



Ea Energianalyse



Bygninger i energisystemet

Marts 2020

Udarbejdet for TEKNIQ Arbejdsgiverne

af:

Ea Energianalyse
Gammeltorv 8, 6. tv.
1457 København K
T: 60 39 17 16
E-mail: info@eaea.dk
Web: www.eaea.dk

Indhold

1	Indledning	4
2	Bygningers energiforbrug i Basisfremskrivning 2019	5
2.1	Elforbrug til bygningsdrift	8
2.2	Samlet forbrugsudvikling og tilknyttet CO ₂ -udledning	10
3	Analyse af energisparepotentialet	12
3.1	Besparelser vedr. klimaskærm	12
3.2	Varmebesparelser vedr. forbedret bygningsdrift.....	16
3.3	Elbesparelser indenfor bygningsdrift	18
4	Potentiale for skift af opvarmningsform	25
4.1	Model for bygningsopvarmning	26
4.2	Tiltag vedrørende naturgas	27
4.3	Tiltag vedrørende oliefyr	29
5	CO₂-reduktionsomkostninger og -potentiale	31
6	Muligheder og potentiale for fleksibelt energiforbrug i bygninger	34

1 Indledning

Formålet med denne analyse er at afdække, hvordan tiltag indenfor bygninger kan bidrage til at reducere Danmarks udledning af drivhusgasser frem mod 2030.

Som redegjort for i notatet "Bygningernes andel af energiforbrug og udledninger" (Økologisk Råd, 2019) er der ikke en entydig afgrænsning af, hvad der omfattes af begrebet "bygningers energiforbrug".

Ifølge Energistyrelsen omfatter det summen af bygningers energiforbrug til opvarmning og varmt vand og til drift af anlæg til opvarmning, køling og anden form af indeklimaregulering, herunder ventilation. EU-kommissionen og IEA bruger en bredere afgrænsning, hvor energiforbruget i bygninger omfatter det samlede energiforbrug til og i bygninger, herunder elforbrug til apparater, elektronik mv.

Endelig opgøres bygningernes energiforbrug i nogle sammenhænge som energiforbruget relateret til opvarmning og produktion af varmt vand.

Økologisk Råd har foretaget nedenstående opgørelse af bygningernes energiforbrug siden år 2000, som knytter sig an til Energistyrelsens definition af bygningernes energiforbrug. De videre opgørelse i denne analyse bygger videre på denne opgørelser.

	2000	2005	2010	2015	2016	2017
Opvarmning	211	218	214	215	218	219
Drift	27	28	29	28	28	29
Øvrig	46	60	60	58	59	59
I alt	285	306	303	301	304	306

Figur 1: Endeligt energiforbrug i bygninger, PJ. Opgjort af Økologisk Råd (nu Rådet for Grøn Omstilling).

Posten 'drift' omfatter elforbrug til bygningsdrift af installationer samt belysning i bygninger, der anvendes til andre formål end beboelse, mens 'øvrig' omfatter apparater.

2 Bygningers energiforbrug i Basisfremskrivning 2019

Basisfremskrivning 2019 (BF19) er Energistyrelsens faglige vurdering af, hvordan energiforbrug og energiproduktion samt udledning af drivhusgasser vil udvikle sig i perioden frem mod 2030 under forudsætning af et såkaldt "Frozen Policy" scenarie.

BF2019 indregner derfor ikke tiltag til at opnå den brede politisk målsætning om at opnå 70 % drivhusgasreduktion i 2030 sammenlignet med 1990 men alene besluttede tiltag

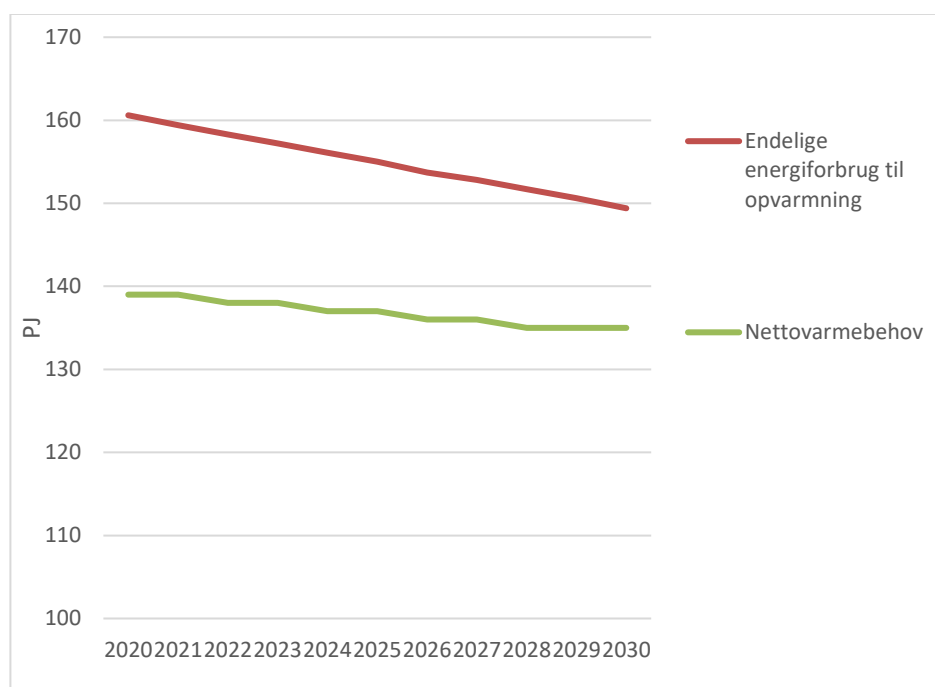
I forhold til den tidligere basisfremskrivning fra 2018 indeholder BF19 effekten af Energiaftalen af 29. juni 2018, herunder tre havvindmølleparker, lempelse af elafgifter, nye teknologineutrale udbud, ophævelse af kraftvarmekrav i mindre decentrale fjernvarmeområder, styrket energispareindsats mv.

BF 2019 viser, at "energiforbruget til opvarmning falder trods stigning i opvarmet boligareal, hvilket især er betinget af stramninger i bygningsreglementet samt energiselskabernes energispareindsats frem til 2020 og de forventede effekter af den nye energisparepulje til 2024."

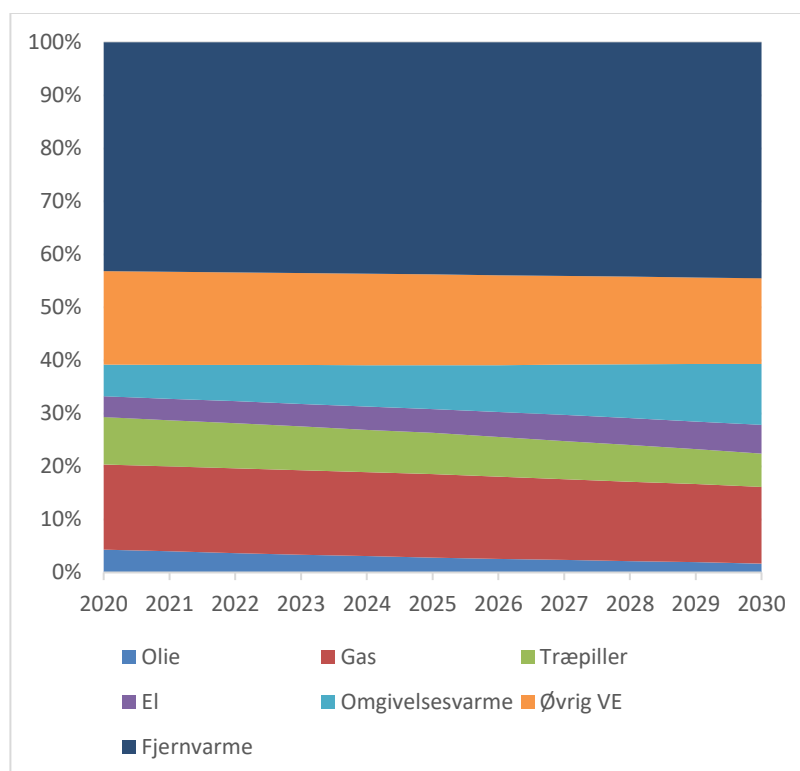
Bygningers energiforbrug til opvarmning fremgår ikke eksplicit af BF2019, men kan estimeres forholdsvist nøjagtigt ud fra BF2019 baggrundsdata.

Nettovarmebehov, dvs. opvarmningsbehovet ekskl. tab i varmeanlæg, i husholdninger antages at falde med ca. 4 PJ fra 139 PJ til 135 på trods af en stigning i nybyggeriet.

Det endelige energiforbrug falder hurtigere, fordi varmforsyningen omstilles fra teknologier med høje konverteringstab til fjernvarme og især varmepumper med lave konverteringstab.

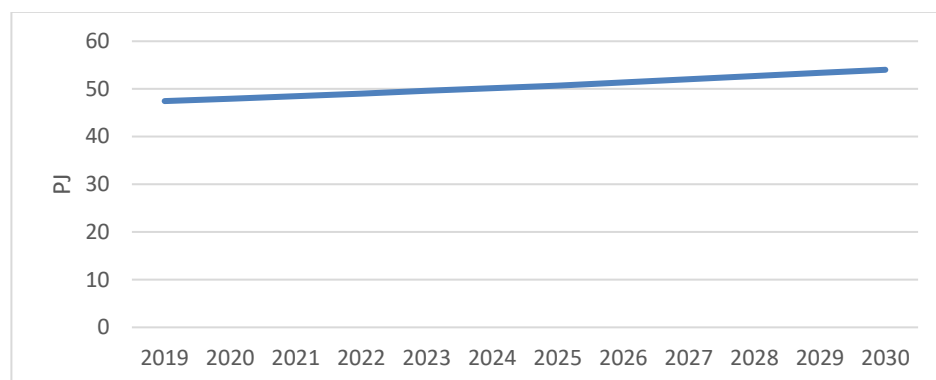


Figur 2: Energiforbrug til opvarmning i husholdningerne. Kilde: Ea Energianalyse på baggrund data fra BF2019



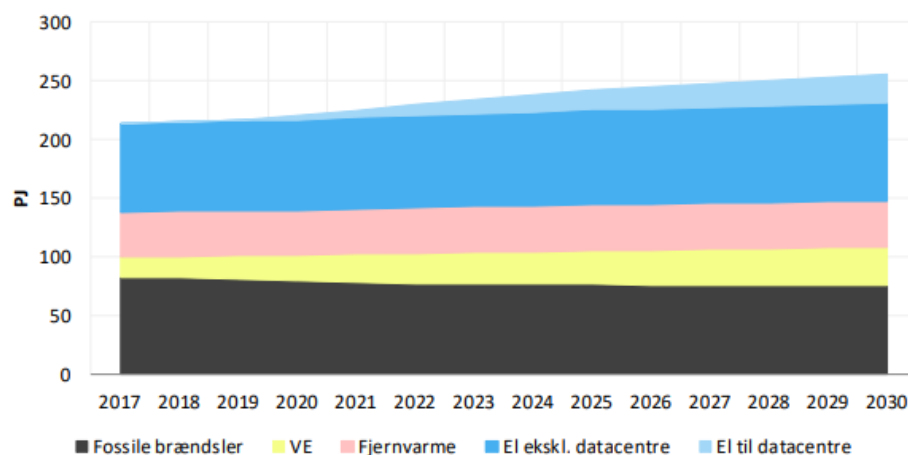
Figur 3: Endelige energiforbrug til opvarmning fordelt på energikilder. Kilde: Ea Energianalyse på baggrund data fra BF2019

Det samlede energiforbrug til opvarmning i **handel og service** fremgår ikke eksplicit af BF2019, men ud fra baggrundsdata estimerer vi, at BF2019 forventer en stigning fra ca. 47 PJ i 2019 til ca. 54 PJ i 2030.



