



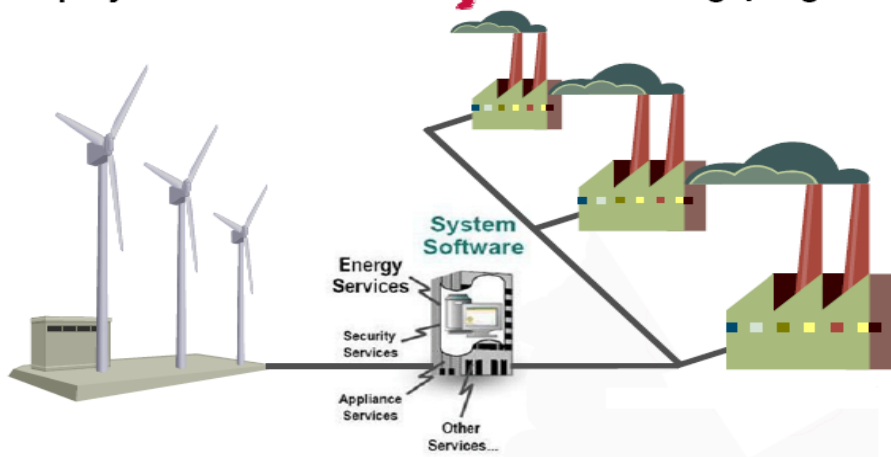
# AFRAPPORTERING AF "FLEKSIBELT ELFORBRUG" Kort udgave

Juni 2012

Tage Petersen, Teknologisk Institut

## FLEXEL

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



**midt**  
regionmidtjylland

Projektet er støttet af

## Indholdsfortegnelse

Projektresumé .....	3
Baggrund .....	4
Projektdeltagere .....	4
1. Fase 1: Vidensindsamling.....	5
2. Fase 2: Relevante virksomheder.....	6
2.1. Fleksible procestyper .....	6
2.1.1. Damolin .....	8
2.1.2. Skjern Papirfabrik.....	9
2.1.3. BC-Catering.....	9
2.1.4. Danfloor.....	10
2.1.5. IS skovgården .....	10
3. Fase 3 & 4.....	10
3.1. Fase 3: Brugerdreven innovation.....	11
3.2. Fase 4: Udvikling af Smart Grid-udstyr .....	11
4. Fase 5: Demonstration .....	12
4.1. Kategorier af virksomheder .....	13
4.1.1. Damolin .....	13
4.1.2. Skjern Papirfabrik.....	14
4.1.3. BC Catering .....	15
4.1.4. IS Skovgård .....	17
4.1.5. Danfloor.....	18
5. Fase 6: Formidling og konklusion.....	19
5.1. Økonomi i fleksibelt elforbrug .....	19

## Projektresumé

Formålet med projekt ”Fleksibelt elforbrug” har været at udvikle og teste udstyr til at realisere et fleksibelt elforbrug 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 de 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.

## Baggrund

Energisystemet i Danmark står overfor en række udfordringer i forbindelse med integration af større mængder vedvarende energi (vind, sol m.v.) i elnettet, da de vedvarende energikilder ikke har en konstant eller nemt regulerbar elproduktion. Det er derfor nødvendigt at energisystemet bliver mere fleksibelt, så både produktionen og **forbruget** af el kan justeres i relation til den aktuelle elproduktion fra vedvarende energikilder.

I dette projekt forsøger man at angribe ovennævnte problemstilling ved at udvikle og teste udstyr, der gør det muligt at styre elforbruget i større virksomheder på basis af signaler fra elmarkedet (spotpriser, køb/salg af reguleringskraft m.v.). Samtidigt bidrager udstyret til at gøre virksomhedernes elforbrug synligt og transparent, hvilket gør det nemmere for medarbejderne at forholde sig til energiforbruget.

