



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY  
DENMARK

## Future Green Buildings

Mathiesen, Brian Vad; Drysdale, Dave; Lund, Henrik; Paardekooper, Susana; Ridjan, Iva; Connolly, David; Thellufsen, Jakob Zinck; Jensen, Jens Stissing

*Publication date:*  
2016

*Document Version*  
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link to publication from Aalborg University](#)

*Citation for published version (APA):*  
Mathiesen, B. V., Drysdale, D., Lund, H., Paardekooper, S., Ridjan, I., Connolly, D., ... Jensen, J. S. (2016). Future Green Buildings: A Key to Cost-Effective Sustainable Energy Systems. Department of Development and Planning, Aalborg University.

### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- ? Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- ? You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- ? You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

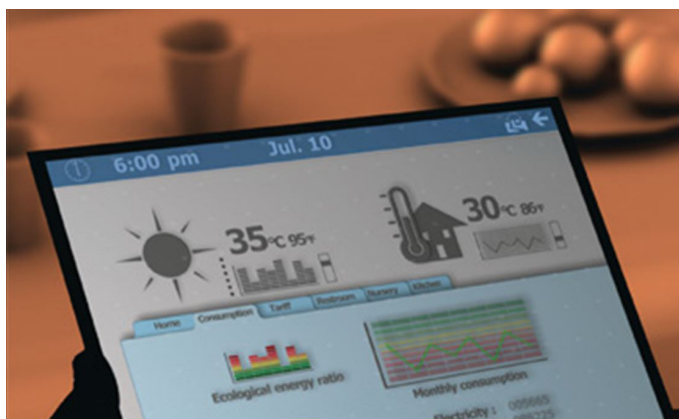
### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at [vbn@aub.aau.dk](mailto:vbn@aub.aau.dk) providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.





## FREMTIDENS BYGGERI NØGLEN TIL ET OMKOSTINGSEFFEKTIVT OG BÆREDYGTIGT ENERGISYSTEM



RENOVERING PÅ  
DAGSORDENEN



AALBORG UNIVERSITY  
DENMARK

# Fremtidens byggeri - Nøglen til et omkostningseffektivt og bæredygtigt energisystem

Dansk sammenfatning af rapporten  
Future green buildings - A key to cost-effective sustainable energy systems

2. udgave

Maj 2016

© Forfatterne

**Brian Vad Mathiesen**  
**David Drysdale**  
**Henrik Lund**  
**Susana Paardekooper**  
**Iva Ridjan**  
**David Connolly**  
**Jakob Zinck Thellufsen**  
**Jens Stissing Jensen**

Aalborg Universitet,  
Institut for Planlægning

**Rekvireret af:**

Seks organisationer fra partnerskabet Renovering på Dagsordenen:

Bygherreforeningen  
Foreningen af Rådgivende Ingeniører - FRI  
Dansk Byggeri  
Arkitektforeningen  
Danske Arkitektvirksomheder  
Ingeniørforeningen IDA

**Udgiver:**

Institut for Planlægning  
Aalborg Universitet  
Vestre Havnepromenade 5  
9000 Aalborg  
Danmark  
ISBN: 978-87-91404-83-2

Forsidebilleder: Bygherreforeningen,  
Teknologisk Institut and Kjeldberg

Denne rapport er udarbejdet og redigeret af forskere på Aalborg Universitet. Redaktionen er ansvarlig for rapportens resultater og konklusioner. Rapporten kan downloades fra [www.vbn.aau.dk](http://www.vbn.aau.dk).

**RENOVERING PÅ  
DAGSORDENEN**



Foreningen af  
Rådgivende Ingeniører  
FRI

**BYGHERRE  
FORENINGEN**

dansk **byggeri**

Danish Construction Association



**DANSKE  
ARKITEKT  
VIRKSOMHEDER**



## Tak til

Denne rapport er rekvireret af seks af organisationerne i partnerskabet "Renovering på Dagsordenen":

- **Bygherreforeningen**
- **Foreningen af Rådgivende Ingeniører - FRI**
- **Dansk Byggeri**
- **Arkitektforeningen**
- **Danske Arkitektvirksomheder**
- **Ingeniørforeningen IDA**

Partnerskabet består derudover af: Grundejernes Investeringsfond GI, Konstruktørforeningen KF, COWI, MT Højgaard, NCC og Realdania.

Dette projekt er også delvist finansieret af 4DH – et internationalt forskningscenter i 4. generations fjernvarme ([www.4dh.dk](http://www.4dh.dk)) og CITIES - Centre for IT-Intelligent Energy Systems in Cities ([www.smart-cities-centre.org](http://www.smart-cities-centre.org)), der begge er støttet af Innovationsfonden.



