



STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT
AALBORG UNIVERSITET KØBENHAVN

ENERGIFAKTORER VED ENERGIBEREGNING

SBI 2017:04



Energifaktorer ved energiberegning

Søren Aggerholm

| | |
|-----------------------------|---|
| Titel | Energifaktorer ved energiberegning |
| Serietitel | SBi2017:04 |
| Udgave | 1. udgave |
| Udgivelsesår | 2017 |
| Forfatter | Søren Aggerholm |
| Sprog | Dansk |
| Sidetæl | 43 |
| Litteratur- henvisninger | Side 35-36 |
| Emneord | Energiforbrug, bygningsreglement, fjernvarme, vindenergi, varmepumper, Be15. |
| ISBN | 978-87-563-1836-5 |
| Omslagsfoto | Niels Samsø Nielsen |
| Udgiver | Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet, A.C. Meyers Vænge 15, 2450 København SV E-post sbi@sbi.aau.dk www.sbi.dk |

Der gøres opmærksom på, at denne publikation er omfattet af ophavsretsloven.

Forord

Analyserne i denne rapport er udført for Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen for at kortlægge den fremtidige udvikling i energifaktorerne, der bruges i forbindelse med Bygningsreglementets energibestemmelser og energimærkningen af nye og eksisterende bygninger.

Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet
Forskningsafdelingen for Energieffektivitet, Indeklima og bæredygtighed
Februar 2017

Søren Aggerholm
Forskningschef

Indhold

| | |
|---|----|
| Forord | 3 |
| Indhold | 4 |
| 1 Indledning..... | 5 |
| 2 Nuværende energifaktorer | 6 |
| 2.1 Energistatistikken..... | 7 |
| 3 Fremskrivning af energifaktorerne | 11 |
| 3.1 Forholdet mellem el- og fjernvarmefaktor..... | 12 |
| 4 Nyt EPBD udkast | 14 |
| 5 Fossile energifaktorer | 15 |
| 5.1 Energifaktorer for energianvendelse i bygningen | 15 |
| 5.2 Energifaktorer i energiforsyningen..... | 16 |
| 5.3 Nye el- og fjernvarmefaktorer | 17 |
| 6 Bygningers varmebehov | 18 |
| 6.1 Rumopvarmning i parcelhus 1960..... | 18 |
| 6.2 Rumopvarmning i parcelhus 2015..... | 21 |
| 7 Vind i elforsyningen..... | 24 |
| 7.1 Årsfordeling af vind og el-forbrug | 25 |
| 7.2 Vind og udetemperatur | 26 |
| 7.3 Vindmølleandel ved rumopvarmning | 30 |
| 8 Solceller i elforsyningen | 31 |
| 9 Diskussion og vurdering..... | 33 |
| 9.1 Fossile energifaktorer i EPBD review'et | 34 |
| Litteratur..... | 35 |
| Bilag. Vejrdata | 37 |

1 Indledning

Energikravene til nybyggeriet i Bygningsreglementet [1, 2 og 3] har siden 2006 været baseret på energirammer, som begrænser det tilladte energibehov til bygningsdrift. Energiforbruget beregnes med en standardiseret metode baseret på internationale EN og ISO standarder og med antagelse af en normativ anvendelse af bygningen, som afhænger af bygningstypen og de aktuelle belastninger for ikke boliger. Den samme metode anvendes også til eksisterende bygninger og til energimærkning af bygninger.

Energirammebegrænsningerne er implementeret i Bygningsreglementet i henhold til Direktiv om Bygningers Energimæssige Ydeevne, EPBD (Energy Performance of Buildings Directive Recast) fra maj 2010 [4]. I artikel 3 i EPBD'et står:

Medlemsstaterne anvender en metode til beregning af bygningers energimæssige ydeevne i overensstemmelse med de fælles generelle rammebestemmelser, der er anført i bilag I.

Denne metode vedtages på nationalt eller regionalt plan.

Af Bilag 1 til EPBD'et fremgår under overskriften Fælles generelle rammebestemmelser for beregning af bygningers energimæssige ydeevne:

En bygningens energimæssige ydeevne bestemmes ud fra den beregnede eller målte mængde energi, der årligt forbruges for at opfylde de forskellige behov, som er forbundet med typisk brug af bygningen, og afspejler behovene for energi til opvarmning køling (energi, der medgår til at undgå overopvarmning) for at opretholde de planlagte temperaturforhold i bygningen, og behovet for varmt brugsvand.

En bygningens energimæssige ydeevne skal udtrykkes gennemskueligt, og skal omfatte en indikator for energimæssig ydeevne og en talindikator for forbrug af primærenergi baseret på primærenergifaktorer pr. energibærer, der kan baseres på nationale eller regionale årlige vægtede gennemsnit eller en specifik værdi for lokal produktion.

Kravet i EPBD'et om en talindikator for forbrug af primærenergi baseret på primærenergifaktorer pr. energibærer er implementeret i Bygningsreglementet og i energiberegningsmetoden i Be15 [5] samt i beskrivelsen af beregningsmetoden SBI-anvisning 213 [6] i form af energifaktorer på de forskellige energibærere.

Udviklingen i energifaktorerne vil have stor betydning for incitamentet til gennemførelse af energieffektivisering i nye og eksisterende bygninger.

Udkast til reviewet EPBD fra november 2016 er meget specifik om metoden til at fastsætte energifaktorer. Dette kan blive en udfordring ved fastsættelse af kommende energifaktorer.

2 Nuværende energifaktorer

Tilbage fra implementering af den første version af EPBD'et i 2006 blev der anvendt en energifaktor på 1,00 for alle typer varmeenergi leveret til bygningen. Varmefaktoren gælder også for varme leveret i form af gas, olie, brænde, træpiller mv. hvor konverteringen til varme sker i bygningen inkl. tabene i kedler og ovne, samt for fjernvarme leveret til bygningen. Tilsvarende anvendes der en energifaktor på 2,50 for el leveret fra nettet til bygningen. Disse to energifaktorer blev anvendt både ved nybyggeri i henhold til Bygningsreglementet og ved energimærkning af nyt og eksisterende byggeri.

Fjernvarmefaktoren er siden ændret til 0,80 i forbindelse med nybyggeri efter BR2015. Den nye fjernvarmefaktor anvendes også ved energi-mærkning af denne type byggeri under betegnelsen A2015. Energifaktoren for andre energiformer og for ældre bygninger forblev uændret.

Specifikt i forbindelse med Bygningsklasse 2020 anvendes der fremskrevne energifaktorer på 1,80 for el leveret til bygningen og 0,60 for fjernvarme leveret til bygningen.

Se oversigten i tabel 1.

Tabel 1. Elfaktor, varmefaktor og fjernvarmefaktor i BR 06-10 og BR15 samt for Bygningsklasse 2020.

| | BR 06-10 | BR 15 | Bygningsklasse 2020 |
|------------|----------|-------|---------------------|
| El | 2,50 | 2,50 | 1,80 |
| Varme | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Fjernvarme | 1,00 | 0,80 | 0,60 |

Danmark har hidtil i princippet ved opgørelse af energiforsyningen anvendt totale energifaktorer, som indeholder både den fossile og den vedvarende energiandel. Energifaktorerne er fastlagt ud fra notatet: *Vægtning af faktorer for fjernvarme og el udarbejdet af Energistyrelsen i december 2010* [7]. Energifaktorerne er baseret på Energistyrelsens Energistatistik og overslag baseret på Energistyrelsens fremskrivninger af energisystemet. Energifaktorerne er således i overensstemmelse med IEA's måde at opgøre energiforbruget på. I Energistatistikken anvendes en varmevirkningsgrad på 200 % for varme produceret i forbindelse med kraftvarme.

Danmark fratrækker i dag vedvarende energi produceret på grunden eller "nearby", dog med en begrænsning på indregning af VE-el på 25 kWh-primærenergi/år pr. m²-etageareal. Det svarer til at sætte primærenergifaktoren 0,00 på denne energi og ligestille den med en tilsvarende forbedring af energieffektiviteten af bygningen. Denne løsning er den almindelige i EU og følger den nuværende standard.

Brændsler anvendt direkte i bygningen, fx naturgas, fyringsolie, brænde og træpiller samt evt. anden biomasse er håndteret med de samme energifaktorer, som ved anvendelse af brændslerne i energiforsyningen.

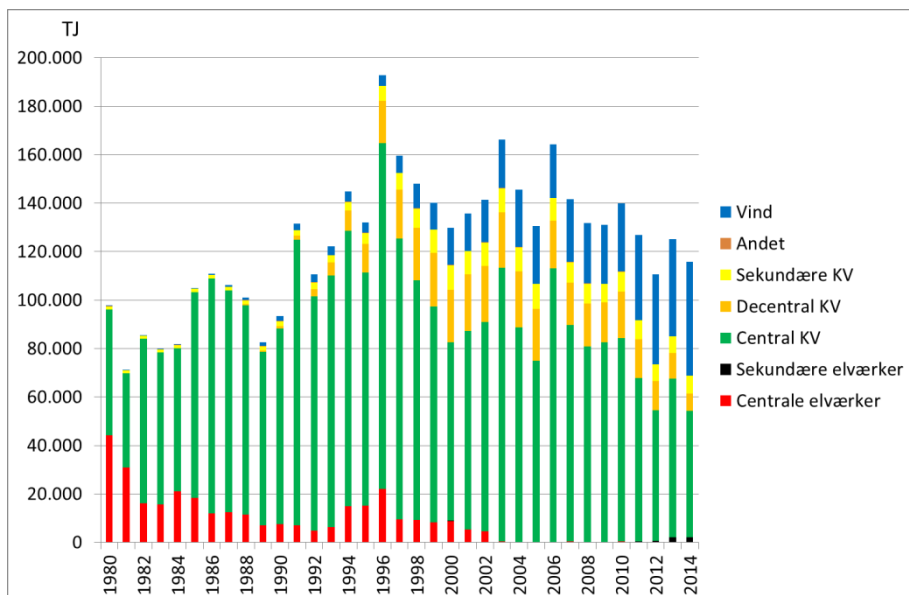
2.1 Energistatistikken

I det følgende er den historiske udvikling i energifaktorerne opgjort med udgangspunkt i data fra Energistyrelsens Energistatistik 2014 [8].

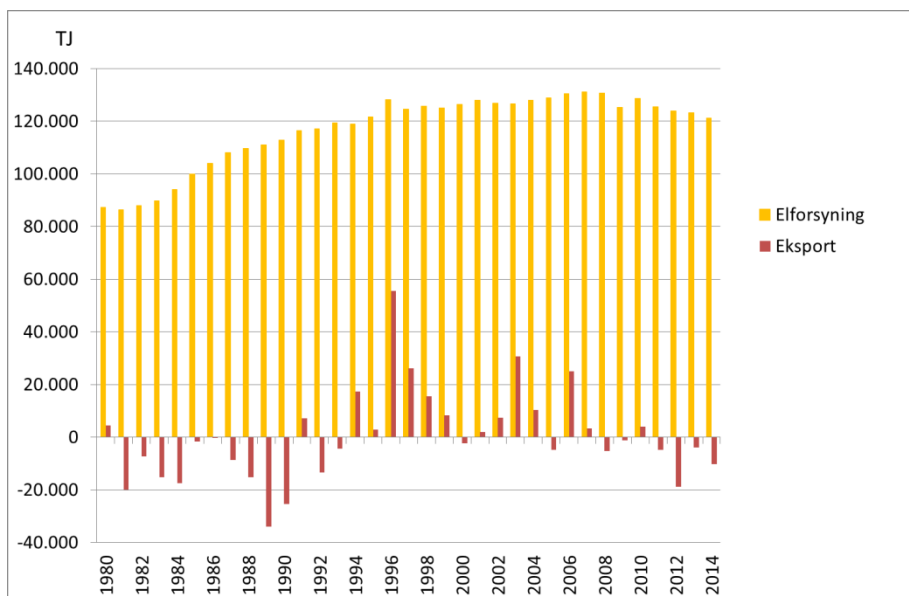
2.1.1 Elforsyning

I figur 1 er vist el-produktionen i TJ fra 1980 og frem til 2014 fordelt efter værkstype og fra vindkraft. Hovedparten af el-produktionen kommer fra de centrale kraftvarmeværker. Fra midten af 1990'erne og frem ses et stigende bidrag fra vindkraften til el-produktionen. Vindkraften udgjorde i 2014 41 pct. af den samlede el-produktion i Danmark.

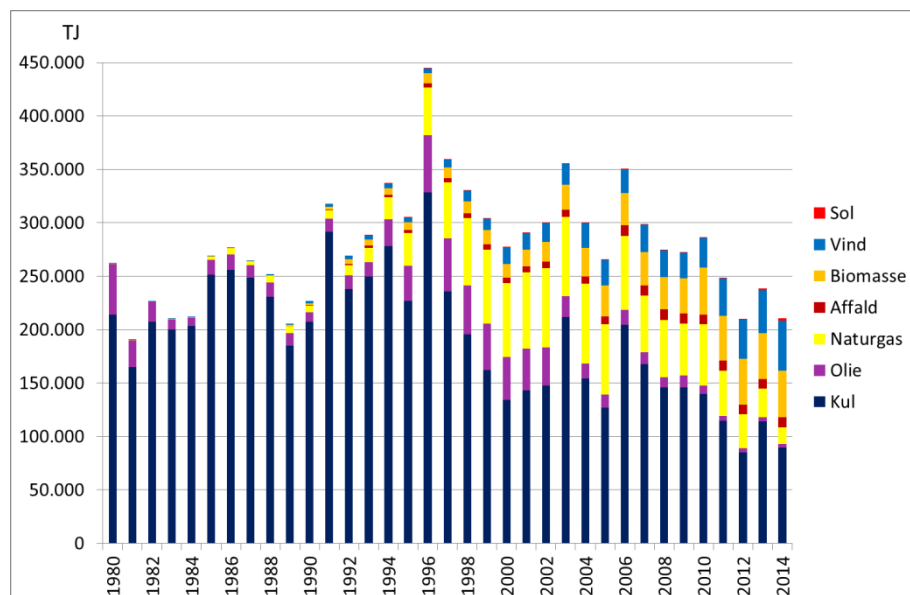
El-produktionen i Danmark varierer en del over årene. I figur 2 er derfor vist elforsyningen til Danmark samt eksport og import af el. Det ses, at elforsyningen til Danmark ligger mere ensartet over årene og at udsvingene i den danske el-produktion mere hænger sammen med eksporten og importen af el. Ved opgørelsen af elforsyningen er egetforbrug på værkerne trukket fra el-produktionen.



Figur 1. El-produktionen i TJ fra 1980 - 2014 fordelt efter værkstype og vind.



Figur 2. Elforsyning og el-eksport i TJ fra 1980 - 2014.

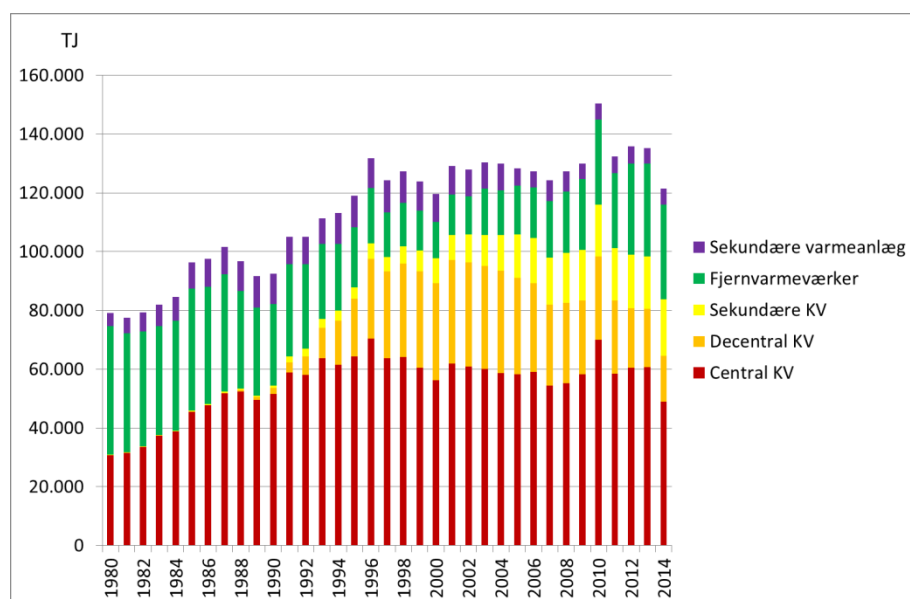


Figur 3. Brændselsanvendelsen til el-produktionen i Tj fra 1980 - 2014.