Projektet har været opdelt i 6 faser:

1. Vidensopsamling  
Her har man gennemgået eksisterende viden om elmarkedet, virksomheders elforbrug og den mulige elasticitet i dette forbrug.
2. Inddragelse af relevante virksomheder  
Et antal virksomheder er blevet analyseret med henblik på at fastslå deres egnethed som demonstrationsvirksomheder
3. Kortlægning af brugerbehov, udviklingsmuligheder og barrierer
4. Teknologiuudvikling, dvs udvikling af hardware og software
5. Demonstration af teknologien i udvalgte virksomheder
6. Vidensformidling i form af rapporter m.m.

## Projektdeltagere

- Teknologisk Institut, projektleder
- GridManager, udvikling af hardware/software
- Danfoss Solutions, beregning og kortlægning af energiforbrug
- EnergiDanmark, knowhow om elmarkedet
- Demonstrationsvirksomheder, test af udstyr

## 1. Fase 1: Vidensindsamling

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.

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.

## 2. Fase 2: Relevante virksomheder

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 effektivt, da projektet på den måde har fået et stort indblik i energiforbruget i de forskellige virksomhedssegmenter.

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.

Endvidere har det vist, at de 7 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:

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

Nedenstående 2 virksomheder har deltaget i screeningen og er umiddelbart fundet egnede, men har af forskellige årsager ikke ønsket at deltage i projektet:

- Gramo Bogtrykkeri, Balling i Salling
- Vald. Birn Jernstøberi, Holstebro

### 2.1. Fleksible procestyper

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

En forudsætning for at opnå en reel fleksibilitet er dog også, at virksomhederne har elforbrug, der kan flyttes uden ekstra omkostninger. For eksempel kan det ikke nytte at flytte en proces til om natten, hvis det medfører en udvidelse af arbejdstiden, da besparelsen på elforbruget næppe kan opveje de ekstra lønomkostninger.

Der er derfor gjort en række overvejelser om, hvilke procestyper man kan forvente at gøre fleksible og hvilke der IKKE kan forventes at være fleksible.

Følgende forbrug vil med fordel kunne gøres mere fleksibelt:

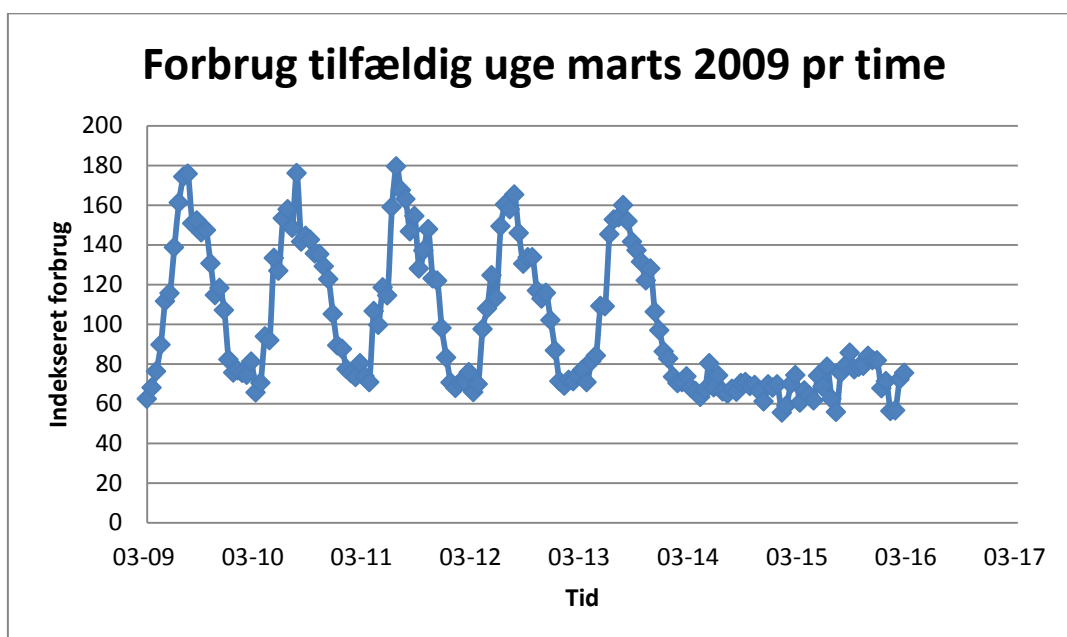
- Køling af fx varer
- Opvarmning af vand til varmesystemer og lignende vha. el-patron eller varmepumpe
- Varmbearbejdning af metalemner
- Flytning af materialer med fx pumpe eller transportbånd
- Neddeling, knusning og lignende af råmaterialer
- Opladning af el-trucks
- Produktion af trykluft