## Forord

Der er en voksende forståelse i den offentlige debat og i bygge- og energisektoren for, at tiderne, hvor energibesparelser, varme, køling, el, transport og gas kunne ses som separate dele af energisystemet, er ovre. I vedvarende energisystemer skal sektorerne integreres. Det er vigtigt at forstå hver enkelt teknologis rolle. Bygninger spiller en central rolle på behovssiden i fremtidens energisystem. På den ene side kan fremtidens bæredygtige bygninger ikke ses på alene, på den anden side kan man ikke se på det vedvarende energisystem uden at medtage bygninger og deres brugere. Denne rapport søger at udpege en retning for udviklingen af bygninger i og mod omkostningseffektive, vedvarende energisystemer. Der er behov for at forstå bygningens rolle bedre: Hvor langt skal vi gå med besparelser? Hvilken rolle spiller fleksibelt behov og lagring på bygningsniveau? I hvor stor udstrækning skal on-site vedvarende energiproduktion være løsningen?

Partnerskabet "Renovering på dagsordenen" repræsenterer en bred palette af organisationer og virksomheder inden for byggesektoren i Danmark. Partnerskabet har en interesse i at give en bedre forståelse af, hvordan fremtidens byggeri skal fungere i vedvarende energisystemer. Langtidsinvesteringer bliver hele tiden foretaget på behovs- og produktionssiden i energisystemet. Bygninger skal ikke bare fungere i dag, men også bidrage til omkostningseffektive løsninger, og den eksisterende bygningsmasse vil spille en stor rolle i fremtiden.

Hovedrapporten "Future Green Buildings – A key to cost-effective sustainable energy systems" bliver suppleret af denne danske sammenfatning med navnet "Fremtidens byggeri – Nøglen til et omkostningseffektivt og bæredygtigt energisystem". Rapporten er udarbejdet af forskere fra Forskningsgruppen i energiplanlægning ved Institut for Planlægning, Aalborg Universitet. Projektet blev udført i perioden fra februar til maj 2016. Rapporten kan downloades fra [www.vbn.aau.dk](http://www.vbn.aau.dk).

Som en del af processen blev en workshop med nøglepersoner fra "Renovering på dagsordenen", Aalborg Universitet – Institut for Planlægning og Aalborg Universitet – Byggeforskningsinstituttet (SBI) afholdt i marts 2016. Deltagerne var: Thomas Uhd, Bygherreforeningen; Graves K. Simonsen, Bygherreforeningen; Annette Blegvad, Arkitektforeningen; Peter Andreas Sattrup, Danske Arkitektvirksomheder; Michael H. Nielsen, Dansk Byggeri; Pernille Hagedorn-Rasmussen, IDA; Henrik Garver, FRI; Søren Aggerholm, SBI; Per Heiselberg, AAU; Kirsten Gram-Hanssen, SBI; Henrik Lund, AAU; Jens Stissing Jensen, AAU og Brian Vad Mathiesen, AAU.

Mens Danmark er godt på vej til at have el- og varmesektorer baseret på vedvarende energi, eksisterer der stadig et antal udfordringer inden for energilagring, transport og integration af energisektorerne. Målet i denne rapport har været at indsamle den nyeste viden om bygningers rolle i denne kontekst, præsentere de opnåelige tekniske muligheder og inspirere til kortsigtet beslutningstagen baseret på dette.

På vegne af forfatterne, Brian Vad Mathiesen, maj 2016

## Dansk sammenfatning

Ligesom i dag er energieffektive bygninger essentielle i en omkostningseffektiv dansk energiforsyning i 2050. Denne rapportes formål er at beskrive, hvilket bidrag og hvilken rolle bygninger optimalt skal spille i et energisystem, som er uafhængig af fossile brændsler. Samtidig søger den at beskrive, hvilke forandringer, der er nødvendige i bygningsmassen for at understøtte en omlægning af energisystemet. Rapporten tager afsæt i litteraturstudier af mere end 50 rapporter og forskningsartikler over de seneste 10 år og mere end to årtiers forskning i interaktionerne mellem forskellige dele af energisektoren i vedvarende energisystemer. Redegørelsen fokuserer på, hvordan man opnår de mest omkostningseffektive løsninger i et integreret energisystem, varme- og elbesparelser, brugeradfærd samt energilagring og fleksibilitet i husholdninger.

Mange rapporter om grønne og bæredygtige bygninger fokuserer kun på besparelser og glemmer omkostningerne ved vedvarende energiproduktion. Nogle rapporter fokuserer på lokal vedvarende energiproduktion på bygningsniveau og lagringsoptimering. Spørgsmålet er, hvor langt vi skal gå med besparelser? Hvilken rolle spiller fleksibelt behov og lagring på bygningsniveau? Og i hvor stor udstrækning skal on-site vedvarende energiproduktion være løsningen?

