnelse

Projektresumé .....	4
1. Fase 1 .....	5
1.1. Resume.....	5
1.2. Indledning .....	6
1.3. Tidligere udførte projekter .....	6
1.3.1. Priselastisk elforbrug 2005 .....	7
1.3.2. Priselastisk elforbrug hos de større el-forbrugere .....	8
1.3.3. “Steps towards a Danish Power System with 50 % Wind Energy” .....	9
1.3.4. Priselastisk elforbrug og el-produktion i industrien .....	9
1.3.5. Priselastisk elforbrug som reservekraft – et demonstrationsprojekt i gartneribranchen .....	10
1.3.6. Grid Architecture for Wind Power Production with Energy Storage through load shifting in Refrigerated Warehouses .....	10
1.3.7. Fleksibelt elforbrug – Erfaringer med forsøg for at få større og mindre forbrugere til at reagere .....	11
1.4. Perspektivering .....	11
1.5. Konklusion.....	13
1.6. Referenceliste.....	13
2. Fase 2.....	14
2.1. Resume.....	14
2.2. Indledning .....	14
2.3. Første udvælgelse af virksomheder .....	15
2.3.1. Specialtrykkeriet.....	17
2.3.2. Defco .....	17
2.3.3. Ferring Pharmaceuticals .....	17
2.3.4. København Fur .....	18
2.3.5. Coldstar.....	18
2.4. Beskrivelse af 7 demonstrationsvirksomheder .....	18
2.4.1. Gramo .....	19
2.4.2. Vald. Birn .....	20
2.4.3. Damolin .....	21
2.4.4. Skjern Papirfabrik.....	22
2.4.5. BC-Catering.....	22
2.4.6. Danfloor.....	23
2.4.7. IS skovgården .....	23

2.5.	Konklusion.....	24
3.	Fase 3 & 4.....	25
3.1.	Resume.....	25
3.2.	Fase 3: Brugerdreven innovation.....	25
3.2.1.	Brugerinvolvering som redskab i projekt FlexEl .....	25
3.2.2.	Screening og udvælgelse af virksomheder .....	26
3.2.3.	Øvrige aktiviteter i forbindelse med brugerinvolvering i projekt FlexEl.....	27
3.3.	Fase 4: Udvikling af Smart Grid-udstyr .....	27
3.4.	Konklusion.....	28
4.	Fase 5.....	29
4.1.	Resume.....	29
4.2.	Kategorier af virksomheder .....	29
4.3.	Gennemgang af virksomheder .....	30
4.3.1.	Damolin .....	30
4.3.2.	Skjern Papirfabrik.....	30
4.3.3.	BC Catering .....	31
4.3.4.	IS Skovgård .....	33
4.3.5.	Danfloor.....	34
5.	Fase 6.....	35
5.1.	Resume.....	35
5.2.	Kategorier af virksomheder .....	35
5.3.	Gennemgang af virksomheder .....	36
5.3.1.	Mejerier .....	36
5.3.2.	Bryggerier.....	36
5.3.3.	Plaststøberier .....	37
5.3.4.	Slagterier.....	37
5.3.5.	Landbrug.....	37
5.3.6.	Frysehuse.....	38
5.4.	Økonomi i fleksibelt elforbrug .....	38
5.4.1.	Maksimal opnåelig besparelse.....	40
5.4.2.	Investering .....	41

## Projektresumé

Formålet med projektet ”Fleksibelt elforbrug” har været at udvikle og teste udstyr, så et fleksibelt elforbrug kunne realiseres hos større industrivirksomheder. Med betegnelsen ”fleksibelt elforbrug” menes her, at virksomheden kan ændre sit elforbrug på basis af signaler udefra, fx i form af prissignaler eller anden tilskyndelse. En stor del af projektet har derfor bestået i at udvikle udstyr (hardware og software), som håndterer signaler udefra, måler det øjeblikkelige elforbrug på de enkelte el-forbrugere, og som på basis deraf beslutter, om der skal sendes signal til ændring af elforbruget.

Det udviklede produkt består således af:

- Trådløse enheder til at måle elforbrug på enkeltkomponenter, fx motorer (Der er senere udviklet enheder til at måle gas- eller vandforbrug; disse er ikke dækket af rapporten).
- ”Agenter”, der modtager data fra de trådløse enheder og via internetopkobling sender dem til en central server.
- Software, der gør det muligt for virksomheden at hente og vise data samt at programmere, hvornår der skal sendes signal til ændring af elforbrug, på basis af fx el-spotpriser.

Udstyret er blevet testet hos flere demonstrationsvirksomheder, og i den forbindelse er virksomhedernes medarbejdere blevet uddannet i at håndtere udstyret. Ud over fleksibiliteten i elforbruget er der her lagt vægt på at synliggøre det enkelte elforbrug i virksomhederne, så man ad den vej får et overblik og hurtigt kan konstatere unødvendigt forbrug. I praksis gøres dette ved at elforbrugsdata gemmes og til enhver tid kan trækkes frem og vises grafisk.

Den teknologiske nyskabelse i projektet består primært i, at udstyret kan reagere på signaler udefra, hvorimod måling og synliggørelse af elforbruget må siges at være kendt teknologi i form af elmålere og SCADA-systemer. I rapporten er der derfor primært lagt vægt på at vurdere nyskabelsen.

Resultatet af testen varierer meget mellem demonstrationsvirksomhederne. I værste fald har man ikke kunnet finde noget elforbrug, der kunne gøres fleksibelt, men har dog fundet enkelte unødvendige forbrug, der herefter er blevet korrigeret. I bedste fald har man kunnet gøre en lille del af virksomhedens elforbrug fleksibelt, hvor det dog i nogle tilfælde har ført til et større elforbrug, målt i kWh.

Ud fra en rent økonomisk betragtning må man altså konstatere, at de 5 demonstrations-virksomheder ikke har haft en besparelse, der kan retfærdiggøre installering af udstyret, hvis det skulle foregå på rent kommerciel basis. I projektet har udstyret været stillet gratis til rådighed for demonstrationsvirksomhederne.

Det skal dog bemærkes, at udstyret kun har været anvendt til at finde unødigt elforbrug og til at justere elforbruget på baggrund af spotpriser. Det kan tænkes, at udstyret kan bruges til regulering efter andre kriterier som fx CO<sub>2</sub>-udledning, levering af reservekraft m.v., med en bedre økonomi til følge. Ligeledes er det meget tænkeligt, at spotpriserne i fremtiden vil variere mere, efterhånden som der udbygges mere med fluktuerende vedvarende energikilder.

## 1. Fase 1

### 1.1. Resume

Fleksibelt elforbrug defineres her som en virksomheds evne til at ændre sit elforbrug på kort sigt på baggrund af et eksternt signal. Signalet kan være et dynamisk prissignal fx fra spotmarkedet, et signal fra den balanceansvarlige eller fra TSO'en.

På de overordnede linjer viser indhentet viden, at der med et større antal vindmøller i det danske system vil opstå en række udfordringer pga. vindmøllernes fluktuerende el-produktion. I hvor høj grad denne vil blive udjævnet ved at styre produktionen af el fra andre kilder eller gennem handel med udlandet, har det ikke været muligt at afdække præcist. Dog er der blandt de fleste aktører enighed om, at et mere fleksibelt forbrug bliver nødvendigt i fremtidens el-system.

Hvordan et sådant forbrug kan realiseres, og hvor stort det er, er der delte meninger om. Et tal, der ofte nævnes, er et potentiale for danske virksomheder på 380 MWh/h eller 7 % af den maksimale kapacitet i 2005.

En virksomhed kan byde ind med fleksibilitet på flere markeder, fx spotmarkedet, balance-markedet, regulerkraftmarkedet eller markedet for reservekraft. For alle markeder gælder at det kræver en nærmere undersøgelse af virksomhedens mulighed for at agere priselastisk. Med hensyn til at agere aktivt på spotmarkedet er antallet af virksomheder, der gør dette, lavt, og typisk anvendes spotmarkedet kun til at afbryde effekt ved meget høje spotpriser. At anvende spotprisen åbner for en række problemstillinger i forhold til den balanceansvarlige, da det kan koste denne dyrt, hvis forbruget op- eller nedjusteres i forhold til prognosen.

Ses på virksomhedernes interesse, tyder det på, at virksomheden i dag vil kunne profitere mest ved også at byde ind med op- eller nedjustering af elforbrug på balance- eller regulerkraftmarkedet, da der her ligger et større økonomisk potentiale for virksomhederne.

Med hensyn til tekniske løsninger for at gøre det nemmere at agere prisfleksibelt findes der i dag udstyr, der kan downloade spotprisen. Det er vores vurdering, at dette i dag ikke er udbredt, da der er en række problemstillinger forbundet hermed, og fortjenesten står ikke mål med besværet. Dette skyldes til dels, at de forskellige afgifter pr. kWh er en konstant størrelse, der således stadig skal betales, selv om spotprisen er lav.

Dette betyder naturligvis, at der ligger størst fortjeneste for virksomhederne i at kunne spare på antallet af forbrugte kWh. Derfor vil projektet også fokusere på at kunne realisere el-besparelser i virksomhederne. Dette ligger i øvrigt ganske fint i tråd med projektbeskrivelsen, hvor der bl.a. fokuseres på, at en øget fleksibilitet kun kan opnås, hvis man kender sine energistrømme meget præcist. I denne proces, hvor forbruget kortlægges, er det kun naturligt, at et bedre overblik over forbrug vil kunne medvirke til at opnå energibesparelser, da alene det at sætte fokus på et forbrug kan medvirke til at sandsynliggøre besparelspotentialet.

Konklusionen er således todelt. I forhold til virksomhederne bør der også fokuseres på energibesparelser, så det sikres, at elforbruget er så lavt som muligt, før der fokuseres på, hvorledes virksomheden deltager i spotmarkeder eller balance- og regulerkraftmarkedet. Med hensyn til virksomhedens mulighed for at profitere fra en øget fleksibilitet, så er det som oven for nævnt mest hensigtsmæssigt, ikke kun at vurdere dette i forhold til spotmarkedet men også i forhold til balance- og regulerkraftmarkedet.

## 1.2. Indledning

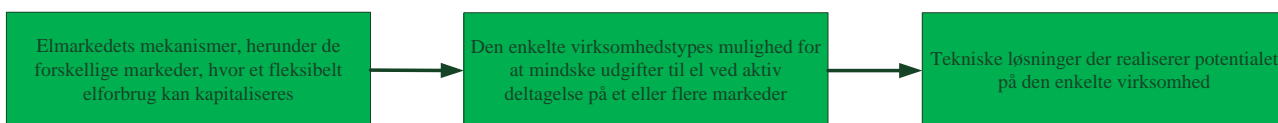
I de seneste år er der udført et større antal projekter med et mere fleksibelt elforbrug som emne. Projekterne er udført af forskellige aktører, og der er blevet anvendt forskellige tilgangsvinkler i forhold til et mere fleksibelt elforbrug. Resultaterne har været blandede, og typisk er man stødt ind i en række barrierer, der gør det svært at realisere et mere fleksibelt elforbrug på virksomhedsniveau.

I fase 1 af projektet ”Fleksibelt Elforbrug” er der udført en videnopsamling. Denne opsamling er udført med den hensigt at udnytte resultater og viden fra tidligere projekter, der er udført inden for dette område. Samtidigt er der rettet henvendelse til en række af de aktører i el-markedet, hvor det har været formodet, at disse har en relevant viden om fleksibelt elforbrug.

I disse tidligere projekter er det tilsyneladende ikke i fuldt omfang lykkedes at realisere et mere fleksibelt elforbrug i praksis. Derfor bygger denne opsamling i høj grad på, at der skal indhentes viden fra tidligere projekter og kommentarer fra aktører i markedet, så projektet prioriteres og de bedste resultater opnås. I skrivelsen nævnes ordet virksomhed flere gange. I nærværende dækker dette over en demo-virksomhed, hvor projektet forhåbentlig kan opnå et samarbejde for at opnå energibesparelser og implementere et mere fleksibelt elforbrug.

## 1.3. Tidligere udførte projekter

Dette projekt fokuserer primært på de tekniske løsninger, der skal danne grundlag for, at virksomhederne kan opnå besparelser, men det har i erfaringsopsamlingen været nødvendigt også at se på el-markedets mekanismer og mere overordnet på de virksomhedstyper, hvor fleksibelt elforbrug vurderes at kunne realiseres. Derfor fremgår disse også i erfaringsopsamlingen.



Figur 1: Områder belyst i erfaringsopsamlingen.

I erfaringsopsamlingen er angivet en række rapporter. De er her nævnt i forkortet form, og der henvises til referencelisten for yderligere information.

### 1.3.1. Priselastisk elforbrug 2005 Elkraft System

I dette arbejde defineres priselastisk elforbrug, prisdannelsen i markedet og de forskellige aktører i markedet. I rapporten defineres priselastisk elforbrug som: ”..ændring i el-kundernes forbrug på kort tid, forstået som aftag af el fra det kollektive elforsyningsnet, som reaktion på et aktuelt prissignal”.

Kundernes reaktion kan fx være:

- at flytte forbruget til en periode med lavere pris.
- at reducere forbruget i perioder, hvor marginalnyttens ved anvendelse ikke overstiger prisen, eventuelt ved substitution til anden energikilde.
- at forøge elforbruget, eventuelt ved substitution af anden energikilde, når elprisen er lavere end marginalnyttens og prisen for anden energikilde.

Ifølge rapporten kan sådanne ændringer i forbruget aktiveres direkte af el-forbrugeren eller af el-leverandøren efter aftale med kunden. Det nødvendige prissignal fra markedet kan være:

- Prisen fra Nord Pools Spotmarked
- Prisen fra Nord Pools Elbasmarked
- Real-time-priser fra regulerkraftmarkedet eller balancemarkedet
- Individuelle priser eller signaler aftalt mellem kunde og el-leverandør.

Rapporten opridser en række argumenter for et mere priselastisk forbrug. Blandt fordelene vurderes det fx, at et prisleksibelt elforbrug vil integrere mere vindmøllestrøm i systemet.

Endvidere nævnes en række driftsøkonomiske fordele for kunder og leverandører. Videre i rapporten beskrives, hvorledes prisdannelsen i dag finder sted på el-markedet, og hvilke udfordringer, der stilles, hvis priselastisk elforbrug skal udrulles.

Ud fra spotprismarkedet i dag angives, at det p.t. allerede er muligt at anvende det almindelige timebud i de tilfælde, hvor der afstås fra forbrug, og hvor der ikke er eftersving. I de tilfælde, hvor en afbrydelse fører til et øget, efterfølgende forbrug, vil spotmarkedet p.t. ikke være i stand til at håndtere dette.

I forhold til Elbasmarkedet vurderes, at et priselastisk elforbrug på sigt vil kunne bydes ind på Elbas på lige fod med produktion.