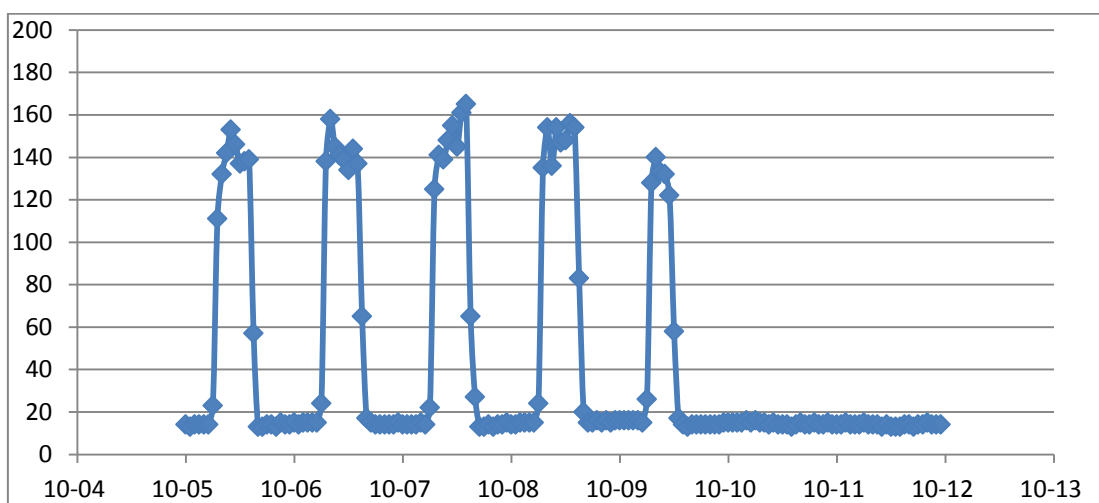
Følgende forbrug kan som udgangspunkt ikke gøres mere fleksibelt:

- 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, der kan gøres mere fleksible, 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.





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

Figur 3 viser forbruget for en typisk virksomhed, hvor forbruget følger arbejdstiden. Her er der ikke et nævneværdigt konstant forbrug, som man kan undersøge fleksibiliteten af. Derfor giver det ikke mening at undersøge en sådan virksomhedstype nærmere.

### 2.1.1. 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 forholdsvis 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 processer på 1362 kW.



### **2.1.2. 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. Potentialet ved varmepumpen ligger i, at den kan slukke for varmepumpen, når strømmen i perioder bliver for dyr.

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 omdefinert processerne, således at der kan laves fleksibelt elforbrug. I dette arbejde vil brugerdiven 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 brugerdivne innovationsdel af projektet har sin berettigelse.

### **2.1.3. 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 fryselager 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-sespotentiale, idet det gamle køleanlæg vil få væsentlig færre driftstimer. Derfor skal disse også indgå i det samlede system, som overvåges af GridManager-udstyret.

#### **2.1.4. 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 trykluften hovedsagligt bruges til en proces.

Trykluften bruges primært til 3 styk garnblæsningsmaskiner, som på grund af produktions-mixet har en ret lav driftstid, og der er derfor fri kapacitet til at flytte til tider af døgnnet, hvor strømmen er billig. Det er på grund af denne proces at Danfloor er valgt som demonstrations-virksomhed.

#### **2.1.5. 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 hoved-sageligt producerer korn til brug som svinefoder. De har derfor en del el-forbrugende pro-cesser såsom korn formaling og korntørring, som kan defineres som fleksible elforbrugs-processer. Endvidere har gårdens ene ejer Nis Skau været meget aktiv i kortlægning af virk-somhedens 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 plat-form 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 spænd-ende mulighed for at mange moderne landbrug kan få skabt besparelser ved at bruge energien på det mest optimale tidspunkt.

### **3. Fase 3 & 4**

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 tryklufforbrug.