Nøglen til at forstå eksisterende og nye bygningers fremtidige rolle er at forstå ændringerne omkring bygningerne gennem de næste 34 år i energisystemet som sådan. Et antal rapporter har set på scenarier frem mod 2050, blandt andre Energinet.dk (2015) og Energistyrelsen (2013). Og flere analyser har siden 2006 søgt at identificere en balance mellem udbuds- og efterspørgselsiden fra et systemperspektiv<sup>1</sup>. Den seneste rapport med viden og forskning på systemniveau er IDAs Energivision 2050<sup>2</sup>, der bruges som afsæt i nærværende rapport, men lignende scenarier for energisystemet og bygningernes rolle i det kan findes i andre rapporter. Andre lande, der er involveret i en lignende proces, vil måske kunne bruge de resultater og anbefalinger, der opsummeres her.

IDAs Energivision 2050 viser, at det er teknisk muligt og inden for økonomisk rækkevidde at gå over til 100% vedvarende energi. Denne overgang kan gøres omkostningseffektivt og med en bæredygtig brug af biomasse ved at bruge en Smart Energy Systems-tilgang. Denne tilgang indebærer med et integreret energisystemdesign at udnytte synergierne mellem sektorerne til bl.a. besparelser og integreret lagring. Det er essentielt, at byggesektoren bidrager til at etablere den integrerede infrastruktur for at opnå et Danmark med 100 % vedvarende energi. Det kan give et mere robust og fleksibelt samlet system med potentiale for at skabe 50.000 jobs om året, ligesom der er færre helbredsrelaterede udgifter som følge af emissioner fra energiforsyningen.

I dag står bygninger for omkring 41% af det totale slutbruger-energibehov i Danmark (se figur 1). Dette består hovedsageligt af varme samt varmt vand og el-forbrug i husholdningsapparater og køling. Med så stort et forbrug af ressourcer i bygninger er reduktioner i el- og varmeforbrug samt ændringer i energiforsyningen essentielle for at opnå et fremtidigt omkostningseffektivt 100% vedvarende energisystem. Anbefalinger om at spare energi og at ændre brugeradfærd i driften af bygninger går

---

<sup>1</sup>Ingeniørforeningens Energiplan 2030 – baggrundsrapport; Lund H, Mathiesen B V. Ingeniørforeningen i Danmark, IDA, 2006. Varmeplan Danmark; Dyrelund A, Lund H, Möller B, Mathiesen B V, Fafner K, et al. Aalborg University, 2008. Varmeplan Danmark 2010; Dyrelund A, Fafner K, Ulbjerg F, Knudsen S, Lund H, Mathiesen B V, Hvelplund F, et al. Aalborg University, 2010. IDA's klimaplan 2050 – Baggrundsrapport; Mathiesen B V, Lund H, Karlsson K. Ingeniørforeningen i Danmark, IDA, 2009. Coherent Energy and Environmental System Analysis (CEESA); Lund H, Hvelplund F, Mathiesen B V, Østergaard PA, Christensen P, Connolly D, et al. Aalborg University, 2011. Heat Saving Strategies in Sustainable Smart Energy System; Lund H, Thellufsen J Z, Aggerholm S, Wittchen K, Nielsen S, Mathiesen B V, Möller B. Aalborg University, 2014.

<sup>2</sup> IDA's Energy Vision 2050 : A Smart Energy System strategy for 100% renewable Denmark; Mathiesen B V, Lund H, Hansen K, Ridjan I, Djørup S R, Nielsen S, Sorknæs P, Thellufsen J Z, Grundahl L, Lund R Søgaard, Drysdale D, Connolly D, Østergaard P A. Aalborg University, 2015.



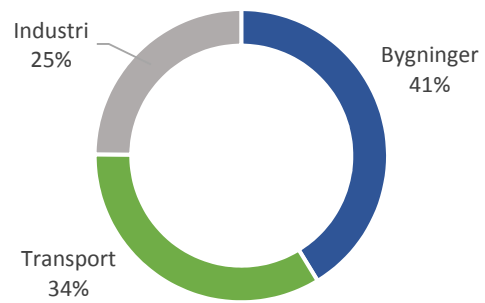
hånd i hånd med anbefalinger på forsyningsniveau. Fjernvarmedækningen bør udvides yderligere for at erstatte individuelle fyr, og nye forsyningsystemer med lavtemperatur-fjernvarme fra solvarme, storskala varmepumper, geotermi, affaldsforbrænding, biogas, industri etc. bør udbredes. Uden for fjernvarmeområder kan effektive jordbaserede varmepumper suppleret med solvarme anbefales.