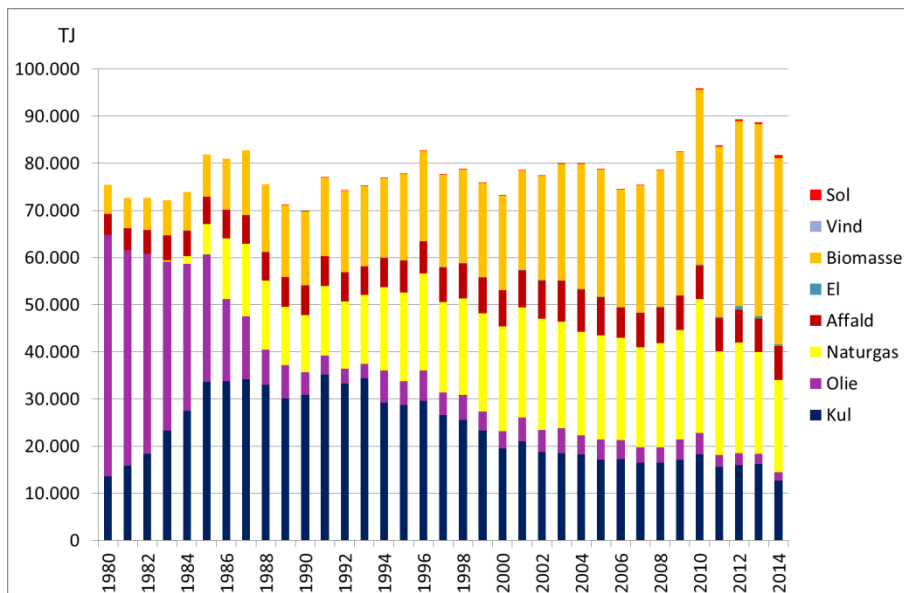
I figur 3 er vist brændselsanvendelsen til el-produktionen i Tj fra 1980 til 2014. Det ses, at kul udgør en væsentlig andel af brændselsanvendelsen i starten af perioden, men at kul hen over perioden delvis erstattes af først naturgas og siden af især biomasse og vind. I 2014 udgjorde kul 42 pct. af den samlede brændselsanvendelse til el-produktionen, mens vind udgjorde 22 pct. og biomasse 21 pct. Forskellen på størrelsen af el-produktionen og brændselsanvendelsen skyldes virkningsgraden på el- og kraftvarmeverker. Ved opgørelsen af brændselsanvendelsen er der i Energistatistikken taget hensyn til en varmekoefficient på 200 pct. på kraftvarmeverker samt at vindkraft i henhold til IEA's opgørelsesmetode regnes med en virkningsgrad på 100 pct.

2.1.2 Fjernvarme

I figur 4 er vist fjernvarmeproduktionen i Tj fra 1980 og frem til 2014 fordelt efter værkstype. En stor del af fjernvarmeproduktionen kommer fra de centrale kraftvarmeverker. Der ud over kommer der en del fra decentrale og sekundære kraftvarmeverker, samt en væsentlig del fra fjernvarmeverker uden elproduktion.



Figur 4. Fjernvarmeproduktionen i Tj fra 1980 - 2014 fordelt efter værkstype.

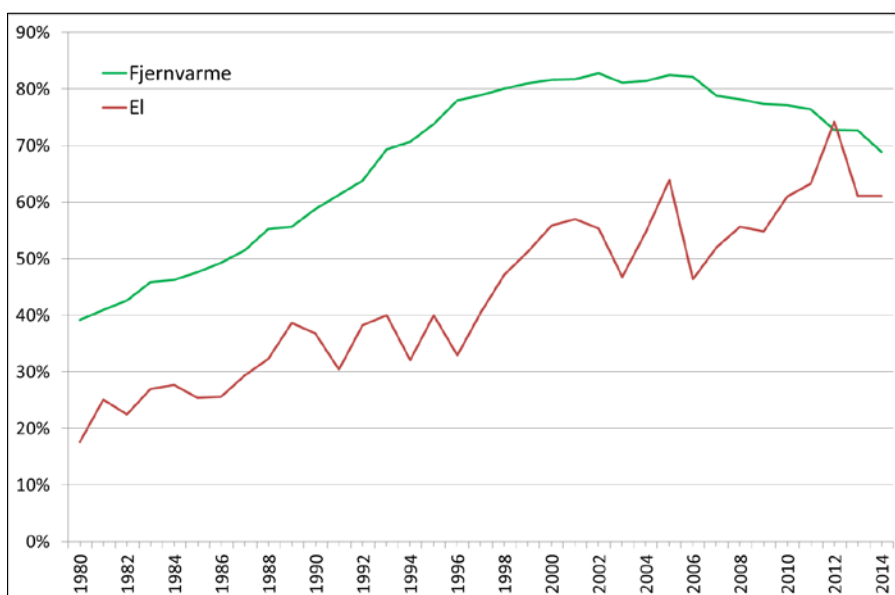


Figur 5. Brændselsanvendelsen til fjernvarmeproduktionen i Tj fra 1980 - 2014.

I figur 5 er vist brændselsanvendelsen til fjernvarmeproduktionen i Tj fra 1980 til 2014. Det ses, at biomasse i de senere år udgør en stigende andel af brændselsanvendelsen. I 2014 udgjorde kul biomasse 48 pct. af den samlede brændselsanvendelse til fjernvarmeproduktionen, mens naturgas udgjorde 24 pct. og kul 15 pct. Affald udgjorde 9 pct. hvilket har været ret konstant over årene.

2.1.3 Kraftvarme

Kraftvarmen udgør en væsentlig andel både af el-produktionen og af fjernvarmeproduktionen. I figur 6 er vist kraftvarmeandelen i pct. af henholdsvis den termiske el-produktion og af fjernvarmeproduktionen i perioden fra 1980 til 2014. Den termiske el-produktion er uden bidragene fra vindmøller og sol-celler.



Figur 6. Kraftvarmeandelen i pct. af henholdsvis den termiske el-produktion og af fjernvarmeproduktionen fra 1980 - 2014.

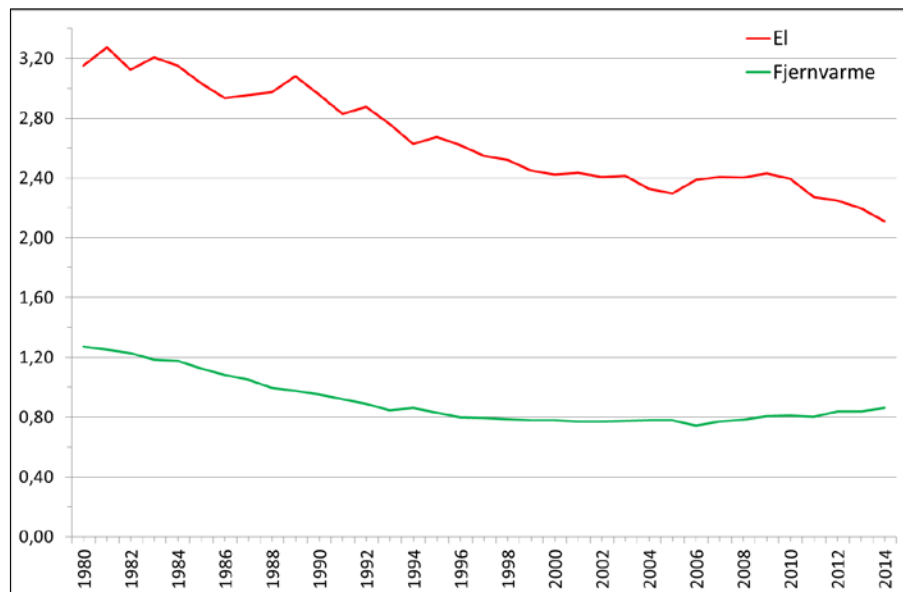
Det ses også i figur 6, at kraftvarmeandelen har været støt stigende for både den termiske el-produktion og kraftvarmeproduktionen op til midten af 1990'erne. Derefter flader kraftvarmeandelen ud for fjernvarmeproduktionen

og falder lidt det senere årti. Faldet skyldes indpasningen af flere vindmøller i elforsyningen fra midten af 1990'erne. Kraftvarmeandelen for el-produktionen fortsætter med at stige lidt også de senere år, dog med nogen variation mellem årene.

2.1.4 Energifaktorer

Energifaktoren beskriver omsætningsforholdet fra primærenergi til endeligt energiforbrug i bygningen. I figur 7 er vist udviklingen i energifaktorerne for el og fjernvarme i perioden fra 1980 til 2014. Det ses, at el-faktoren falder støt over perioden op til ca. år 2000, hvor efter den stabiliserer sig på ca. 2,40 til ca. år 2010, hvorefter den igen begynder at falde. Fjernvarmefaktoren falder også op til ca. år 2000, hvor den stabiliserer sig på ca. 0,80. Fjernvarmefaktoren er steget lidt de senere år. Ved beregning af energifaktorerne er der taget hensyn til 7 pct. tab i elfordelingssystemet ud til bygninger og 20 pct. tab i fjernvarmefordelingssystemet.

Energifaktorerne i figur 7 er beregnet ud fra data for bruttoenergiforbruget, mens de oprindelige energifaktorer i Energistyrelsens notat fra 2010 er beregnet ud fra data for det korrigerede energiforbrug, hvor der fx tages højde for udetemperaturen de enkelte år. Det gør så til gengæld, at der ikke er entydig sammenhænge til fx brændselsanvendelsen vist i figur 3 og 5. Energifaktorer i figur 7 og i det oprindelige notat afviger kun op til 0,04 for el og 0,01 for fjernvarme, så det har ikke egentlig betydning.

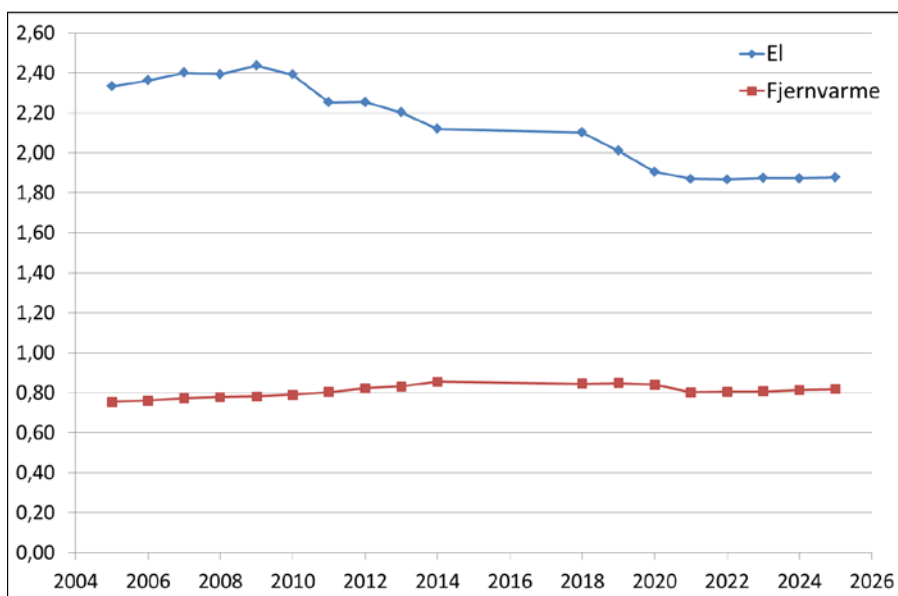


Figur 7. Energifaktorer for henholdsvis el og fjernvarme fra 1980 - 2014.

3 Fremskrivning af energifaktorerne

I det følgende er energifaktorerne fremskrevet ved brug af data for energiforsyningen i Energistyrelsens Energi- og Klimafremskrivning 2015 [9] samt ved brug af data fra Energistyrelsens Energiscenarier frem mod 2020, 2035 og 2050 [10].

I figur 8 vises udviklingen i elfaktoren og fjernvarmefaktoren over årene frem til 2025 baseret på Energistyrelsens Energi- og Klimafremskrivning 2015. For årene 2015-2017 er der nogle lidt uforklarlige svinger i fremskrivningen, hvorfor disse år ikke er vist med punkter i figuren, men der er i stedet antaget et lineært forløb for 2014-2018. Værdierne for 2005-2014 stemmer rimeligt godt med de tilsvarende værdier beregnet direkte i energistatistik 2014.



Figur 8. Elfaktor og fjernvarmefaktor over årene frem til 2025 baseret på Energistyrelsens Energi- og Klimafremskrivning 2015 og totale energifaktorer for brændslerne med antagelse om lineært forløb fra 2014-2018.

Tabel 2. Elfaktor og fjernvarmefaktor i 2035 og 2050 baseret på Energistyrelsens Energiscenarier fra marts 2014 og totale energifaktorer for brændslerne.

| År | Scenarie | | | | |
|------------|----------|------|------|-------|--------|
| | Vind | Bio | Bio+ | Brint | Fossil |
| El | | | | | |
| 2035 | 1,38 | 1,54 | 1,66 | 1,34 | 1,74 |
| 2050 | 1,13 | 1,38 | 1,54 | 1,12 | 1,43 |
| Fjernvarme | | | | | |
| 2035 | 0,91 | 0,88 | 0,81 | 0,92 | 0,77 |
| 2050 | 0,96 | 0,97 | 0,84 | 0,99 | 0,84 |

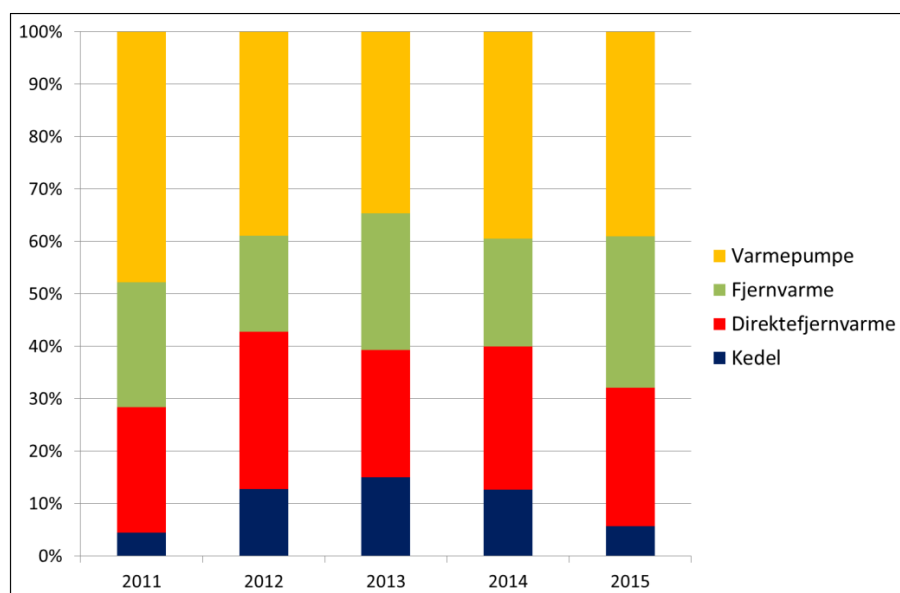
I Tabel 2 er vist elfaktoren og fjernvarmefaktoren i 2035 og 2050 baseret på Energistyrelsens Energiscenarier fra marts 2014. I beregningen er der set bort fra brændselsanvendelse og energiproduktion ved bioraffinering. Tilsvarende gælder for brint.

Af figur 8 ses det, at el-faktoren falder noget frem mod 2020 og derefter flader ud, mens fjernvarmefaktoren er næsten uændret for hele perioden.

Op mod 2035 og 2050 ses det i tabel 2, at sker der et markant fald i el-faktoren, mens fjernvarmefaktoren stiger lidt. Undtaget er dog det fossile scenarie, hvor der ikke sker den store forandring op mod 2035 eller 2050.

3.1 Forholdet mellem el- og fjernvarmefaktor

Størstedelen af både nybyggeriet og det eksisterende byggeri forventes i fremtiden at skulle opvarmes med enten fjernvarme eller varmepumper, se figur 9.



Figur 9. Fordeling i varmeforsyningen til nye bygninger fra 2011 - 2015.

Forholdet mellem energianvendelse for de to forsyningsformer er derfor afgørende for en balanceret udvikling af byggeriet både i forhold til krav til byggeriet i Bygningsreglementet og i forhold til energimærkning af eksisterende bygninger.

Tabel 3. Forhold mellem elfaktor, varmepumpefaktor og fjernvarmefaktor i Bygningsreglementet og ved energimærkning af bygninger.

| | Elfaktor | COP | VP-faktor | Fjv.-faktor |
|----------|----------|------|-----------|-------------|
| Før 2015 | 2,50 | 2,80 | 0,89 | 1,00 |
| 2015 | 2,50 | 3,10 | 0,81 | 0,80 |
| 2020 | 1,80 | 3,30 | 0,55 | 0,60 |

I tabel 3 vises energianvendelsen ved henholdsvis varmepumpe- og fjernvarmeopvarmning. For varmepumper er energianvendelsen bestemt som en varmepumpefaktor, der er beregnet ved at dividere el-faktoren med varmepumpens COP i middel over året. Det ses, at varmepumpefaktoren og fjernvarmefaktoren i 2015 ligger på nogenlunde samme niveau, når der tages hensyn til varmepumpernes bedre virkningsgrad hen over perioden.