I rapporten lægges der altså op til, at der ikke nødvendigvis er tale om et real-time-system, men snarere om et system, hvor kunden og el-leverandøren fastlægger priselasticiteten og byder denne ind i markedet.

Vedrørende håndtering af ubalancer nævner rapporten, at el-leverandørerne i dag straffes, når de har ubalance i ”samme retning” som systemet, men at de ikke høster nogen direkte gevinst ved at hjælpe systemet. Derfor foreslår rapporten at el-leverandørerne i samarbejde med kunderne også fokuserer på at udnytte dette potentiale for at realisere så stor en gevinst som muligt ved at agere priselastisk.

### **1.3.2. Priselastisk elforbrug hos de større el-forbrugere Danske Energi Analyse A/S og Norenergi ApS 2005**

I dette arbejde er der gennemført interview hos 25 virksomheder, der på daværende tidspunkt repræsenterede et elforbrug på 2394 GWh/år eller 11 % af elforbruget i erhvervslivet og hos offentlige foretagender. På denne baggrund blev det vurderet, at disse virksomheder har et potentiale på 152 MWh/h priselastisk elforbrug. Ud fra disse interviews er det samlede potentiale for priselastisk elforbrug opgjort til 381 MWh/h eller ca. 7 % af maksimal-belastningen. Gevinsten for virksomhederne ved at agere på denne måde opnås især på spotmarkedet og på markedet for reserver. Specielt viser rapporten, hvorledes virksomheder, der aftog el gennem spotmarkedet i 2004, har kunnet profitere af at lukke ned for forbruget i de få timer på års-basis, hvor spotprisen når op over 1000 kr./MWh.

Rapporten angiver, at forbrugernes reaktioner på selv kraftige prisspidser traditionelt har været begrænsede. Der angives en række grunde hertil, bl.a. den kendsgerning at en virksomhed typisk fokuserer på kerneaktiviteten, fx et givet produkt, og derfor ikke ønsker at bruge ressourcer på at følge prisen på el. En yderligere årsag er, at el-handlerne ikke synes at opmuntre forbrugerne til priselastisk adfærd. Rapporten angiver altså, at der er behov for at få et stærkere prissignal ud til forbrugerne, således at disse bliver klar over deres muligheder.

Følgende barrierer medvirker til, at dette i dag ikke sker i højere grad.

- Prissignalerne er for svage. Der er endnu ikke prisspidser nok til, at det bliver attraktivt for virksomhederne at agere i forhold til disse.
- Forbrugerne får ikke prissignalet. Dette kan typisk skyldes fastprisaftaler.
- Strukturelle forhold. Der mangler produkter, der kan gøre det let for virksomhederne at agere priselastisk, ligesom det måske også er muligt, at de balanceansvarlige og el-handlerne har svært ved organisatorisk at håndtere dynamiske indmeldinger fra forbrugerne.

Slutteligt vurderes det, at el-brugerens priselasticitet i dag har den største værdi som reguleringskraft. Det foreslås, at el-handlerne kombinerer forskellige virksomheders afbrydelige forbrug, således at værdien af denne afbrydelige belastning bliver så høj som mulig. Skridtet videre ville så være, at forbruget også kan afbrydes ved ubalance på systemet.

Rapporten behandler også den problemstilling, der vil opstå, hvis virksomhederne reagerer på spotprisen, uden at de balanceansvarlige er underrettede. Dette kan koste den balanceansvarlig dyrt, og i sidste ende vil en sådan regning ende hos forbrugerne.

Her mener rapporten, at den balanceansvarlige nødvendigvis vil opbygge en erfaring om, hvorledes kunderne reagerer i forhold til en ændring i spotprisen, og så kan den balanceansvarlige indkøbe el på baggrund af den erfaring.



### **1.3.3. “Steps towards a Danish Power System with 50 % Wind Energy” EcoGrid.dk Phase 1, summary report**

Rapporten tager udgangspunkt i, at der over de næste år vil ske en udbygning af vindkraften i Danmark og i Nordeuropa generelt. Rapporten påpeger en række udfordringer forbundet hermed.

I dag kan de centrale kraftværker medvirke til at sikre fleksibilitet og balance i systemet, således at udbud og efterspørgsel passer sammen. I takt med at gamle kraftværker udfases og ikke nødvendigvis erstattes med nye, opstår der behov for at sikre fleksibiliteten gennem andre kanaler. Her nævnes de udenlandske forbindelser som vigtige kanaler i dag, men rapporten stiller dog spørgsmålstegn ved, om Danmark også i fremtidens system kan udnytte eksport /import til at få systemet til at balancere. Det påpeges videre, at det kan blive nødvendigt at se på nye metoder til at sikre fleksibiliteten og balancen i systemet. Der foreslås bl.a. udvikling af nye løsninger, der kan hjælpe forbrugerne af el med at tilbyde denne service til markedet.

Ifølge rapporten forholder det sig således, at 70 % af fluktuationerne i produktionen af el fra vindmøller i Vestdanmark i 2008 blev balanceret gennem eksport. Dette er dog ifølge rapporten et fald i forhold til 2004, hvor der var tale om 85 %, hvilket ifølge rapporten formentligt skyldes, at de centrale kraftværker er blevet bedre til at regulere i forhold til produktionen fra vindkraft.

I forhold til den mere praktiske del af et fleksibelt system omhandler rapporten et afsnit omkring, hvorledes et ”næsten” real-time-marked kan opbygges. Her foreslås, at der anvendes et tillæg til spotprisen. Dette tillæg, der både kan være negativ eller positiv, pålægges spotprisen fx hver 5. minut af den balanceansvarlige, hvis det viser sig, at udbud og efterspørgsel ikke passer sammen. Dette kræver dog installering af udstyr hos kunderne, og det anbefales således, at der igangsættes konkrete projekter, der kan vise, hvorledes dette vil kunne fungere i virkeligheden<sup>1</sup>.

### **1.3.4. Priselastisk elforbrug og el-produktion i industrien Eksamensprojekt Civilingeniør DTU 2006**

Rapporten drejer sig om, hvordan danske industrivirksomheder kan agere priselastisk med deres elforbrug. Mulighederne i forhold til køb gennem spotmarkedet, men også i forhold til salg af reservekapacitet i markedet for systemtjenester undersøges. Der er i projektet opbygget et computerprogram, der på baggrund af viden om produktionsrammer og elpriser kan udregne besparelspotentialer for en virksomhed. Konkret i projektet er denne udregning foretaget for et malteri samt for en virksomhed, der fremstiller katalysatorer til procesindustrien.

Projektet opererer med flere forskellige tilgangsvinkler i forhold til et fleksibelt elforbrug for en virksomhed. Der opereres med en hel simpel forskydning af døgnprofilen for elforbrug. Det vil typisk betyde, at man forskyder opstarten af en proces, således at timerne med det største elforbrug ligger på et andet tidspunkt af dagen. Tages der endnu et skridt, kan der være tale om, at man modificerer forløbet af døgnprofilen. Dette kunne fx gøre sig gældende for kølehus, hvor det kunne være en mulighed, at der blev kølet mere om natten og tilsvarende mindre i løbet af dagen.

---

<sup>1</sup> EcoGrid.dk Phase 1, Summary Report, side 29-30

Projektet går også et skridt videre, og gør det vha. computersimuleringer muligt at vurdere, hvorledes besparelspotentialet ligger i forhold til at have en variable døgnprofil. I forhold til at modificere døgnprofilet går man her ind og laver en hel ny døgnprofil, der alene afhænger af spotprisen i forhold til omkostningerne ved at stoppe/starte en produktion. Det sidste tilfælde, som projektet analyserer, er det tilfælde, hvor man beregner, hvorledes det kan betale sig at udkoble forbrug, hvis spotprisen når over en given værdi.

Konklusion i dette projekt er, at der vil kunne opnås estimerede besparelser på 0-8 % af spotmarkedsværdien af case-virksomhedernes elforbrug.

### **1.3.5. Priselastisk elforbrug som reservekraft – et demonstrationsprojekt i gartneribranchen Energinet.dk projektnr. 2006 1 6329**

I dette projekt er det for en række gartnerier blevet undersøgt, hvor stort potentialet er for op- og nedregulering i elforbruget. Det er på baggrund af fase 1 i projektet vurderet, at dette potentiale er på op til 76 MW. Forbruget, der kan op- og nedreguleres, er primært til vækstlys, der specielt i vinterhalvåret er nødvendigt for at sikre en tilfredsstillende plantevækst. Det er i projektet undersøgt, hvorledes produktionen af planter vil blive påvirket ved ind- og udkobling af vækstlys, og på trods af en række komplicerede biologiske forhold er det konkluderet, at det er muligt i stort omfang at ind- og udkoble vækstlys. Projektet arbejder nu videre på at lave prøveopstillinger af udstyr, således at potentialet kan indbydes.

### **1.3.6. Grid Architecture for Wind Power Production with Energy Storage through load shifting in Refrigerated Warehouses EU projektnr. 20045 under det 6. rammeprogram**

Det hollandske projekt har TNO (The Netherlands Organisation for Applied Scientific Research) som projektleder og danske Risø DTU som deltager. Formålet med projektet har været at undersøge, om der med fordel vil kunne akkumuleres kulde i frysehuset, når elprisen er lav. Dette vil så betyde, at kompressorerne vil kunne tages ud af drift, når elprisen igen er stigende. I projektet er det blevet undersøgt, hvorledes fødevarekvaliteten er påvirket af svingninger i temperaturen i frysehuset. For langt de fleste varer blev der ikke konstateret problemer med at lade temperaturen svinge med 2K i fryserummet. Projektet åbner derfor op for en række spændende perspektiver i forhold til at foretage undersøgelser ved danske frysehuse for at kortlægge og diskutere potentialet for et fleksibelt elforbrug.

Sideløbende er der opbygget en række matematiske modeller, hvor temperaturen i varerne i frysehuset simuleres som en funktion af gangtiden på kølekompressorerne. Disse modeller er endvidere sammenlignet med produktionen af el fra vindmøller på baggrund af metrologiske data.

Disse arbejder vil kunne danne baggrund for at undersøge, om danske frysehuse vil kunne agere mere fleksibelt samtidigt med, at fødevarekvaliteten stadig fastholdes.

### **1.3.7.      Fleksibelt elforbrug – Erfaringer med forsøg for at få større og mindre forbrugere til at reagere** **Mikkel Togeby, Ea Energianalyse, 26.2.2009**

Ifølge Mikkel Togeby går det ikke ret godt med at udrulle et mere fleksibelt elforbrug. Der findes kun enkelte eksempler på, at forbrugere reagerer på høje elpriser. Ifølge Togeby skyldes det, at det økonomiske incitament er begrænset, og det specielt hvis der ses på spotmarkedet isoleret set. Togeby foreslår som løsning bl.a., at elafgifterne gøres dynamiske, og at der arbejdes hen imod et realtidsmarked for el.

Konkret foreslås, at der laves forbedrede regler i forbindelse med reguleringskraft, således at der stadigvæk aktiveres 10 MW ad gangen, men at der tillades vilkårlige mindre indmeldinger pr. balanceansvarlig. Det foreslås videre, at der arbejdes med dynamiske priselementer, og at regulerkraft kan udformes som et prissignal.

## **1.4.    Perspektivering**

Indtil videre er det lykkedes at balancere det danske elnet, selvom 22 % af el-produktionen i vest Danmark kommer fra vindmøller. I 2004 blev fluktuationerne for 85 % vedkommende balanceret via udenlandske forbindelser, men i 2007 var dette tal faldet til 70 %. Altså er der noget der tyder på, at det er lykkedes at tilpasse den øvrige produktion af el bedre til produktionen fra vindmøller. Det kan altså påstås, at det faktisk er lykkedes at bevare balancen i systemet, selvom der er kommet flere vindmøller til. Omvendt advares der i EcoGrid.dk's rapport mod, at bl.a. balancekraft fra fx Norge og Sverige i fremtiden bliver dyrere, da der over den næste årrække forventes opstillet et større antal vindmøller i Nordeuropa. Derfor fremføres i rapporten, at det vil være nødvendigt at gøre noget for at fremtidens el-system hænger sammen.

Fleksibelt elforbrug kaldes også priselastisk elforbrug. Der er tale om ændringen i el-kunders forbrug på kort tid som reaktion på et aktuelt prissignal. Der findes også langsigtet priselasticitet forstået på den måde, at el-kunderne reagerer på en langsigtet trend (enten stigning eller fald i elprisen) ved fx at investere i udstyr med lavere elforbrug.

En forbruger af elektricitet, som har mulighed for et fleksibelt elforbrug, kan agere på flere forskellige markeder. Dels er der spotprismarkedet, hvor den mest simple adfærd vil være at udkoble forbrug ved prisspidser på spotbørsen. Som markedet fungerer i dag, skal dette som udgangspunkt foregå i samarbejde med den balanceansvarlige. Ellers kan dette give den balanceansvarlige (typisk el-handleren), en dyr regning fra TSO'en, fordi der skal betales på balancemarkedet.

Det vil også være muligt, at indgå en aftale med den balanceansvarlige, så denne får adgang til at udnytte kundens fleksibilitet. På den måde kan den balanceansvarlige holde sin egen balance.

Herudover er det også interessant at tage markedet for regulerkraft med ind i billedet. Her vil det også være muligt for virksomheden at agere priselastisk ved fx at byde ind med elforbrug, der kan afbrydes.

Disse 3 markeder hænger sammen, og derfor vil det typisk være interessant at kigge på alle muligheder, hvis der bruges ressourcer på at overveje fleksibilitet og afbrydelighed.

Umiddelbart ser det således ud, som om virksomhederne vil kunne tjene mest ved også at byde ind med reguleringskraft frem for at agere på spotmarkedet alene.

Specielt i virksomheder, hvor dele af elforbruget ikke direkte afhænger af, hvorledes en produktion finder sted tidsmæssigt, er der ifølge de tidligere arbejder et potentiale. I det hollandske projekt omhandlende brugen af frysehuse, hvor energi kan lagres som kulde, er det vist, at det i forbindelse med frysehuse kan accepteres, at kølemaskiner hhv. tændes og slukkes i perioder, hvor prisen på el enten er lav eller høj. Dette kræver en række overvejelser omkring driftssituationen på kølemaskinerne samt kendskab til frysehusets ”kapacitet”.

For malterier gælder jf. DTU-eksamensprojektet, at der også her vil være muligheder. Dog viser undersøgelserne, at hvis der kun fokuseres på spotmarkedet, vil fortjenesten være marginal. Disse cases vil kunne anvendes i den videre del af projektet.

Et væsentligt input er, at fleksibelt elforbrug ikke kan stå alene. Dette er blevet påpeget af flere aktører. På baggrund af afgiftsstrukturen vil det bl.a. stadig være således, at den bedste forretning for en virksomhed er at spare på strømmen, så der anvendes færre kWh. Dette er indiskutabelt, og skal her nævnes som en vigtig viden at holde sig for øje i det videre forløb. Derfor er det blevet diskuteret, hvorledes projektet bedst dækker dette område, og hvorvidt denne ene tilgang kan udelukke den anden.