I dag har vi meget strikse energikrav til nye bygninger fra 2015 og 2020. Dette løser dog ikke problemet med bygningsmassen generelt. Dette skyldes at energibesparelser og lavt energibehov i de nye bygninger ikke er nok til at reducere energibehovet i tilstrækkelig grad for energisystemet som sådan, og det store fokus på nye bygninger synes at tage fokus væk fra den eksisterende bygningsmasse og vigtigheden af el- og varmebesparelser her. Ydermere er kravene til ydeevne strikse og udformet, så de fremmer installation af on-site energiproduktion til forskudt energiforbrug. Det betyder, at produktionsenheder bliver installeret på bygninger, hvilket ikke altid en omkostningseffektiv måde at udbrede vedvarende energi på i større skala. Det isolerer også bygningerne fra systemet og gør samarbejde mellem naboer sværere, fx i forhold til varmeforsyning. Solceller bør til gengæld fremmes, også på bygninger, og er højst brugbare for elproduktionen på systemniveau. Dette bør dog ikke resultere i lavere ambitioner for bygningernes klimaskærm. Det bør ej heller resultere i støtte (direkte eller ind-direkte) af batterilagring på husholdningsniveau, hvilket kan være ekstremt dyre løsninger.

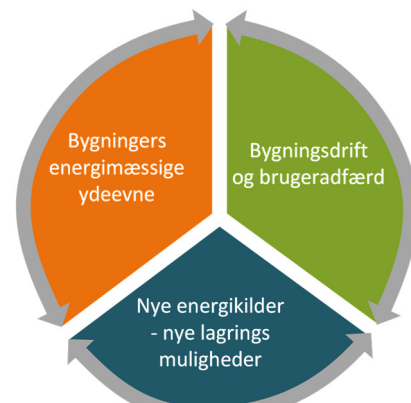
Tre gensidigt afhængige perspektiver er særligt vigtige for byggesektoren i et 100% vedvarende energisystem. For det første er bygningernes energimæssige ydeevne og forbrugsniveauet afgørende for at fremme et omkostningseffektivt vedvarende energisystem. For det andet er bygningens drift og brugeradfærd essentielt for at opnå besparelser i varme- og elbehov over tid. Og for det tredje udgør integrationen af nye energikilder og nye energilagringmuligheder og deres samspil et nøgletema i forhold til at bygningerne effektivt kan anvende den vedvarende energi. Disse tre perspektiver er gensidigt afhængige i en sådan grad, at ingen af dem er mulige uden de andre. I flere tilfælde er det nødvendigt med en parallel udvikling på de tre områder for at opnå det fulde potentiale, som bygninger kan have i en fremtid med vedvarende energi.

### **Bygningers energimæssige ydeevne**

I Danmark spiller nyt byggeri en relativt lille rolle på grund af bygningernes lange levetid. Nyt byggeri tæller kun for 1-1,5% af bygningsmassen om året, hvoraf det meste udgør en vækst i antallet af bygninger og ikke en udskiftning. Flertallet af de bygninger, der findes frem til 2050, er altså allerede bygget, og en strategi der vil øge bygningsmassens tekniske energieffektivitet må derfor fokusere på de eksisterende bygninger.



Figur 1: Opsplitning af totalt slutbruger-energiforbrug mellem forskellige sektorer i Danmark.



Figur 2: Tre perspektiver, der er nøglen til bygningers rolle i fremtidens omkostningseffektive og bæredygtige energisystem.

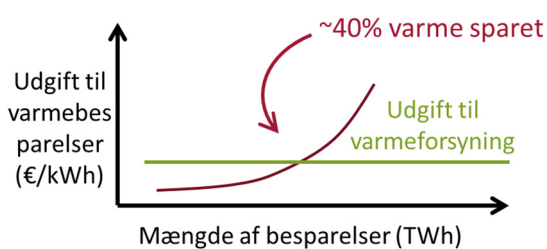
Bygningers vigtigste bidrag til den grønne omstilling er forbedring af deres energimæssige ydeevne og energibesparelser på varme, køling og el. Energibesparelser er at foretrække, så længe udgiften til at realisere besparelserne er mindre end udgiften til at øge produktionen af vedvarende energi, både med hensyn til varme og el (se figur 3). I IDAs Energivision 2050 anbefales, at størrelsen på varmebesparelserne når et gennemsnit på ca. 80 kWh/m<sup>2</sup> om året alt efter type og alder på bygningen, sammenlignet med det nuværende 132 kWh/m<sup>2</sup> om året i 2015<sup>3</sup>.

Dette sikrer, at alle huse kan energirenoveres til et punkt, hvor det giver mening for den enkelte type af bygning og lokale forhold. At opnå sådanne varmebesparelser kræver en bred og langsigtet strategi, der inddrager hele bygningsmassen. Hvis ikke besparelserne når det anbefalede niveau, kan den primære energiforsyning stige med 16 TWh om året, hvilket vil koste ca. 2 milliarder årligt. Varmebesparelser er desuden vigtige, fordi de baner vejen for lavtemperatur-varmeforsyning, som er fordelagtigt for både fremtidige fjernvarmeløsninger og individuelle varmepumper.