I 2020 vil det forudsætte, at fjernvarmefaktoren reduceres som angivet i Bygningsreglementets regler for Bygningsklasse 2020, hvis der fortsat skal være balance mellem fjernvarme og opvarmning med varmepumper.

4 Nyt EPBD udkast

I udkast til review af EPBD (Energy Performance of Buildings Directive) [11] fra ultimo november 2016 står i amendment til Annex I [12]:

The calculation of primary energy shall be based on primary energy factors per energy carrier, which may be based on national or regional annual weighted averages or on more specific information made available for individual district system.

Primary energy factors shall discount the share of renewable energy in energy carriers so that calculations equally treat: (a) the energy from renewable source that is generated on-site (behind the individual meter, i.e. not accounted as supplied), and (b) the energy from renewable energy sources supplied through the energy carrier.

Teksten i udkastet til EPBD review'et er mere præcis end det nuværende EPBD med hensyn til, at primær energi skal bruges som indikator for energibehovet i bygningerne.

Det fremgår også af udkastet, at der skal anvendes primærenergifaktorer pr. energibærer, hvor vedvarende energi andelen er trukket fra. Det vil normalt være det samme som at skulle anvende fossile primærenergifaktorer, der jo netop ikke indeholder den vedvarende energi. Det kan ikke umiddelbart tolkes, hvorfor der er anvendt den pågældende formulering i udkastet.

Af udkastet fremgår desuden, at energifaktorerne kan være baseret på nationale (eller regionale) årsvægtede middelværdier. Formuleringen indikerer, at faktorerne så må være teknisk baserede. Det omfatter normalt, at de beregnes på grundlag af virkningsgrader ved udvinding og konvertering af energivarer. I den forbindelse er det sædvanligt at anvende statistiske opgørelser eller fremskrivninger til at bestemme energimikset ved beregning af energifaktoren for energibærer, som er produceret på et miks af forskellige energivarer, fx elektricitet, fjernvarme og kraftvarme. Det er også sædvanligt, at der skal foretages en fordeling af energiforbruget til de enkelte energibærer i de tilfælde, hvor der leveres flere typer energibærer fra samme produktion, fx kraftvarme. I fremtiden kan der forventes flere produktioner, der er baseret på et miks af energivarer, som leverer til flere typer energibærer, fx i forbindelse med bio-raffinering.

Det præciseres desuden i udkastet, at vedvarende energi leveret fra energisystemet og vedvarende energi produceret på grunden skal ligestilles i beregningen. Dette er en ændring i forhold til det nuværende EPBD, hvor det alene fremgår, at der skal tages hensyn til vedvarende energi produceret på grunden samt også "nearby" i relation til næsten nulenergibygninger. I det nuværende EPBD er der ikke taget stilling til vedvarende energi i energiforsyningen, som landene derfor selv kan afgøre, hvordan de håndterer. I udkastet er der ingen ændringer til anvendelsen af "nearby".

Det kan ikke umiddelbart af teksten tolkes, hvilken mulighed der er for at tage hensyn til andre forhold, herunder forventelig knaphed på træ og anden biomasse til energiproduktion i fremtiden eller samfundsøkonomien ved energiproduktionen i afhængighed af type og sted, fx balancen mellem vindenergi og solceller og balancen mellem centrale og decentrale solcelleanlæg.

5 Fossile energifaktorer

I det følgende analyseres betydningen af skift til fossile primærenergifaktorer, som review'et af EPBD'et foreslår.

5.1 Energifaktorer for energianvendelse i bygningen

Primærenergifaktoren for anvendelse af brændsler direkte i bygningen kan afvige fra dem, der anvendes ved beregning af el- og fjernvarmesystemerne, se tabel 4. Tabellen er fra prEN/ISO 52000-1: *Energy performance of buildings - Overarching EPB assessment - Part 1: General framework and procedures* sendt ud til endelig afstemning i september 2016 [13]. Tabellen indeholder default-værdier, som anvendes, hvis ikke medlemslandenes lovgivning indeholder regler om anvendelse af andre værdier. Landene er ikke forpligtiget til at implementere de nye EPB standarder i lovgivningen, men det forventes at mange af landene vil gøre det, startende med EN/ISO 52000-1, som er Overarching Standard OAS for pakken af EPB-standarder. Tabellen vil derfor formodentligt være en central EU reference i fremtiden ved fastlæggelse af primærenergifaktorer for energiberegninger.

Tabel 4. Kopi af tabel B.16 i prEN/ISO 52000-1 med default-værdier for primærenergifaktorer. f_{Pnren} er den fossile primærenergifaktor, f_{Pren} er primærenergifaktoren for vedvarende energi og f_{Ptot} er den totale primærenergifaktor.

| | Energy carrier | | f_{Pnren} | f_{Pren} | f_{Ptot} | K_{CO_2e} (g/kW h) |
|----|--------------------------------|---------------------------|-------------|------------|------------|-------------------------|
| | Delivered from distant | | | | | |
| 1 | Fossil fuels | Solid | 1,1 | 0 | 1,1 | 360 |
| 2 | | Liquid | 1,1 | 0 | 1,1 | 290 |
| 3 | | Gaseous | 1,1 | 0 | 1,1 | 220 |
| 4 | Bio fuels | Solid | 0,2 | 1 | 1,2 | 40 |
| 5 | | Liquid | 0,5 | 1 | 1,5 | 70 |
| 6 | | Gaseous | 0,4 | 1 | 1,4 | 100 |
| 7 | Electricity ^{c)} | | 2,3 | 0,2 | 2,5 | 420 |
| | Delivered from nearby | | | | | |
| 8 | District heating ^{a)} | | 1,3 | 0 | 1,3 | 260 |
| 9 | District cooling | | 1,3 | 0 | 1,3 | 260 |
| | Delivered from on-site | | | | | |
| 10 | Solar | PV electricity | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 11 | | Thermal | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 12 | Wind | | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 13 | Environment | Geo-, aero-, hydrothermal | 0 | 1 | 1 | 0 |
| | Exported | | | | | |
| 14 | Electricity ^{b) c)} | To the grid | 2,3 | 0,2 | 2,5 | 420 |
| 15 | | To non EPB uses | 2,3 | 0,2 | 2,5 | 420 |

^{a)} Default value based on a natural gas boiler. Specific values are calculated according to M3-8.5.

5.2 Energifaktorer i energiforsyningen

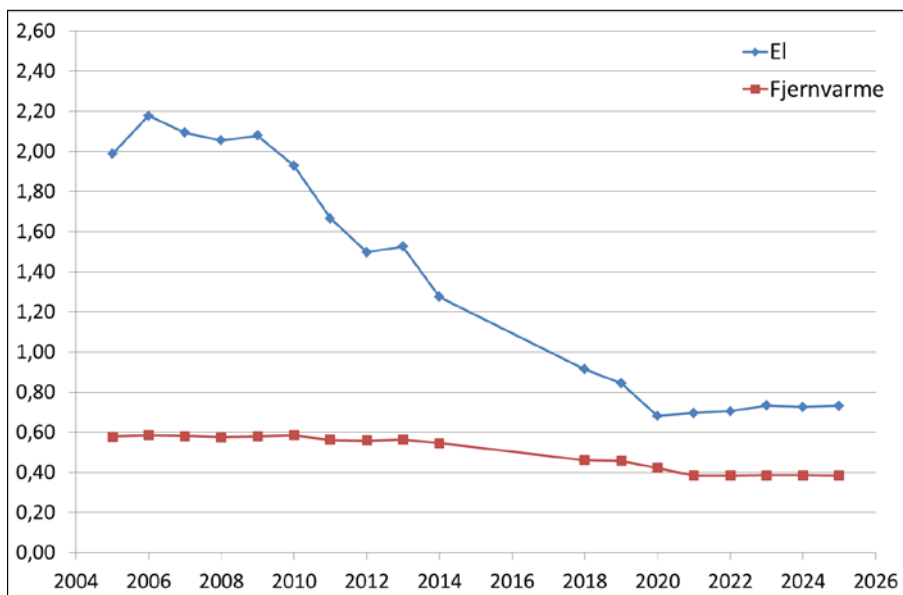
Danmark har hidtil i princippet ved opgørelse af energiforsyningen anvendt totale energifaktorer, som indeholder både den fossile og den vedvarende energiandel. Forskelle på de forskellige typer primærenergifaktorer er illustreret i tabel 5. Værdierne er hentet fra rapporten: *Evaluation of primary energy factor calculation options for electricity*, som er udgivet maj 2016 i forbindelse med: *Review of the default primary energy factor (PEF) reflecting the estimated average EU generation efficiency referred to in Annex IV of Directive 2012/27/EU (ECODesign) and possible extension of the approach to other energy carriers* [14] og [15]. De danske fossile primærenergifaktorer svarer til metode 2 i rapporten, mens de totale primærenergifaktorer svarer til metode 1, 3 og 4 i rapporten.

Tabel 5. Primærfaktorer fra *Evaluation of primary energy factor calculation options for electricity*.

| Energivare | Primærenergifaktor (PEF) | |
|----------------------|--------------------------|-------------|
| | Fossil | Total |
| Hydro | 0,06 | 1,00 |
| Wind | 0,03 | 1,00 |
| Solar PV | 0,08 | 1,00 |
| Geothermal | 0,10 | 1,00 |
| Biomass | 0,15 | 1,00 |
| Newclear (atomkraft) | 1,00 | 1,00 |
| Fossil fuels | 1,10 | 1,00 / 1,10 |

5.3 Nye el- og fjernvarmefaktorer

I det følgende beregnes nye energifaktorer baseret på anvendelsen af fossile primærenergifaktorer



Figur 10. Elfaktor og fjernvarmefaktor over årene frem til 2025 baseret på Energistyrelsens Basisfremskrivning 2015 og fossile primærenergifaktorer for brændslerne.

Tabel 6. Elfaktor og fjernvarmefaktor i 2035 og 2050 baseret på Energistyrelsens Energiscenarier fra marts 2014 og fossile primærenergifaktorer for brændslerne.

| År | Scenarie | | | | |
|------------|----------|------|------|-------|--------|
| | Vind | Bio | Bio+ | Brint | Fossil |
| El | | | | | |
| 2035 | 0,19 | 0,22 | 0,25 | 0,16 | 1,31 |
| 2050 | 0,09 | 0,18 | 0,23 | 0,08 | 0,72 |
| Fjernvarme | | | | | |
| 2035 | 0,18 | 0,18 | 0,17 | 0,18 | 0,66 |
| 2050 | 0,19 | 0,19 | 0,19 | 0,18 | 0,65 |

Figur 10 viser det samme forløb som figur 8, men med anvendelse af de fossile primærenergifaktorer fra tabel 1. Det samme gælder for tabel 3 og 2.

Anvendelsen af fossile primærenergifaktorer for brændslerne vil for 2014 halvere den teknisk beregnede elfaktor og reducere fjernvarmefaktoren med 30 pct. I forløbet op mod 2025 er der tale om 60 pct. reduktion af el-faktoren og en halvering af fjernvarmefaktoren.

I 2035 og 2050 må elfaktoren og fjernvarmefaktoren forventes at blive meget små. For elfaktoren under 10 pct. af den der anvendes i dag og for fjernvarmefaktoren under 25 pct. af den der anvendes i dag, dog bortset fra Fossilscenariet.

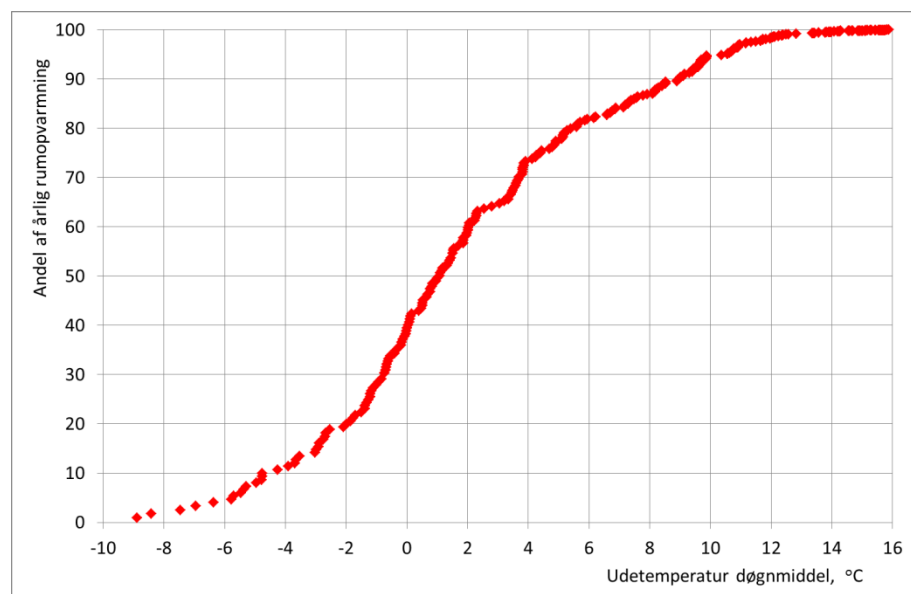
6 Bygningers varmebehov

I det følgende bestemmes varmebehovet i nogle typiske bygninger i relation til udeklimaet. Varmebehovet er bestemt på timebasis med en metode, som er en let forenkling af den timebaserede metode beskrevet i EN ISO 13790:2008 [16] med anvendelse af DRY vejrdata beskrevet i DMI Technical Report 13-19 [17].

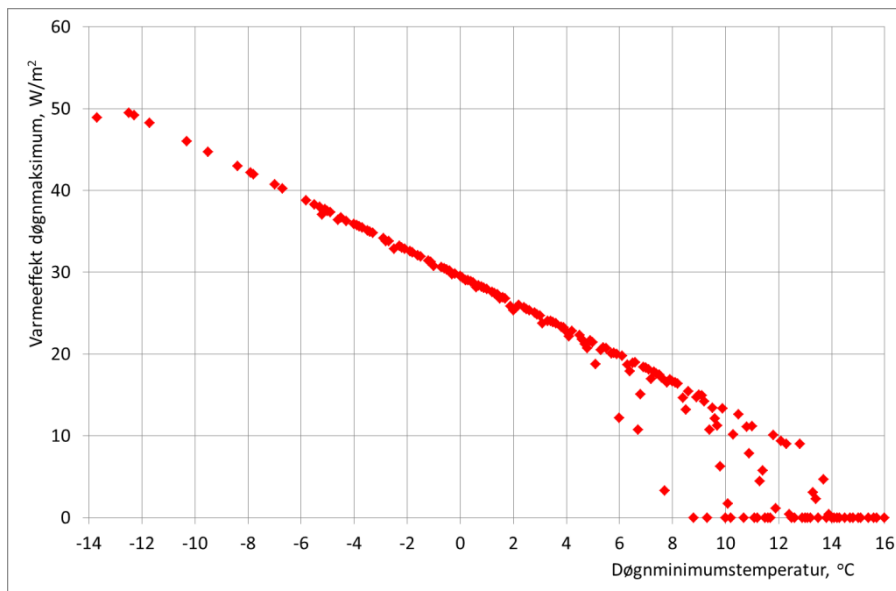
6.1 Rumopvarmning i parcelhus 1960

I figur 11 er vist det beregnede varmeforbrug til rumopvarmning i et typisk eksisterende parcelhus fra 1960. Figuren viser fordelingen af varmeforbruget over året i relation til udetemperaturen. Husets data er tilpasset, så det svarer til gennemsnittet for eksisterende parcelhuse fra 1960 i henhold til SBI2014:01, *Potentielle varmebesparelser frem til 2050* [18], med de energiforbedringer der nu måtte være udført i et typisk hus, fx efterisolering af loft og udskiftning af vinduer til to lag glas. Ifølge rapporten svarer varmeforbruget i parcelhusene fra 1960 så igen rimeligt godt til det gennemsnitlige forbrug i samtlige eksisterende parcelhuse. Varmeforbruget til rumopvarmning i parcelhuset fra 1960 er beregnet under forudsætning af, at der konstant opvarmes til 20 °C rumtemperatur.

Det ses i figuren, at 40 pct. af varmeforbruget til rumopvarmning bruges i de døgn, hvor døgnmiddel udetemperaturen er 0 °C eller lavere. En eventuel natsækning af rumtemperaturen vil ikke væsentligt ændre på dette, men alene flytte rundt på forbruget over døgnet og måske give en lille varmebesparelse.



Figur 11. Varmeforbrug til rumopvarmning i typisk parcelhus fra 1960. Fordeling af varmeforbruget over året i afhængighed af udetemperaturen, døgnmiddel.