Konklusionen på disse overvejelser er, at det ligger meget fint i tråd med projektets gang. Det angives fx i projektbeskrivelsen, at 2 af de vigtigste parametre er at sikre transparens i virksomhedens energiforbrug og derigennem sikre besparelser for virksomheden. Derfor vil første skridt være, at virksomhedens forbrug kortlægges vha. de teknologiske løsninger, udviklet i projektet, at der skæres ind til benet, så elforbruget bliver så lavt som muligt, og derefter vurderes, hvorledes det resterende forbrug kan bydes ind på de forskellige el-markeder.

Det er også i denne fase diskuteret, hvor stort potentialet vil være i private husholdninger, hvor der er enighed om, at der også findes et stort potentiale. Dog kan det være en udfordring at realisere potentialet, fordi det kan give en række praktiske problemer. Fx er det ikke nødvendigvis smart at starte en vaskemaskine om natten eller slukke for fjernsynet, når familien er samlet foran det.

Der arbejdes i andre projekter med at gøre forbruget i private husholdninger mere fleksibelt, det gælder fx ved samstyring af varmepumper, så et større antal varmepumper kan tændes /slukkes fra en central aktør. Metoden med en central aktør er anderledes i forhold til den, der tænkes anvendt i forhold til dette projekt. I nærværende projekt er der som udgangspunkt lagt op til, at det skal være ude på den enkelte virksomhed, beslutningen om at ændre et forbrug tages på baggrund af et prissignal. I forhold til den teknologiudvikling, der sker i dette projekt, bliver der dog også arbejdet på at give en ekstern aktør, naturligvis med virksomhedens samtykke, mulighed for at tænde/slukke for forbruget. Det understreges, at det er vigtigt også at følge udviklingen i forhold til projekterne for de private husholdninger.

Det ligger desværre uden for dette projekts rammer at behandle det private husholdnings segment, men der vil blive holdt en tæt kontakt med disse projekter, så synergien vil kunne udnyttes.

## **1.5. Konklusion**

Tilsyneladende er der et behov for et mere fleksibelt system i fremtiden. Den nuværende prisstruktur på el gør det svært for virksomhederne at opnå besparelser ved at navigere på spotmarkedet. Derfor er det sundt fornuft at vurdere mulighederne for virksomhederne i projektet i forhold til også at byde reguleringskraft ind.

En anden vigtig pointe er, at det stadigvæk er mest profitabelt for virksomheden at spare på antallet af forbrugte kWh. Dette ligger fint i tråd med projektet, da transparens i forhold til energiforbrug også er en vigtig parameter i forhold til fleksibelt elforbrug. Når denne oversigt over virksomhedens energiforbrug haves, er det således muligt både at kunne anvise energibesparelser og se på mulighederne for et mere fleksibelt elforbrug.

## **1.6. Referenceliste**

Det Energipolitiske Udvalg: Høring om intelligent elforbrug.

Fleksibelt elforbrug, Erfaringer med forsøg for at få større og mindre forbrugere til at reagere  
Mikael Tøgeby, Ea Energianalyse 26.2.2009

EcoGrid.dk Phase 1, Summary Report  
PSO ForskEL R&D-contract no. 2007-1-7816

Grid Architecture for Wind Power Production with Energy Storage through load shifting in Refrigerated Warehouses  
EU projektnr. 20045 under det 6. rammeprogram

Priselastisk elforbrug 2005  
Elkraft og Eltra  
Referencer: Eltra KBE/SDK og Elkraft System MIT/MHN

Priselastisk elforbrug hos de større el-forbrugere,  
Dansk Energi Analyse A/S & Norenergi ApS, for Energinet.dk august 2005

Priselastisk elforbrug og el-produktion i industrien  
Carsten Chachah og Henrik Søgaard Iversen, Eksamensprojekt Civilingeniør august 2008  
DTU.  
Projektnr.: MEK-ET-EP-07

Priselastisk elforbrug som reservekraft- et demonstrationsprojekt i gartneribranchen  
Energinet.dk projektnr.: 2006 1 6329

## 2. Fase 2

### 2.1. Resume

I forlængelse af den videnopsamling, der fandt sted i fase 1, har der været en dialog med en række virksomheder, der skønnes at være relevante i forhold til at deltage i projektet ”Fleksibelt Elforbrug”. Etableringen af kontakten til disse virksomheder er til dels sket gennem GridManager A/S, som i forbindelse med udvikling af udstyr har været i kontakt med mange firmaer, og til dels gennem EnergiDanmark A/S, som ved hjælp af deres kundekartotek har kunnet lave en hurtig screening. Dette har vist sig at være mest effektiv, da projektet på den måde har fået et stort indblik i energiforbruget i de forskellige virksomhedssegmenter.

Endvidere har det vist, at de fem virksomheder er meget forskellige i forhold til deres energiforbrug, og det gælder fra de helt små forbrugere til de helt store energiforbrugere, som alle har en meget forskellig døgnprofil. Det betyder, at disse virksomheder repræsenterer et bredt udsnit af virksomheder i Danmark.

Den efterfølgende analyse af disse virksomheder har ført til, at der i projektets regi arbejdes aktivt videre på 5 demonstrationsprojekter. Disse 5 demonstrationsprojekter fordeler sig således:

- Gramo Bogtrykkeri, Balling i Salling
- Damolin, molerfabrikker på Fur og Mors
- Vald. Birn Jernstøberi, Holstebro
- Skjern Papirfabrik, Skjern
- BC-Catering, frysehus i Odense

Efterfølgende er disse virksomheder blev gennemgået, og budgettet til installation af Smart Grids kommunikationsudstyr er estimeret. Dette har ført til, at der kunne blive plads til yderligere to virksomheder i projektet.

- Danfloor, gulvtæpper i Kibæk
- IS Skovgård, svine- og jordbrug i Vojens

Det bliver omkring disse virksomheder, at projektet vil demonstrere teknologierne, udviklet i projektgruppen, og på den måde medvirke til større synlighed omkring elforbrug og de økonomiske muligheder for at gøre det mere fleksibelt.

### 2.2. Indledning

Fasen forløb fra september 2009 til juni 2010, og i første del af fasen var fokus primært på besøg hos en række virksomheder, der har givet udtryk for et ønske om mulig deltagelse i projektet. Disse besøg vil i denne afrapportering fremgå som referater, hvor de vigtigste ting fra møderne fremgår. Sideløbende med dette er der ved hjælp af data fra EnergiDanmark A/S lavet en analyse af et antal virksomheders elforbrug og profil.

Der er primært besøgt virksomheder i Region Midtjylland, i Region Syddjylland og i Region Hovedstaden. Det er valgt at besøge virksomheder uden for Region Midtjylland, da disse potentielt kunne være interessante for projektet.

I den sidste del af fasen blev 7 virksomheder udvalgt som demonstrationsvirksomheder. Disse er udvalgt på baggrund af deres profil vedrørende elforbrug, en vurdering af muligheden for at gøre det mere transparent og fleksibelt, samt virksomhedernes tilsagn om engagement i projektet. Dette vil der blive redegjort for i det følgende.

### **2.3. Første udvælgelse af virksomheder**

Projektets hovedformål er at demonstrere, hvorledes de i projektet udviklede teknologier kan medvirke til at øge fleksibiliteten af udvalgte virksomheders elforbrug.

Der er på baggrund af data fra EnergiDanmark A/S udarbejdet grafisk materiale, hvoraf det fremgår, hvordan elforbruget i den givne virksomhed fordeler sig på ugebasis. På baggrund af et sådant skema er det muligt at få et overblik over diverse elforbrug i virksomheden.

Når det drejer sig om at undersøge muligheden for fleksibilitet, er det væsentligt, at virksomhedens profil for det givne elforbrug ikke afhænger af, at en række medarbejdere skal møde op, for at processen skal køre. I nedenstående er listet en række forbrug, hvor det hhv. skønnes/ikke skønnes, at der er mulighed for at gøre dette forbrug mere fleksibelt.

Følgende forbrug vil med fordel kunne gøres mere fleksibelt:

- Køling af fx varer
- Opvarmning af vand til varmesystemer og lignende vha. el-patron eller varmepumpe
- Varmebearbejdning af metalemner
- Flytning af materialer med fx pumpe eller transportbånd
- Neddeling, knusning og lignende af råmaterialer
- Opladning af el-truckene
- Produktion af trykluft

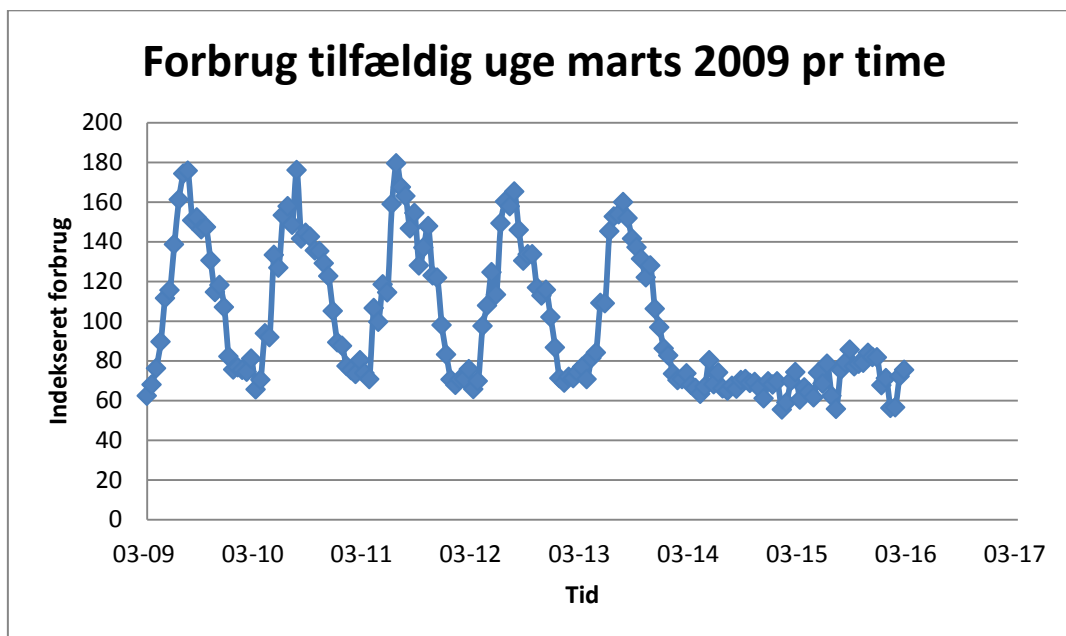
Følgende forbrug kan som udgangspunkt ikke gøres mere fleksibelt:

- AI produktion, der afhænger af arbejdskraft
- Køling, hvor en meget konstant temperatur skal fastholdes
- Kontinuerlige processer, hvor nedlukning kun sjældent finder sted

Ovenstående punkter er ikke nødvendigvis dækkende for alle processer, hvor der måske/måske ikke er mulighed for en øget fleksibilitet, men de er blot en beskrivelse af de processer, der har været diskuteret i forbindelse med projektet.

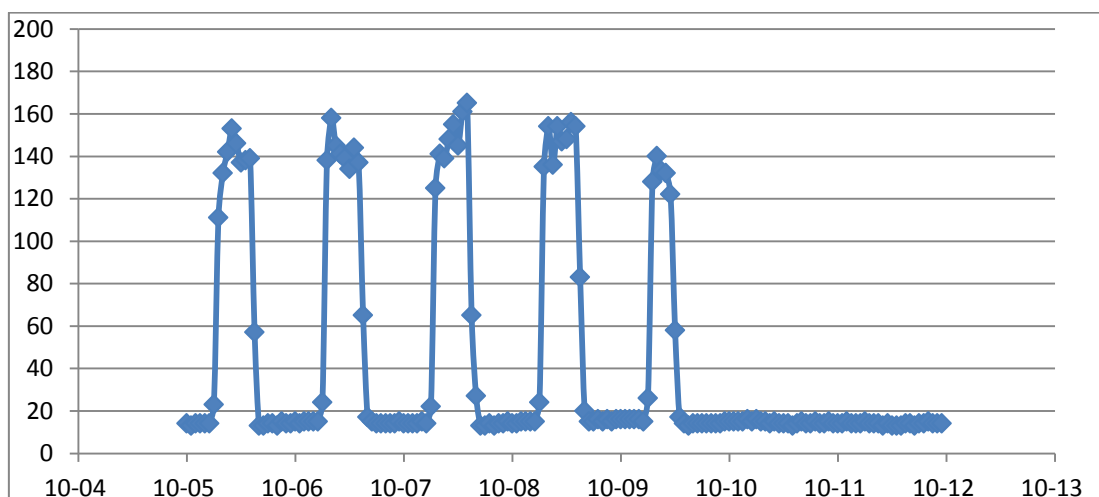
Fælles for de processer, hvor der er mulighed for en øget fleksibilitet, er, at der typisk er tale om processer, der ikke involverer arbejdskraft, og hvor der typisk ikke er tale om direkte produktion, men snarere drift af hjælpemidler (trykluft/el-truck) og køling/opvarmning for opbevaring.

2 eksempler på sådanne processer er givet i nedenstående. Figur 2 viser forbruget for et kølehus, mens figur 3 viser forbruget for en typisk virksomhed, hvor forbruget følger arbejdstiden.



Figur 2: Elforbruget i et kølehus i løbet af en uge.

I figur 2 er det muligt at følge, hvornår folk møder på arbejde, men det mest interessante er, at der til stadighed er et konstant forbrug, der andrager ca. 100 - 150 kWh, hvilket stammer fra køleanlæggene. I forbindelse med dette forbrug er det oplagt at undersøge nærmere, om det kan gøres mere fleksibelt. Denne fleksibilitet kan opnås ved at starte køleanlæggene, når strømmen er billig og dermed akkumulere energien i de frosne varer ved at sænke temperaturen i disse.



Figur 3: Elforbruget i en mindre produktionsvirksomhed i løbet af en uge.

I figur 3 er det tydeligt, at forbruget følger arbejdstiden, og at der ikke er et konstant forbrug, som man kan undersøge fleksibiliteten af. Derfor giver det ikke mening at undersøge en sådan virksomhedstype nærmere.



På baggrund af det første indledende arbejde er der taget kontakt til en række virksomheder med henblik på at starte en dialog omkring mulig deltagelse i projektet.

Følgende virksomheder er blevet besøgt, men de er ikke demonstrationsvirksomheder. Det drejer sig om Specialtrykkeriet i Viborg, Ferring Pharmaceuticals i København, Kopenhagen Fur i København og Coldstar i Vejle.