Fokus bør i første omgang være på at renovere bygninger fra før 1980, som har en lavere energieffektivitet end bygninger fra senere og mere strikse bygningsreglementer. Det er essentielt, at varmebesparelser i bygninger bliver implementeret samtidig med andre, almindeligt forekommende renoveringer, da implementeringer af varmebesparelser alene generelt er så omkostningstunge, at de ikke kan anbefales fra et samfundsøkonomisk perspektiv. Da generelle renoveringer typisk forekommer hvert 20.-50. år, er det afgørende at energibesparelser tages med, hver gang der foregår nogen form for renovering – ellers vil omkostningerne ved at opnå et vedvarende energisystem i 2050 efter al sandsynlighed blive højere.

Siden 1980 er bygningsmassens energiforbrug (varme og varmt vand) pr. kvadratmeter mindsket med ca. 35%, mens den totale kvadratmeterplads er øget med 40%. For at nå målet om et omkostningseffektivt, 100% vedvarende energisystem i 2050, bør ambitionen være at sætte turbo på reduktionerne i energiforbruget, så vi kommer op på 40% varmebesparelser inkl. varmt vand. Med den nuværende udvikling er det usandsynligt, at dette besparelsesniveau kan opnås uden nye stærke initiativer og politiske rammer.

Selvom nye bygninger er en mindre udfordring, er det stadig vigtigt at anbefale varmebesparelser indtil det niveau, hvor vedvarende energi er billigere. For nye bygninger anbefaler IDA's Energivision 2050 et varmebehov på ca. 55 kWh/m<sup>2</sup>.



Figur 3: Simplificeret diagram, der viser at energirenoveringer kun bør investeres i til det punkt, hvor udgiften til varmeforsyning er billigere end flere renoveringer. I den danske bygningsmasse kan spares ca. 40 % af varmeforbruget.

<sup>3</sup> De nævnte kWh/m<sup>2</sup> er indeholdt rumopvarmning og varmt vand eksklusiv elforbrug, men eksklusiv on-site energiproduktion som fx solvarme og solceller.

## Bygningsdrift og brugeradfærd

Brugernes vaner og adfærd har afgørende betydning for det reelle forbrug af energi i bygninger, så en ændring af bygningers energibehov gennem nye tekniske installationer er nødt til også at inkludere de måder, mennesker interagerer med og bruger bygningerne. For eksempel kan beboere i bygninger med lav energiydeevne holde en relativt lav temperatur i hjemmet eller nøjes med at opvarme nogle rum – og samtidig kan beboere i nyere, energieffektivt byggeri udvikle vaner med et højere energiforbrug.

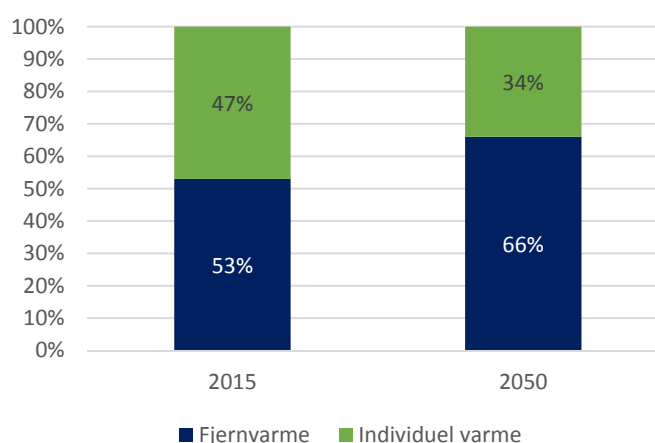
Teknologiske ændringer som isolering, intelligente elmålere, termostater, on-site energiproduktion osv. må følges af adfældsændrende tiltag, som resulterer i et lavere energiforbrug i driftsfasen<sup>4</sup>.

I forhold til den overordnede fleksibilitet i systemet og evne til at integrere vedvarende energikilder overvejes både fleksibilitet på systemniveau og fleksibelt behov og energilagring i bygninger. Som beskrevet i IDAs Energivision 2050 og Smart Energy systems-konceptet er det billigere at opnå integration af energisektorerne end fleksibilitet og lagring på bygningsniveau. Selvom fleksibelt el- og varmebehov måske kan bidrage til at reducere spidsbelastninger på produktionsværkerne, kan besparelser reducere spidsbelastningerne mere konsistent i driftsfasen. At sende prissignaler på elmarkedet er en dyr og ineffektiv måde at opnå fleksibilitet på. Elektrificering af fjernvarme, transport og produktion af hydrogen gennem elektrolyse kan give mere omkostningseffektiv fleksibilitet og lagring end enkelte bygninger. De økonomiske og ressourcemæssige tab ved at fremme energilagring i batterier på husholdningsniveau vurderes til at være høj uden nøje regulering på området, da el kan lagres på tidspunkter. Samtidig med, at kraftværker med fossile brændsler dækker et højt elbehov om dagen er risikoen, at el fra solceller lagres i husstands batterier. Risikoen er ligeledes at strømforbruget fra batteriet sker om natten, hvor elbehovet generelt er lavt, og hvor der er andet vedvarende energi i elsystemet. Batterilagring er desuden en dyr form for lagring i forhold til andre muligheder som varmelagre og gas- og flydende brændselslagre.