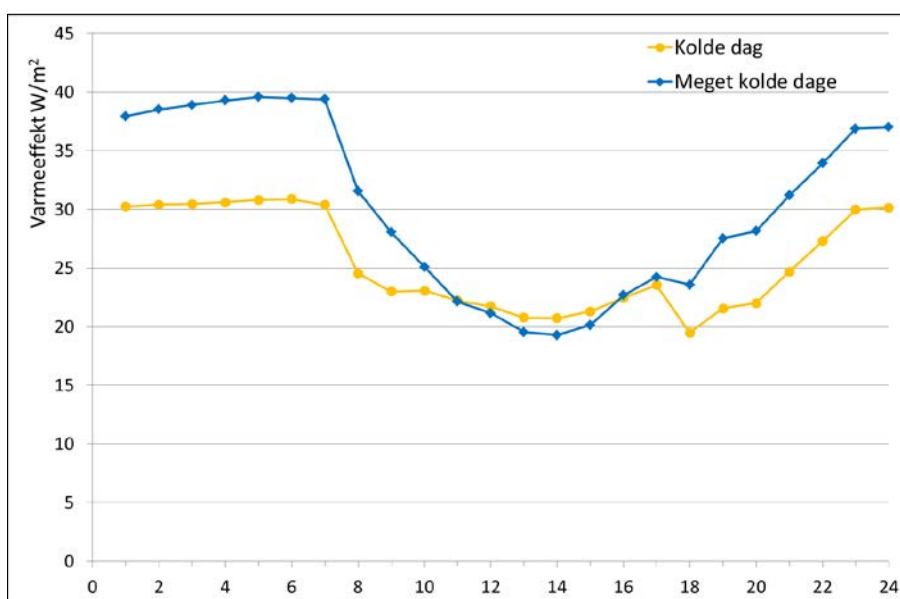


Figur 12. Maksimum varmeeffekt til rumopvarmning i W/m^2 i typisk parcelhus fra 1960 i afhængighed af udetemperaturens døgminimum.

I figur 12 ses den maksimale varmeeffekt til rumopvarmning i W/m^2 i det samme typiske parcelhus fra 1960 i forhold til udetemperaturens døgminimum.

Der ses, at der er en retlinjet sammenhæng mellem døgminimumstemperaturen og maksimumseffekten til rumopvarmning.

I figur 13 vises varmebehovets døgprofil på kolde og på meget kolde dage. Kolde dage er døgn med minimumsudetemperatur mellem 0 og $-5\text{ }^\circ\text{C}$ (døgn med minimumsudetemperatur på $0\text{ }^\circ\text{C}$ inklusive). Meget kolde dage er døgn med minimumstemperatur på eller under $-5\text{ }^\circ\text{C}$. Det ses, at det høje varmebehov på kolde og især på meget kolde dage primært kommer om natten. Om dagen udligner solindfaldet forskellen på kolde og meget kolde dage. Det nedafgående hak omkring kl 18:00 skyldes stigningen i internt varmetilskud i forbindelse med madlavning.



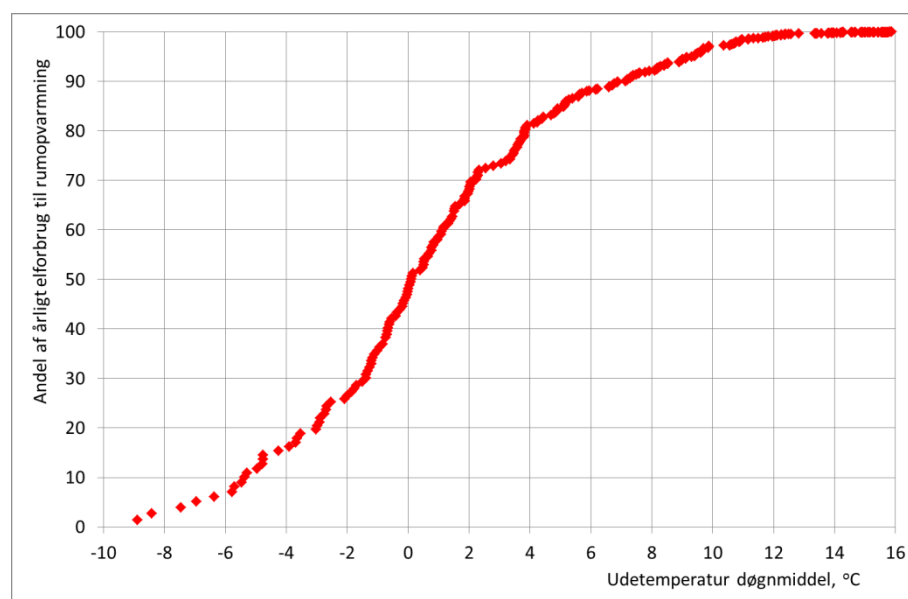
Figur 13. Varmeforbrug i det typiske parcelhus fra 1960 på kolde og meget kolde dage. Døgprofil i W/m^2 . Kolde dage er døgn med minimumsudetemperatur mellem 0 og $-5\text{ }^\circ\text{C}$. Meget kolde dage er døgn med minimumstemperatur på eller under $-5\text{ }^\circ\text{C}$.

6.1.1 Parcelhus 1960 med varmepumpe

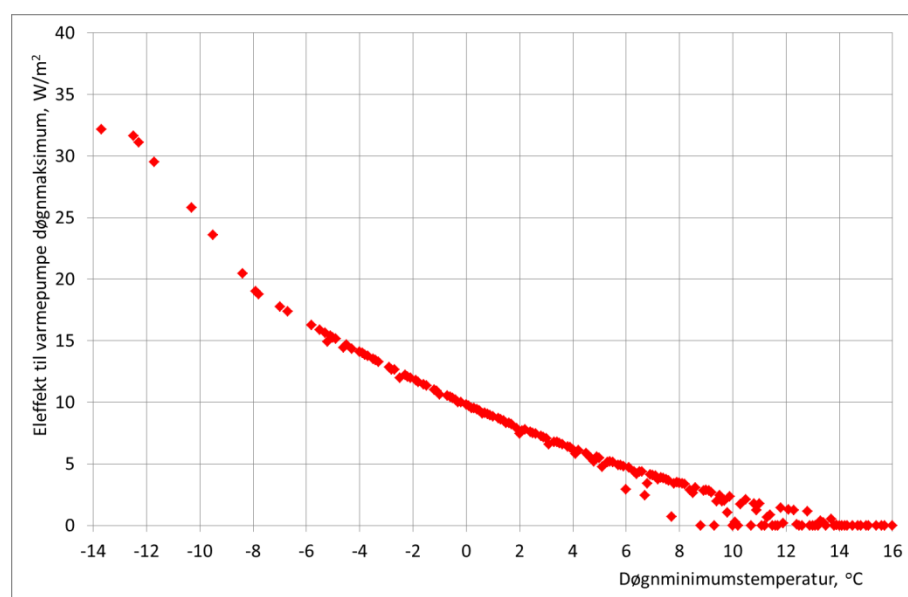
I figur 14 vises det beregnede elforbrug til rumopvarmning i det samme typiske eksisterende parcelhus fra 1960, hvis det har rumopvarmning med en udeluftvarmepumpe. Udeluftvarmepumpen antages dimensioneret til at dække rumopvarmningen ned til en udetemperatur på $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ uden elpatron-supplement, således som DS 469 [19] foreskriver.

Det ses i figuren, at næsten 50 pct. af elforbruget til rumopvarmning med varmepumpen bruges i de døgn, hvor døgnmiddel udetemperaturen er $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ eller lavere. Forskellen mellem figur 10 og 13 skyldes variationen i varmepumpens COP i afhængighed af udetemperaturen, hvor COP'en falder ved lav udetemperatur.

I figur 15 ses den maksimale varmeeffekt til rumopvarmning i W/m^2 i det samme typiske parcelhus fra 1960 i afhængighed af udetemperaturens døgnminimum.



Figur 14. Elforbrug til rumopvarmning i typisk parcelhus fra 1960 med udeluftvarmepumpe. Fordeling af elforbruget over året i afhængighed af udetemperaturen, døgnmiddel.



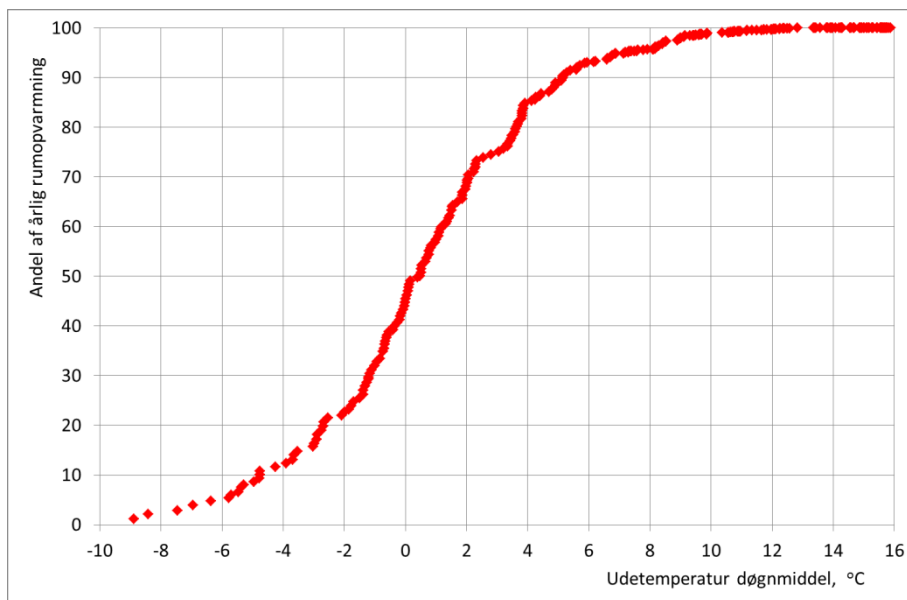
Figur 15. Maksimum effekt til luftvarmepumpe til rumopvarmning i W/m^2 i typisk parcelhus fra 1960 i afhængighed af udetemperaturens døgnminimum.

Der ses i figur 15 med varmepumpen til rumopvarmning at være en markant stigning i elforbruget til rumopvarmning, når minimums udetemperaturen er lavere end de dimensionerende $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ for varmepumpen. Stigningen skyldes både varmepumpens lavere COP ved lav udetemperatur og indkoblingen af el-patron som supplement til varmepumpen for at holde den ønskede rumtemperatur.

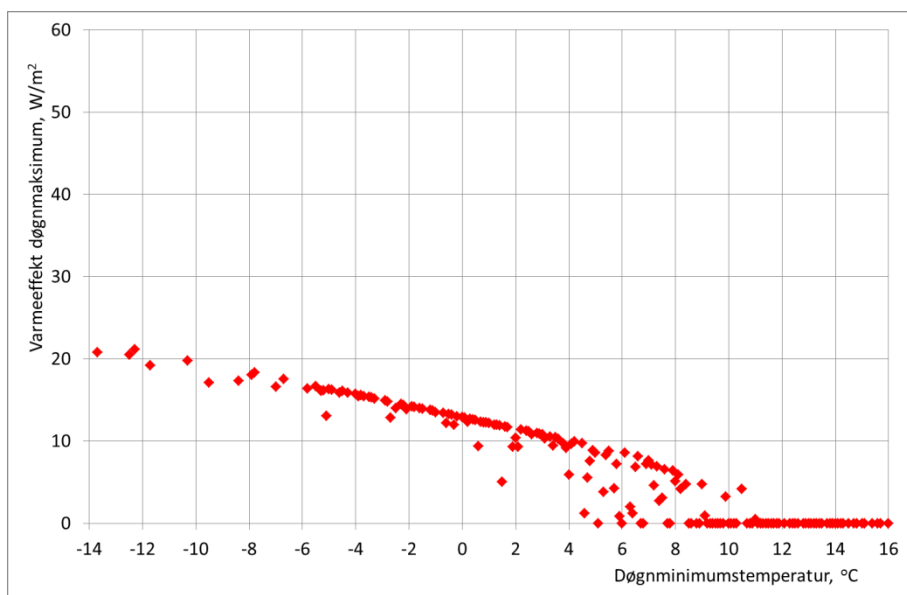
6.2 Rumopvarmning i parcelhus 2015

I det følgende opgøres de samme forhold omkring rumopvarmningen for et nyt parcelhus fra 2015, som er opgjort for det typiske parcelhus fra 1960'erne i det foregående afsnit.

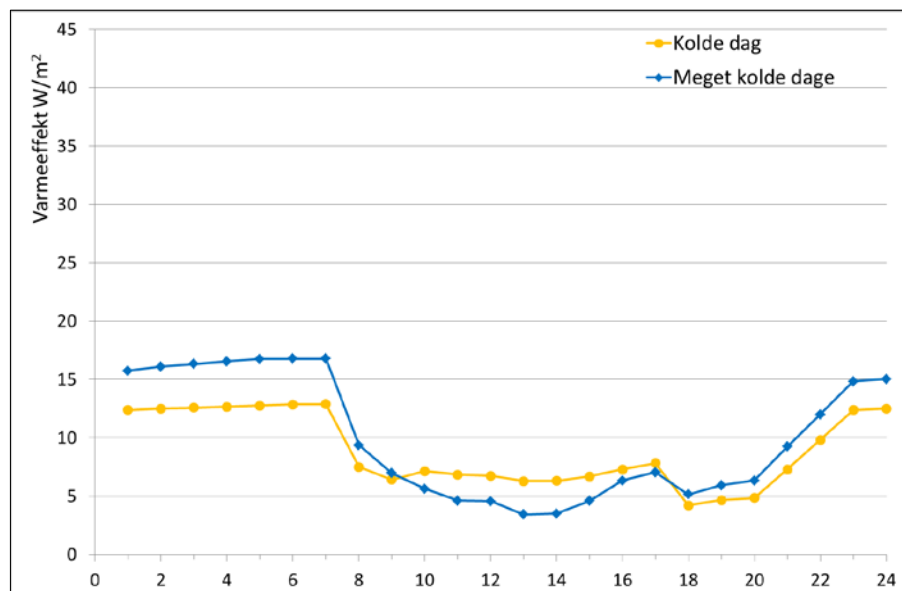
I figur 16 er vist det beregnede varmeforbrug til rumopvarmning i det nye parcelhus fra 2015. Varmeforbruget til rumopvarmning i parcelhuset fra 2015 er beregnet under forudsætning af, at der konstant opvarmes til $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ rumtemperatur, som det ofte er tilfældet i nye huse.



Figur 16. Varmeforbrug til rumopvarmning i et parcelhus fra 2015. Fordeling af varmeforbruget over året i afhængighed af udetemperaturen, døgnmiddel.



Figur 17. Maksimum varmeeffekt til rumopvarmning i W/m^2 i nyt parcelhus fra 2015 i afhængighed af udetemperaturens døgminimum.



Figur 18. Varmeforbrug i det nye parcelhus fra 2015 på kolde og meget kolde dage. Døgnprofil i W/m².

Det ses i figur 16, at det i dette hus er 45 pct. af varmemeforbruget til rumopvarmning, som bruges i de døgn, hvor døgnmiddel udetemperaturen er 0 °C eller lavere. Men der er ikke den store forskel på forløbet af kurven i forhold til den tilsvarende kurve for det typiske parcelhus fra 1960 i figur 10.

I figur 17 ses den maksimale varmeeffekt til rumopvarmning i W/m² i det samme nye parcelhus fra 2015 i afhængighed af udetemperaturens døgnminimum. Figurens skala er fastholdt som for parcelhuset fra 1960 i figur 12, for direkte at kunne sammenligne resultaterne.

Der ses at være en nogenlunde retlinjet sammenhæng mellem døgnminimumstemperaturen og maksimumseffekten til rumopvarmning ved lave udetemperaturer. Ved moderate udetemperaturer ses et mere varierende mønster, end der var i det eksisterende typiske parcelhus fra 1960. Dette skyldes bedre udnyttelse af solindfaldet og den længere effekt af varmeakkumuleringsevne på grund af større isoleringsniveau og dermed større tidskonstant i det nye parcelhus fra 2015.

I figur 18 er vist varmebehovets døgnprofil i parcelhuset fra 2015 på kolde og på meget kolde dage, som svarer til figur 13 for 1960'er parcelhuset. Der er det samme forhold mellem varmemeforbruget på kolde og på meget kolde dage, som der var i det typiske parcelhus fra 1960. Det ses også, at solindfaldet om dagen mere end udligner forskellen på kolde og meget kolde dage, således at varmebehovet på de meget kolde dag faktisk er mindre end på de bare kolde dage.