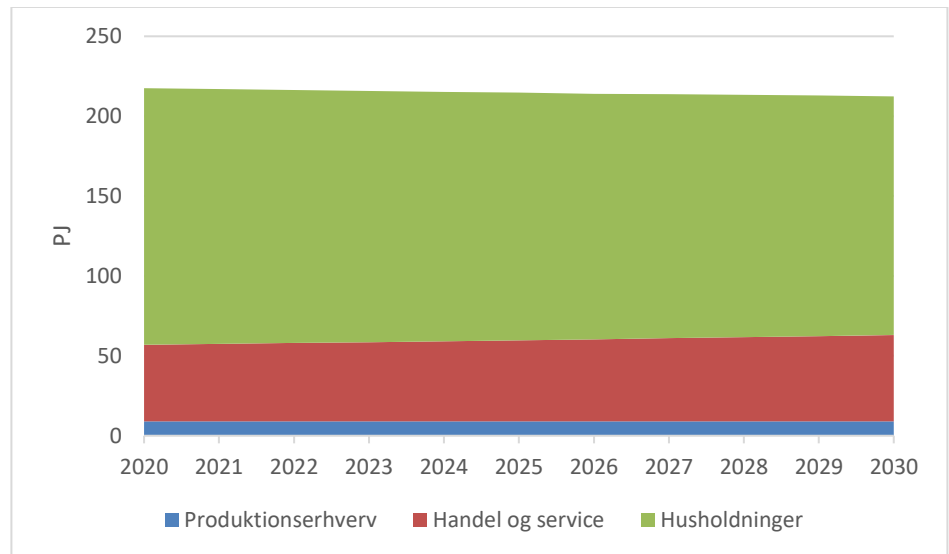
Figur 4: Energiforbrug til opvarmning i handel- og service. Direkte elvarme har ikke kunnet estimeret. Kilde: Ea Energianalyse, beregnet ud fra BF2019 baggrundsdata.

Energiforbrug i **produktionserhvervene** i bygninger vurderes at udgøre omkring 9 PJ i dag. Det er ikke muligt at udlede, hvordan dette energiforbrug udvikler sig i BF2019. Generelt ses en stigning i erhvervslivet energiforbrug, som det fremgår af figuren nedenfor, som dog i høj grad er relateret til elforbrug i datacentre.



Figur 5: Energiforbrug i erhvervslivet fordelt på energiarter. Kilde: BF 2019

Samlet set vurderes energiforbruget til opvarmning at falde fra ca. 217 PJ i 2020 til 212 PJ i 2030. Det skal i den forbindelse bemærkes, at direkte elvarme i handel og service har ikke kunnet estimeres, ligesom energiforbruget til opvarmning i produktionserhvervene antages uændret på 9 PJ.



Figur 6: Udvikling i det samlede energiforbrug til opvarmning frem mod 2030 i BF2019. Kilde: Ea Energianalyse, beregnet ud fra BF2019 baggrundsdata.

Energibesparelser i BF2019

De samlede besparelser indeholdt i BF2019 i bygninger vurderes at udgøre i alt ca. 6,2 PJ i 2030. Disse knytter sig til bygningspuljen (1,2 PJ) fra Energifahtalen 2018 samt krav i bygningsreglement mv (5,0 PJ).

Derudover indregner Energistyrelsen knap 5 PJ besparelser i 2030 fra erhvervspuljen fra Energifahtalen 2018. Det forekommer dog sandsynligt, at disse besparelser primært vedrører produktionsprocesser i industrien snarere end bygningsbesparelser.

2.1 Elforbrug til bygningsdrift

Samlet set vurderes elforbruget til bygningsdrift at udgøre 29 PJ i 2017. Størstedelen af forbruget ligger indenfor belysning, og derudover til ventilation, køl og pumpning. Forbruget i henholdsvis enfamiliehuse, etageboliger, offentligt og erhverv er opgjort i tabel 2.

Som tidligere nævnt betragtes elforbrug til pumpning i husholdninger (enfamiliehuse og etageboliger) ikke altid som en del af bygningers energiforbrug.

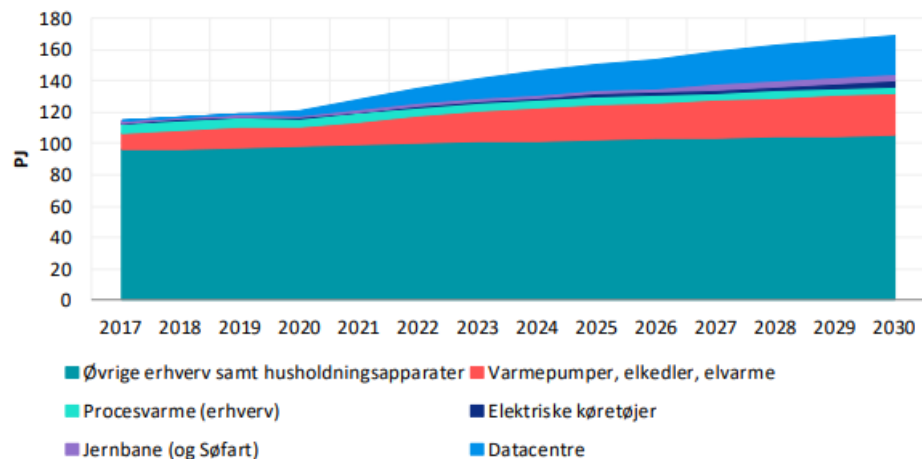
Energiforbrug i PJ	Enfamiliehuse	Etageboliger	Offentligt	Erhverv
Lys	-	-	3,73	10,18
Ventilation	-	-	1,26	3,44
Køl	-	-	0,9	2,46
Pumpning	1,08	0,17	0,25	0,67

Table 1: Endeligt energiforbrug til bygningsdrift fordelt på slutanvendelser i 2017
 Kilde: Ea på baggrund af Rådet for Grøn Omstilling, 2019

Basisfremskrivning 2019

Elforbrug til bygningsdrift er ikke eksplicit opgjort i BF2019. Overordnet set ses en stigning i elforbruget (ekskl. nettab) på 3 pct. årligt frem mod 2030. Denne stigning er især betinget af to forhold: flere datacentre og elektrificering af opvarmningssektoren. Desuden stiger elanvendelsen i transportsektoren til eldrevne køretøjer og jernbanenettet som elektrificeres yderligere over perioden.

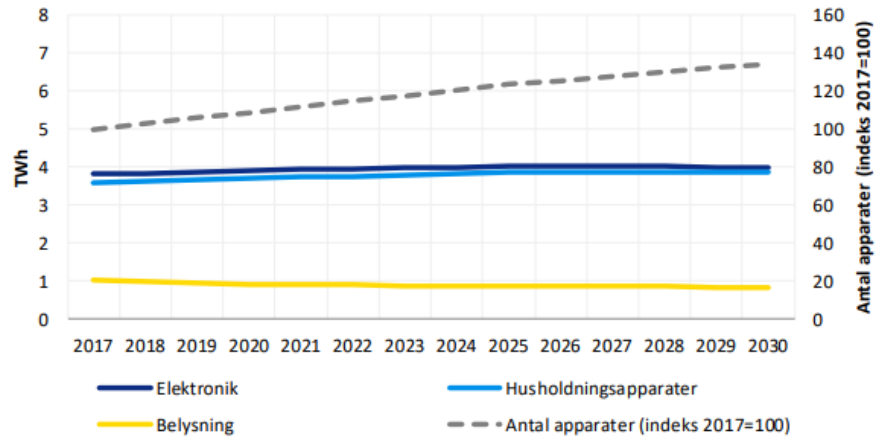
Der ses dog også en svag stigning i det generelle elforbrug.



Figur 7: Elforbruget (ekskl. nettab) og dets fordeling på anvendelser 2017-2030 [PJ]. Kilde: BF2019

Indenfor husholdninger er elforbruget udvikling vist i større detalje i BF2019. Her fremgår det at BF2019 forventer, at der vil blive købt flere elektriske apparater, men at apparaternes effektivitet samtidigt forventes at blive forbedret som følge af Ecodesign direktivet og effekt fra Energimærkningsdirektivet. Således forventes elforbruget til apparater og elektronik at ligge fladt over perioden.

Elforbruget til belysning i husholdninger (som ikke betragtes som bygningsdrift ifølge Energistyrelsen) forventes at falde svagt over perioden.



Figur 8: Antal elektriske apparater [Indeks] og elforbrugets udvikling for anvendelserne elektronik, husholdningsapparater og belysning 2017-2030 [TWh]. Kilde: BF2019.

Elforbruget i privat handel og service stiger meget kraftigt fra ca. 29 PJ i 2017 til ca. 59 PJ 2030, men denne stigning skyldes i høj grad etableringen af datacentre.

Elforbruget indenfor offentlig handel og service forventes derimod at ligge fladt på ca. 8,9 PJ mellem 2017 og 2030.

Som tidligere nævnt omfatter elforbrug til bygningsdrift, drift af anlæg til opvarmning, køling og anden form af indeklimaregulering, herunder ventilation. For bygninger, der ikke benyttes til beboelse, indgår endvidere energi til belysning. Disse kategorier af elforbrug fremgår ikke BF2019.

Et bedste bud er, at elforbruget til bygningsdrift er omtrent uændret frem mod 2030 i BF2019.