Behovet for effektivitet og varme-, køling- og elbesparelser er vigtigere, end at bygninger har energilagre eller er med til at balancere udbud og efterspørgsel. Bygningers største bidrag til et 100% vedvarende energisystem er gennem effektivitet: Ved at mindske det totale energibehov, ved at mindske spidsbehovet og dermed behovet for installeret kapacitet, og forhold til varmforsyningen ved at mindske varmetemperaturen gennem mere energieffektive bygninger. Bygningsreglementer, afgifter og



Figur 4: Bygningsdriften bør tage hensyn til teknologi og brugernes viden, vaner og normer.



Figur 6 Opdeling af varmeforsyningsteknologier inden for bygninger

<sup>4</sup> Gram-Hanssen K. Housing in a sustainable consumption perspective. In: Reisch LA, Thøgersen J, editors. Handb. Res. Sustain. Consum., Cheltenham, Massachusetts: Edward Elgar Publishing; 2015, p. 178–91

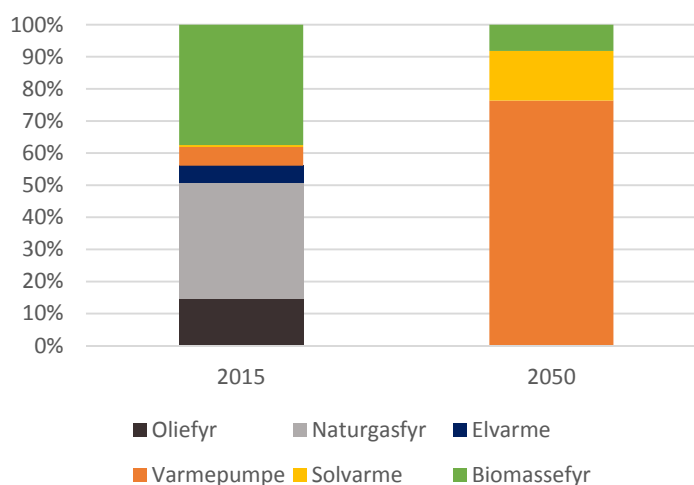
innovativ udvikling bør fokusere på at reducere energiforbruget, muliggøre lavtemperatur-fjernvarme og mindske spidsbelastning gennem passiv varmelagring.

### Nye energikilder – nye lagringsmuligheder

På energiforsyningsiden kan teknologier som store varmepumper i fjernvarme, lavtemperatur-fjernvarme, store varmelagre og jordbaserede varmepumper som individuel løsning aktivt og omkostningseffektivt hjælpe med at integrere vedvarende energi i det bredere energisystem. I IDAs Energivision 2050 repræsenterer disse infrastrukturer forbindelsen mellem varme/køling og elsektoren, samt systemfleksibiliteten i lagringsmulighederne. Jo mere energieffektiv bygningsmassen er, jo flere synergier og fordele kan skabes for hele systemet, der måske vil indeholde tre gange så meget vindkraft som i dag. Elektricitetssammensætningen kan måske bestå af mere end 80% fluktuerende, vedvarende energikilder i 2050.

Fjernvarmedækningen bør øges også til at omfatte nye bygninger alt efter lokale omkostninger og forhold. Omkostningerne bliver lavere ved at erstatte individuelle fyr med fjernvarme og jordbaserede varmepumper. Biomassefyr bør ikke støttes, men vil forefindes i mindre grad. Lavere temperaturbehov i bygningerne øger effektiviteten i alle disse forsyningsmuligheder.

Når det er muligt, bør solvarme installeres som supplement til jordbaserede varmepumper eller biomassefyr. Solceller er en vigtig del af fremtidens energisystem. Solceller bør støttes med en balanceret ordning, der fremmer de mest prisoptimale installationer, hvilket i nogle tilfælde er på bygninger og i andre tilfælde på marker. Behovet for bygningsisolering på den ene side og installationen af solvarme eller solvarme på den anden, bør ikke blandes sammen i de lovgivningsmæssige rammebetingelser for eksisterende og nye bygninger.



Figur 5. Fordeling af total varmejerning oprett i individuel varme og fjernvarme.