6.2.1 Parcelhus 2015 med varmepumpe

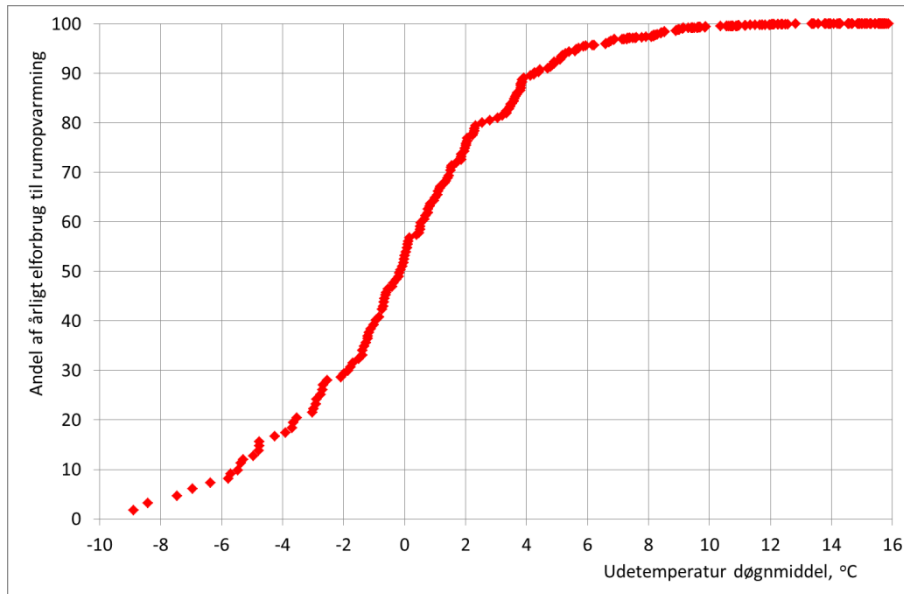
I figur 19 vises det beregnede elforbrug til rumopvarmning i det nye parcelhus fra 2015, hvis det har rumopvarmning med en udeluftvarmepumpe. Udeluftvarmepumpen antages også her dimensioneret til at dække rumopvarmningen ned til en udetemperatur på -7 °C uden elpatronsupplement, således som DS 469 [19] foreskriver.

Det ses i figuren, at næsten 55 pct. af elforbruget til rumopvarmning med varmepumpen bruges i de døgn, hvor døgnmiddel udetemperaturen er 0 °C eller lavere. Der er ikke den store forskel på forløbet af kurven i forhold til den tilsvarende kurve for det typiske parcelhus fra 1960 i figur 14. Men stigningen på kurven er noget stejlere, således at fx 90 pct. af elforbruget til rumopvarmning med varmepumpen anvendes i de døgn, hvor udetempera-

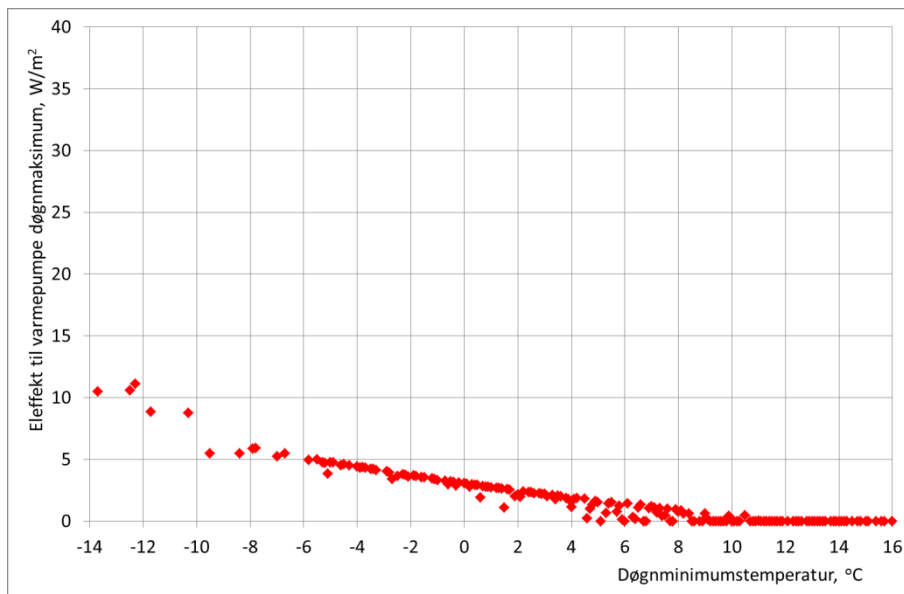
turen er under 4 °C, mens det tilsvarende for parcelhuset fra 1960 er døgn under 8 °C.

I figur 20 ses den maksimale varmeeffekt til rumopvarmning i W/m^2 i det samme nye parcelhus fra 2015 i afhængighed af udetemperaturens døgnminimum.

Selve forløbet af kurven er den samme som i det typiske parcelhus fra 1960, men niveauet er væsentligt lavere end i figur 15, fx ses ved -7 °C ca. 5 W/m^2 for 2015 parcelhuset, hvor det er 18 W/m^2 for parcelhuset fra 1960.



Figur 19. Elforsøg til rumopvarmning i parcelhuset fra 2015 med udeluftvarmepumpe. Fordeling af elforbruget over året i afhængighed af udetemperaturen, døgnmiddel.



Figur 20. Maksimum eleffekt til luftvarmepumpe til rumopvarmning i W/m^2 i parcelhuset fra 2015 i afhængighed af udetemperaturens døgnminimum.

7 Vind i elforsyningen

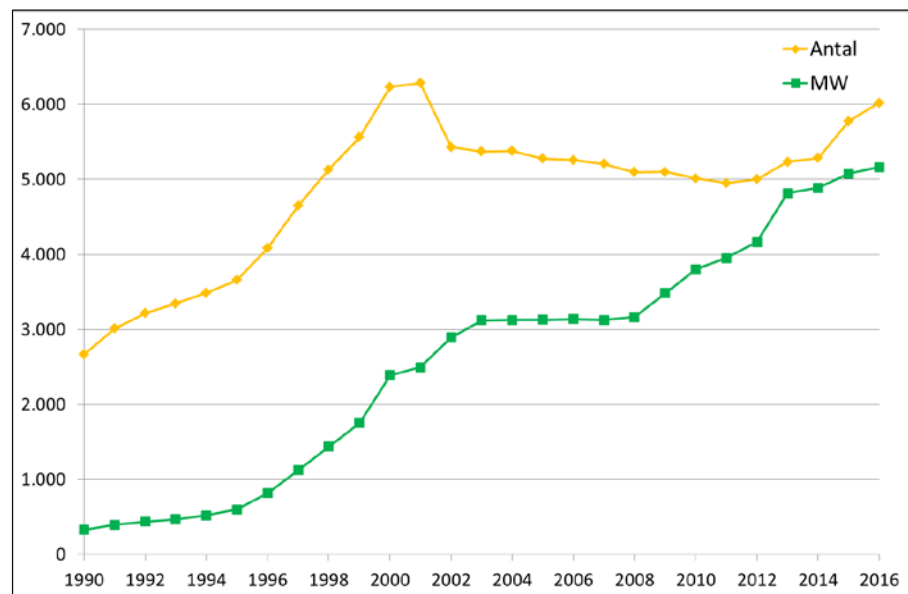
Vindens andel i den samlede el-produktion kan have væsentlig indflydelse på primærenergiforbruget og dermed på el-faktoren. I dette kapitel analyseres det, hvordan produktionen fra vindmøllerne og vindandelen af den samlede el-produktion varierer over året, ugen og døgnet. Formålet er at vurdere, om det kan have indflydelse på el-faktoren til rumopvarmning med varmepumper eller på el-faktoren til andre typer elforbrug til bygningsdrift.

For at gøre det benyttes timeværdier fra markedsdata for det danske el-system hentet på Energinet.dk's hjemmeside [20].

I figur 21 er vist udbygningen af vindenergien i Danmark over årene fra 1990 til september 2016. Opgørelsen er fra Energistyrelsens stamdataregister for vindmøller [21].

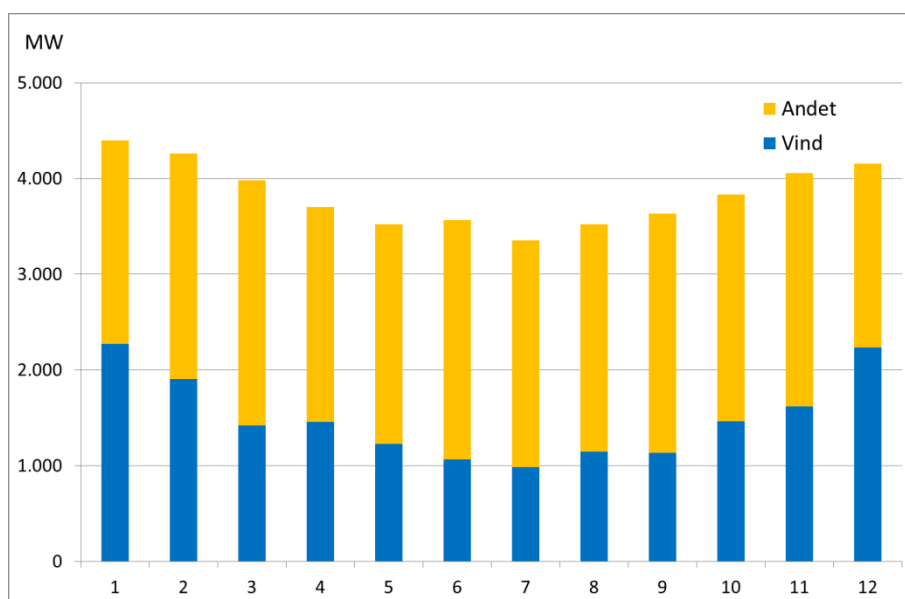
Der har været en markant tilvækst af vindmølleeffekt siden 1990 og frem til 2013. Siden 2013 har der været en mere jævn udbygning. Den sidste større udbygning var med havvindmøller ved Anholt, som blev sat i drift i løbet af foråret 2013. I 2015 var der 5.261 vindmøller på land med en samlet effekt på 3.804 MW og 516 havvindmøller med en samlet effekt på 1.271 MW.

I denne analyse af vindproduktion og vindandel af el-forbruget anvendes data for 3 års-perioden 1. juli 2013 til 30. juni 2016. Hen over denne periode er vindmølleeffekten steget 7,2 pct., hvilket ikke antages at påvirke analyserne væsentligt.



Figur 21. Udbygningen af vindenergi i Danmark fra 1990 til september 2016.

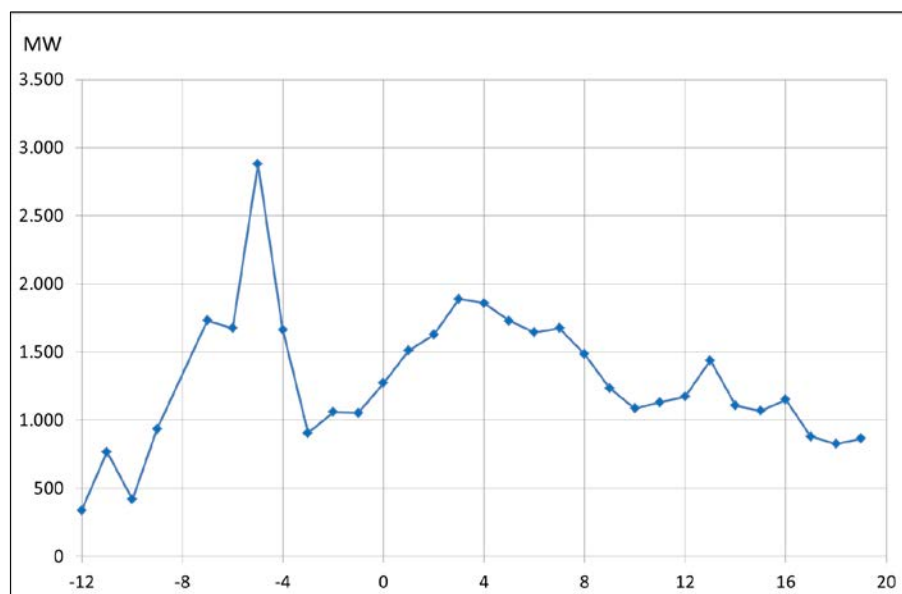
7.1 Årsfordeling af vind og el-forbrug



Figur 22. Vindmølleproduktion og samlet elforbrug i Danmark pr. måned fra juli 2013 til juni 2016. Andet er alle andre typer el-produktion samt import og eksport af el. Timemiddelværdier MW.

I figur 22 er vist årsvariationen på månedsbasis i vindmølleproduktion og i samlet elforbrug. Værdierne er gennemsnit i MW for 3 års-perioden 1. juli 2013 til 30. juni 2016. I vintermånederne dækker vinden i gennemsnit ca. 50 pct. af elforbruget, mens den i sommermånederne i gennemsnit kun dækker ca. 30 pct. af elforbruget. Opgjort over de tre år dækker vinden 39 pct. af det danske elforbrug.

7.2 Vind og udetemperatur



Figur 23. Vindmølleproduktions døgnmidleffekt, MW i afhængighed af døgnet minimumsudetemperatur.

I figur 23 er vist vindmølleproduktionen døgnmidleffekt i afhængighed af døgnet minimumsudetemperatur. Vejrdata se i bilaget til rapporten.

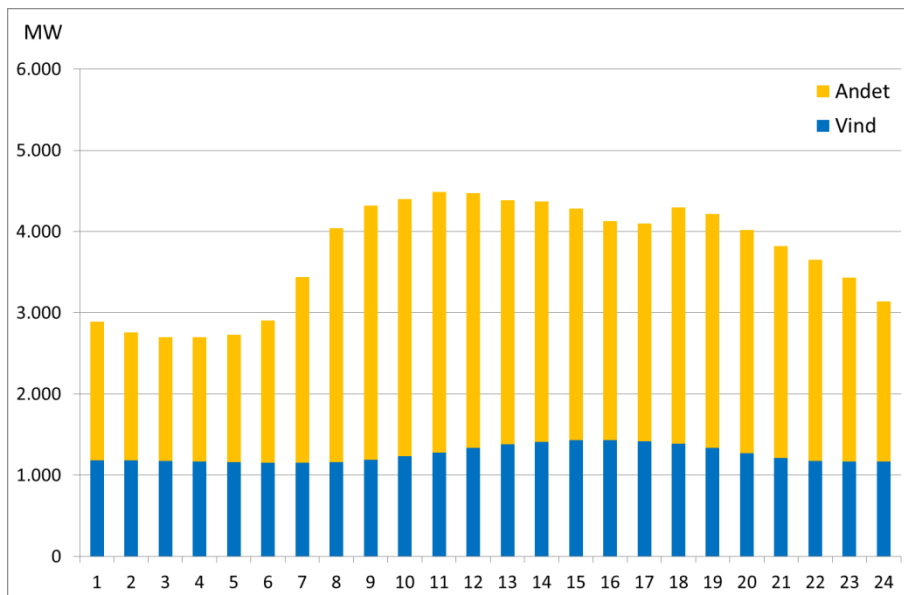
Vindmølleproduktionen er generelt størst, når døgnet minimumstemperatur er moderat dvs. i intervallet fra 1 °C til 8 °C. I det følgende bruges der begrebet tempererede dage eller døgnet om disse. På varme dage eller døgnet, hvor døgnet minimumstemperatur er 9 °C eller højere falder vindmølleproduktionen. Det samme gælder døgnet med lave døgnet minimumstemperaturer på eller under 0 °C. Disse forhold hænger formentlig sammen med typiske situationer i det danske klima, hvor sommer- og vintervej hænges sammen med østlige vinde med svagere styrker, mens tempereret vej hænges sammen med vestlige vinde af større styrke. På årsbasis er der i de tre år 50 kolde døgnet, 140 varme døgnet og 175 tempererede døgnet.

I det følgende er der set på vindmølleproduktion og elforbrug over døgnet. Ved det er døgnet opdelt efter døgnet minimumstemperatur som beskrevet ovenfor. Da elforbruget over dagen er væsentligt forskelligt på hverdage og i weekender er døgnet desuden opdelt efter dette.

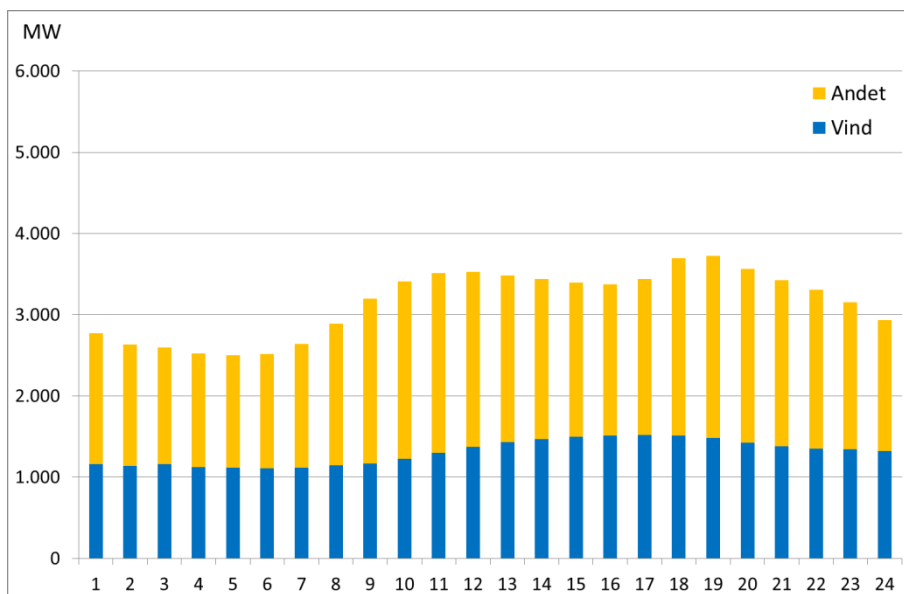
I figur 24 er vist vindmølleproduktion og elforbrug på varme hverdage og i figur 25 er det samme vist i varme weekender.