2.2 Samlet forbrugsudvikling og tilknyttet CO₂-udledning

På baggrund af BF2019 har vi foretaget nedenstående opgørelse af energiforbruget i bygninger.

Udvikling energiforbrug

Det er antaget at energiforbruget til bygningsopvarmning indenfor produktionserhvervene udgør uændret 9 PJ over perioden, og at energiforbruget her har samme fordeling på opvarmingskilder, som den øvrige bygningsopvarmning.

Energiforbrug til bygninger PJ	2017	2030	Diff.
Olie	12	4	-7,5
Gas	36	32	-4,1
Fjernvarme	109	106	-3,1
El til opvarmning	3	11	7,3
Øvrig energi til opvarmning	56	60	4,4
Bygningsdrift (el)	29	29	0,0
I alt	245	242	-3,0

Udvikling CO₂-udledning Den samlede CO₂-udledning fra bygninger opgøres til ca. 8,3 Mt i 2017, faldende til 4,7 Mt i 2030.

Følgende forudsætninger er lagt til grund for CO₂-beregningen. Al olieforbrug og gasforbrug antages at være fossilt, dvs. der anvendes CO₂-faktorer på hhv. 0,057 ton/Gj og 0,074 ton/GJ.

CO₂-indholdet i el udgjorde 290 g/kWh i 2017, mens CO₂-udledningen fra fjernvarme lå på i alt 2,877 Mt (klimakorrigerede emissioner i 2017 jf. Energistatistik 2018).

I 2030 antages CO₂-udledning for el at være 200 g/kWh. Dette er ikke udtryk for en gennemsnitsbetragtning for dansk produceret, men derimod for ændringen i CO₂-udledning i det samlede nordeuropæiske elsystem ved et ændret dansk elforbrug.

I 2030 antages fjernvarmeproduktionen at være baseret på 50 % eldrevne varmepumper, mens den øvrige fjernvarmeproduktion kommer fra andre VE-kilder uden tilknyttet CO₂-emission. Derved bliver emissionsfaktoren for fjernvarme blot 0,08 ton/GJ

CO ₂ -udledning	2017	2030	Diff.
Olie	0,879	0,326	-0,55
Gas	2,051	1,820	-0,23
Fjernvarme	2,877	0,839	-2,04
El til opvarmning	0,273	0,593	0,32
Øvrig energi til opvarmning	-	-	0,00
Bygningsdrift (el)	2,336	1,611	-0,73
I alt	8,415	5,189	-3,23

3 Analyse af energisparepotentialet

Potentialet for energibesparelser i bygninger kan groft fordeles på to hovedområder:

- Besparelser vedr. klimaskærmen – altså den ydre del af en bygning, der skærmer det indre.
- Besparelser vedr. bygningsinstallationer og bygningsdrift, som vedrører termostater, isolering af rør og intelligent styring af varmeinstallationer.

3.1 Besparelser vedr. klimaskærm

Ea Energianalyse udarbejdede i 2018 rapporten *"Samfundsøkonomisk værdi af varmebesparelser"* for Renovering På Dagsordenen. Fra rapporten anvendes energisparepotentiale for forskellige kategorier af enfamiliehuse og større bygninger og varmforsyninger. Modellen er bygget op omkring syv scenarier, hvor tiltag i hvert scenarie er additive til de forudgående. Tabel 1 neden for viser de syv scenarier produceret af SBI i 2017 ('Varmebesparelse i eksisterende bygninger'), som den oprindelige rapport var baseret på. Typisk var scenarierne op til 4, og i nogen tilfælde 5, samfundsøkonomisk rentable. Den oprindelige rapport regnede frem til 2050 og er blevet opdateret med energiforbrug og forsyningsomkostninger til 2030.

Scenarie 5 svarer til opfyldelse af dagens krav i bygningsreglementet

Scenarie #	Simpelt overblik over scenarieindhold
0	Udgangspunkt uden tiltag
1	Minimum ved basal renovering af bygningsdele til byggeteknisk acceptabel standard
2	Scenarie 1 + Isolering af tomme hulmure
3	Scenarie 2 + Vinduer med energimærke A
4	Scenarie 3 + Nogen isolering på tag og loft
5	Sædvanlig god praksis for isolering ved renovering (heri indeholdt scenarie 4)
6	Energifokus ved isolering af renoverede bygningsdele (heri indeholdt scenarie 5)
7	Scenarie 6 + efterisolering af loft og tag som er isoleret svarende til scenarie 6

Tabel 2. Oversigt over energieffektiviseringsscenarierne i "Samfundsøkonomisk værdi af varmebesparelser".

Den samfundsøkonomiske optimum blev fundet ved at holde omkostningerne til varmebesparelserne op mod de marginale omkostninger til energiforsyning.

Det er her vigtigt at være opmærksom på, at marginale omkostninger ikke kun består i den umiddelbare energibesparelse. I takt med at energiforsyningen ændres til i stigende grad at være baseret på varmepumper – både i den individuelle og kollektive forsyning – optræder en række nye fordele ved at energirenovere bygningsmassen.

For bygninger opvarmet med individuelle varmepumpeanlæg vurderes energirenoveringer at medføre følgende gevinster for energisystemet.

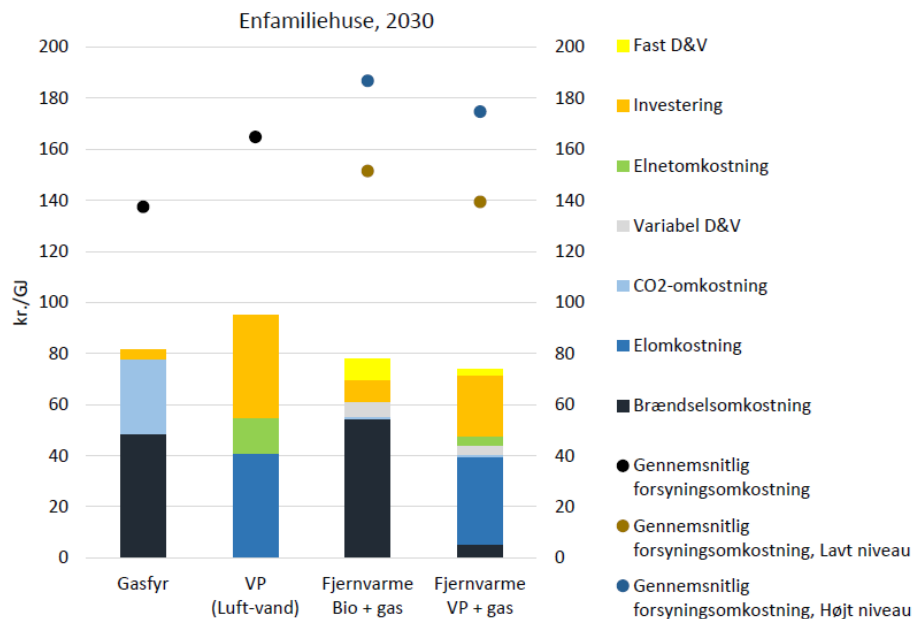
- ✓ Lavere elforbrug knyttet til direkte lavere varmekonsum
- ✓ Lavere elforbrug fordi varmepumpens fremløbstemperatur kan sænkes og COP'en (virkningsgraden) derved øges
- ✓ Lavere elforbrug giver økonomiske besparelse i form af
 - Færre investeringer i eldistributionsnettet
 - Færre investeringer i eltransmissionsnettet
 - Mindre behov for køb af el i markedet (= færre investeringer i sol og vind, mindre brændselsforbrug og CO₂-udledning på termiske kraftværker, mindre behov for ellagring etc). Disse besparelser udtrykkes i elmarkedsprisen og eventuelle tilskud til grøn el.
- ✓ Billigere varmepumpeanlæg, fordi anlægget kan dimensioneres mindre. Besparelsen er dog ikke ligefrem proportional, da der er en grundomkostning til et varmepumpeanlæg uanset størrelsen, bl.a. knyttet til installationen.
- ✓ Lavere driftsomkostninger for varmepumper i større bygninger proportionalt til de sparede investeringer. Driftsomkostningerne for varmepumpeanlægget vurderes at være stort set uafhængige af anlægsstørrelsen for små anlæg i enfamiliehuse, og varmebesparelser vurderes derfor ikke at medføre en økonomisk besparelse her.

For bygninger opvarmet med fjernvarme baseret på varmepumper vurderes energirenoveringer at medføre følgende gevinster for energisystemet.

- ✓ Besparelser på investeringer varmepumpekapacitet, fordi anlægget kan dimensioneres mindre. Besparelsen vurderes at være ligefrem proportional med varmebesparelsen.

- ✓ Besparelser på drift og vedligehold af produktionsanlæg. Antages at være ligefrem proportional med varmebesparelsen.
- ✓ Besparelser på fjernvarmeunits i store bygninger, fordi de kan dimensioneres mindre. I mindre bygninger antages besparelsen at være negligerbar, idet der typisk anvendes en fast unit størrelse på fx 10 kW.
- ✓ Lavere elforbrug knyttet til direkte lavere varmeforbrug
- ✓ Lavere elforbrug, fordi varmepumpens fremløbstemperatur kan sænkes og COP'en (virkningsgraden) derved øges
- ✓ Lavere elforbrug giver økonomiske besparelse i form af
 - Færre investeringer i eldistributionsnettet
 - Færre investeringer i eltransmissionsnettet
 - Mindre behov for køb af el i markedet (= færre investeringer i sol og vind, mindre brændselsforbrug og CO₂-udledning på termiske kraftværker, mindre behov for ellagring etc). Disse besparelser udtrykkes i elmarkedsprisen og eventuelle tilskud til grøn el.
- ✓ Lavere tab i fjernvarmenettet pga. lavere fremløbs- og retur temperaturniveauer
- ✓ Besparelse på fjernvarmenetinvesteringer idet nettet efter varmebesparelserne vil være overdimensioneret. Besparelsen indløses i takt med at der foretages reinvesteringer i nettet.