I nedenstående vil dialogen med de enkelte virksomheder kort blive beskrevet. Først vil det dreje sig om de virksomheder, hvor der ikke er truffet aftale om efterfølgende demonstration. Herefter følger en beskrivelse af demonstrationsvirksomhederne, hvori argumenterne for udvælgelse af 7 demonstrationsvirksomheder fremgår.

### **2.3.1. Specialtrykkeriet**

Specialtrykkeriet er besøgt i foråret 2010, og de producerer diverse tryksager. Ved besøget er det konstateret, at det primære elforbrug anvendes ved trykkeprocesser, og at det derfor primært vil være en række mindre forbrug, der kunne være aktuelle for en undersøgelse vedr. fleksibilitet. Derfor vurderes potentialet som værende for lavt til, at virksomheden kunne få fordele af at deltage i projektet.

### **2.3.2. Defco**

Der er gennemført innovations check ved Defco i september 2010 i forbindelse med FlexEl projektet. Defco er en familieejet fødevarer virksomhed der leverer kød pålæg til den danske detailhandel. Firmaet er en middelstor energi forbruger og bruger hovedsagligt el i forbindelse med forarbejdning og køling af kød produkterne.

Den del af el produktionen der bruges til køling og frost vil muligvis kunne gøres fleksibel i forbindelse med etablering af en isbank til kuldelagring. Defco har udvidet og optimeret driften gennem de senere år. Energi optimering sker konstant men typisk i forbindelse med installering af nyt proces udstyr. Defco planlægger at flytte produktionen til en ny fabrik og vil i den forbindelse energioptimere den eksisterende proces. Det er derfor ikke muligt for Defco at deltage i FlexEl projektet men de vil gerne deltage som følgevirksomhed. I de nye produktions-set-up er der en forventning om at kunne opnå besparelser på el regningen ved at købe el på spotmarkedet.

### **2.3.3. Ferring Pharmaceuticals**

Firmaets danske afdeling har til huse i en større kontorbygning i Ørestaden på Amager i København. Virksomheden har ingen egentlig produktion, og elforbruget går derfor til almindelig kontorforbrug samt ventilation af bygningen. Dog haves en række fryserum, men disse køler medicin, hvorfor det ikke er realistisk at regulere temperaturen i disse for at øge fleksibiliteten på elforbrug for køleanlæg.

I forhold til elforbrug på kontor og elforbrug til ventilation skønnes det, at der ikke vil være økonomi i at gøre dette mere fleksibelt. Derfor deltager virksomheden ikke som demonstrationsvirksomhed i projektet.

#### **2.3.4. København Fur**

Firmaet er beliggende i Glostrup og er ejet af danske minkavlere. De forarbejder en stor del af de minkskind, der anvendes på verdensplan. Minkskindene forarbejdes vinter/forår og sælges ved en række aktioner i løbet af året. Strømforbruget på København Fur går primært til forarbejdning af skind samt nedkøling af lager til opbevaring af skind. I forhold til forarbejdning af skind, kan det ikke udføres fleksibelt, da man i store perioder arbejder i døgndrift. Omvendt vil der formentlig kunne køres mere fleksibelt med køleanlæggene, der nedkøler lagerfaciliteter. For at undgå skab i minken skal disse holdes på en temperatur på 9 grader.

Det vurderes, at køleanlæggene muligvis kan køres mere fleksibelt, men da massen af de lagrede skind er mindre end traditionelle frostvarer, vurderes det ikke som oplagt at anvende virksomheden som demonstrationsvirksomhed.

#### **2.3.5. Coldstar**

Frysehuset Coldstar i Vejle er i flere omgange besøgt med henblik på at kortlægge mulighederne for deres deltagelse i projektet.

Coldstar har udtrykt stor interesse for projektet, men har ikke haft mulighed for at deltage som demonstrationsvirksomhed.

### **2.4. Beskrivelse af 7 demonstrationsvirksomheder**

Nedenstående 7 virksomheder er valgt som demonstrationsvirksomheder på baggrund af nedenstående årsager. Det er 7 virksomheder fra forskellige brancher, som alle har meget forskellige elforbrugsprofiler. Den generiske effekt vil være meget stor, da de 7 virksomheder dækker en meget stor del af de industrityper, der findes i Danmark.



#### 2.4.1. Gramo

Gramo er et bogtrykkeri beliggende i Balling i Salling. Virksomhedens vigtigste proces er indbinding af tryksager. Maskinerne, hvorpå indbindingen finder sted, bruger en væsentlig del af elforbruget, og hvad dette forbrug angår, er det vanskeligt at gøre det mere fleksibelt, da disse maskiner er i drift, når de ansatte er på arbejde. Således vil det kræve en omlægning af arbejdstiden, hvis et mere fleksibelt forbrug skal realiseres på disse maskiner, og det er ikke rentabelt.

Derimod er der hos Gramo identificeret et elforbrug, der kan betegnes som sekundært, idet det ikke afhænger af produktionen på maskinerne. Det drejer sig fx om forbrug til opladning af eltruckene, tryklufskompressorer, vakuumpumper og udsugning. Endvidere haves et gammelt oliefyr, hvor det er realistisk at overveje udskiftning med varmepumpen, der udnytter varme fra ventilationens afkastluft.

For el-truckene gælder, at de traditionelt bliver sat til opladning ved arbejdsdagens afslutning kl. 16, og derefter bliver de opladet i de efterfølgende timer. Denne opladning vil uden problemer kunne forskydes, da truckene først skal anvendes kl. 7 næste morgen. Opladningen vil altså kunne finde sted i tidsrummet fra arbejdstidsophør kl. 16 til næste morgen kl. 7.

For trykluftskompressorer gælder, at disse kører for fuld kraft i alle de timer, hvor der arbejdes ved maskinerne. Disse vil med fordel kunne overvåges gennem et it-system, så de kun er i drift, når behovet er der, og således ikke kører kontinuerligt. Samme muligheder gør sig gældende for vakuumpumperne og udsugningen.

Hvad angår mulig installation af varmepumpe, så ligger det ikke umiddelbart inden for dette projekts område, men det skønnes dog som værende ganske reelt også at undersøge, hvorledes en varmepumpe, der udnytter varmen fra ventilationens afkastluft, vil kunne styres fleksibelt, så den ikke er i drift, når strømpriserne er over et givent niveau, der gør driften af enheden urentabel.

Gramo er ikke en stor forbruger af el blandt industrivirksomheder, men vurderes at være en udmærket repræsentant for den underskov af små og mellemstore virksomheder, der findes relativt mange af i Danmark. Derfor er Gramo valgt som demonstrationsprojekt.

#### **2.4.2. Vald. Birn**

Vald. Birn er blandt Nordeuropas største støberier, og det ligger i Holstebro. Her støbes årligt op imod 40.000 tons gods, og store kunder tæller bl.a. Volvo, Scania og Grundfos.

Vald. Birn har et årligt elforbrug på ca. 85 millioner kWh pr. år, og er således en af områdets største aftagere af el. I virksomheden anvendes den væsentligste del af elektriciteten til smeltning af råvarer, så de kan udstøbes. Råvaren (forskellige typer jernskrot) smeltes i store induktionsovne. Omkring selve smeltningen findes en række hjælpeprocesser fx pumpning af kølevand, der også forbruger en del el.

Når støbningen er færdig, efterbehandles emnerne typisk. Der kan være tale om forskellige varmebehandlinger eller decideret bearbejdning i CNC-arbejdscentre.

Vald. Birn handler i dag el på spotmarkedet, og er således bekendt med muligheden for at planlægge forbruget efter prisen. I forhold til dette projekt er det dog stadig relevant for Vald. Birn at deltage, da projektet kan medvirke til en endnu større synlighed over elforbrug og muligheder for at gøre det mere fleksibelt. Da elforbruget i virksomheden er højt, er der mulighed for at gøre et større forbrug fleksibelt.

I forhold til denne fleksibilitet er det fx drøftet, at smelteovnene og efterfølgende varmebehandling muligvis kan køres mere fleksibelt. Potentialet ved Vald. Birn er meget stort, men det kræver en større indgriben i de forskellige produktionsprocesser, og disse påvirkninger skal derfor nøje overvejes. Af den grund vælges at fokusere på en eller to processer, så virksomheden kan få tid til at gøre sig bekendt med teknologien, inden den tænkes ind i flere processer på virksomheden.

Der afholdes smeltemøder, tavlemøder m.m. for at koordinere indsatsen samt opsamle og evaluere de indsamlede data og energiforbrug. VB har indsamlet og registreret data siden 1990 for at kunne dokumentere energibalancer og –forbrug. Data har typisk været opsamlet og sammenstillet i regneark. Data trækkes på PLC, og de læste data kombineres med målinger på tavlerne. Senere er tilkoblet Danfoss System Master 1000/2000 i processen. Der er opstillet en række målere af typen IFIX på hver ovn til overvågning og indberetning af energiforbrug.

To centrale planlæggere planlægger og indberetter energibalancerne for 2 dage ad gangen. Det skønnes, at der forekommer 10-12 % afvigelser i den planlagte energibalance i forhold til det reelle forbrug – over en horisont på 2 dage. Muligheden for produktionsplanlægning og afstemning af aktuelt forbrug ville forbedres, hvis horisonten kunne være 3-4 dage. Etablering af tænd/sluk mekanisme som reguleringsfaktor overvejes (kan muligvis være brugbar, når smeltetemperaturen er kommet op i højeste niveau) som udnyttelse af eftervarme i efterfølgende støbeprocess.

Energiafgifter udgør en væsentlig barriere – da afgiften ofte udgør en stor del af prisen, og dermed bliver gevinsten ved at udnytte forskellen mellem normalpris og spotpris ikke så stor. Dog ligger der stadig et stort potentiale i at udnytte el optimalt, og derved f.eks. skabe grundlag for besparelser og overførsel af forbrug.

Erfaringsudveksling for at generere besparelser ud fra tværgående erfaringer og tilpasning har f.eks. været anvendt ved genindvinding over kompressorer, hvilket allerede har givet en væsentlig besparelse og en positiv afsmitning på adfærdsstyring på brugerniveau frem mod et systematisk arbejde med energibesparelser.

Projektet vil potentielt kunne få stor betydning for virksomhedens evne til at konkurrere, såfremt strømprisvariationerne bliver tilstrækkelig store.

Såfremt udstyret monteres på en af de store induktionsovne til smeltning af råmaterialet, er det maksimale strømforbrug på 6000 kW, og så vedligeholdes forbruget på 2000 kW.

### **2.4.3. Damolin**

Damolin har fabrikker på Mors og Fur, og producerer kattegrus, kemikalieabsorbenter og forskellige granulater til brug i diverse industrier. Produktionen finder sted ved at grave råstoffet (moler) op fra egne reserver og derefter bearbejde det. Bearbejdningen finder sted i flere trin, hvor moleren gennemgår forskellige knuse- og valseprocesser, før den brændes i én af 5 roterovne. De to fabrikker har et årligt elforbrug på 4,5 millioner kWh pr. år, og forbruget er forholdsvist lavt, da tørring i ovnene sker med olie og biobrændsler.

Specielt i forhold til de forskellige knuse- og valseprocesser, der forbruger el, vurderes det, at der er et potentiale til at gøre disse processer mere fleksible. Dette skyldes, at processerne er automatiske og ikke afhængige af arbejdskraft. Typisk knuses og vales moleren, og den lægges på et midlertidigt lager, før den brændes. Således er der ikke tale om kontinuerlige processer, men om processer, hvor fx en given mængde moler skal knuses og vales for at være klar til ovnen på et tidspunkt. Således er der fx kværne, der blot skal køre 4 timer pr. dag for at følge med produktionen. Det forbrug er fleksibelt, da disse 4 timer kan lægges vilkårligt.

På fabrikkerne er der et godt overblik over de forskellige processer og elforbruget i forbindelse med disse. Det er den første forudsætning for, at der kan laves fleksibelt forbrug. På fabrikken på Mors er der defineret 7 processer, hvoraf de 3 umiddelbart kan gøres fleksible, og de resterende vil kræve en større eller mindre omlægningen af produktionen. Ligeledes er der på fabrikken på Fur 10 processer, hvoraf de 7 er definerede som umiddelbart realiserbare, og de 3 er definerede til at kræve en del tilpasning.

Sammenlagt er der et akkumuleret nominelt effektoptag i de 17 processor på 1362 kW.

#### **2.4.4. Skjern Papirfabrik**

Skjern Papirfabrik er en af 2 papirproducerende virksomheder i Danmark. Fabrikken er beliggende ved Skjern å og producerer forskellige typer af papir, hvoraf det meste eksporteres. Det nye papir produceres ved brug af genbrugspapir, der neddeles og opløses sammen med bl.a. vand, der efterfølgende tørres væk vha. overophedet vanddamp.

Skjern Papirfabrik har et årligt elforbrug på 17 millioner kWh pr. år. På fabrikken blev der lavet en energikortlægning i slutningen af 2009 af energikonsulenten Enervice A/S. Denne rapport giver et godt overblik over de el-forbrugende processer.

Vanddampen produceres vha. naturgas, og Skjern Papirfabrik aftager derfor en anseelig mængde naturgas. I forbindelse med produktionen af papiret er der også et betragteligt elforbrug, hvoraf noget muligvis vil kunne gøres mere fleksibelt. Selve maskinen, hvorpå papiret fremstilles, vil næppe kunne køre mere fleksibelt, men en række hjælpeprocesser vil muligvis kunne gøres mere fleksible. Det drejer sig fx om neddeling af genbrugspapir og pumpearbejde i forbindelse med flytning af vand for brug i processen samt spildevand.

Endvidere er der et meget stort potentiale ved at installere en varmepumpe til produktion af varmt vand til fjernvarmenettet ved genindvinding af tørreenergien. Som ved Gramo ligger potentialet ved varmepumpen i, at det er muligt at slukke for varmepumpen, når strømmen i perioder bliver for dyr. Dette projekt vil forsøges etableret i et andet projekt.

Strømforbrugskurven for fabrikken er derfor helt flad og uden spidser, som vil kunne flyttes til perioder med billig strøm. En stor udfordring ved valget af denne virksomhed som demonstrationsvirksomhed er derfor at få omdefineret processerne, således at der kan laves fleksibelt elforbrug. I dette arbejde vil brugerdreven innovation være en central indgangsvinkel, da det kun er sammen med brugerne i fabrikken, at disse processer kan blive kortlagt. Det er derfor her, den brugerdrevne innovationsdel af projektet har sin berettigelse.

#### **2.4.5. BC-Catering**

BC-Catering er en sammenslutning af 7 køle-/frysehuse, og i forbindelse med projektet er afdelingen i Odense besøgt. Odense er specielt oplagt, da man det seneste år har foretaget ganske omfattende optimeringer af kølesystemer, så de nu kører meget energieffektivt. Det giver mening at undersøge muligheden for at agere mere fleksibelt i driften af køleanlægget.