For de varme dage ses det, at elforbruget om natten er næsten ens på hverdage og i weekender. Elforbruget om natten er dog en anelse lavere i weekenden end på hverdage. Den store forskel er om dagen fra time 8 -17 (kl. 7:00 - 17:00), hvor elforbruget er ca. 1.000 MW højere på hverdage end i weekenden. Forskellen begynder allerede i time 7 (kl. 6:00 - 7:00) og fortares sig først i løbet af aftenen over time 18 - 24 (kl. 17:00 - 24:00).

Om natten er elforbruget i gennemsnit et koldt døgnet 2.500 - 2.800 MW, mens det om dagen på hverdage er 4.200 - 4.500 MW og i weekenden 3.300 - 3.500 MW.



Figur 24. Vindmølleproduktion og samlet elforbrug i Danmark på varme hverdage. Timemiddelværdier, MW.

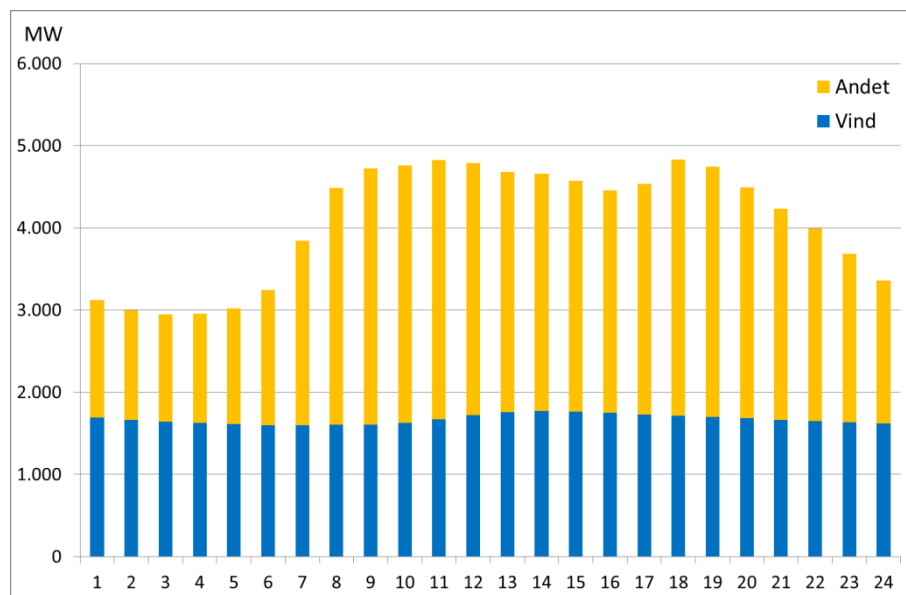


Figur 25. Vindmølleproduktion og samlet elforbrug i Danmark i varme weekend-døgn. Time-middelværdier, MW.

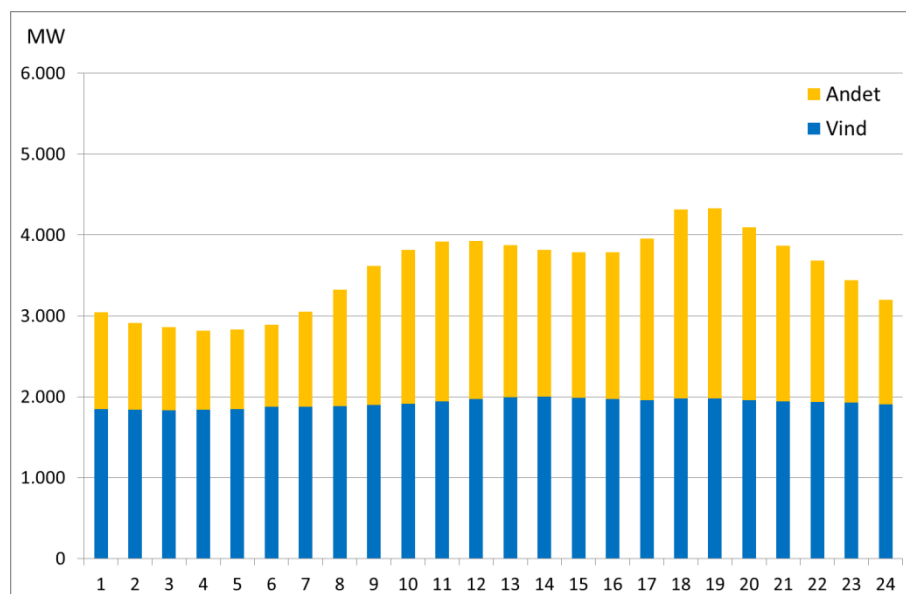
Vindmølleproduktionen er 1.100 - 1.500 MW. Vindmøllerne producerer mindst om natten og mest midt på dagen. Vindmøllernes produktion burde ikke afhænge af, om det er hverdag eller weekend. Dog synes det som om, der er en lidt større vindproduktion i weekenden midt på dagen og om aftenen, end der er om hverdagen. Men det siger nok mest noget om den tilfældige statistiske variation i vejret.

Om natten på varme døgn dækker vindmølleproduktionen i gennemsnit ca. 40 - 45 pct. af elforbruget. Om dagen i weekender er det også ca. 40 - 45 pct. som dækkes af vind. Mens det om dagen på hverdage er ca. 30 - 35 pct. af elforbruget, som dækkes af vindmølleproduktionen.

I figur 26 og 27 vises vindmølleproduktionen og elforbruget på tempererede hverdage og i weekenderne. Mønsteret i variationen af elforbruget og vindmølleproduktionen ligner det for de varme dage, men både elforbruget og vindmølleproduktionen er en del højere.



Figur 26. Vindmølleproduktion og samlet elforbrug i Danmark på tempererede hverdage. Timemiddelværdier, MW.

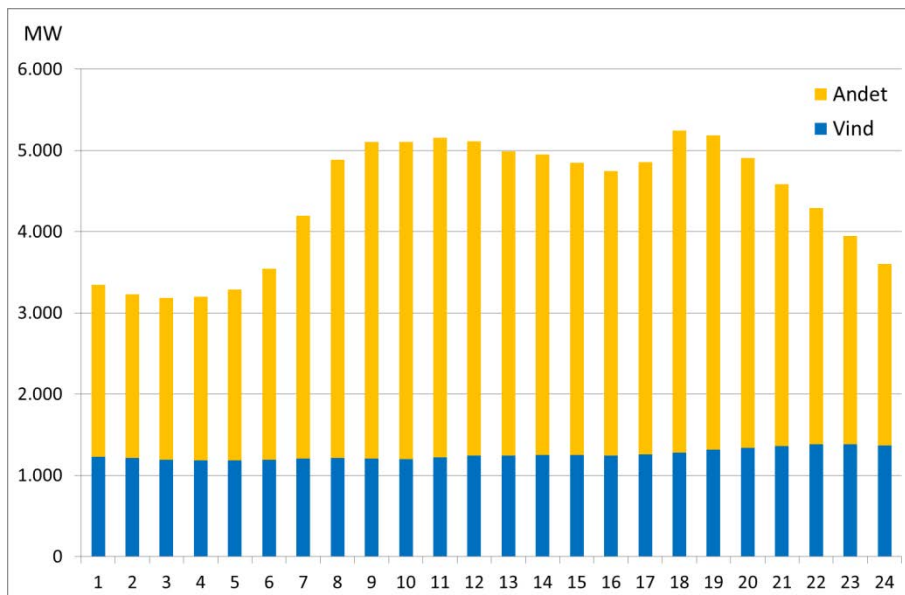


Figur 27. Vindmølleproduktion og samlet elforbrug i Danmark i tempererede weekend-døgn. Timemiddelværdier, MW.

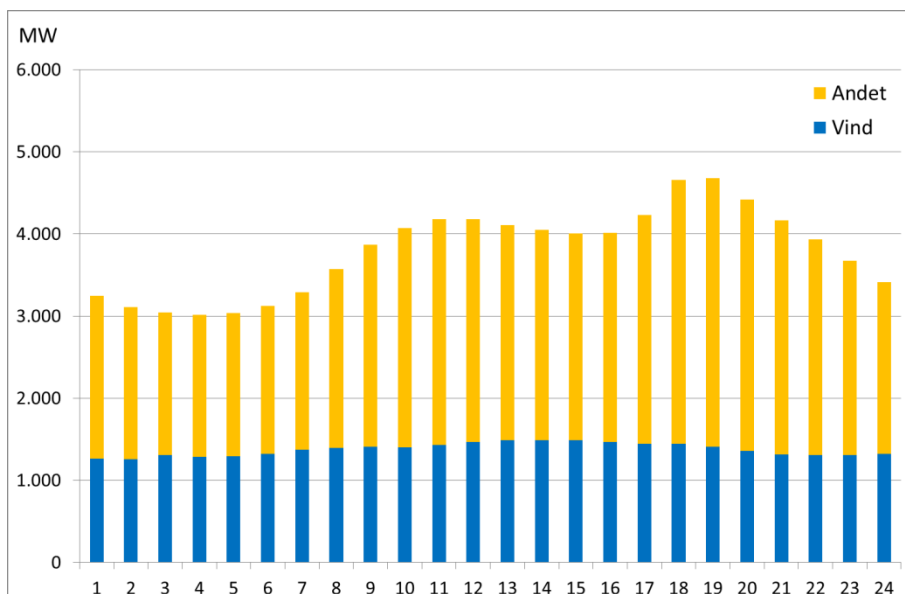
Om natten på tempererede dage er elforbruget 2.800 - 3.100 MW. Midt på dagen på hverdage er elforbruget 4.500 - 4.800 MW, mens det i weekenden er 3.800 - 4.000 MW.

Vindmølleproduktionen er 1.700 - 1.900 MW med en meget lille døgnvariation.

Om natten i tempererede døgn dækker vindmølleproduktionen i gennemsnit ca. 55 - 65 pct. af elforbruget. Om dagen i weekender er det ca. 50 - 55 pct. som dækkes af vind. Mens det om dagen på hverdage er ca. 35 - 40 pct. af elforbruget, som dækkes af vindmølleproduktionen.



Figur 28. Vindmølleproduktion og samlet elforbrug i Danmark på kolde hverdage. Timemiddelværdier, MW.



Figur 29. Vindmølleproduktion og samlet elforbrug i Danmark i kolde weekend-døgn. Time-middelværdier, MW.

I figur 28 og 29 er vist vindmølleproduktionen og elforbruget på kolde hverdage og weekender. I forhold til de tempererede døgn er elforbruget på kolde dage større og vindmøllernes produktion mindre.

Om natten på kolde dage er elforbruget 3.000 - 3.300 MW. Midt på dagen på hverdage er elforbruget 4.900 - 5.200 MW, mens det i weekenden er 4.000 - 4.200 MW.

Vindmølleproduktionen er 1.200 - 1.500 MW med en meget lille døgnvariation.

Om natten på kolde døgn dækker vindmølleproduktionen i gennemsnit ca. 35 - 40 pct. af elforbruget. Om dagen i weekender er det ca. 35 pct. som dækkes af vind. Mens det om dagen på hverdage er ca. 25 pct. af elforbruget, som dækkes af vindmølleproduktionen.

7.3 Vindmølleandel ved rumopvarmning

I tabel 7 er vist vindandelen ved rumopvarmning i 1960 parcelhuset og i 2015 parcelhuset fra kapitel 6. Andelen er angivet for hhv. direkte opvarmning og for opvarmning med udeluftvarmepumpe dimensioneret som beskrevet i kapitel 6. Vindandelen ved rumopvarmning er beregnet ved at modellere husenes varmebehov til rumopvarmning og elbehov til varmepumpe ind i timeværdierne for el-systemet.

Til sammenligning er det simple årgennemsnit for vindandelen 39 pct.

Andre typer varmepumper, fx en jordvarmepumpe, vil være mellem resultatet for udeluftvarmepumpen og for direkte opvarmning. Tilsvarende gælder, hvis parcelhuset fra 1960 har gulvvarme.

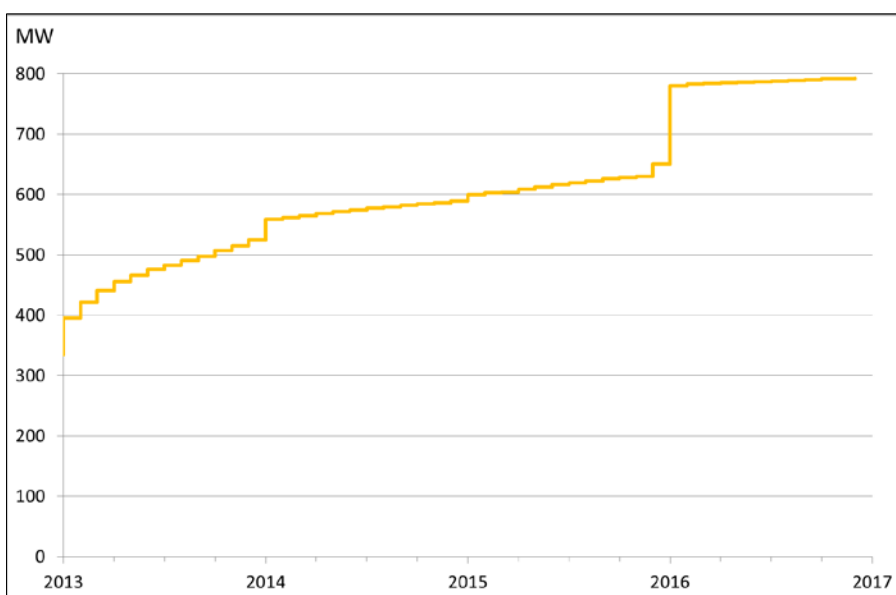
Tabel 7. Vindandel i pct. ved rumopvarmning af typisk 1960 parcelhus og for parcelhus 2015. Varmebehovsvægtet varme og el-forbrug.

| | Parcelhus 1960 | Parcelhus 2015 |
|-----------|----------------|----------------|
| Varme | 43 | 44 |
| El til VP | 42 | 43 |

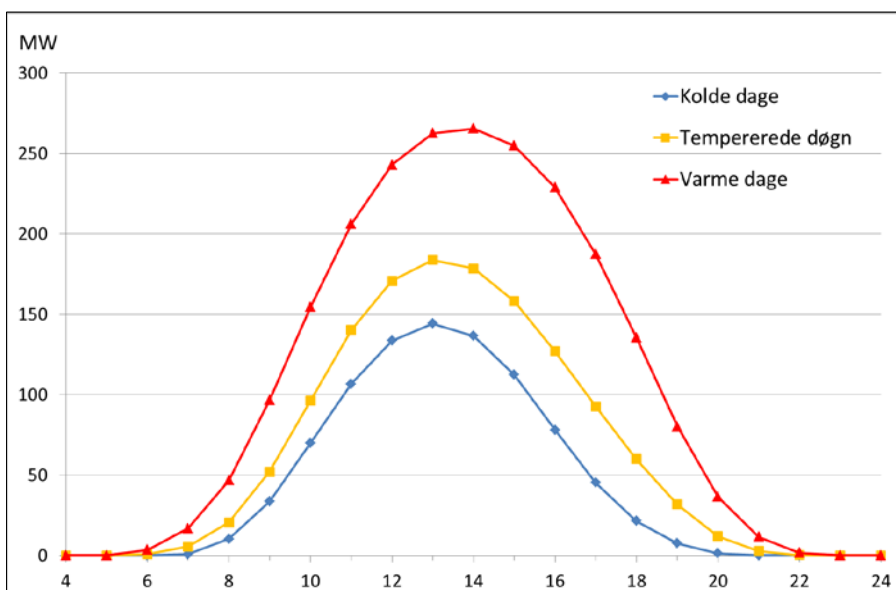
8 Solceller i elforsyningen

Solceller er over de senere år ved at få en vis betydning for elforsyningen. I figur 30 ses udviklingen i effekt for nettilsluttede solcelleanlæg. De gunstige afregningsbetingelser for private nettilsluttede solcelleanlæg forsvandt ved årsskiftet 2013-14. Springet i solcelleeffekt ved årsskiftet til 2016 skyldes nogle få rigtig store solcelleanlæg opstillet på stativer på jorden.

I det følgende anvendes alene solcelleproduktionsdata for perioden januar 2014 - december 2015, hvor udbygningen med nye solcelleanlæg har været begrænset.