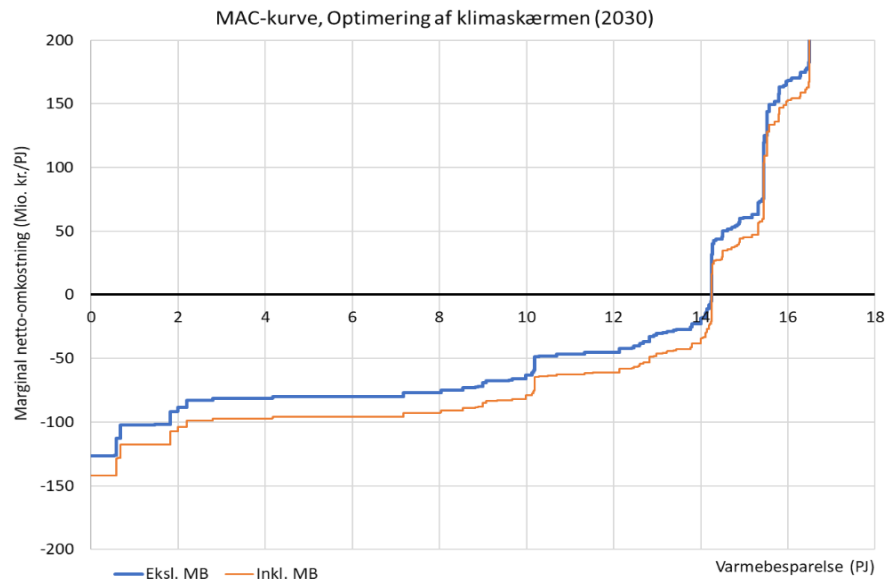
Figuren nedenfor viser de samfundsøkonomiske forsyningsomkostninger for forskellige teknologier til forsyning af et enfamiliehus i 2030. Der er de marginale forsyningsomkostninger (søjlerne), som er relevante at holde op i mod omkostninger til energiforsyning.



Figur 9: Marginale forsyningsomkostninger forbundet med opvarmning af enfamiliehuse i 2030 afhængig af opvarmningsformen (søjlerne). Til sammenligning er de gennemsnitlige forsyningsomkostninger vist (prikkerne). Omkostningerne er opgjort samfundsøkonomisk per GJ varme an forbruger.

Frem mod 2050 vurderes at samfundsøkonomisk rentable energibesparelspotentiale at ligge på ca. 31 %. Man skal dog være opmærksom på, at energirenoveringer af bygninger som hovedregel kun er rentable at gennemføre, når bygningsejeren alligevel står overfor at renovere bygningens klimaskærm. Det antages at ske med en 30 års cyklus, hvilket betyder, at det samfundsøkonomiske renoveringspotentiale nødvendigvis må indfris gradvist frem mod 2050.

I 2030 vil det samfundsøkonomiske potentiale derfor kun udgøre ca. 1/3 af det samlede langsigtede økonomiske potentiale. Desuden forudsættes det, at 20 procent af den eksisterende bygningsmasse er udfaset og erstattet af nyt lavenergi-byggeri i 2050. Energibesparelspotentialet fra disse 20 procent er ikke indregnet i analysen.



Figur 10: MAC kurve for energirenoveringstiltag frem mod 2030. Tiltagene vedrører alene varmebesparelser. MAC-kurver er opstillet ved at sammenligne besparelsesomkostninger med samfundsøkonomiske forsyningsomkostninger.

3.2 Varmebesparelser vedr. forbedret bygningsdrift

Det er kendt bl.a. aktører i bygningsbranchen, at der kan opnås betydelige energibesparelser ved at optimere driften af bygninger. Potentialet for forbedret bygningsstyring er imidlertid ikke særligt velbelyst i en dansk kontekst.

I enfamiliehuse og etagebolig vurderes varmebesparelsespotentialet forbundet med intelligent styring at ligge på ca. 8 %, mens det indenfor private og offentlig handel og service vurderes at udgøre 14 %. Det skal understreges, at disse potentialer er forbundet med betydelig usikkerhed. Producenterne har intelligente styringsteknologier opgiver i reglen højere besparelsespotentialer. I praksis vil effekten i høj grad afhænge, hvordan styringsteknologierne anvendes.

I mange bygninger vil der formentligt kunne hentes betydelige energibesparelser alene ved at forbedre driften af eksisterende styringssystemer. I nærværende analyse, antages dog, at det i alle bygninger er nødvendigt at investere i ny styringsteknologi for at opnå de angivne varmebesparelser.

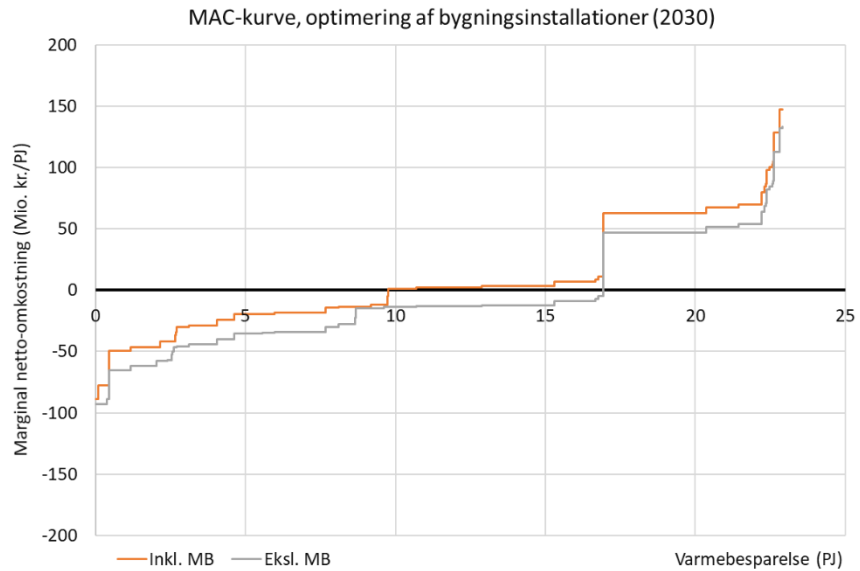
Omkostningerne forbundet med disse tiltag er baseret på en amerikansk rapport "Smart Buildings: Using Smart Technology to Save Energy in Existing

Buildings” produceret af American Council for an Energy-Efficient Economy. Rapporten gennemgår en række sparetiltag og angiver tilbagebetalingstider for tiltagene, som er blevet konverteret til en dansk kontekst. Visse af priserne er dog markant højere, end hvad der indikeres hos flere installatører og sælgere af løsningerne i Danmark, og i disse tilfælde er priserne derfor blevet justeret.

Viegand og Maagøe rapporten suppleres med tiltag fra en Europæisk analyse, *“Optimizing the energy usage of Technical Building Systems”*, udarbejdet af Ecofys. I rapporten analyseres en lang række tiltag til optimering af varmeinstallationer i enfamiliehuse, flerfamilie bygninger og kontorbygninger. En række af tiltagene overlapper med tiltag i ovennævnte rapport fra Viegand og Maagøe rapporten og er derfor ikke medtaget. De tiltag, der er medtaget, omhandler primært bedre isolering af vandførende rør og dimensionering af pumper mm. De opgjorte energibesparelser er reduceret med 15 procent for at reflektere en højere bygningsstandard i Danmark i forhold til Tyskland. I rapporten er de samlede investeringsomkostninger og den økonomiske levetid for tiltagene angivet, og netto-marginalomkostningerne udregnes.

Energibesparelspotentialerne inden for optimering af bygningsinstallationer korrigeres, fordi en del af klimaskærmen på bygningsmassen løbende forbedres (optimering af klimaskærm antages således beregningsmæssigt at ske før optimeringsbygninginstallationer), og spare potentialerne derfor mindskes over tid. I 2030 antages en tredjedel af bygningsmassen at være effektiviseret med ca. 30 procent, svarende til ca. 10 procent reduktion af opvarmingspotentialet, mens tallet i 2050 dækker over hele bygningsmassen og svarer til ca. 30 procent. Det lavere energiforbrug medfører både et lavere besparelspotentiale og relativt højere investeringsomkostninger forbundet med sparetiltagene.

Samlet set vurderes tiltagene indenfor intelligent styring og bedre isolering af varmforsyningssystemer at kunne resultere i en varmebesparelse på godt 22 PJ svarende til knap 10 % af de nuværende samlede energiforbrug til opvarmning.



Figur 11: MAC kurve for tiltag vedr. optimering af bygningsinstallationer. Tiltagene vedrører alene varmebesparelser. MAC-kurver er opstillet ved at sammenligne besparelsesomkostninger med samfundsøkonomiske forsyningsomkostninger.

3.3 Elbesparelser indenfor bygningsdrift

Samlet set vurderes elforbruget til belysning, ventilation og køl af bygninger at udgøre 29 PJ. Ud af de 29 PJ ligger 15 PJ indenfor belysning, 4,7 indenfor ventilation/blæsere, 3,4 indenfor køling og ca 1 PJ indenfor pumping

Belysning

Indenfor belysning har det offentlige et forbrug på 3,73 PJ og erhverv forbruger 10,18 PJ årligt. Forbruget forventes at være faldende fremadrettet.

Potentialet for at energieffektivisere energiforbruget til belysning består dels i at skifte til mere energieffektive lyskilder, dels i lysstyring. De undersøgte tiltag er:

1. Udskiftning fra konventionel belysning til LED
2. Lysstyring via bevægelsesmeldere
3. Lysstyring ved bevægelsesmeldere i kombination med Daylight Harvesting

For energibesparelser på belysning er den simpleste ændring en udskiftning fra konventionel belysning til en mere energieffektiv type. Dette kan nogle steder gøres direkte, hvor det andre steder vil kræve en udskiftning af hele

armaturet. LED belysning har et lavt energiforbrug samt høj virkningsgrad og lange levetider, hvorfor der er store energibesparelser at hente ved at udskifte til denne type. Det er i følgende analyse antaget, at første skridt for bygningers energibesparelse er denne overgang.

Bevægelsesmeldere samt 'Daylight Harvesting' (Dagslysstyring) er de mest relevante teknologier inden for lysstyring. Bevægelsesmeldere er sensorer, der tænder for belysningen, når der registreres personer i rummet. Dette kræver omhu for, at der ikke fejlmeldes, når der ikke er personer i lokalet. Dagslysstyring supplerer den elektriske belysning ved at udnytte udelyset inde i bygningerne. Derved læner anvendeligheden sig tæt op ad det givne byggeri. Det kræver en indendørs lyssensor, som sammenligner lysintensiteten i rummet med, hvad der kan drages nytte af udefra. Umiddelbart er dagslysstyring mest relevant for kontorbygninger. For private boliger er overgang til sparepærer og LED lettest tilgængeligt. Her er konservatisme omkring valg af lyskilde og manglende brugervenlighed de primære barrierer for overgangen. Pærer til integrering af lysstyring med fx smarthubs er ikke påvist at give en besparelse, og kan være negativ. Der er ikke opgjort udbredelse eller besparelser ved lysstyring for enfamiliehuse og etageboliger.