### **3.1. Fase 3: Brugerdreven innovation**

I projektforsløbet er der afholdt en workshop med deltagelse af demovirksomhederne. Temaet for workshoppen var innovations- og udviklingsprocesser med særlig vægt på, hvordan demovirksomhederne kan bruge medarbejderinvolvering til at skabe grundlag for at realisere energi-optimering og -besparelser.

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.

I projektets videre forløb har brugerinvolvering indgået som en praksisnær proces, der har lettet implementering og læring i forbindelse med indførelse og brug af ny teknologi. Herigennem er der opbygget 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 er der bl.a. sat fokus på:

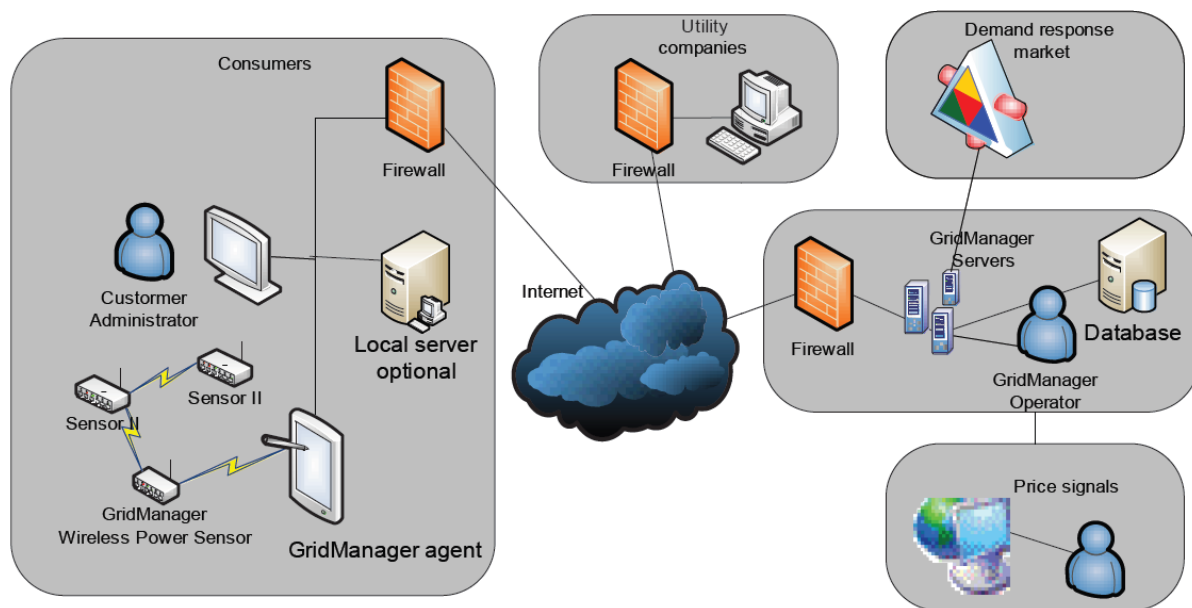
- at synliggøre brugerinvolvering og dens gevinster i virksomhederne.
- at igangsætte implementering af de beskrevne brugerinvolverende processer.
- at arbejde med forandringsprocesser – herunder adfærd og overvindelse af barrierer.

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.

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

GridManager (GM) har udviklet 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. 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 køleprocesserne, en stor årstids variation.



*Skematisk oversigt over kommunikationen mellem de enkelte elforbrugere og aktørerne på elmarkedet*

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 GridManagers system for at styre de udvalgte processer.

#### 4. Fase 5: Demonstration

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.

## 4.1. 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.

### 4.1.1. 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 stadigt 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.