I profilen for virksomheden ses ganske tydeligt, at der er et konstant forbrug døgnet rundt, der går til drift af kølemaskiner. Således er der ikke andet væsentligt forbrug ud over køleanlægget i natte- og weekendtimerne. Det er interessant for projektet at undersøge, om køleanlægget med fordel kunne køre mere i nattetimerne for derefter at køre mindre i dagtimerne. Rationalet i denne mulighed er, at strømmen i løbet af natten typisk ville være lidt billigere end i dagtimerne. Således vil en besparelse i kr./øre måske kunne opnås på elregningen.

Man har med virksomheden diskuteret muligheden for at sænke temperaturen i virksomhedens fryseler med en grad i løbet af natten. For 1000 tons frostvarer viser beregninger, at der kan akkumuleres 2 millioner kJ i varerne ved at sænke temperaturen i kølerummet med 1 grad. Det svarer til, at der kan akkumuleres energi svarende til 46 kW over et 12 timers interval. Virksomheden råder over et nyt køleanlæg med en nominel ydelse til frostlageret på 61,5 kW.

Denne enhed er køleunit for 11 fordampere, hvoraf de 6 er monteret i et nyt frostlager, og de 5 øvrige er monteret i det oprindelige frostlager. I det ældre frostlager er der ét mindre energi-effektivt køleanlæg, som bliver aflastet af de nye fordampere. Hvis denne aflastning bliver yderligere forstærket ved energilagring med billig strøm, vil der også være et energibesparel-sespotential, idet det gamle køleanlæg vil få væsentlig færre driftstimer. Derfor skal disse også indgå i det samlede system, som overvåges af GridManager-udstyret.

#### **2.4.6. Danfloor**

Danfloor er besøgt i efteråret 2009. De producerer forskellige slags gulvtæpper. Virksomheden har flere el-forbrugende processer som fx aircondition, kompressorer til produktion af trykluft og diverse skære-/væve-/limningsprocesser. Umiddelbart er det ved besøg fundet, at det primært ville være ved aircondition og trykluft, at der vil være et potentiale for øget fleksibilitet. Specielt trykluft forbruget er meget stort, og der vil være en stor mulighed og potentiale i at arbejde med elforbruget til denne proces, da trykluftens hovedsagligt bruges til en proces.

Tykluftens bruges hovedsagligt til 3 styk garnblæsningsmaskiner, som på grund af produktions mixet er meget lav, og der er derfor fri kapacitet til at flytte til tider af døgnet, hvor strømmen er billig. Det er på grund af denne proces at Danfloor er valgt som demonstrationsvirksomhed.

#### **2.4.7. IS skovgården**

IS Skovgården er et stort svine og jordbrug beliggende i Vojens. De har 1300 grisesøer og producerer 16.000 slagtesvin på årsbasis. Endvidere dyrker de et større jordareal, der hovedsageligt producerer korn til brug som svinefoder. De har derfor en del el-forbrugende processer såsom kornformaling og korntørring, som kan defineres som fleksible elforbrugsprocesser. Endvidere har gårdens ene ejer Nis Skau været meget aktiv i kortlægning af virksomhedens energiforbrug og øvrige ressourceforbrug, og har derfor et godt overblik over gårdens totale ressourceforbrug. Til dette brug er der i samarbejde med et mindre IT firma udviklet en IT platform, benævnt FarmView, som kan bruges til kortlægningen. Denne platform vil sammen med Grid Managers netværksplatform kunne levere en komplet styring af ressourceforbruget i et moderne landbrug og medvirke til en optimering. Dette er en spændende mulighed for at mange moderne landbrug kan få skabt besparelser ved at bruge energien på det mest optimale tidspunkt.

## 2.5. Konklusion

I løbet af fasen er en række virksomheder besøgt, og deres energiforbrugende processer er kortlagt med henblik på at identificere mulighederne for at gøre dele af forbruget mere fleksibelt. Fælles for de el-forbrugende virksomheder er, at størstedelen af deres elforbrug går til produktionsprocesser, der er afhængige af arbejdskraft. Disse forbrug er svære at gøre mere fleksible, da der ikke er økonomi i at ændre fx arbejdstid/procedure. Det var heller ikke forventeligt, så det er der ikke noget nyt i.

Ved siden af det ikke-fleksible forbrug er der dog fundet en væsentlig række forbrug, der med fordel ville kunne gøres mere fleksible. Den mest simple er opladning af el-truckene. Her kan der umiddelbart flyttes på forbruget, uden at det går ud over en produktionsproces.

Fleksibiliteten kan generelt udføres, ved enten at lagre energien indtil man skal bruge den, eller ved at forskyde en proces i forhold til prisen på el. Ved lagring af energi forstås, at el bruges til at fremstille kulde, varme eller trykluft, der så kan lagres og bruges, når behovet er der. Her kan der fx være tale om køleanlæg, der vil kunne yde ekstra i løbet af natten for så at kunne stå stille i perioder af arbejdsdagen. Dette gør sig f.eks. gældende for BC-Catering, hvor dette nu undersøges nærmere. En anden mulighed er at producere varme fx ved hjælp af en varmepumpe og så lagre varmen. For trykluft gælder, at hvis der haves en tilstrækkelig buffertank, så kan der lagres trykluft i denne. For disse 3 nævnte tilfælde gælder, at der vil være tab ved denne form for lagring. Der er tale om termodynamiske tab. For at gøre denne form for fleksibilitet rentabel kræves, at elprisen i de perioder, hvor der akkumuleres kulde, varme eller trykluft, er så lav, at det termodynamiske tab opvejes ved lagringen.

I forhold til at forskyde egentlige produktionsprocesser er der tale om delprocesser, som fx neddeling af materiale eller pumpning af spildevand. Her er der tale om processer, der er uafhængige af arbejdskraft, og som derfor kan forskydes, hvis ellers der er tale om processer, hvor der ikke er andre processer, de er afhængige af. Der er således identificeret en række processer, hvor det vurderes, at el vil kunne bruges mere fleksibelt. Flere af de processer som er identificeret som fleksible i virksomhederne vil dog kræve en ombygning af processen for at kunne realiseres, som bl.a. installering af buffertanke. Det er derfor vigtigt, at projektet fremviser potentialet ved fleksibelt elforbrug således at virksomhederne får en mulighed for at vurdere om en investering i ombygning af udstyr vil være rentabel i forhold til at udnytte svingende elpriser.



## 3. Fase 3 & 4

### 3.1. Resume

Projektet har i det forløbne halvår fokuseret på at få installeret og tilpasset udstyr på de udvalgte processer ved demonstrationsvirksomhederne. Endvidere har der været betydelige aktiviteter med at få forberedt virksomhederne og deres organisation til at udnytte mulighederne med det nye udstyr. Gennemgangen har vist, at de udvalgte virksomheder har haft vidt forskellige muligheder for at udnytte fordelene ved fleksible el-tariffer, og det har derfor været nødvendigt at udvikle forskellige metoder til hver enkelt virksomhed.

Resultaterne af dette arbejde har vist, at alle virksomhederne har mulighed for i større eller mindre grad at udnytte de fleksible tariffer ved at:

- flytte produktionen til perioder, hvor prisen er lav.
- stoppe produktionen ved høje elpriser.
- planlægge produktionen efter energiforbrug, så de mest energiforbrugende produktioner planlægges, når elprisen er lav.
- udnytte de lave elpriser til energilagring f.eks. i et frysehus, hvor energi lagres som kulde ved at sænke temperaturen i varerne.
- flytte forbruget til perioder med lave priser som f.eks. truckladning, der foregår om natten.

Gennemgangen af virksomhedernes energiforbrug har også vist, at det har været muligt at spare energi ved at omlægge eller optimere processerne. Dette har bl.a. været tilfældet i forbindelse med tryklufftforbrug.

Arbejdet i 2. halvår af 2010 har hovedsageligt vedrørt:

- Fase 3, Brugerdreven innovation
- Fase 4, Udvikling af Smart Grid-udstyr
- Fase 5, Beregning og implementering af udstyr

### 3.2. Fase 3: Brugerdreven innovation

#### 3.2.1. Brugerinvolvering som redskab i projekt FlexEI

Som udgangspunkt udføres processen, der involverer brugerne, som en styret proces og ikke som en decideret brugerdreven proces. Det vil sige, at brugerne er en del af processen – men de driver den ikke selv. Det er også kendetegnende for processen, at denne gennemføres med og retter sig mod professionelle brugere. Den primære målgruppe er således medarbejderne i virksomhederne, som i deres daglige arbejde er involveret i arbejdsprocesser, der repræsenterer et betydeligt energi- eller elforbrug og kan have potentiale til indførelse af fleksibelt elforbrug.

Med udgangspunkt i tidligere erfaringer er det vigtigt, at den brugerinvolverende proces faciliteres og styres fra centralt hold – fra projektledelsen – så der derved sættes fokus og momentum i processen og så det sikres, at brugerne bidrager til projektet med input og idéer af høj validitet.

I forhold til projektets helhed indgår den brugerinvolverende proces således med en række formål:

- **at sammenbinde projektfaserne** – disse er ikke altid glidende overgange eller kronologiske i et stort projekt som FlexEl. Ofte kører forløbene parallelt og er som udgangspunkt afhængige af den enkelte virksomheds aktuelle status og parathed.
- **at skabe momentum i projektet** – her anvendes brugerinvolvering f.eks. til at gennemføre erfaringsudveksling og skabe tværgående aktiviteter omkring energi-optimering m.m.
- **at tilføre projektet ressourcer** – det er en klar fordel for projektet rent ressource-mæssigt, at virksomhedernes brugere selv lægger en arbejdsindsats i denne proces.
- **at facilitere teknologisk udvikling** – gennem den brugerinvolverende proces får virksomhederne erfaring med forandringsprocesser og er bedre forberedte til implementering af ny teknologi.

### 3.2.2. Screening og udvælgelse af virksomheder

Indledningsvis blev virksomhederne screenet for deres potentiale og parathed til at bidrage til projektets målsætninger. Herunder er foretaget indledende behovsafdækning med henblik på at identificere virksomhedernes teknologiske niveau samt at få et indtryk af deres kultur og adfærd. Her er taget de første skridt til identificering af primære indsatsområder inden for energibesparelser og -optimering og vurdering af virksomhedernes parathed til forberedelse af fleksibelt elforbrug. Den indledende screening indeholder desuden en konkret afstemning af forventninger, som vægtes i forhold til de øvrige udvælgelseskriterier.

#### **Kvalificering af virksomheder:**

Som led i etablering af den brugerinvolverende proces er der gennemført en række møder hos virksomhederne med henblik på, at:

- skabe organisatorisk forankring af projektet i virksomhederne.
- opbygge ”modtagerstation” i virksomheden.
- tilføre virksomhederne viden og ”mind set” for at klargøre dem til det videre projektforsløb.
- gennemføre seminar/workshops med faglig og projektrelaterede aktiviteter.

Undervejs i forløbet har vi anvendt nogle redskaber, som gør det muligt at kvantificere virksomhedernes indsats inden for væsentlige energirelaterede områder. Gennem interviews med brugerne i virksomhederne får vi opbygget et billede af virksomhedernes stærke og mindre stærke sider, samt den tilstand de ønsker at opnå på længere sigt. Gennem denne proces produceres et datagrundlag, som angiver de enkelte virksomheders niveau, prioriteringer og ønsker i forhold til deres aktuelle energistatus. Disse data afspejler således også virksomhedernes motivation og parathed på nogle væsentlige energirelaterede områder. Sammenholdt med de

Øvrige indsamlede data om virksomhederne bruges de til at få et billede af virksomhedernes parathed og mulighed for at forberede fleksibelt elforbrug.

Bilagene viser de opgjorte 360 graders undersøgelser for de interviewede virksomheder.

### **3.2.3. Øvrige aktiviteter i forbindelse med brugerinvolvering i projekt FlexEI**

I juni afholdtes en workshop med deltagelse af demovirksomhederne. Temaet for workshoppen var innovations- og udviklingsprocesser med særlig vægt på, hvordan demo-virksomhederne kan bruge medarbejderinvolvering til at skabe grundlag for at realisere energi-optimering og -besparelser. Programmet for workshoppen er vedlagt som bilag 1.

Gennem workshoppen blev deltagerne guidet gennem brugen af enkle innovationsprocesser med fokus på, hvad det kræver af virksomheder at være innovative og skabe innovativ praksis i en organisation og produktionsprocesser.

Som opfølgning på workshoppen gennemførtes en række telefoninterviews, og spørgeskemaer blev udsendt til virksomhederne. På grundlag af virksomhedernes svar på spørgeskemaerne blev en manual udfærdiget for indførelse af organisatoriske innovationssystemer, som kan anvendes af virksomhederne i det videre forløb.

Resultat af workshoppen om Innovationsforslag er vedhæftet som bilag 2.  
Manual for Organisatoriske Innovationssystemer er vedhæftet som bilag 3.

I projektets videre forløb vil brugerinvolvering indgå som en praksisnær proces, der kan lette implementering og læring i forbindelse med indførelse og brug af ny teknologi. Herigennem skal opbygges en række kompetencer, som vil gøre brugere og virksomheder i stand til bedre at kunne forstå de muligheder og gevinster, der ligger i at få overblik over og indflydelse på regulering af deres el- og energiforbrug. Herunder bl.a. hvordan de kan ændre og tilpasse deres adfærd og øge paratheden til at udnytte styreværktøjer og innovationsprocesser i deres daglige arbejde.

I dette forløb sættes bl.a. fokus på:

- at synliggøre brugerinvolvering og dens gevinster i virksomhederne.
- at igangsætte implementering af de beskrevne brugerinvolverende processer.
- at arbejde med forandringsprocesser – herunder adfærd og overvindelse af barrierer.

Den beskrevne brugerinvolverende proces forventes at understøtte og facilitere projektets videre forløb i relation til udvikling og implementering af ny teknologi i virksomhederne frem til projektets afsluttende fase 6.

## **3.3. Fase 4: Udvikling af Smart Grid-udstyr**

GridManager (GM) har, som beskrevet i projektbeskrivelsen, skullet udvikle en generel platform, der kan kontrollere brugernes procesudstyr på basis af elprisininput. Endvidere har GM udviklet tilhørende strømmålere, der giver et prisbilligt alternativ til at måle strømforbruget tilstrækkeligt præcist til opfyldelse af dette formål. Udvikling af Smart Grid-udstyret og beskrivelsen af produktet findes i hovedtræk i bilag 4.

Danfoss Solution har arbejdet med at udvikle metoder til at beregne baseline på omkostningen af elforbruget og registrere besparelser ved at bruge fleksible tariffer. Det er proces der kræver en nøje gennemgang af metoden for at der kan findes en god indikator for besparelse.