## Energitekniske pointer og anbefalinger

### Bygningers energimæssige ydeevne

- I fremtiden vil bygninger – som det allerede er tilfældet i dag – stå for en stor del af efterspørgslen på varme, køling og elektricitet i energisystemet. Men for at nå målet om 100% omstilling til vedvarende energi, må efterspørgslen efter energi reduceres. **Det er dermed essentielt, at bygningsmassen medvirker til omstillingen via energireduktioner.** Samlet skal eksisterende bygninger reducere deres totale varmeenergiforbrug med ca. 40% fra i dag og frem til 2050 (inkl. varmt vand). Den totale efterspørgsel på elektricitet fra bygningsmassen bør fastholdes på det samme niveau som i dag, selv med flere bygninger og udbygning med elektriske varmepumper. Det betyder, at elbesparelser stadig skal fremmes i nye apparater og installationer. Energieffektivitet og energibesparelser i bygningsmassen vil forårsage et fald i det totale forbrug af energi, reducere varmespildet i bygninger, reducere energiefterspørgslen i spidsbelastningsperioder og betyde et fald i det nødvendige temperaturniveau, der kræves fra varmforsyningsteknologier. Dette er meget vigtigt for systemets generelle ydeevne.
- Nybyggeriet udgør hvert år arealmæssigt mellem 1% og 1,5% af den samlede bygningsmasse. De fleste nybyggerier repræsenterer en vækst i bygningsmassen, mens resten er udskiftning af bygninger, der blot udgør ca. 0,25% bygningsareal om året. Totalt set forventes det, at arealet af nye bygninger vil stige med samlet ca. 25-30% fra i dag og frem til 2050. Bygninger, der bygges i dag, skal overholde kravene til energieffektivitet i henhold til BR15. **Det betyder for bygningsmassen som helhed, at det er mindre vigtigt at fokusere på nye bygninger med henblik på at spare energi i fremtidens energisystem,** da der kun vil være behov for meget begrænset renoveringsaktivitet på disse bygninger frem mod 2050.
- Ca. 90% af bygningsmassen, der eksisterer i dag, vil stadig eksistere i 2050. Derfor må energibesparelser løbende opnås i den eksisterende bygningsmasse. For at få et omkostningseffektivt energisystem er det en forudsætning at eksisterende bygninger reducerer det totale varmeenergiforbrug med ca. 40% fra i dag og til 2050. **Det betyder, at det gennemsnitlige forbrug af varme pr. kvadratmeter for den eksisterende bygningsmasse skal reduceres ca. 1,5% årligt frem til 2050.** De seneste 15-20 år har gennemsnitsforbruget af varme pr. kvadratmeter været faldende med omkring 0,8%-1% årligt. Det betyder, at en stigning i renoveringstempoet er nødvendigt. Hvis det ikke lykkes inden 2050, vil omkostningerne til energisystemet være højere og efterspørgslen på biomasse overstige den tilgængelige biomasse i Danmark, ligesom behovet for vindmøller og solenergi vil stige. Dette vil på sigt betyde risici i forsyningssikkerheden og øgede omkostninger til energisystemet.
- **Renovering skal målrettes de energimæssigt dårligst fungerende bygninger først.** De fleste renoveringsaktiviteter på eksisterende bygninger bør foretages på bygninger opført før 1980. Specielt på ældre, fritliggende bygninger opført i det tidlige 20. århundrede.
- Mulighederne for at energirenovere eksisterende bygninger er afgrænsede, og **det er essentielt, at energioptimeringen gennemføres, når øvrig renovering på specifikke dele af bygningen som fx tag og vinduer alligevel skal foretages.** Det er ikke omkostningseffektivt at gennemføre energirenoveringer alene.