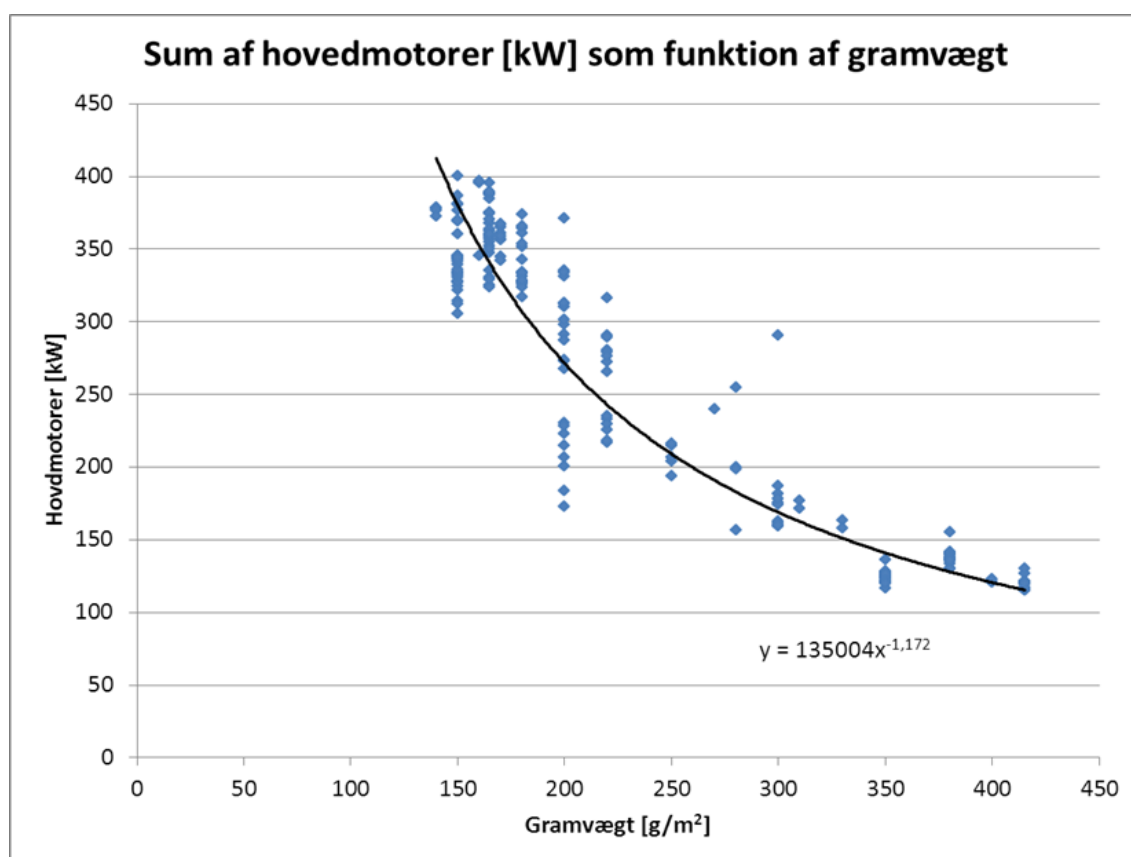
Ifølge Damolin har man ved at overvåge elforbruget på trykluftsystemet kunnet konstatere et unødigt forbrug. Man har derefter gennemgået trykluftsystemet og korrigeret de fundne fejl og lækager, og derved er en besparelse på cirka 40 % opnået.