Nogle af de processer, der måles på i dette projekt har et tilfældigt driftsmønster, hvorimod andre har en helt regelmæssig døgnprofil. Det betyder at der skal en lang historik på processen for at sikre at dataene der beregnes på er valide. Desuden er der for nogle processer, som blandt andet køle processerne, en stor årstids variation.

Det har i udviklingsarbejdet vist sig vanskeligt at finde en formel, der dækker alle former for fleksibelt elforbrug. Derfor vil processerne ved de enkelte virksomheder blive behandlet individuelt, og der vil blive lavet et regelsæt for hver enkelt proces, således at det er optimeret til at styre efter både prissignalet og kravene til processen. Dette regelsæt skal lægges ind i Grid-Managers system for at styre de udvalgte processer.

### **3.4. Konklusion**

De 7 demonstrationsvirksomheder har vist sig meget interesserede i at udforske de muligheder, der opstår ved varierende elpriser. Der har været stor interesse i at finde produktionsprocesser og kortlægge forbrugsmønstre, der kan udnytte fleksible tariffer. Samtidig har de involverede personer i virksomhederne udtrykt et stort ønske om helt specifikt at kende energiforbruget til de enkelte processer. Det har vist sig, at øget kendskab og synliggørelse af energiforbruget ved en given proces ofte kan føre til store energibesparelser og endda til, at nogle processer ikke behøver at blive brugt i samme grad som tidligere.

Det er dog også tydeligt, at den nuværende pris- og afgiftsstruktur, hvor distributions- og energifgiften er en fast del af elprisen, begrænser, hvor mange processer det er rentabelt at omlægge. Et eksempel er produktion af trykluft, hvor det at lagre trykluft i tilstrækkelige mængder simpelthen er for dyrt i forhold til de besparelser, der kan opnås. For at lagre trykluft skal trykket øges nogle bar, og et øget tryk koster energi. Besparelspotentialet ved de fleksible tariffer er hverken stort nok til at betale for merforbruget i strøm, der skal bruges til at øge trykket, eller til at investere i tilhørende trykluft lagerkapacitet. Det vil være væsentligt mere attraktivt at udnytte de svingende produktionselpriser, hvis den faste del af elprisen ligeledes blev gjort fleksibel.

I den kommende fase i projektet, hvor der arbejdes med forbrugsdata og adfærd i forbindelse med produktionen, vil der blive lagt stor fokus på at kvantificere det fleksible elforbrug ved firmaerne. Beregninger på, hvilke processer, der kan omlægges til fleksibelt elforbrug og en vurdering af, hvor store mulighederne er for produktionsfleksibelt elforbrug i de enkelte demonstrationsvirksomheder, vil blive kortlagt i fase 5.

## 4. Fase 5

### 4.1. Resume

I fase 5 har følgende 5 virksomheder deltaget som demonstrationsvirksomheder for teknologi, der skal give muligheder for fleksibelt elforbrug.

- Damolin, molerfabrikker på Fur og Mors
- Skjern Papirfabrik, Skjern
- BC Catering, frysehus i Odense
- IS Skovgård, svine- og jordbrug i Vojens
- Danfloor, gulvtæppeproduktion i Kibæk

Projektet har i denne fase fokuseret på at opsamle data fra virksomhederne og bruge disse data til at vurdere potentialet for at flytte energiforbrug/spare energi.

Virksomhedernes forbrugsmønstre og deres muligheder for at flytte på energiforbruget har vist sig at være endog meget forskelligt. Der kan derfor ikke foretages nogen sammenligning mellem virksomhederne, og de er alle behandlet separat.

### 4.2. Kategorier af virksomheder

Ved gennemgang af virksomhederne er det konstateret, at samtlige virksomheder har haft nytte af GridManager-systemet, da man derigennem har kunnet få data for hver enkelt el-forbrugende komponent. Derved er det muligt at overvåge el-forbruget og hurtigt konstatere afvigende elforbrug, som kan skyldes komponent- og styringsfejl.

Flere af virksomhederne har på denne måde kunnet finde unødvendige elforbrug, som derefter er blevet korrigeret med en varig besparelse til følge.

Desuden er det blevet kortlagt, i hvilken grad virksomhederne kan flytte elforbruget over døgnet.

Konklusionen af dette arbejde er, at demonstrationsvirksomhederne kan opdeles i 3 kategorier:

- a) GridManager-systemet kan anvendes til overvågning, men det er ikke muligt/praktisk at flytte nævneværdigt elforbrug.
- b) GridManager-systemet kan anvendes til overvågning, og kortvarige spidser i elprisen kan modgås ved at stoppe enkelte processer kortvarigt.
- c) GridManager-systemet kan anvendes til overvågning, og produktionsplanlægningen kan ske med hensyntagen til elprisens variation over døgnet med væsentlige besparelser til følge.

## 4.3. Gennemgang af virksomheder

### 4.3.1. Damolin

Damolin (kategori c) forarbejder moler til kattegrus og lignende absorberende produkter, der alle gennemgår processer, hvor der anvendes møller/kværne m.v. Fabrikken har rige muligheder for at flytte elforbrug, da man har rigelig lagerkapacitet i form af siloer til mellem- og færdigprodukter. Desuden har man fx et forbrug til rensning af filtre, hvor man kan vælge at rense filtrene inden de stopper helt til, hvis man derved kan undgå rensning på tidspunkter med høje elpriser.

Alt i alt er der konstateret et forbrug på adskillige hundrede kW, der umiddelbart kan flyttes til de tidspunkter, hvor elpriserne er lavest, medmindre produktmikset forhindrer det.

Det er dog også igennem projektet blevet klart, at man kun vanskeligt kan automatisere flytningen af elforbruget, da produktionsplanen kan variere (selv inden for et døgn), og beslutningen om at starte/stoppe en proces kan kræve menneskelig indgriben. Der arbejdes derfor stadig på at få optimal information om de aktuelle spotpriser ud til de enkelte medarbejdere.

Damolin har med andre ord IKKE noget behov for en automatisk styring af de potentielt fleksible el-forbrugere.

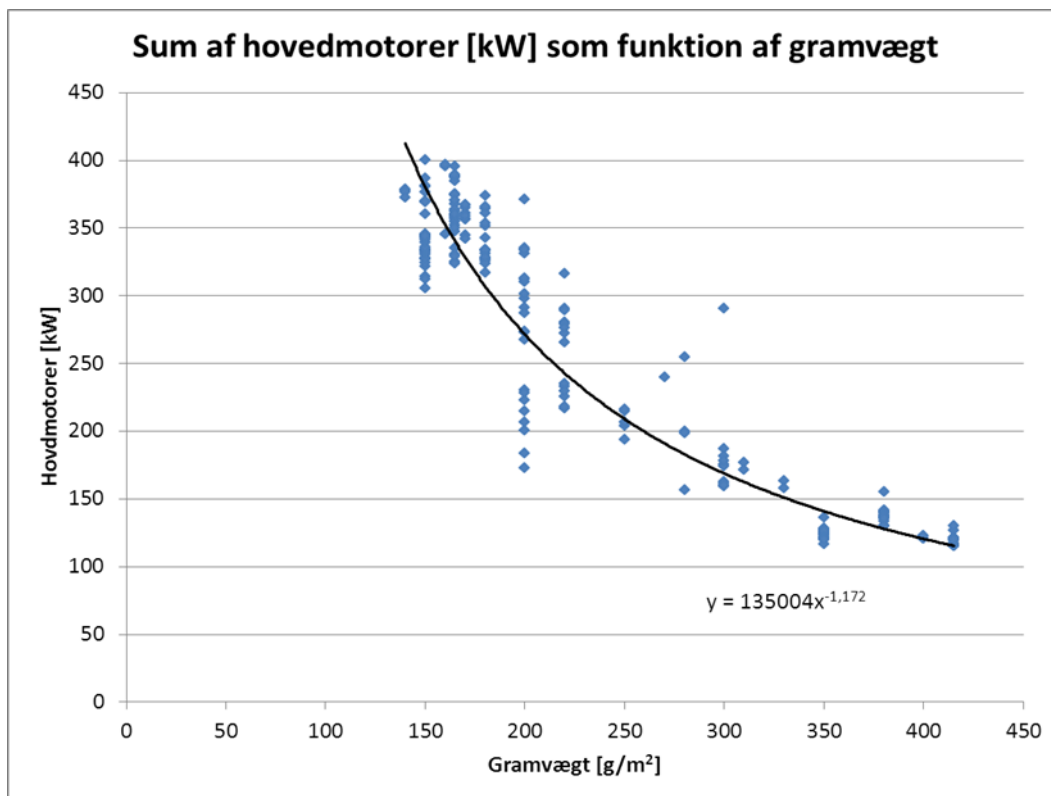
Ifølge Damolin har man ved at overvåge elforbruget på trykluftsystemet kunnet konstatere et unødigt forbrug. Man har derefter gennemgået trykluftsystemet og korrigeret de fundne fejl og lækager, og derved er en besparelse på cirka 40 % opnået.

### 4.3.2. Skjern Papirfabrik

Skjern Papirfabrik (kategori c) producerer genbrugspapir i varierende kvaliteter (gramvægte). De enkelte produktioner kan variere fra få timer til flere døgn.

For at få et overblik over sammenhængen mellem produkttype og elforbrug er der foretaget en gennemgang af produktionen i 10 døgn, hvor produkttypen er hentet fra produktionsplanen, og elforbruget til de enkelte processer er aflæst via Gridportalen.

Det er heraf blevet klart, at flere af de indgående processers elforbrug er relativt uafhængige af produkttypen. Dog er forbruget til hovedmotorerne, der trækker papiret gennem tørretromlerne, meget afhængig af produkttype (se grafen herunder).



Som det ses af grafen, kan man flytte en effekt på maks. 250 kW ved at ændre på produktionsplanen. Spredningen på dataene antyder dog, at der er andre faktorer end gramvægten, der påvirker hovedmotorernes forbrug. Disse faktorer er ikke identificerede.

Skjern Papirfabrik udnytter p.t. ikke muligheden for at flytte elforbruget, da man kun køber en lille procentdel af elforbruget til spotpris.

#### 4.3.3. BC Catering

BC Catering (kategori b) er engrosforhandler af fødevarer og har i den forbindelse et større frostlager i Odense. Dette lager tænkes anvendt som energilager, idet man om natten lader køleanlægget trække temperaturen et par grader længere ned end normalt. Derved har man i selve varerne opsamlet en kuldemængde, der kan forbruges i løbet af dagtimerne, så kompressorerne her ikke behøver at køre med så stor belastning.

Dette system er i princippet gammelkendt fra den tid, hvor man havde den såkaldte 3-ledstarif. Her var det normalt at køre natsænkning på frysehuse.

Der er forsøgsvis kørt natsænkning i BC Caterings frostlager, idet man over 2 døgn har kørt en cyklus, hvor der fra 21:00 til 6:00 var sat et temperatursetpunkt, der var 2°C grader lavere end normalt.

Af praktiske grunde var det ikke muligt at følge temperaturerne i de rigtige fødevarer, og derfor var et antal "dummy-produkter" placeret på forskellige lokationer i lageret.

Konklusionen af forsøget er, at:

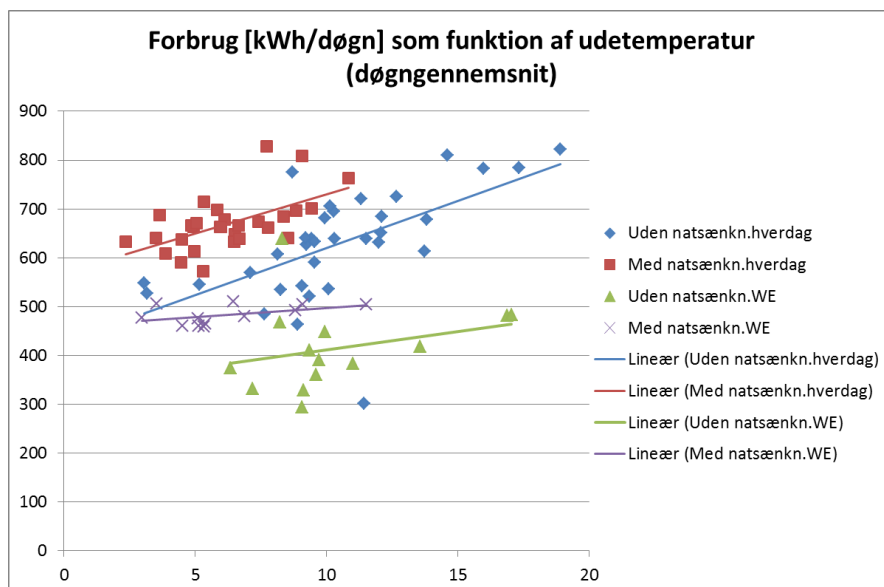
- Varenes temperatur falder 2°C under natsænkningen, og den er tæt på at være stabil kl. 6:00.
- Under natsænkningen er elforbruget 40-50 % højere end det normale natforbrug.
- Når temperatursetpunktet sættes tilbage til normal, stiger varenes temperatur i løbet af 2-3 timer til normalt niveau.
- I løbet af disse 2-3 timer er elforbruget ca. 30 % lavere end normalt.

Oprindeligt regnede man i projektet med, at frostlageret kunne være et ”døgnlager”, men i realiteten kan man kun ”opbevare” kulde til 2-3 timer. Dette kan skyldes, at der oprindeligt var regnet med et varelager på ca. 1000 tons, mens en grov optælling på en repræsentativ dag antyder, at der reelt er ca. 300 tons på lageret. Samtidigt er mange af varerne pakket i pallestørrelse, hvilket kan betyde at kulden under natsænkningen ikke når at trænge helt ind til midten af pallerne, så måske nærmer det reelle kuldeler sig i virkeligheden 150 tons.

I løbet af 2011 har BC Catering afsluttet installation af et nyt køleanlæg, og forsøget blev derfor gentaget, idet der blev kørt natsænkning fra 9. november 2011 til 19. december 2011. Under dette forsøg blev varettemperaturen sænket cirka 4°C for at opnå en større kuldelering. Natsækningsperioden var stadig fra 21:00 til 6:00.

Konklusionen er, at:

- på en normal arbejdsdag er kuldeleret opbrugt på ca. 6 timer.
- i en weekend, hvor der ikke er belysning eller trafik i lageret, kan man næsten nøjes med køling i natsækningsperioden.
- elforbruget er 15-20 % højere ved natsænkning, uanset om der ses på arbejdsdage eller weekend.



Energiforbrug for køleanlæg hos BC Catering med og uden natsænkning, med data for hverdage og weekender vist separat.