Figur 30. Udbygningen af solcelleeffekten fra 2013 til i dag, MW.



Figur 31. Gennemsnitlig solcelleydelse, MW på hhv. kolde, tempererede og varme døgn.

I figur 31 er vist den samlede gennemsnitsydelse over døgnet fra nettilsluttede solcelleanlæg på henholdsvis varme dage, tempererede døgne og på kolde dage. Det ses, at der selv midt på dagen på de kolde dage i gennemsnit vil være et mærkbart tilskud fra solcellerne.

9 Diskussion og vurdering

Beregningerne i denne rapport viser, at el-faktoren vil falde over de kommende år op til 2020 på grund af planlagt udbygning med vindmøller i el-systemet, selv ved fortsat benyttelse af den samme grunddefinition på energifaktorer på brændslerne. Op mod 2020 og i årene efter op til 2025 vil el-faktoren ligge tæt på 1,85.

Fjernvarmefaktoren vil ligge stabilt og tæt på 0,80 i hele perioden op til 2025. Fjernvarmefaktorer vil kun kunne falde ved stigning i kraftvarmeandelen, hvilket er mindre sandsynligt, når der samtidig sker udbygning med vindmøller.

Fjernvarme og varmepumper er i dag de mest udbredte opvarmningsformer i nybyggeriet. Varmepumper dog mest i småhusene, da større bygninger ofte vil ligge i etablerede fjernvarmeområder. Der har hidtil været balance mellem den resulterende varme-faktor ved opvarmning med varmepumper og fjernvarmefaktoren på 0,80. Når el-faktoren falder yderligere, vil denne balance ikke umiddelbart kunne opretholdes.

Efter 2025 og op mod 2035 og 2050 må el-faktoren forventes at falde yderligere i forbindelse med den fortsatte udbygning med vindmøller i el-systemet. I vind-scenariet vil el-faktoren være faldet til 1,38 i 2035 og til 1,13 i 2050. Fjernvarmefaktoren må til gengæld forventes at stige, da muligheden for kraftvarmeproduktion begrænses af vindmølleudbygningen. I vind-scenariet vil fjernvarmefaktoren stige til 0,91 i 2035 og til 0,96 i 2050.

Eventuel overgang til anvendelse af fossile primærenergifaktorer for brændsler og vedvarende energiproduktion, vil yderligere forrykke balancen mellem fjernvarme og opvarmning med varmepumper. I perioden op til 2025 vil det med de nuværende fremskrivninger for energisystemet betyde en el-faktor på 0,75 og en fjernvarmefaktor på 0,40. Ved opvarmning med varmepumper vil det give en resulterende varme-faktor på 0,22 - 0,25, når der tages hensyn til varmepumpens virkningsgrad.

Anvendelse af fossile energifaktorer vil efter 2025 og op mod 2035 og 2050 betyde, at el-faktoren i vind-scenariet bliver 0,19 i 2035 og 0,09 i 2050, mens fjernvarmefaktoren bliver 0,18 i 2035 og 0,19 i 2050. Balancen mellem fjernvarme og el er dermed helt rykket til el'ens fordel, således at det efter 2035 beregningsteknisk ud fra det fossile primærenergibehov, bedre vil kunne betale sig at anvende direkte el frem for fjernvarme.

Anvendelsen af fossile primærenergifaktorer vil ikke alene være en udfordring for balancen mellem fjernvarme og varmepumpeopvarmning, men vil også med de lave energifaktorer være en udfordring for yderligere energieffektivisering i bygningerne i forhold til blot yderligere forbrug af vedvarende energi.

Direkte afbrænding af biomasse, fx træpiller, brænde og korn i ovne og fyr i bygningerne, vil også blive et problem, ved at gå over til fossile energifaktorer, da den fossile primærenergifaktor som udgangspunkt er 0,20 i den internationale standard for beregning af bygningers energibehov.

Analyserne viser, at vindmøllernes el-produktion og vindandelen i forhold til el-forbruget er nær det laveste, når bygningerne har mest brug for rumopvarmning om morgenen på kolde dage.

Analyserne viser også, at det ikke giver mening at introducere energifaktorer, som varierer over året. Fx vil anvendelse af månedlige energifaktorer for el baseret på den varierende andel af vindmøllestrøm i el-systemet give et forkert resultat for rumopvarmning i forhold til et simpelt årsgennemsnit for vindandelen. Dette gælder generelt og uanset typen af energifaktor.

9.1 Fossile energifaktorer i EPBD review'et

Det vurderes, at ændringen i EPBD'et ved reviewet, som reelt specificerer, at der skal anvendes fossile primærenergifaktorer i energikravene til nye og eksisterende bygninger i Bygningsreglementet samt ved energimærkning, vil få stor betydning for Danmarks mulighed for at fastholde en hensigtsmæssig balance mellem energieffektivisering af bygningsmassen og tiltag på forsyningsiden samt mellem forskellige forsyningsformer.

Forskydningen fra tiltag i bygningen til alene at fokusere på forsyningen vil være en direkte følgevirkning af de lave fossile energifaktorer.

Forskydningen mellem forsyningsformerne vil både opstå i forholdet mellem fjernvarme og varmepumper og i forbindelse med anvendelse af biomasse, som brændsel direkte i bygninger, fx i form af brænde og træpiller. Anvendelsen af fossile primærenergifaktorer vil desuden udelukke direkte anvendelse af fossile brændsler i bygningen, fx olie og naturgas.

Det kan ikke på det foreliggende grundlag vurderes, om Danmark vil have mulighed for at vælge energifaktorer, som delvis baserer sig på andre forhold som:

- Begrænsning af forbrug af biomasse til energiformål i bygninger.
- Fastholdelse af samfundsøkonomiske energitiltag i nyt og eksisterende byggeri.
- Balance mellem forsyningsformer ud fra et samfundsøkonomisk perspektiv.

Det kan heller ikke vurderes, i hvilken udstrækning det vil være muligt for Danmark at stille supplerende krav i Bygningsreglementet, som kan kompensere for de uheldige virkninger af anvendelsen af den fossile primærenergifaktor.

For energimærkningsordningen kunne det måske overvejes at operere med mærkningsskalaer, som afhænger af opvarmningsmediet. Det vil dog gøre mærkningen vanskeligere at forstå, og det er ikke givet, at EU vil kunne acceptere det.

Det kan selvfølgelig undre, at EU tilsyneladende vælger fortsat at basere ECOdesign kravene på totale primærenergifaktorer, mens udkastet til EPBD review'et foreskriver, at der fremover skal anvendes fossile primærenergifaktorer, når landene stiller krav til bygninger eller energimærker bygninger.

Litteratur

1. *Bygningsreglement 2008*. Erhvervs- og Byggestyrelsen, 2008.
2. *Bygningsreglement 2010*. Energistyrelsen, 2010 - 2015.
3. *Bygningsreglement 2015*. Trafik- og Byggestyrelsen, 2016.
4. *DIRECTIVE 2010/31/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast)*. EU, 2010.
5. *Be15. Beregningsprogram til beregning af bygningers energibehov*. Statens Byggeforskningsinstitut, 2016.
6. *SBI-anvisning 213. Bygningers energibehov - Beregningsvejledning*. Statens Byggeforskningsinstitut, 2016.
7. *Vægtningfaktorer for fjernvarme og el*. Notat. Energistyrelsen, 2010.
8. *Energistatistik 2014. Data, tabeller, statistikker og kort*. Energistyrelsen, 2015.
9. *Danmarks Energi- og Klimafremskrivning 2015*. Energistyrelsen, 2015.
10. *Energiscenarier frem mod 2020, 2035 og 2050*. Energistyrelsen, 2014.
11. *Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings*. European Commission, November 2016.
12. *ANNEX to the Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings*. European Commission, November 2016.
13. *Final Draft ISO/prFDIS 52000-1 - Energy performance of buildings - Overarching EPB assessment - Part 1: General framework and procedures - as forwarded for Formal Vote*. CEN/TC 371, September 2016.
14. *Evaluation of primary energy factor calculation options for electricity. Review of the default primary energy factor (PEF) reflecting the estimated average EU generation efficiency referred to in Annex IV of Directive 2012/27/EU and possible extension of the approach to other energy carriers*. Final Report. Fraunhofer ISI et. al. Date 13.05.2016.
15. *Discussion paper for the REVIEW OF THE DEFAULT PRIMARY ENERGY FACTOR (PEF) REFLECTING THE ESTIMATED AVERAGE EU GENERATION EFFICIENCY REFERRED TO IN ANNEX IV OF DIRECTIVE 2012/27/EU AND POSSIBLE EXTENSION OF THE APPROACH TO OTHER ENERGY CARRIERS*. European Commission, DG Energy. Version 19/05/2016
16. *EN ISO 13790:2008. Energy performance of buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling*. CEN/ISO, 2008.
17. *DMI Technical Report 13-19. 2001 - 2010 Danish Design Reference Year. Reference Climate Dataset for Technical Dimensioning in Building, Construction and other Sectors*. DMI, 2013.

18. *SBi 2014:01 Potentielle varmebesparelser ved løbende bygningsrenovering frem til 2050.* Statens Byggeforskningsinstitut, 2014.
19. *DS469:2013 Varme- og køleanlæg i bygninger.* Dansk Standard, 2013.
20. *Introduktion til udtræk af markedsdata.* EnergiNet.DK, 2016.
21. *Stamdataregister for vindmøller.* Energistyrelsen, 2016.
22. *Udetemperaturdata Malmø A. SMHI open data.* SMHI, 2016.
23. *Danmarks Klima 2013/2014/2015.* DMI, 2013-2016.
24. *Vejr- og klimadata. Danmark. Månedsoversigt.* DMI, 2013-2016.
25. *Vejr- og klimadata. Danmark. Ugeoversigt. 2015 - uge 4.* DMI, 2015.
26. *Register for solcelleanlæg.* EnergiNet.dk, 2016.

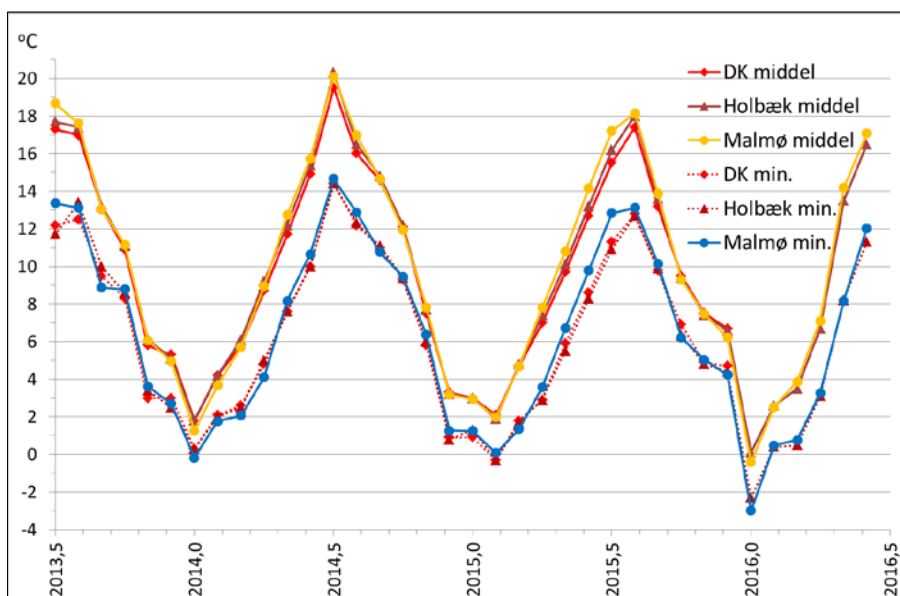
Bilag. Vejrdata

I analysen er der anvendt timeværdier for udetemperatur for Malmø, som udgangspunkt fordi de er frit tilgængelige på SMHI's hjemmeside [22]. Disse vejrdata er i dette bilag sammenlignet med danske vejrdata tilgængelig på DMI's hjemmeside.

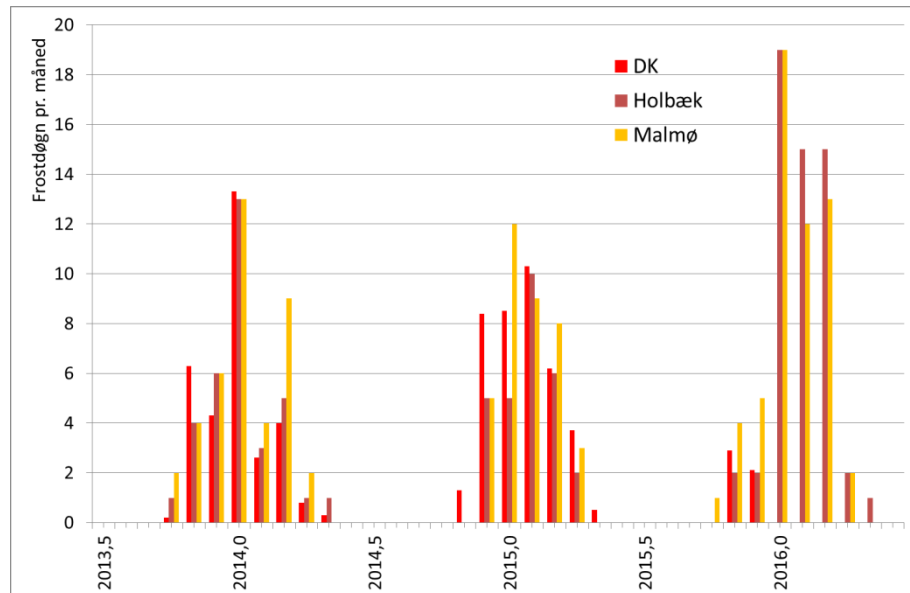
I figur B1 er vist middeludetemperatur og middel-døgnminimumstemperatur pr. måned for perioden juli 2013 til juni 2016. X-akse værdien 2014,0 er januar 2014, 2014,5 er juli 2014 og så videre. De danske middelværdier er opgjort af DMI i årsrapporterne om Danmarks Klima [23]. Den sidste årsrapport er fra 2015, hvorfor der ikke er danske middelværdier for 2016 med i figuren. Månedsværdierne for Holbæk kommer fra DMI's månedsberetning [24]. Holbæk er valgt som eksempel, fordi Holbæk benyttes som repræsentant for dansk udetemperatur i DRY [17]. Værdierne for Malmø er baseret på vejrdatasættet fra SMHI.

Der ses at være rimelig god overensstemmelse mellem data for udetemperatur på månedsbasis på de to steder og som gennemsnit for Danmark. Sammenligningen har dog ikke mulighed for at vise eventuelle forskelle på døgn med lav udetemperatur, da det drejer sig om månedsmidler.

For at kigge på døgn med lav udetemperatur, er der i figur B2 vist antal frostdøgn pr. måned for Holbæk og Malmø samt gennemsnitsværdier for Danmark opgjort af DMI. Data er fra de samme kilder som i figur B1.



Figur B1. Middeludetemperatur og middel døgnminimumstemperatur pr. måned for Holbæk og Malmø samt gennemsnitsværdier for Danmark opgjort af DMI.

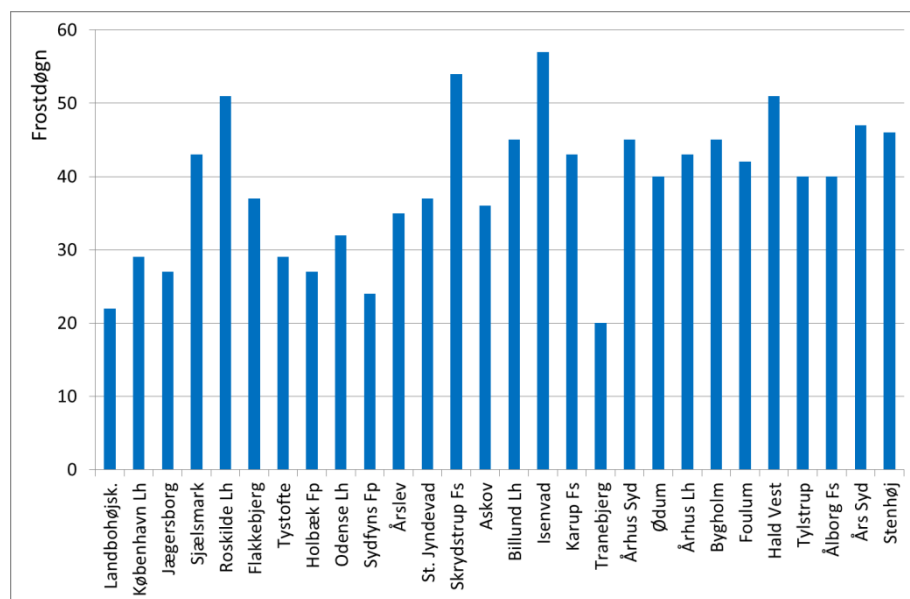


Figur B2. Antal frostdøgn pr. måned for Holbæk og Malmø samt gennemsnitsværdier for Danmark opgjort af DMI.