#### 4.1.2. 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.

### 4.1.3. 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:

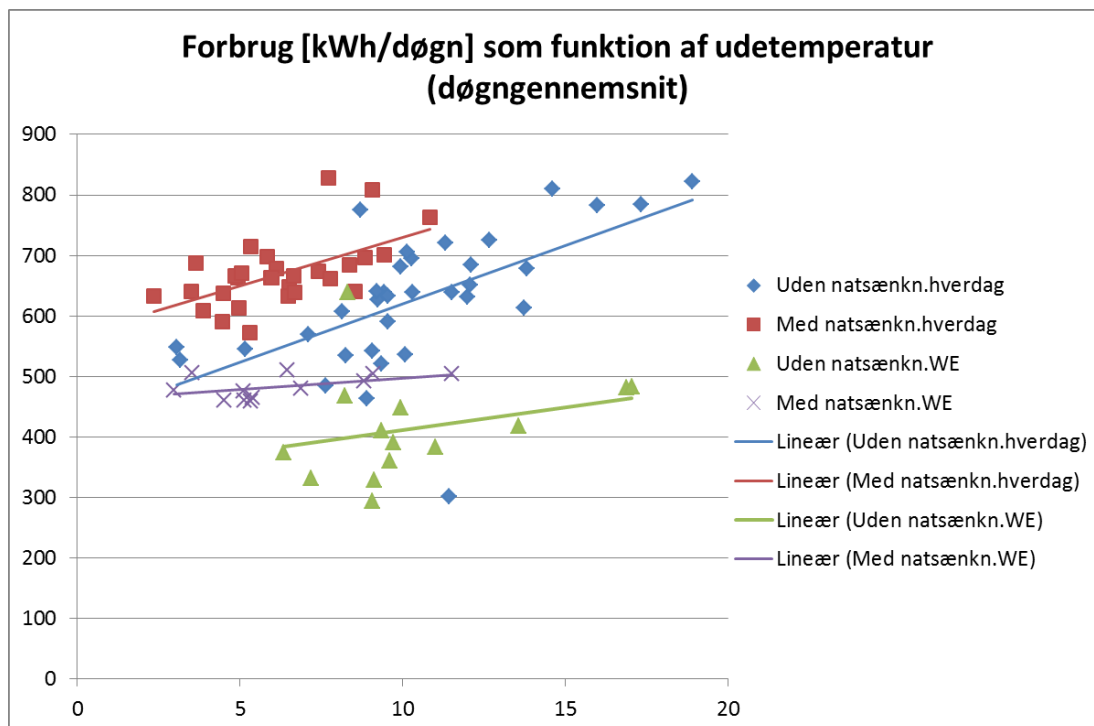
- Varernes temperatur falder 2°C under natsænkningen, og den er tæt på at være stabil kl. 6:00.
- Under natsænkningen er elforbruget 40-50 % højere end det normale natforbrug.
- Når temperatursetpunktet sættes tilbage til normal, stiger varernes temperatur i løbet af 2-3 timer til normalt niveau.
- I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

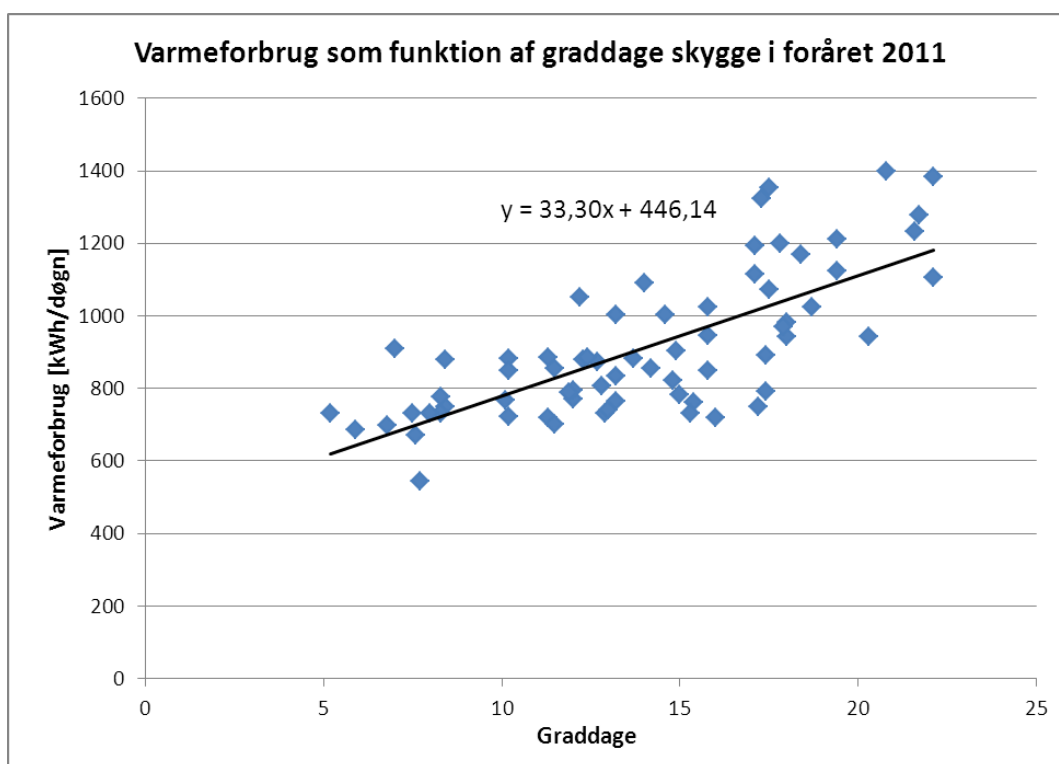


#### 4.1.4. IS Skovgård

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 varmekonsum 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.