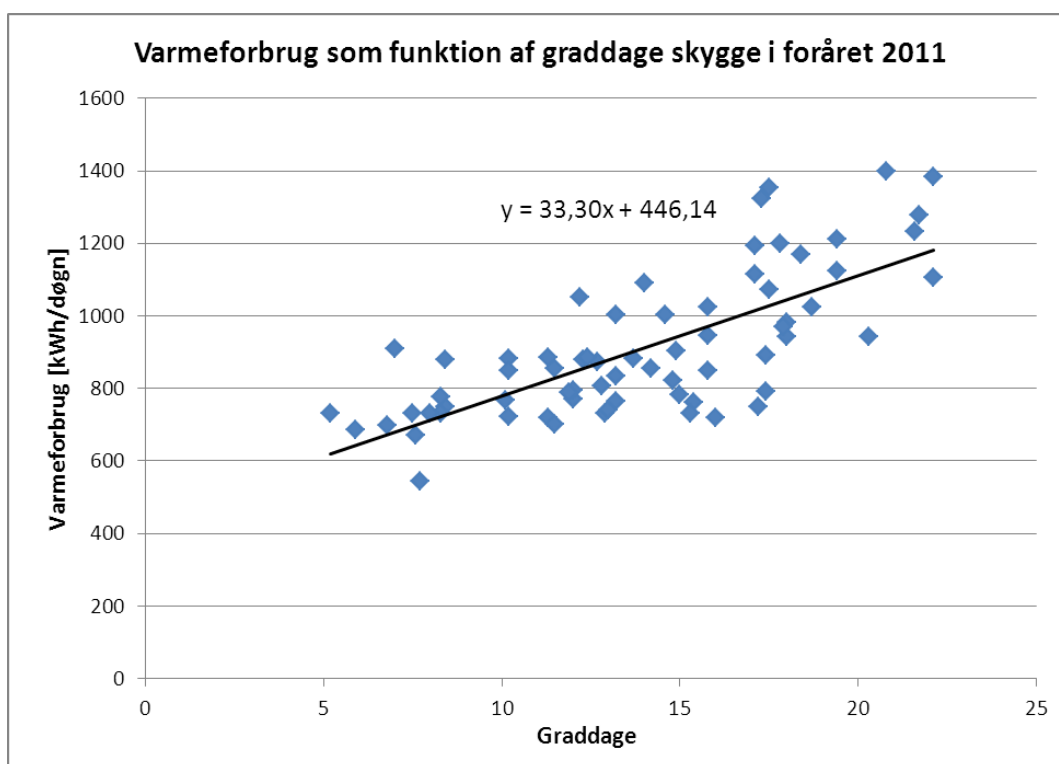


#### 4.3.4. IS Skovgård

IS Skovgård (kategori b) har en svineproduktion, herunder smågrisestalde, der kræver opvarmning. Ud over et oliefyr har man 2 gasmotorer, der dels leverer elektricitet (2\*15 kW) og dels producerer spildvarme (2\*30 kW), der kan bruges til opvarmning. Gasmotorerne kører primært, når elprisen er høj, men er også afhængige af, at der skal produceres tilstrækkelige mængder varme.

Der er i varmesystemet indskudt 4 lagertanke á 500 liter, der aftager overskudsvarmen fra gasmotorerne.

Ud fra data over gasmotorernes og oliefyrets driftstider er der fundet en sammenhæng mellem varmeforbrug og graddage.



På en repræsentativ dag er forbruget ca. 1000 kWh/døgn. Antages det, at vandtemperaturen i varmelageret kan variere fra 40°C til 80°C, fås et energiindhold på 93 kWh, dvs. svarende til 2,2 timers forbrug. Derfor er Skovgård lagt i kategori b, og hvis anlægget skal optimeres yderligere til fleksibelt elforbrug, vil det kræve en forøgelse af lageret.

#### 4.3.5. Danfloor

Danfloor (kategori a) producerer gulvtæpper, vævet af garn. En stor del af elforbruget i form af belysning, kontormaskiner m.v. er bundet til normal arbejdstid og kan derfor ikke flyttes.

Det allerstørste elforbrug anvendes dog til at producere trykluft til det såkaldte garnblæseri. I garnblæseriet udsættes garnet for en proces, hvor man ved hjælp af trykluft blæser ”løkker” i garnet, så det færdige tæppe får en mere ”ulden” og luftig struktur.

I en normal dagsproduktion anvendes typisk en effekt på 300 kW i 2-holdsskift, udelukkende til fremstilling af trykluft.

Der har været lavet en overslagsberegning af størrelsen af de tryklufttanke, man skulle anvende, hvis man ville opbevare trykluft til fx 1 times produktion. Derudaf kan det konkluderes, at det er økonomisk fuldstændigt urealistisk at lagre trykluft i disse mængder.

Ud fra spotpris-data er der lavet en analyse af konsekvensen af at flytte produktionen væk fra dagtimerne og udelukkende producere om natten. Analysen viser, at den økonomiske gevinst ville være for lille i forhold til de problemer, der skabes, samt det ekstra forbrug til belysning om natten.

Danfloor har udnyttet GridManager-systemet til at overvåge forbrugere, og har også derved fundet unødige forbrugere, der senere er blevet fjernet/korrigeret. Det er meget svært at sætte tal på besparelsen.

## 5. Fase 6

### 5.1. Resume

I fase 6 skulle der have været foretaget formidling af projektets resultater. Dette blev også påbegyndt i form af et seminar på Teknologisk Institut, men på grund af manglende tilslutning blev seminaret aldrig afholdt.

Resultatet af projektet kan kort beskrives ved, at ingen af de deltagende virksomheder har opnået besparelser, der kan retfærdiggøre indkøb af styringsudstyr på normal kommerciel basis.

Da kun 5 virksomheder har deltaget som demonstrations-sites, kan et sådant resultat ikke anvendes til at drage en generel konklusion. Det blev derfor besluttet at lave en screening af andre virksomheder, med det formål at finde en virksomhed, der helt oplagt kunne omlægges til fleksibelt elforbrug og på den måde udnytte el-spotprisernes variation. Det er her kun lykkedes at finde 1 firma, et frysehus, der kører natsenkning, men som i øvrigt ikke holder kontrol med, om det giver nogen økonomisk gevinst.

For at belyse økonomien i fleksibelt elforbrug er der lavet et overslag over, hvilken økonomisk gevinst man kan få ved at lade et forbrug på XX kW være fleksibelt (se afsnit 5.4). Dermed fås også en indikation af, hvor meget man kan tillade sig at investere i udstyr til realisering af et fleksibelt elforbrug.

### 5.2. Kategorier af virksomheder

Ved udvælgelsen af virksomheder til screening er der lagt vægt på, at det skulle være virksomheder med et væsentligt elforbrug. Der er ikke på forhånd lagt vægt på, om det kunne forventes, at disse virksomheder har et reelt flytbart elforbrug, da dette punkt netop skulle belyses i screeningen.

Omvendt har der også været lavet en brainstorm, som fokuserede på at identificere virksomheder med åbenlyse muligheder for at flytte et elforbrug. Eksempler på disse er virksomheder, der har mulighed for at lagre en energiydelse, fx kulde eller varme.

Kuldelagre findes fx i nogle mejerier i form af isbanke eller i frysehuse, der kører natsenkning (er tidligere dækket under demonstrationsvirksomhederne).

Varmelagre findes primært i kraftvarmeanlæg, der i nogle tilfælde har elektrisk drevne varmepumper. Det har været foreslået, at mange fødevareproducerende virksomheder også kunne have et varmelager i form af en varmtvandstank med varmt rengøringsvand. I de fleste tilfælde viser det sig dog, at varmt rengøringsvand fremstilles ved hjælp af olie- eller gasfyr.

## 5.3. Gennemgang af virksomheder

### 5.3.1. Mejerier

Mejerisektoren i Danmark består groft sagt af en gigant i form af Arla, der producerer mange forskellige mejeriprodukter i stor skala, samt af en underskov af (væsentligt mindre) producenter, der producerer specialprodukter.

Arlas produktion er centraliseret på relativt få produktionssteder, der til gengæld ofte kører i døgndrift. Eksempelvis er der i nærheden af Herning en fabrik, der udelukkende producerer mælkepulver. Der ankommer dagligt adskillige tankvogne med frisk mælk, der efter endt forarbejdning ender som mælkepulver. Tørringen af pulveret kræver meget store varmemængder, der i dag leveres ved afbrænding af naturgas i en gasturbine, der også leverer en del af fabrikkens elforbrug. Det har været foreslået at erstatte naturgassen med el på de tidspunkter, hvor el er meget billigt, men dette har vist sig ikke at være rentabelt, på grund af prisen på den nødvendige ekstra tilslutningseffekt (i form af kabelføring, transformatorer m.v.).

Et andet eksempel er et produktionssted i Midtjylland, hvor der udelukkende produceres Mozzarella-ost. Også denne produktion kører 24 timer i døgnet, og har både et stort varme- og kuldebehov. Da produktionen imidlertid kører fuldstændigt kontinuert, er der ingen mulighed for at flytte forbrug, da der ikke findes nævneværdige kulde- eller varmelagre på stedet.

Thise Mejeri er et eksempel på en helt anden type produktion. Her produceres næsten alle former for økologiske mælkeprodukter såsom mælk, fløde, yoghurt, ost, smør m.v., og alle produkter køres som batch-produktion. Varmebehov dækkes her af et naturgasfyr, og kølingen dækkes af elektrisk drevne kølekompressor. Thise Mejeri har et isbanklager, der anvendes dagligt, men ikke til at udnytte spotpriser, da det er vigtigere, at kølingen er til rådighed på det rette tidspunkt.

### 5.3.2. Bryggerier

Albani Bryggeri i Odense er her valgt som eksempel. Albani kører i døgndrift, men selve produktionen foregår i batches á 40 m<sup>3</sup> i en cyklus på 3 timer. Hver batch skal først varmes op til i nærheden af kogepunktet, hvor det holdes 1 time. Derefter afkøles produktet til 2°C-14°C afhængig af produkttype, og ved denne temperatur gæres det færdigt.

Man skulle derfor tro, at bryggeriet både har et stort varmebehov og et stort kølebehov. Det viser sig dog ikke at være tilfældet, da afkølingen af det varme produkt for den største dels vedkommende foretages ved hjælp af det vand, der skal bruges til næste bryg. Der foretages ganske vist en restkøling, men en overslagsberegning viser, at der i værste fald anvendes en el-effekt på 150 kW til dette formål.

Albani har ikke noget islager og har ingen planer om at køre fleksibelt elforbrug.

### 5.3.3. Plaststøberier

Der er udført research hos 2 store plastvirksomheder: 1 i Billund og 1 i Holstebro. I begge tilfælde var konklusionen, at der anvendes meget store el-effekter til at smelte plasten inden støbningen, men at denne el-effekt ikke er flytbar. Det er heller ikke muligt at producere varmen på ét tidspunkt og udnytte den lagrede varme til at smelte plasten på et andet tidspunkt, da varmeeffekten i en plaststøbemaskine primært opnås ved den mekaniske bearbejdning gennem snekken, der trykker den flydende plast ind i formen. Der sidder ganske vist ofte elektriske varmelegemer på siden af en plaststøbemaskine, men disse anvendes kun til temperaturregulering på de sidste få grader.

På begge virksomheder køres treholdsskift, undtagen i weekenden. Som eksempel kunne den ene fabrik oplyse, at elforbruget som gennemsnit over et døgn lå på 5,5 MW. Ifølge årsregnskabet var energiomkostningerne på ca. 3 % af omsætningen. Lønningerne til medarbejderne udgjorde ca. 25 % af omsætningen. På den baggrund var fokus IKKE på at flytte rundt på elforbruget.

### 5.3.4. Slagterier

Der er foretaget besøg hos et svineslagteri i Nordjylland og et meget stort svineslagteri i Midtjylland. I begge tilfælde køres toholdsskift, typisk fra 5:00 til 22:00. Det udnyttes med andre ord ikke, at elpriserne typisk er lavere om natten. I begge tilfælde har man både et meget stort varmtvandsbehov (rengøring, skyl, sterilisering) og et stort kølebehov. Den største del af køleforbruget går til at nedkøle de varme svinekroppe til i nærheden af 0°C, hvorimod lagring af varer ikke medfører noget stort kølebehov. Nedkølingen af svinekroppene foregår ved hjælp af kold luft i en tunnel. Den typiske lufttemperatur er -25°C, og fordampertemperaturen er -30°C. Der er med andre ord ingen mulighed for at bruge et islager eller anden form for lagring i ”naturlige” medier.

Varmt vand produceres i eget olie-/gasfyr, og har dermed ingen indflydelse på elforbrug.

### 5.3.5. Landbrug

I FlexEl-projektet indgår allerede en svineproducent, så den type produktion er dækket i projektrapporten. Andre dele af landbruget kan dog også have et højt elforbrug; fx vil mælkeproducenter have et stort forbrug til nedkølingen af mælken.

3 mælkeproducenter blev besøgt, og de er alle relativt moderne brug med 200 eller flere køer. I alle 3 tilfælde fungerede køleanlægget også som varmepumpe, idet den afgivne varme fra køleanlægget blev brugt til rumopvarmning og produktion af varmt rengøringsvand. Da der ikke nødvendigvis er samtidighed mellem køle- og varmebehov, er der i alle anlæg indskudt mulighed for at producere eller bortskaffe varme ved hjælp af en luftkøler eller en jordslange.

Køle-/varmepumpeanlæggene styres altså dels ud fra et kølebehov og dels ud fra et varmebehov. Det forekommer ikke specielt praktisk/realistisk at lægge endnu en styreform oveni, som baseres på spotprisvariationer.

En enkelt af de besøgte gårde havde et isbank-anlæg, men dette blev ikke styret efter elpris, kun efter kølebehov.

Ifølge flere leverandører af mælkekøleanlæg går tendensen i landbruget mod automatiske malke-systemer. I disse systemer går køerne selv hen til malkerobotten, når de føler det er tid til at blive malket. Hvis robotten er enig (køen genkendes ved hjælp af en RFID-chip i øret), lukkes køen ind, og den bliver malket. I praksis betyder dette, at der foregår malkning næsten kontinuerligt over hele døgnet, bortset fra et par timer om natten, hvor selv køerne er faldet til ro.

Det er derfor mest naturligt at have et relativt kontinuert kørende køleanlæg i stedet for et (større) anlæg, der kun kører på de ”billige” tidspunkter.