Den potentielle energibesparelse bygger på den nuværende udbredelse af teknologier, ændringen i udbredelsen samt besparelspotentialet tilknyttet hver teknologi. Potentialet beregnes ud fra 2016 niveauet, så energibesparelseeffekten isoleres. Der er antaget en udbredelsesprocent på 100 pct. for de bedste nuværende teknologier. Dette er dermed et estimat af det maksimale besparelspotentiale – og det dermed ikke udtryk for en forventning til 2030. Besparelspotentiale og udbredelse er hentet fra Viegand & Maagøe, samt COWI's paper 'Kortlægning af Energisparepotentiale i Erhvervslivet'. For driftskoncepter med flere kilder er det benyttede besparelspotentiale middelværdien af disse. Bemærk at disse ikke er additive. Dette ses i tabel 3.

Driftskoncept	Besparelsespotentiale	Udbredelse, 2016
Ingen	0%	40%
KunLED	60%	26%
Bevægelsesmeldere	28%	30%
Bevægelsesmelder + Day light harvesting	33%	4 %
LED + Bevægelsesmeldere + Day light harvesting	73%	0%

Tabel 3: Besparelsespotentialer og udbredelse for belysning i det offentlige og erhverv pr. driftskoncept

Kilde: Viegand & Maagøe samt Rådet for Grøn Omstilling

Som følge af effektiviseringer kan der være en rebound effekt, hvor forbrugerne øger deres komfort som svar på besparelserne. Denne andel vurderer Viegand og Maagøe til at være 30 pct. Besparelsespotentialet for en løsning med bevægelsesmelder i sig selv vurderes at give en besparelse på 28 pct., og kombineret med dagslysstyring en besparelsesandel på 33 pct. Fra COWI er besparelsespotentialet for udskiftning til LED beregnet til at være 60 pct. Herudfra er det estimeret til at være 73 pct. i sammensætning med bevægelsesmeldere og dagslysstyring. Hvis bygningen allerede har udskiftet til LED og dermed opnået en energibesparelse på 60 pct., vil en tilføjelse af bevægelsessensorer dermed bespare 28 pct. af dette allerede sænkede energiforbrug. Kombineres bevægelsesmeldere med dagslysstyring trækkes i stedet 33 pct. fra.

Samme metode er anvendt for de resterende grupper der enten mangler LED, bevægelsesmeldere eller dagslysstyring for at samtlige agenter har alle 3 teknologier i det ideelle scenarie.

Den samlede energibesparelse er opstillet som besparelsespotentialet for teknologien ganget med forbruget, hvor der er taget højde for udgangspunktet for udbredelsen som forklaret ovenfor. Dette er angivet i tabel 4. Der er antaget at energibesparelsen i kr./GJ er 161 (svarende til en samfundsøkonomisk elpris på 58 øre/kWh), og en levetid på 15 år for teknologien.

I COWIs analyse fra 2015 opgøres investeringsomkostning for udskiftning til LED pærer til 1,5-3,5 kr./kWh. I Viegand og Maagøes analyse opgøres private tilbagebetalingstider på 1,3-2,2 år koncepter med bevægelsessensorer og daylight harvesting. Det svarer til investeringsomkostninger på 3-5 kr./kWh.

Det er ikke tydeligt ud fra kilderne om de angivne omkostninger vedrører lyssystemer, der allerede anvender LED. Det er oplagt, at besparelsen ved at installere lysstyring i bygninger som ikke har LED vil være større og økonomien relativt større. I en situation, hvor vi antager at alle bygninger først skifter til LED løsninger, kan investeringsomkostning målt som kr. per kWh sparet energi derfor være undervurderet for smart styring teknologier.

I modsat retning tæller, at prisen på både LED løsninger og koncepter for smart lysstyring må forventes at falde frem mod 2030.

I de videre beregninger har vi som estimat anvendt en investeringsomkostning på 3,5 kr./kWh for det samlede potentiale. Dette afspejler, at den største besparelse ligger ved skift til LED.

Bygningstype	Energibesparelse [PJ]	CO ₂ fortrængning	CO ₂ reduktionso mkostning (kr/ton)	Energi besparelse (kr/GJ)	Investeringsomkostning (kr./GJ)	Nettomarginalo mkostning (kr./GJ)
Offentlig	1,04	0,06	-1320	161	87	-73
Erhverv	2,85	0,16	-1320	161	87	-73
Total	3,89	0,22	-1320	161	87	-73

Tabel 4: Investeringsomkostninger for belysning med LED, bevægelsesmeldere og dagslysstyring

Der er dermed en energibesparelse på 3,89 PJ at hente ved at både erhverv og det offentlige indfører disse tre teknologier, hvilket svarer til en CO₂ fortrængning på 0,22 Mt. Der er indregnet en reboundeffekt på 30 %.

Ventilation

Indenfor offentlige bygninger og erhverv. Anvendes hhv. 1,26 og 3,44 PJ til ventilation jf. tabel 2. Heri er inkluderet elforbrug til blæsere.

Besparelser på dette område kan opnås vha. teknologier som timere, behovstyret ventilation og prædiktive systemer. En påsat timer er vurderet til at kunne give en energibesparelse på 15 pct., se tabel 5, idet ventilatoren derved kun kører i de timer, hvor bygningen sædvanligt anvendes. Der er en tendens til overventilation ved simple ventilationssystemer, idet de er lavet ud fra forventet antal brugere i hver bygning, hvor det herefter dækker peak-behovet som antal liter ren luft pr. person. Derfor opstår der en overventilation på tidspunkter, hvor dette niveau ikke er nået, og er dermed en god kandidat for energibesparelser. Behovsstyret ventilation (Demand controlled ventilation, DCV), kan afhjælpe dette, idet ventilationen vil

tilpasses det skiftende behov. Der vurderes at være en 23 pct. besparelse som følge af en indføring af denne teknologi. En tilføjelse hertil er prædiktive systemer (MPC), der kan afhjælpe tryktab ved at nedregulere langsomt ved et forudset mindre behov, samt helt udelade at ventilere om natten. Dette tilføjer en besparelse der er 3 pct. højere.

Driftskoncept	Besparelsespotentialer	Udbredelse, 2016	Forventet udbredelse
Ingen	0%	25	0
Timere	15%	25	0
Behovsstyret	23%	50	0
Behovsstyret, MPC	26%	0	100

Tabel 5: Besparelsespotentialer og udbredelse for ventilation pr. driftskoncept
Kilde: Viegand & Maagøe

Lig analysen af besparelsespotentialer for belysning, antages der en udbredelse af 100 pct. af den bedst mulige kombination af teknologier, dermed en behovsstyret ventilation med et prædiktivt system.

Givet forbruget i 2016, den forventede udbredelse af teknologierne og deres spare potentialer, vurderes den samlede besparelse mod 2030 til 0,38 PJ, hvoraf 0,01 PJ af disse er i det offentlige og 0,28 PJ hos erhverv. Der forudsat en reboundeffekt på 30 %. Der er desuden antaget en levetid på 10 år for et driftskoncept, der inkluderer behovsstyring og MPC og en rente på 4 pct.

Bygningstype	Energibesparelse [PJ]	CO ₂ forbrug	CO ₂ reduktionso mkostning (kr/ton)	Energi besparelse (kr/GJ)	Investeringsomkostning (kr./GJ)	Nettomarginalo mkostning (kr./GJ)
Offentlig	0,10	0,01	-842	161	114	-47
Erhverv	0,28	0,02	-842	161	114	-47
Total	0,38	0,02	-842	161	114	-47

Tabel 6: Resultater for ventilation ved behovsstyring og MPC

Udover potentialerne relateret til behovsstyring er der mulighed for at skifte elmotorer og ventilatorer til typer med forbedret virkningsgrad. Ifølge COWI (2015) ligger forbedringspotentialer på mellem 1-10% alt efter motorstørrelse. Dertil ligger der potentialer for at reducere behovet for rumventilation fx ved at etablere solafskærmning, flytte varmeproducerende enheder, der ikke kræver køling, til områder, hvor der ikke ventileres osv. Tilsvarende kan der ligge en energibesparelse i at sikre bedre vedligehold, fx ved at rense filtre og kanaler osv. Potentialer og omkostninger ved disse tiltag er ikke vurderet.

Køling

Ved køling antages der at hverken enfamilieshuse eller etageboliger udgør et større potentiale for besparelser, da forbruget hertil er meget lavt. Derfor er dette udeladt fra følgende analyse. Indenfor det offentlige var forbruget på 0,9 PJ og for erhvervet var dette 2,46 PJ jf. tabel 2.

Potentielle muligheder for at spare energi er for køling blandt andet:

1. Reduktion af kølebehov
2. Alternative køleprincipper
3. Anlægsoptimering
4. Styring/regulering
5. Drift/vedligehold
6. Adfærd

Kølebehovet kan reduceres ved bedre klimaskærmsløsninger, fx solafskærmning som nævnt under ventilation. Derudover vil mere effektiv belysning (LED mv) bidrage til at reducere kølebehovet (win-win).

I forhold til alternative køleprincipper er særligt fjernkøling og adiabatisk fordampningskøling relevante. Energibesparelsen ved fjernkøling kan særligt blive stor, hvis der er mulighed for at anvende frikøling, baseret på fx havvand. Et væsentligt potentiale ligger indenfor adiabatisk fordampningskøling som alternativ til traditionelle AC-anlæg. Anlæggene medfører normalt et øget vandforbrug, da det er fordampning af vand, der skaber afkøling af luftstrømmen. Ifølge COWI vurderes anvendelsesområdet at være op imod 50 % til komfortkøleformål og med en potentiel energibesparelse på 50-75 %. Dette potentiale er ikke analyseret nærmere.

Der er her undersøgt energisparepotentialet for behov- og prædiktiv styring.

Ligesom ved belysning fungerer forbruget i 2016 som udgangspunkt for beregningen af potentielle energibesparelser for køling. Tabel 6 illustrerer besparelspotentialet, den initiale fordeling af teknologier og den forventede udbredelse, hvilket er antaget identisk både i det offentlige og erhverv. Det procentvise sparepotentiale af teknologierne antages identisk med opvarmning, idet de fungerer efter samme princip. En tilføjelse kan være

interlock mellem køling og varme, så begge ikke kører på samme tid, men effekten af dette er ikke medtaget her.

Driftskoncept	Besparelsespotentiale	Udbredelse, 2016	Forventet udbredelse
Ingen	0%	25	0
Timere	7%	25	0
Behovsstyret	15%	50	0
Behovsstyret, MPC	29%	0	100

Tabel 7: Besparelsespotentialer og udbredelse for komfortkøling pr. driftskoncept
Kilde: Viegand & Maagøe

Energibesparelsespotentialet for slutbrugerne regnes herefter til at være 0,50 PJ efter reboundeffekten er medtaget. Tabel 7 illustrerer energisparepotentialet og investeringsomkostningerne ved indførelsen af disse tiltag.