#### 4.1.5. 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: Formidling og konklusion

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.

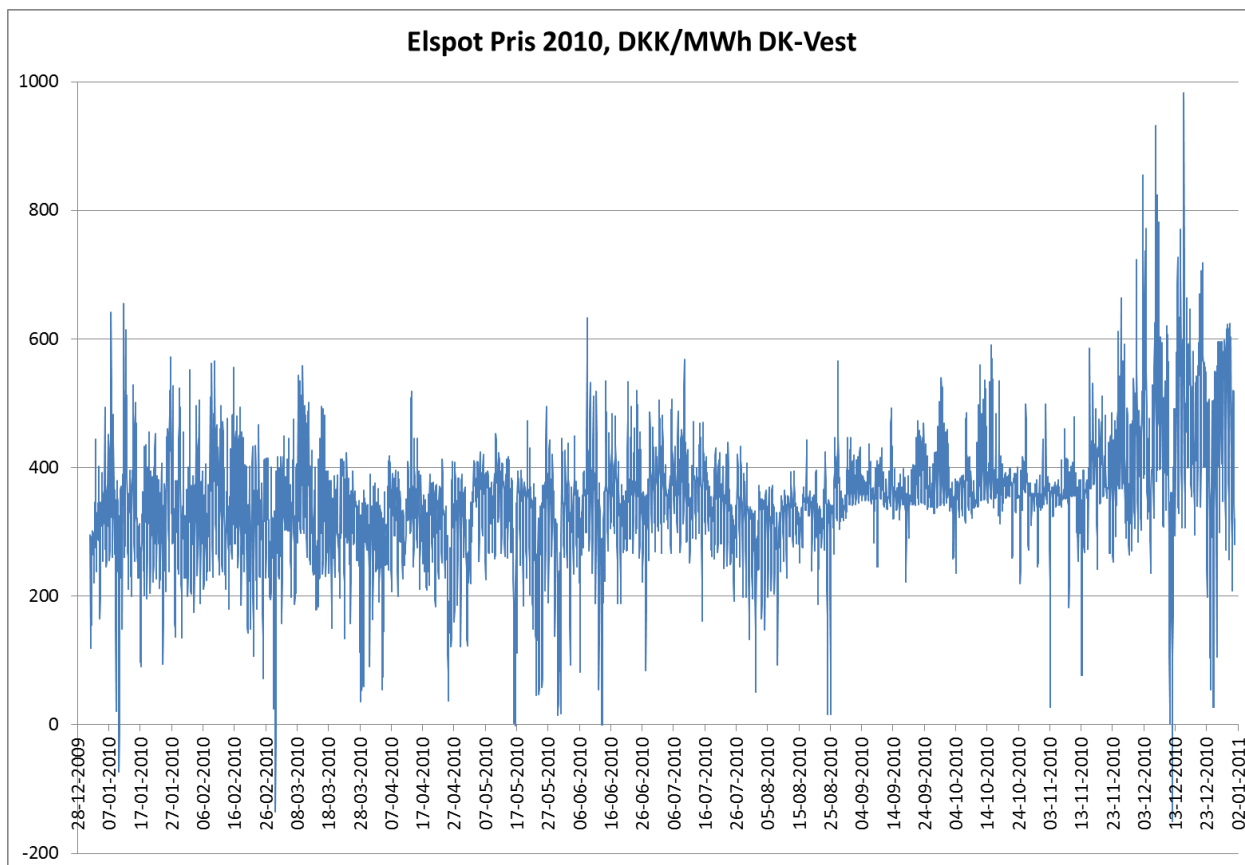
Da kun 5 virksomheder har deltaget som demonstrations-sites, kan et sådant resultat ikke anvendes til at drage en generel konklusion. Det blev derfor besluttet at lave en screening af andre virksomheder, med det formål at finde en virksomhed, der helt oplagt kunne omlægges til fleksibelt elforbrug og 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. Dermed fås også en indikation af, hvor meget man kan tillade sig at investere i udstyr til realisering af et fleksibelt elforbrug.