### **5.3.6. Frysehuse**

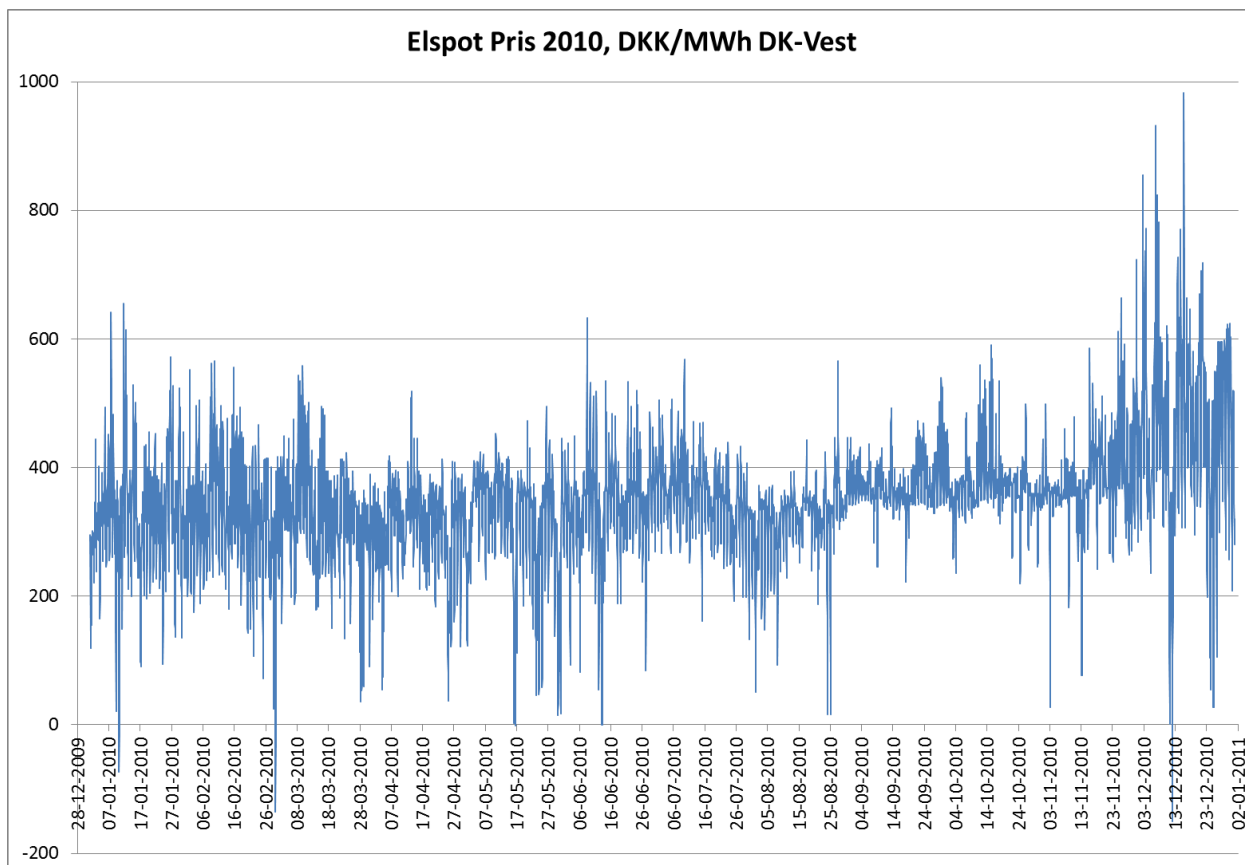
Frysehuse er delvist dækket i projektet via BC-Catering, men der er også taget kontakt til en større kæde af frysehuse. Den tekniske chef for frysehusene har oplyst, at der generelt køres med en natsænkning på 2°C under normaltemperatur. Der er dog aldrig foretaget målinger for at påvise, hvilken effekt det har på elforbruget eller den samlede elpris.

Desuden har frysehusene en produktion af is til køleformål. Denne produktion lægges sædvanligvis i weekender, hvor elprisen typisk er lav.

## **5.4. Økonomi i fleksibelt elforbrug**

Med en stadigt stigende del af vedvarende energi i el-systemet, fx fra vindmøller, må man forvente, at elpriserne i fremtiden vil variere mere og mere, hvilket vil tilskynde forbrugerne til at bruge el på de mest hensigtsmæssige tidspunkter. Dette gælder naturligvis kun kunder, der køber el til spotpris, hvilket primært er industrikunder. Disse firmaer skal derfor afveje den forventede besparelse op mod det besvær og/eller den investering, der skal foretages for at realisere et fleksibelt elforbrug.

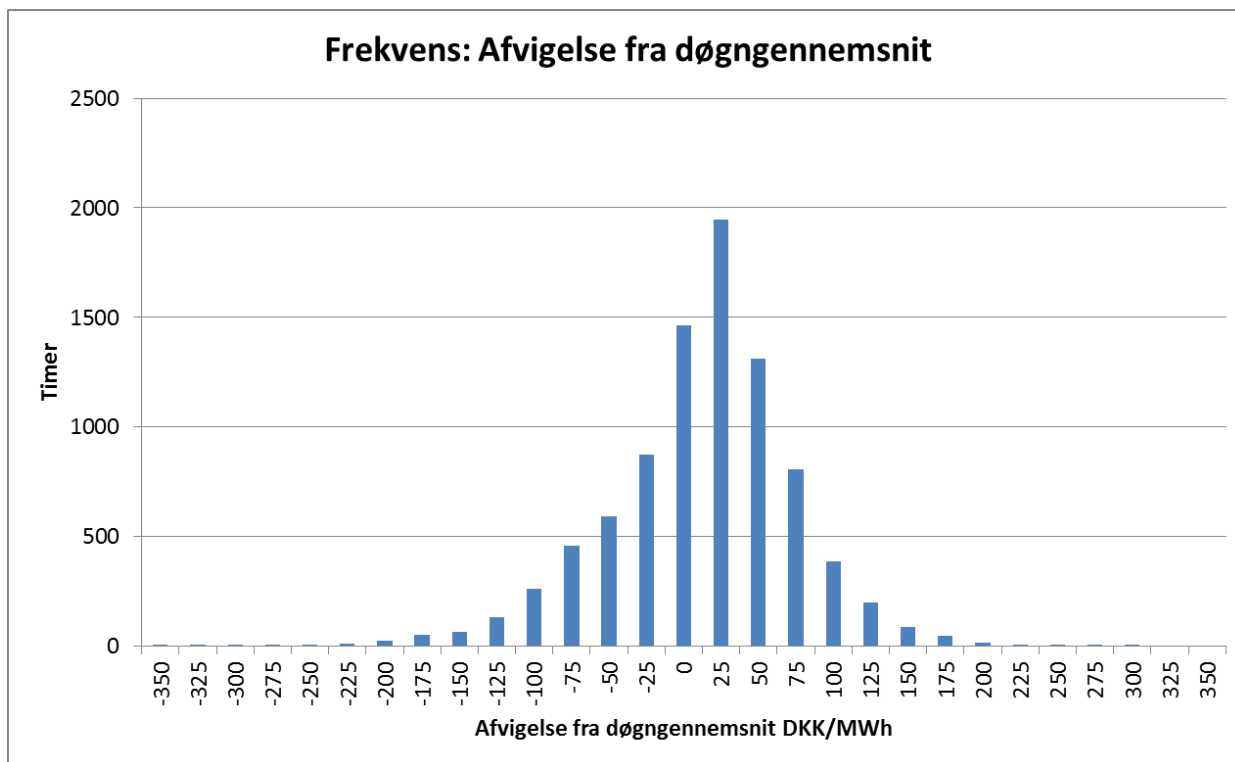
En sådan afvejning er af gode grunde ikke nem at foretage, da der ikke umiddelbart findes tal for, hvor store besparelser man kan opnå. Dels har spotpriserne et klart element af tilfældighed i form af vindmøllernes produktion; dels er den opnåelige besparelse afhængig af, i hvor stort omfang firmaet kan flytte sit elforbrug til de gunstigste tidspunkter.



Herover ses spotprisen for Danmark Vest i året 2010 på timebasis. Den absolutte variation er ganske stor. Fra næsten -200 DKK/MWh til næsten 1000 DKK/MWh, men det ses også klart, at disse ekstremer kun forekommer i ganske få timer. Derfor kan disse værdier ikke bruges til at vurdere en eventuel besparelse ved fleksibelt elforbrug.

Hvis man arbejder lidt med tallene for 2010, kan man dog få et groft overblik og en afgrænsning af økonomien i fleksibelt elforbrug, som det ser ud på nuværende tidspunkt. Lignende øvelser er også lavet på baggrund af tal for 2009 og tidligere, og disse beregninger viser, at 2010 er et forholdsvis repræsentativt år.

Når man planlægger sin produktion ud fra spotprisen, vil dette som regel foregå på døgnbasis. Dels fordi spotpriserne netop er tilgængelige på døgnbasis, dels fordi de færreste firmaer kan skubbe produktionen mere end et døgn. Plotter man de timevise spotpriser for hele året som funktion af, hvor meget de afviger fra døgnets gennemsnitspris (dvs. det døgn, hvor hver enkelt time er forekommet), får man et rimeligt overblik over, hvor store prisvariationer man kan forvente (og udnytte).



Som det ses, er det ganske få timer om året, der afviger mere end +/- 75 DKK/MWh fra døgnet gennemsnit. Man skal med andre ord ikke forvente at kunne spare mere end 150 DKK/MWh ved at flytte et forbrug fra dyreste til billigste time. Og da størstedelen af timerne ligger grupperet rundt om eller tæt på 0, vil gennemsnitsbesparelsen over året være væsentligt mindre. Hvis man rent skønsmæssigt regner med en realistisk besparelse på det halve, dvs. 75 DKK/MWh, svarer det til 21 % af den rå elpris, idet gennemsnitsprisen over året er cirka 350 DKK/MWh. Dette er dog under forudsætning af, at man hele året igennem konsekvent har kunnet vælge de billigste timer, hvilket næppe er realistisk.

#### 5.4.1. Maksimal opnåelig besparelse

Ved en lidt mere detaljeret analyse kan man få et tal for den maksimalt opnåelige besparelse under et par idealiserede forudsætninger.

Hvis det antages, at:

- man har en el-forbruger på XX MW, der kører netop 12 timer i døgnet, og
- at disse 12 timer som udgangspunkt er de 12 dyreste i døgnet, og
- at man kan flytte dette forbrug til de 12 billigste timer

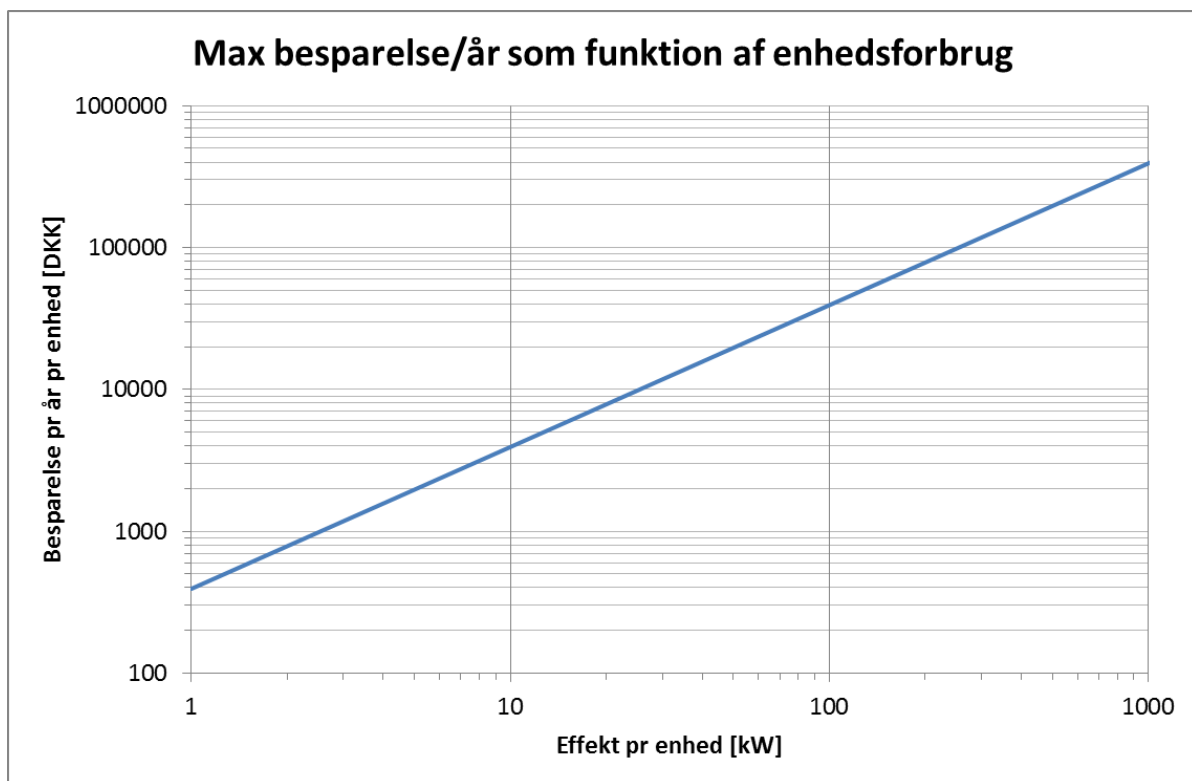
så vil man komme frem til en årlig totalbesparelse på 393.000,- DKK/MW eller 90 DKK/MWh, hvis man simulerer dette ved hjælp af dataene fra 2010,

Dette er naturligvis en absolut overgrænse for den mulige besparelse, og den vil næppe kunne realiseres, da der ikke er taget højde for ferier, weekender og lignende, og da der kræves absolut ideelle muligheder for at flytte elforbruget.



### 5.4.2. Investering

Såfremt man ønsker at automatisere det fleksible elforbrug, kan man fx gøre det ved hjælp af styreenheder, der monteres på de enkelte el-forbrugere. Afhængigt af el-forbrugernes størrelse får man derved forskellige maksimalt mulige besparelser, som vist i grafen herunder.



Ønsker man, at denne investering skal betales tilbage på 1 år, baseret på den maksimalt opnåelige besparelse (dvs. med en reel tilbagebetalingstid, der nok er væsentligt over 2 år), kan man fx se, at hvis en måle-/styreenhed koster 20.000,- kr., så skal el-forbrugeren være på mindst 50 kW, før det kan betale sig. Eller hvis en måle-/styreenhed koster 4000,- kr., så skal el-forbrugeren være på mindst 10 kW.

Ud fra en rent driftsøkonomisk betragtning giver det altså ikke mening at overvåge printeren eller kaffemaskinen, medmindre man kan finde en ekstremt billig måle-/styreenhed. Det er kun større el-forbrugere, der kan betale investeringen tilbage.

I disse beregninger er der ikke taget højde for de besparelser, man evt. kan få ud af at overvåge el-forbrugere og derved måske finde og eliminere unødvendige forbrug. Der er ligeledes ikke taget hensyn til installations- og vedligeholdelseskostninger for måle-/styreenheder.

Der skal naturligvis gøres opmærksom på, at der kan være andre grunde til at etablere overvågningsudstyr end den rent økonomiske fordel ved at køre spotpriser, fx at man ønsker at beskytte en produktionsproces mod fejlfunktion ved afvigende effektforbrug. Ovenstående beregninger omhandler udelukkende gevinsten ved udnyttelse af variationerne i spotpriserne.