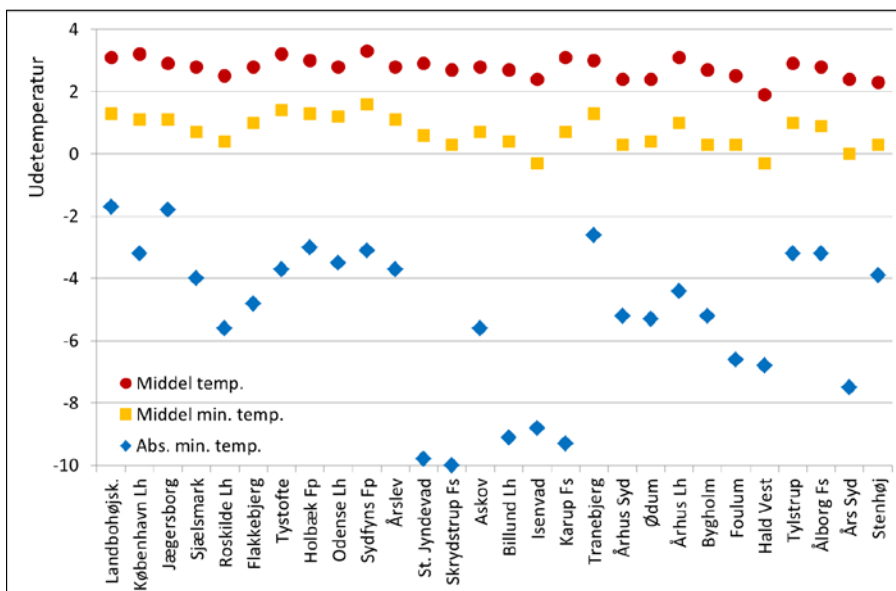
I figur B2 ses, at antallet af frostdøgn pr. måned for perioden fra juli 2013 til juni 2016 er ret ens for de to steder og som gennemsnit for Danmark. Der er dog i nogle måneder forskelle på op til 3 graddøgn pr. måned mellem de to steder og gennemsnittet for Danmark.

For at undersøge variationen nærmere er der i figur B3 vist det årlige antal frostdøgn for en række indenlandske vejrstationer, som ligger i nærheden af byer eller større bebyggelser, hvor der må forventes at være et opvarmningsbehov i bygningerne. Holbæk er 8'ende søjle fra venstre.

I figur B3 ses det årlige antal frostdøgn i 2015 at variere fra 20 til 57 med et simpelt gennemsnit på 39 og en spredning på 10. Til sammenligning er der i vejrdataene for Malmø 42 frostdøgn i 2015.



Figur B3. Frostdøgn i 2015 for udvalgte landstationer beliggende nær byer eller bebyggelser.

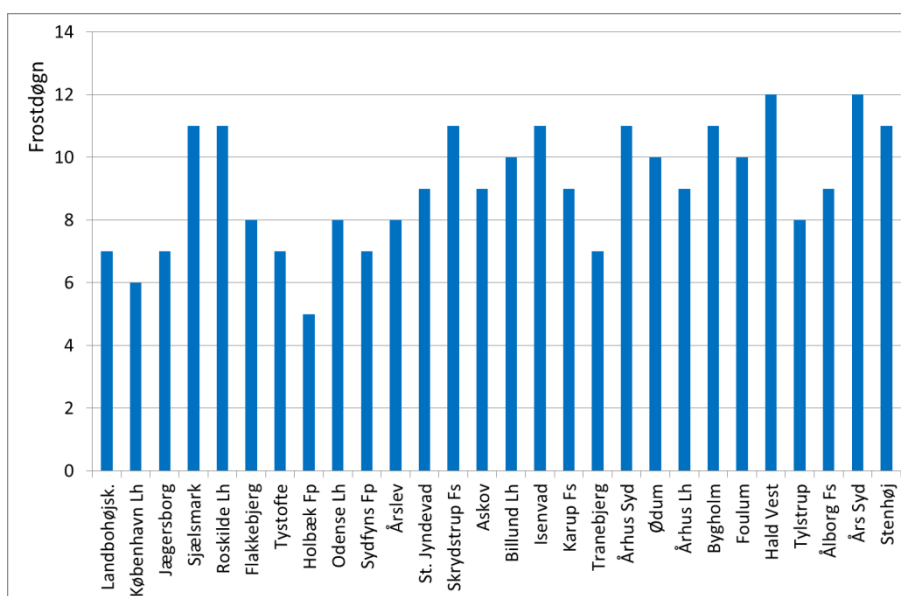


Figur B4. Temperaturer januar 2015 for udvalgte landstationer beliggende nær byer eller bebyggelser.

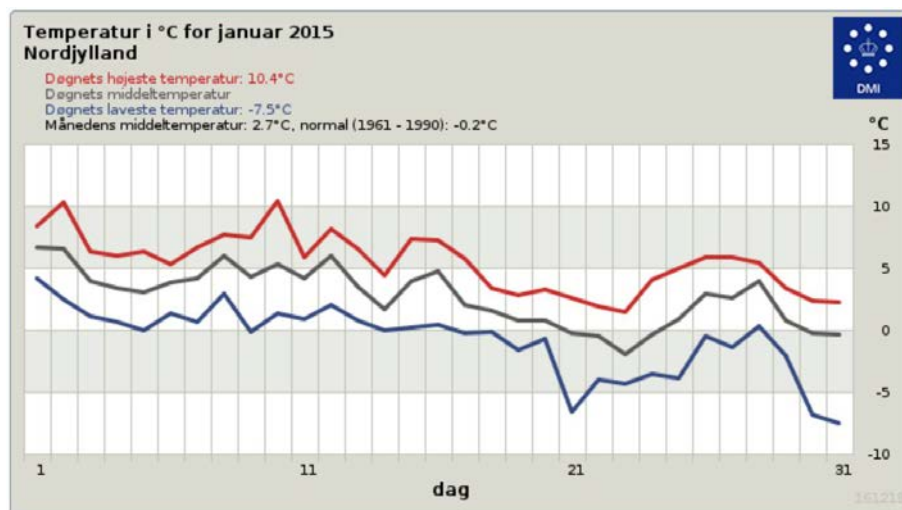
I figur B4 og B5 er der gået videre med at kigge på detaljer i en sammenligning af udetemperaturen og antal frostdøgn for de forskellige steder ved at fokusere på januar 2015.

I figur B4 er vist middeltemperatur, middel minimumstemperatur og absolut minimumstemperatur på månedsbasis for de samme landstationer. Det ses, at der ikke er den store forskel på middeltemperaturerne. Til gengæld er der noget større forskel på middel minimumstemperaturerne og især på de absolutte minimumstemperaturer. Især de mere landligt beliggende stationer har lave absolutte minimumstemperaturer. Til sammenligning er middeltemperaturen i januar 2015 for Malmø 2,9 °C, mens middel minimumstemperaturen er 1,3 °C og den absolutte minimumstemperatur er -2,5 °C.

I figur B5 er vist antal frostdøgn i januar 2015. Antallet af frostdøgn varierer fra 5 til 12. Til sammenligning er der 12 frostdøgn i Malmø i januar 2015.

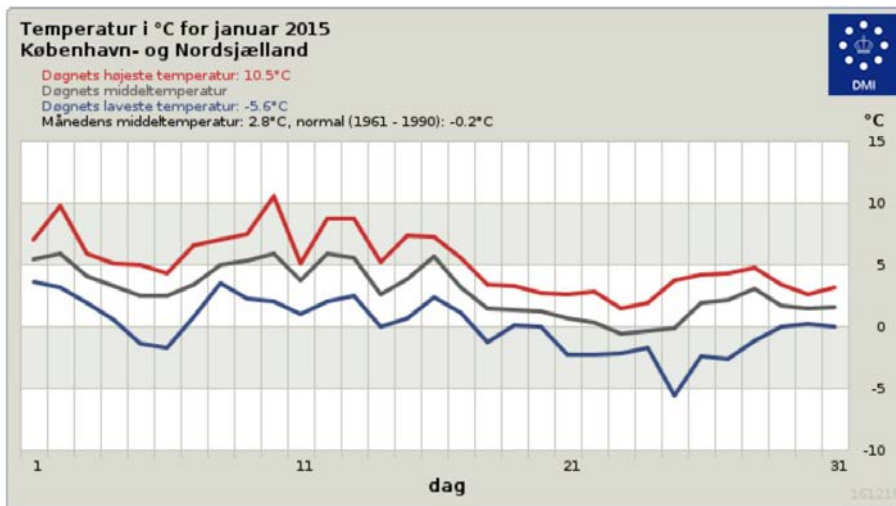
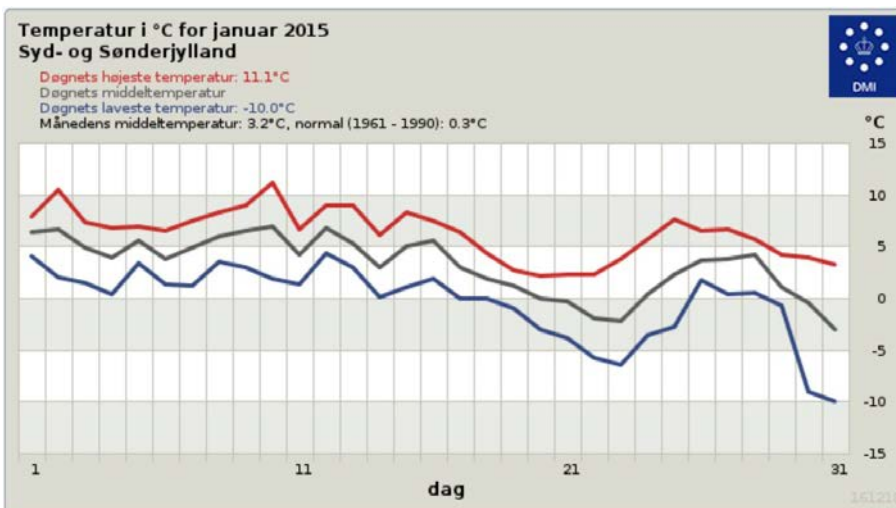


Figur B5. Frostdøgn januar 2015 for udvalgte landstationer beliggende nær byer eller bebyggelser.

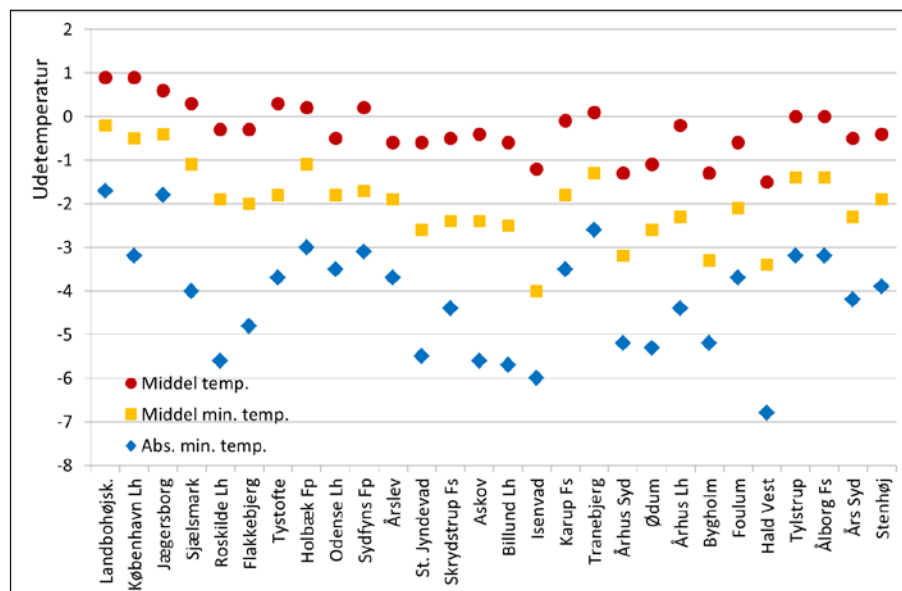


Figur B6. Døgntemperaturer i januar 2015 for hhv. hele landet, Nordjylland og Østjylland.

Temperaturens forløb i januar 2015 i forskellige landsdele og samlet for landet er vist i figur B6 og B7. Der ses, at være nogen forskel på forløbet mellem de forskellige landsdele og i forhold til landet samlet. For eksempel se det at temperaturfaldet den 21. januar er mere brat i Nordjylland og i Østjylland end i Syd- og Sønderjylland og på Fyn. I København og Nordsjælland kommer faldet først senere og mindre markant.



Figur B7. Døgntemperaturer i januar 2015 for hhv. Syd- og Sønderjylland, Fyn samt København og Nordsjælland.

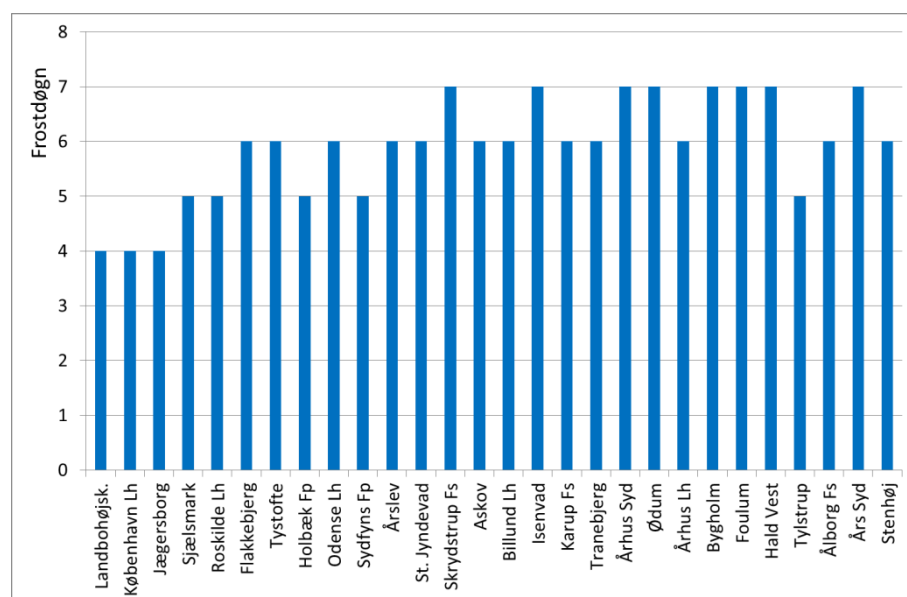


Figur B8. Temperaturer i uge 4, januar 2015 for udvalgte landstationer beliggende nær byer eller bebyggelser.

I figur B8 og B9 er yderligere fokuseret på uge 4 fra den 19. - 25. januar 2015. Data er fra DMI's ugeberetning [24].

I figur B8 ses det, at der bliver noget større variation på middeltemperatur og middel minimumstemperatur mellem stederne, når den opgøres på ugebasis frem for på månedsbasis. Til gengæld bliver variationen lidt mindre for den absolutte minimumstemperatur. Til sammenligning er middeltemperaturen i uge 4, januar 2015 for Malmø 0,4 °C, mens middel minimumstemperaturen er -1,8 °C og den absolutte minimumstemperatur er -2,5 °C.

I figur B9 ses antallet af frostdøgn for stationerne i den samme uge. Antallet af frostdøgn varierer mellem 4 og 7. Til sammenligning er der 6 frostdøgn i Malmø i uge 4, januar 2015.



Figur B9. Frostdøgn i uge 4, januar 2015 for udvalgte landstationer beliggende nær byer eller bebyggelser.

Vurderingen af vejrdata i dette bilag viser, at der ikke i forhold til analyserne af energifaktorer i rapporten er betydende forskelle på udetemperaturen for indenlandske steder opgjort på årsbasis eller på månedsbasis. Til gengæld kan der være betydende forskelle mellem stederne, når der ses på uge-, døgn- eller timebasis.

Vurderingerne viser også, at når der kun anvendes vejrdata for et sted, kan der lige så godt blive anvendt udetemperaturer for Malmø, som der kan anvendes udetemperaturer for fx Holbæk.

Vurderingerne viser desuden, at spidserne i form af fx meget lave udetemperaturer forsvinder ved sammenvejning af flere stationer til en landsværdi.

Denne rapport fremskriver energifaktorerne for hhv. el og fjernvarme frem mod år 2050. Analysen er gennemført på baggrund af eksisterende regler om brug af totale energifaktorer og eventuelle nye regler i udkast til fremtidigt EU-direktiv om bygnings energimæssige ydeevne (EPBD) om brug af primærenergifaktorer, hvor den vedvarende energiandel er trukket fra.

For begge scenarier viser beregningerne, at elfaktoren vil falde frem mod 2050 på grund af planlagt udbygning med vindmøller i el-systemet, mens fjernvarmefaktoren omvendt vil stige i forhold til de nuværende niveauer.

1. udgave, 2017

ISBN 978-87-563-1836-5