### 5.1. 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.

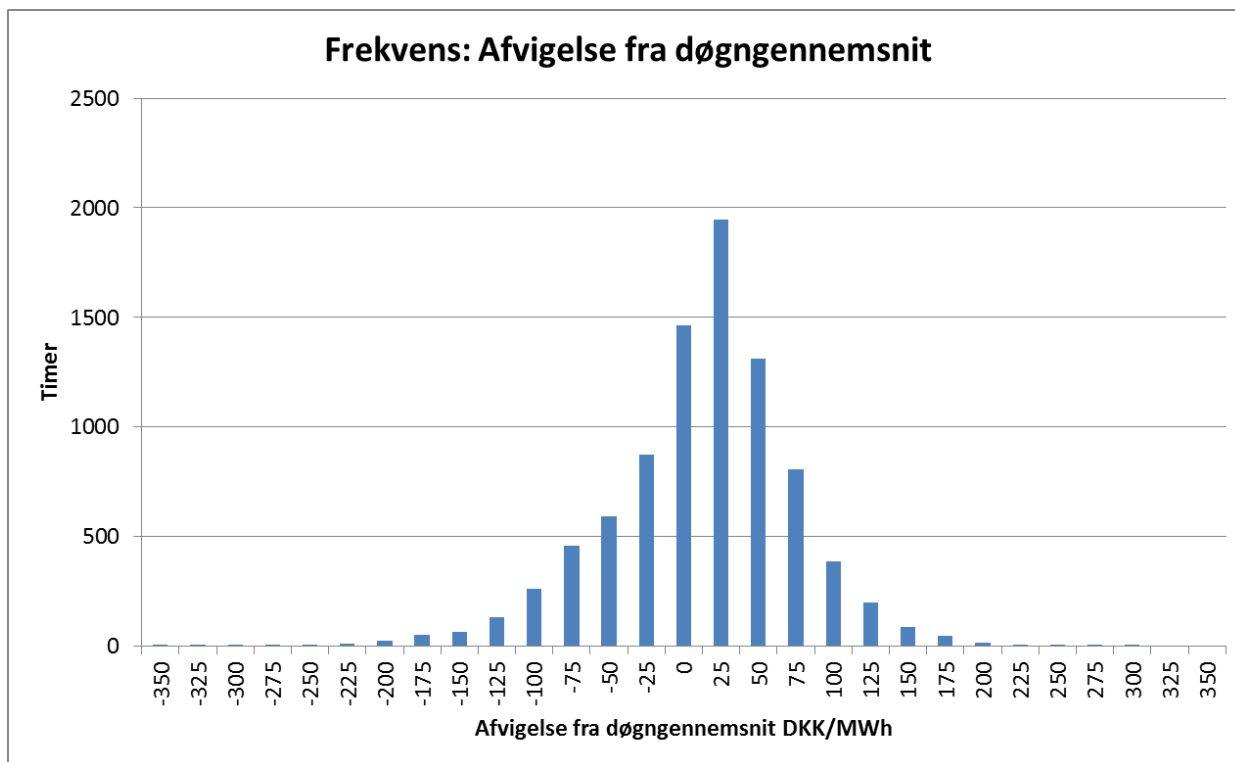
En sådan afvejning er af gode grunde ikke nem at foretage, da der ikke umiddelbart findes tal for, hvor store besparelser man kan opnå. Dels har spotpriserne et klart element af tilfældighed i form af vindmøllernes produktion; dels er den opnåelige besparelse afhængig af, i hvor stort omfang firmaet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

I disse beregninger er der ikke taget højde for de besparelser, man evt. kan få ud af at overvåge el-forbrugerne 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.