Bygningstype	Energibesparelse [PJ]	CO ₂ fortrængning	CO ₂ reduktionsomkostning (kr/ton)	Energi besparelse (kr/GJ)	Investeringsomkostning (kr./GJ)	Nettomarginalomkostning (kr./GJ)
Offentlig	0,13	0,01	116	161	167	6
Erhverv	0,37	0,02	116	161	167	6
Total	0,50	0,03	116	161	167	6

Tabel 8: Resultater for køling ved behovsstyring og MPC

Dette estimeres til at give en CO₂ fortrængning på 0,03 Mt.

Pumpning

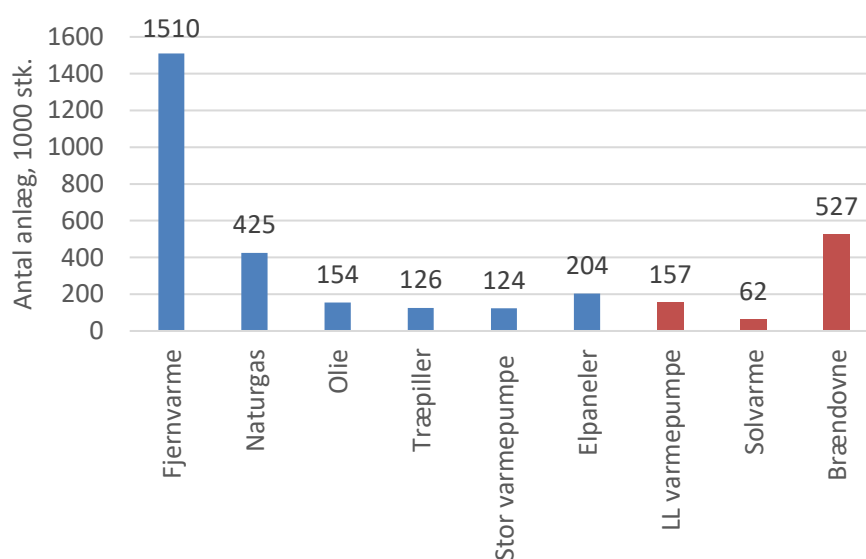
Pumpning har et årligt energiforbrug til drift på samlet ca. 2,15 PJ, hvoraf 0,25 ligger hos de offentlige bygninger og 0,67 PJ ligger hos erhverv.

Enfamiliehuse og etageboliger har et forbrug på hhv. 1,08 og 0,17 PJ. Ved pumpning ligger der et potentiale inden for cirkulationspumper. Vi regner med at forbruget til pumpning vedrører dette, men potentialet er ikke undersøgt yderligere i denne rapport.

4 Potentiale for skift af opvarmningsform

Energibesparelser kan kun levere en reduktion af forbruget af fossile brændsler til opvarmning, men kan ikke fjerne det fuldstændigt. For at fjerne forbruget er det nødvendigt at skifte opvarmningsformen til en vedvarende kilde.

Figur 12 viser antal varmeanlæg i helårsboliger i 2017 opdelt på teknologi. Der er over 400.000 boliger opvarmet med naturgas, samt over 100.000 opvarmet med olie.



Figur 12: Antallet af opvarmningsanlæg i helårsboliger. Kilde: Energistyrelsen, Opvarmningsanalysen 2017.

Følgende beskriver tiltag og scenarier for skift af opvarmningsform. Formålet med tiltagene er at reducere antallet af husstande opvarmet med fossile brændsler, specifikt oliefyr og naturgasfyr, vha. elektrificering og kollektiv varmforsyning.

Ved skift til varmepumpe antages det at husstande investerer i en luft-vand varmepumper, da det vurderes at denne type varmepumpe er mest relevant for flertallet.

De fire hovedtiltag hvoraf 3 vedrører naturgas og 1 vedrører olie:

- 50% reduktion af naturgasfyr, hvoraf halvdelen skifter til individuelle varmepumper og halvdelen skifter til fjernvarme.

- 70% reduktion af naturgasfyr, hvoraf halvdelen skifter til individuelle varmepumper og halvdelen skifter til fjernvarme. Reduktion vises udover tiltaget med 50% reduktion
- 100% reduktion af naturgasfyr, hvoraf halvdelen skifter til individuelle varmepumper og halvdelen skifter til fjernvarme. Reduktion vises udover tiltaget med 70% reduktion.
- 95% reduktion af oliefyr, hvor alle skifter til luft-vand varmepumper.

Ovenstående tiltag tager udgangspunkt i et baseline scenarie. Dette scenarie er baseret på Energistyrelsens Basisfremskrivning 2018 og Opvarmningsanalysen 2017, hvorved der estimeres et antal opvarmningsanlæg til husholdninger og serviceerhvervet ud fra brændselsforbrug fra Basisfremskrivningen i perioden 2020-2030. Dog er denne baseline revideret således, at antallet af oliefyr nedjusteret med 20% og luft-vand varmepumper tilsvarende opjusteret svarende til den reviderede baseline. Denne justering tager højde for energiaftalen indgået efter Basisfremskrivning 18's udgivelse.

4.1 Model for bygningsopvarmning

Til beregningerne benyttes Ea's opvarmningsmodel. Opvarmningsmodellen er en et værktøj til estimering af bestanden af forskellige opvarmningsformer og tilhørende omkostninger.

Modellens input er en fremskrivning af det totale antal boliger med hver type opvarmningsform for perioden, hvor de forskellige tiltag medfører forskellige forløb for antallet af naturgasfyr, oliefyr og luft-vand varmepumper.

Først og fremmest estimerer modellen aldersfordelingen af bestanden for hver opvarmningsform i hvert år i perioden 2020-2030. Alderen på et specifikt anlæg har betydning for investeringsomkostningerne, effektiviteten, og D&V omkostninger. Nyere anlæg er generelt billigere og bruger mindre brændsel, mens ældre anlæg er dyrere i drift og har højere emissioner.

Det antages at anlæggene i udgangspunkt er etableret ligeligt fordelt over en periode før 2020 svarende til levetiden for den specifikke teknologi.

For hvert år i perioden 2020-2030 estimeres, hvor mange udtjente anlæg, der nedlægges. Dette gøres vha. en normalfordeling med middelværdi lig teknologiens levetid og en spredning på to år.

Efter udtjente anlæg er nedlagt, investeres i nye anlæg således at de totale antal stemmer med den ønskede forløb (inputtet). Forceret udskiftning kan

være nødvendig, hvis antallet af f.eks. naturgasfyr skal reduceres, hurtigere end levetiden tilsiger.

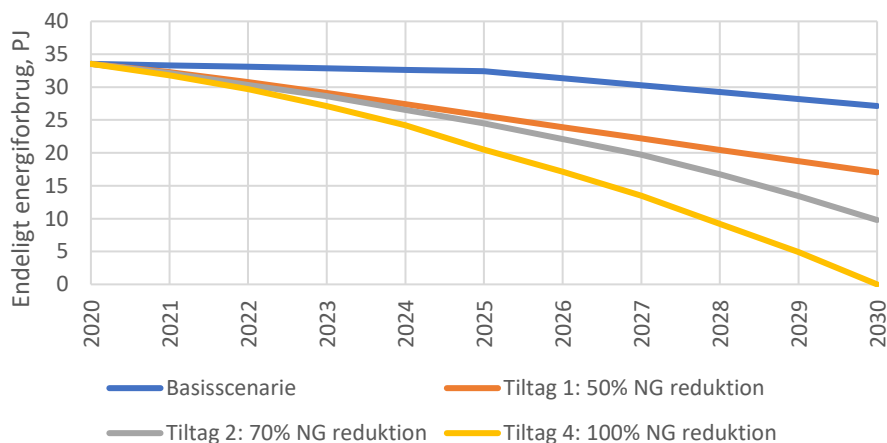
Derefter beregnes omkostninger og emissioner. Investeringsomkostningerne udtrykkes som annuiteter, med rente på 4% og løbetid over den gennemsnitlige levetid for teknologien.

Overordnet tager modellen udgangspunkt i data fra Energistyrelsen Teknologikatalog for al data relateret til teknologierne. En effektivisering af varmebehovet på -0,28% er inkluderet. Brændselsomkostningerne er baseret på IEA's WEO Sustainable development scenarie samt Energistyrelsens samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger. Elprisen er baseret på intern analyse.

Modellen regner separat på enfamiliehuse og etageboliger, da omkostningerne er væsentlig forskellige i de to grupperinger. Opdelingen udføres baseret på data fra Danmark Statistik.

4.2 Tiltag vedrørende naturgas

Der er 3 forskellige tiltag vedrørende udfasning af naturgas, som bygger ovenpå på hinanden. Figur 13 viser gasforbrug i de 3 tiltag scenarier samt basisscenariet.



Figur 13: Energiforbrug af naturgas til opvarmning i PJ, hvor forskellen mellem de 3 tiltag ses i forhold til basisscenariet.

Forløbet i tiltag 1 repræsenterer et naturligt udskiftningsforløb, hvilket svarer til et forbud mod at installere nye naturgasfyr. Dette resulterer i en reduktion på ca. 50% af anlæg i 2030 i forhold til 2020.

Det antages at alle udtjente naturgasfyr udskiftes med en luft-vand varmepumpe eller fjernvarme, da naturgasområder ofte ligger i eller tæt på fjernvarmeområder. Det antages, at fjernvarme er økonomisk ligestillet med individuelle luft-vand varmepumper.

Tiltag 2 tager udgangspunkt i en hurtigere udskiftning, hvor en total reduktion på 70% opnås i 2030. Dette tiltag er en overbygning på forrige tiltag og beskriver derfor konsekvenserne ved at øge målet i 2030 fra 50% til 70%. En 70% reduktion kræver, at en andel af naturgasfyrene udskiftes, før de er udtjente, hvilket hæver omkostningerne ved udskiftningen, da investeringerne for disse anlæg ikke nødvendigvis er afskrevet endnu. Igen forventes det at fyrene erstattes med både luft-vand varmepumper og fjernvarme.

I tiltag 3 øges reduktionen yderligere således at der opnås en 100% udskiftning af naturgasfyr i 2030.

Tabel 9 viser resultaterne fra beregningerne. Tiltagene bygger ovenpå hinanden, hvor omkostningerne til tiltag 2 er merbesparelsen/-omkostningen ift. tiltag 1, og tiltag 3 er merbesparelsen/-omkostningen ift. tiltag 2.

Tiltagene betragter kun skift til luft-vand varmepumper og fjernvarme og tager ikke højde for eventuelle skift til hybridvarmepumper eller grøn gas. I realiteten vil en total udfasning af naturgas sandsynligvis også medføre bidrag fra disse løsninger. Hvor stor andel skifter til grøn gas og/eller hybride løsninger er stadig meget usikkert.

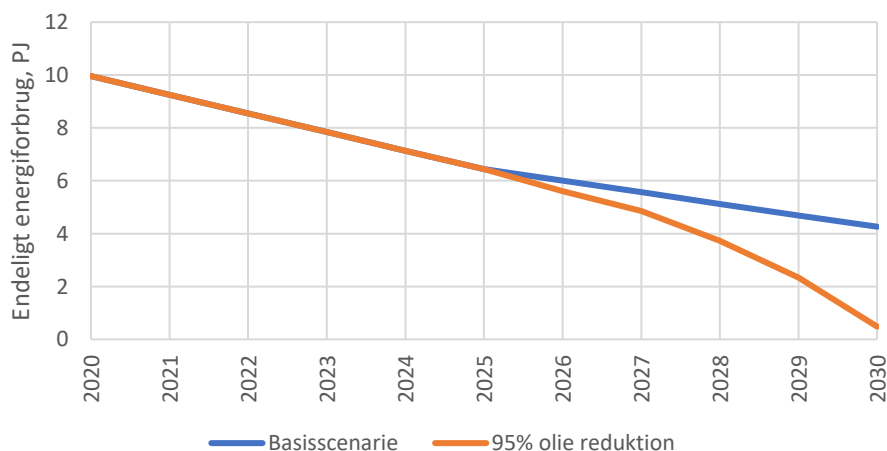
Tiltag	Post	Over											
		perioden	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Tiltag 1: 50% NG red.	CO2-reduktion (mio. ton)	2	-	0,06	0,13	0,21	0,30	0,38	0,42	0,46	0,50	0,54	0,57
	Omkostning (mio. DKK)	1.592	-	63	140	217	290	356	381	406	426	445	460
	Statsbudget (mio. DKK)	-1.580	-	-47	-111	-182	-257	-336	-372	-409	-446	-483	-519
	Enhedsomkostning (DKK/ton)		-	1.067	1.055	1.016	973	924	900	877	852	827	801
Tiltag 2: 70% NG red.	CO2-reduktion (mio. ton)	1	-	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,10	0,14	0,21	0,30	0,41
	Omkostning (mio. DKK)	811	-	14	34	40	66	87	131	172	255	354	468
	Statsbudget (mio. DKK)	-545	-	-7	-18	-22	-37	-52	-82	-111	-172	-248	-341
	Enhedsomkostning (DKK/ton)		-	1.446	1.432	1.396	1.348	1.298	1.264	1.235	1.199	1.165	1.132
Tiltag 3: 100% NG red.	CO2-reduktion (mio. ton)	1	-	0,02	0,04	0,09	0,13	0,23	0,28	0,36	0,43	0,48	0,56
	Omkostning (mio. DKK)	1.623	-	28	55	119	179	295	360	446	527	582	655
	Statsbudget (mio. DKK)	-1.038	-	-13	-28	-64	-101	-176	-222	-282	-344	-391	-453
	Enhedsomkostning (DKK/ton)		-	1.453	1.443	1.399	1.356	1.302	1.278	1.251	1.225	1.201	1.175

Tabel 9: Resultaterne fra tiltagene

4.3 Tiltag vedrørende oliefyr

Forbrænding af olie til et fyr har større emissioner end ved forbrænding af naturgas, og derfor er det især vigtigt at få erstattet disse.

Tiltaget for oliefyr omfatter derfor en drastisk reduktion i antallet af anlæg, hvor disse reduceres med 95% i 2030 i forhold til 2020. Figur 14 viser, hvordan forbruget udvikler sig i basisscenariet og ved en 95% reduktion af anlæg. Tiltaget følger basisscenariet frem til 2025, hvorefter reduktionen tager fart. I forløbet er indlagt en kurve, hvor reduktionen bliver hurtigere, når 2030 nærmer sig. Dette skyldes forbrugeradfærd, hvor der forventes en vis træghed i starten.



Figur 14: Forbruget af olie i PJ i basisscenariet sammenlignet med tiltaget hvor dette reduceres.

Både basisscenariet og tiltaget kræver forceret udskiftning af oliefyr, dog forcerer 95%-tiltaget udskiftningen i langt højere grad.

Omkostningen for samfundet per sparet ton CO₂ er tæt på 0 i 2030.

Tiltag	Post	Over											
		perioden	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Tiltag 4: Ind. VP (95% olie)	CO2-reduktion (mio. ton)	1	-	-	-	-	-	-	0,03	0,05	0,10	0,17	0,28
	Omkostning (mio. DKK)	41	-	-	-	-	-	-	4,67	8,68	9,73	10,83	8,97
	Statsbudget (mio. DKK)	-576	-	-	-	-	-	-	-25	-47	-92	-157	-254
	Enhedsomkostning (DKK/ton)		-	-	-	-	-	-	161	128	94	62	32

5 CO₂-reduktionsomkostninger og -potentiale

Figur 15 viser alle tiltagene i en MAC-kurve, sorteret efter deres samfundsøkonomiske omkostning per sparet ton CO₂. Tabel 10 viser de samme resultater i en tabel. Nogle omkostninger ville medføre en besparelse for samfundet ved implementering, mens andre medfører en omkostning. Omkostningerne tager ikke højde for eventuelle virkemiddelomkostninger.

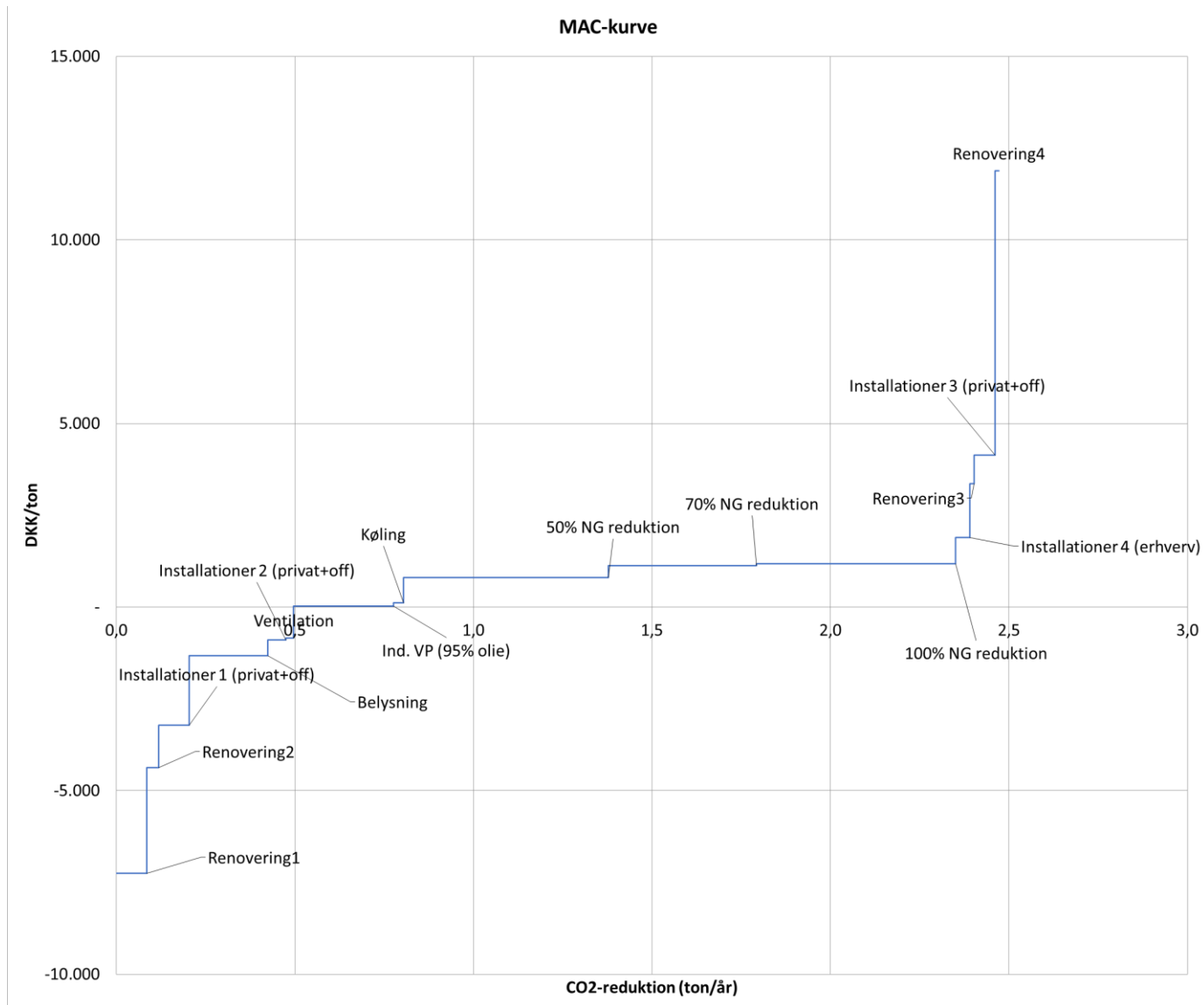
Tiltagene kategoriseret 'installationer' 1-4 vedrører intelligent bygningsstyring og isolering rør.

Tiltagene kategoriseret 'renovering' 1-4 vedrører forbedring af klimaskærmen.

Der ligger ikke specifikke tiltag i grupperingerne, det er alene en opdeling af potentialerne i nogle håndterbare klumper. Omkostningen afspejler dels besparelsetiltagene, dels værdien af den sparede energi.

Generelt vedrører de billigste renoveringstiltag primært SBis scenarie 1, dvs. basal renovering til byggeteknisk acceptabel standard, herefter følger hulmursisolering og A-mærkede vinduer og endelige isolering på loft og tag.

Indenfor bedre styring, ligger de billigste potentialer ligger indenfor anvendelse intelligente termostater i mindre bygninger, mens installationer i store bygninger generelt er noget dyrere, bl.a. fordi installationsomkostningerne og drift er mere komplekst. Det skal dog bemærkes, at omkostningerne vurderes at være behæftet med væsentlig usikkerhed og vil afhænge meget af de konkrete forhold i den enkelte bygning. Generelt er der dog ikke store forskelle i gevinster og omkostninger for styringsteknologierne.



Figur 15: MAC-kurve af tiltagene baseret på deres omkostning per sparet ton CO₂.

Tiltag	CO2 besparelse Mton CO ₂	Heraf CO2 brændsel	Heraf CO2 besparelse el og fjernvarme	Omkostning Mio. kr	Omk. per CO ₂ kr./tonCO ₂
Installationer 1 (privat+off)	0,09	0,05	0,04	-273	-3.216
Installationer 2 (privat+off)	0,05	0,03	0,02	-46	-894
Installationer 3 (privat+off)	0,06	0,03	0,03	246	4.137
Installationer 4 (erhverv)	0,04	0,02	0,02	77	1.893
Renovering1	0,09	0,05	0,04	-617	-7.258
Renovering2	0,03	0,02	0,01	-149	-4.377
Renovering3	0,01	0,01	0,00	37	3.363
Renovering4	0,01	0,01	0,00	121	11.878
50% NG reduktion	0,57	0,57		460	801
70% NG reduktion	0,41	0,41		468	1.132
100% NG reduktion	0,56	0,56		655	1.175
Ind. VP (95% olie)	0,28	0,28		9	32
Belysning	0,22		0,22	-290	-1.320
Ventilation	0,02		0,02	-18	-842
Køling	0,03	0,05	0,03	3	116

Tabel 10: Resultater for alle tiltag vedrørende bygninger i 2030 (årlige potentialer og omkostninger). Tabellen afspejler mereeffekten ud over baseline.

6 Muligheder og potentiale for fleksibelt energiforbrug i bygninger

I forhold til faktisk at udnytte bygningernes fleksibilitetspotentialer ligger der et betydeligt potentiale i, at de bruge de samme teknologier som anvendes til energistyring (fra intelligente termostater i mindre bygninger og egentligt prædiktiv styring og behovsstyring i større bygninger) til at levere fleksibilitet til energisystemet. Ofte vil det ikke kunne svare sig at installere styringsteknologi i bygninger alene for at levere fleksibilitet til energisystemet, men mange tilfælde vil den teknologi, som sørger for at sænke temperaturen om natten og lukke for radiatoren, når vinduet står åbent, kunne anvendes til at forskyde forbruget af el og fjernvarme i tid afhængigt af elpriserne eller flaskehalse i elnettet. Udbredelse af intelligent styringsteknologi kan dermed bane vejen for at bygninger også kan levere fleksibilitet til energisystemet. Denne gevinst er ikke værdisat.

Et studie gennemført af SWECO og Ea Energianalyse for Energistyrelsen i 2018 (Energieffektive og intelligente bygninger i et smart energisystem – Eksisterende bygningers potentiale for at tilbyde fleksibilitet) havde til formål at belyse eksisterende bygningers mulige bidrag til fleksibilitet i energisystemet. Termen 'bygninger' omfatter i denne forbindelse kun eksisterende bygninger inden for husholdninger, handel & service samt institutioner – altså hverken industri eller nye bygninger.

Hvordan kan bygninger bidrage?

Bygninger kan bidrage med fleksibilitet ved midlertidigt at skifte fra en energiart til en anden eller ved at forskyde forbruget i tid. En mere permanent reduktion af forbrugsniveauet gennem energieffektivisering vil gøre det enklere for Danmark at nå en højere andel af VE i energisystemet, men vil som sådan ikke bidrage med fleksibilitet.

Hvilke typer af fleksibilitet har energisystemet nytte af?

Et overblik over det kommercielle elmarked og elsystemets behov for forskellige fleksibilitetsydelser og deres hyppighed er vist i Tabel 11 nedenfor.

Håndteret af ...	Fleksibilitets-ydelser	Påkrævet aktiverings-hastighed	Varighed	Hypighed
Kommercielt marked	Spot (day-ahead)	> 12 timer	60 min	Hver time
	Elbas (intra-day)	> 1 time	60 min	Dagligt
TSO	Tertiære reserver (regulærkraft, mFRR)	15 min	60 min	Mere end dagligt
	Sekundære reserver (frekvensgenopretning i lokalområde, findes endnu ikke i Østdanmark, aFRR)	15 min	Løbende	Kontinuert
	Primære reserver (frekvensstabilisering, FCR)	5-30 sek	15 min	Kontinuert

Tabel 11: Oversigt over de forskellige typer af fleksibilitetsydelser, som elsystemet har behov for (Kilde: Nord Pools databank)¹. Ud over de fleksibilitetsydelser, der er listet i tabellen, findes der også specialregulering, der anvendes for at sikre, at reguleringer udført pga. nettekniske forhold ikke påvirker regulærkraft-markedet.

Forudsætninger bag beregninger

Der er i analysen taget udgangspunkt i elspotmarkedet og regulærkraftmarkedet, eftersom det er de to største markeder for fleksibilitet. Ved hjælp af markedsmodellen Balmorel er energipriserne (el og fjernvarme) time for time beregnet for 2016, 2030 og 2050, og med udgangspunkt i den beregnede elspotpris og den historiske korrelation mellem elspot og regulærkraftpris er regulærkraftpriser for 2030 og 2050 estimeret. Omkostningen for transmission og distribution er ligeledes medregnet, som en tidsvariabel omkostning.

I analysen er den systemmæssige nytte af 11 udvalgte tekniske løsninger i eksisterende bygninger undtaget industri vurderet. Bemærk, at der er anvendt samfundsøkonomiske marginalbetragtninger, og afgifter indgår således ikke. Investeringsomkostningerne inkluderer i denne analyse kun den nødvendige investeringsomkostning til selve løsningen og ikke nogen form for omkostning til promovning af tiltaget. Investeringsbeløbene er baseret på 2016-forhold og omregnet til årlige omkostninger, under antagelse af 4% renteniveau og 20 års levetid. Hvad angår fleksibilitet for fjernvarmekunder skal bemærkes, at denne analyse kun har belyst muligheden for fleksibilitet ved tiltag i den enkelte bygning, og ikke på net- eller anlægsniveau.

¹ mFRR = Manual Frequency Restoration Reserve, aFRR Automatic Frequency Restoration Reserve, FCR = Frequency Containment Reserve

De analyserede tekniske løsninger er:

Type		Tiltag	Applikation	Betragtede priser
1	Skift i energi-art	Elpatron hos naturgaskunder	Lav elspotpris	Naturgas- vs. elspotpris
2		Elpatron hos fjernvarmekunder		Fjernvarme- vs. elspotpris
3		Hybridvarmepumpe hos naturgaskunder		Naturgas- vs. elspotpris
4		Hybridvarmepumpe hos fjernvarmekunder		Fjernvarme- vs. elspotpris
5	Forskydning	Prisafhængigt fjernvarmeforbrug hos fjernvarmekunder	Lav og høj fjernvarmepris	Udsving i fjernvarmepris
6	Forskydning	Prisafhængigt brug af køle-/fryseaggregat i husholdninger, virksomheder og institutioner	Lav og høj elspotpris	Udsving i elspotpris
7		Prisafhængig brug af elvarme		
8		Prisafhængig brug af ventilation		
9		Prisafhængig brug af batterier		
10	Skift i energi-art + service	Elpatron hos naturgaskunder	Efterspørgsel efter regulérkraft	Naturgas- vs. elspot- vs. regulérkraftpris
11		Elpatron hos fjernvarmekunder		Fjernvarme- vs. elspot- vs. regulérkraftpris

Tabel 12: Analyserede fleksibilitetstiltag.

Resultater

Samlet set peger analysen på, at det er ændringer i varmeforbrug, der kan give det mest rentable bidrag og et væsentligt bidrag til systemfleksibilitet. Vigtigt for rentabiliteten af de belyste tiltag er, at transportpriserne for energien er dynamiske, og at der er installeret fjernaflæste målere hos forbrugerne. De nødvendige tekniske løsninger findes allerede på markedet og udnyttelsen af potentialet er først og fremmest et spørgsmål om kundetariffer, markedsadgang f.eks. via aggregatorer og at fleksibiliteten kan udmøntes inden for gældende lovgivning

Forskydning af forbrug

Analysen viser, at bidraget til energisystemet er klart størst ved forskydning af fjernvarmeforbruget, fordi antal af bygninger med fjernvarme er stort. Fjernvarmeforbruget kan forskydes afhængigt af fjernvarmeprisen forudsat, at der er standardiseret eksternt pris-/styringssignal til rådighed for bygningen, og at alle apparater individuelt eller via CTS-anlæg er opkoblet, opsat, indkøbt og vedligeholdes i forhold til dette samt i samspil med bygningens øvrige funktionskrav. Det potentielle, rentable effektbidrag fra de fire

forbrugssegmenter tilsammen ved flytning af fjernvarme udgør 1.330 MW i 2030 og 1.370 MW i 2050.

Midlertidige skift i energiart

Elpatroner er urentable i 2030, men bliver dog rentable i 2050 og kan bidrage med 60-290 MW inden for gaskunder og 2.752 MW inden for fjernvarmekunder².

Hybridvarmepumper i kombination med fjernvarmeanlæg er ikke rentable i 2030, men kan i 2050 bidrage med 450 MW i en given time inden for etageboliger. Hybridvarmepumper er klart rentable i samspil med gasfyr inden for etageboliger i 2050 og lige præcis også i 2030. Effektpotentialet er størst i 2030 – nemlig 40 MW – mens det i 2050 kun er det halve.

Regulérkraft ydelser

Gevinsten ved at udnytte en eksisterende elpatron til også at tilbyde regulérkraft-ydelser er ligeledes undersøgt. Er elpatronen ikke i brug, kan den aktiveres, når Energinet.dk efterspørger nedregulering i systemet i en given time. Er elpatronen allerede aktiv, så kan den slukkes, når der efterspørges opregulering. Analysen viser, at med undtagelse af parcel-, stue- og rækkehuse vil det være relevant for både gas- og fjernvarmeforsynede bygninger i 2050, mens det er urentabelt i 2030. Det skyldes især, at CO₂-prisen forventes at stige kraftigt frem mod 2050. Der er taget forbehold for, at der kan være betydelige lokale forskelle i økonomien mellem de forskellige fjernvarmeområder.

² Antagelsen for alle undersøgte tiltag er, at 50% af forbrugersegmentet kan aktiveres. De 50% er udelukkende valgt for at signalere en begrænsning i hvor stor en andel kan aktiveres og ikke som udtryk for hvor stort et potentiale, man må forvente at kunne aktivere. Aktiveringspotentialet bør undersøges nærmere og i samtidig med overvejelser omkring, hvordan aktivering kan afstedkommes.