## Bygningsdrift og brugeradfærd

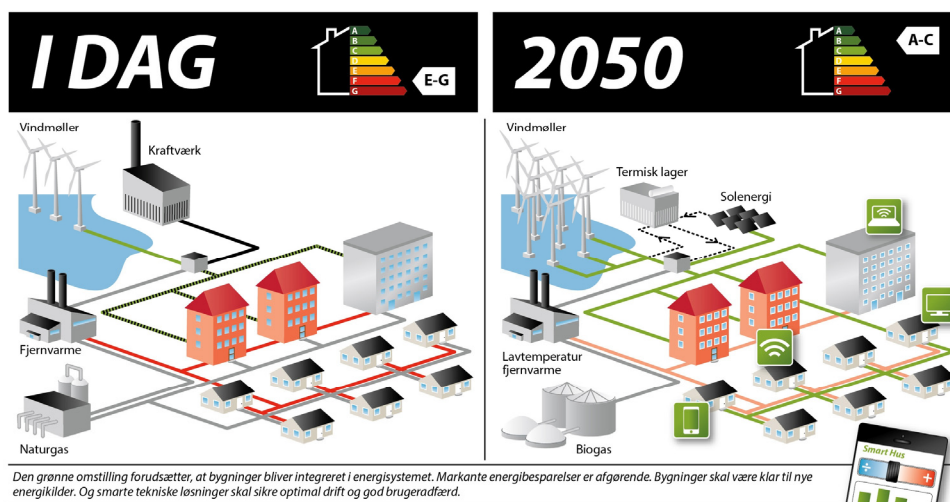
- Varme- og el-besparelser vil sandsynligvis ikke kunne opnås alene gennem tekniske foranstaltninger i og på bygningsmassen. **Det er derfor nødvendigt at kombinere fysiske tiltag og driftstiltag for at opnå en optimal brugeradfærd i bygningen**, især når det gælder el-besparelser.
- Bygningsdrift og brugeradfærd betyder så meget for bygningers ydeevne, at energiforbruget i sammenlignelige bygninger kan variere med op til en faktor 3. **Det betyder, at energirenovering af bygninger ikke alene er en garanti for energibesparelser**. Derfor er det vigtigt at tage højde for tre parametre: viden hos brugerne, vaner og normer er væsentlige at iagttage, når man gennemfører energirenoveringer og indfører teknologier som smart meters, der giver forskellige informationer til brugerne eller driftspersonalet. Sker det ikke, vil chancerne for at opnå beregnede varme- og el-besparelser efter en energirenovering med stor sandsynlighed være reduceret.
- For at optimere potentialet for bygningsdrift og hensigtsmæssig brugeradfærd er det meget **vigtigt, at bygningsdriften afstemmes med energisystemets behov og ikke de enkelte bygningers behov**. Det skyldes, at fremtidens energisystem vil være høj-integreret, og korrekt drift af bygningerne vil derfor være essentiel for at systemet kan fungere optimalt. Det betyder, at bygninger ikke bør drives isoleret fra resten af energisystemet eller driftsoptimere individuelt.
- **Bygninger bør ikke prioriteres som individuelle kilder til fleksibilitet i energisystemet**, da fleksibiliteten kan opnås billigere og med mere effektive teknologier i andre dele af energisystemet. Fx storskala varmepumper, elektrolyseanlæg og store varmelagre.
- **I enkeltbygninger er der begrænsede muligheder for fleksibilitet, for energilagring og for at bruge integreret energiforsyning til at udligne det nødvendige energibehov på bygningsniveau** (defineret som "næsten nul-energi-bygninger"). Flexibilitet og energilagringmuligheder kan opnås mere omkostningskosteffektivt og med større succes på system- end på bygningsniveau. Undersøgelser viser, at investering i passiv varmelagring er en omkostningseffektiv måde at understøtte fleksibilitet, mens investeringer i varmeakkumuleringstanke- og batterier til husstande ikke er omkostningseffektive. Energibesparelser er under alle omstændigheder vigtigere end fleksibilitet på bygningsniveau.

## Nye energikilder

- Den påkrævede fleksibilitet for at integrere fremtidens mere fluktuerende energiforsyning kan realiseres ved at integrere varme-, energi- og transportsektorerne frem mod 2050. En forbedret energieffektivitet i bygningsmassen vil hjælpe med at skabe synergi imellem sektorerne i det samlede energisystem, der tillader mere integration mellem varme- og kraftsektorerne. Med stigende fluktuation i elforsyningen, når udbredelsen af vindenergi og solenergi øges, kræves mere fleksible systemløsninger.  
**Bygninger kan bidrage til et smart energisystem ved at indgå et nyt samspil mellem energiforsyningsteknologier, der kan maksimere synergien i systemet fx i forhold til lavtemperaturfjernvarme i tætbebyggede områder og individuelle varmepumper i mindre tætbebyggede områder (landdistrikterne)**. Udnyttes disse to teknologier i integration med

flere teknologier af vedvarende energi og billigere energilagringsteknologier, kan der opnås flere fordele på systemniveau.

- **Mikro-kraftvarmeverker eller biomassekedler forekommer derimod ikke at være hensigtsmæssige**, hverken når det gælder brændseffektivitet eller ud fra et økonomisk synspunkt. Biomassekedler vil dog til en vis grad blive brugt i fremtiden, selv om der kan peges på bedre og mere effektive formål med biomasse end til opvarmning.
- Det er omkostningskosteffektivt for energisystemet at **øge andelen af fjernvarme fra ca. halvdelen af varmeforsyningen i dag til ca. to tredjedele i 2050** (målt i kWh). Dette er baseret på analyser, der har brugt GIS-kortlægning til at fastlægge omkostningerne ved at installere nye rørledninger og fjernvarmeinfrastruktur. Udvidelsen af fjernvarmen vil hjælpe til med at udnytte varmeproduktionen fra affaldsforbrænding, overskudsvarme fra industrien, geotermisk opvarmning, biogasproduktion og fast biomasse så som halm.
- **Kobles en udbredelse af fjernvarme og varmebesparelser i bygninger vil temperaturen, der leveres til bygninger, gradvist kunne reduceres frem mod 2050** og dermed øge energiudnyttelsen. Det vil samtidig bane vej for at integrere nye vedvarende energikilder, overskudsvarme fra industrien, storskala varmepumper og energilagring på systemniveau. Det er endnu uklart, hvordan bygningerne skal opgraderes for at modtage lavtemperatur fjernvarme, men det er sandsynligt at de fleste installerede radiatorer i dag vil være tilstrækkelige i fremtiden. Det vil dog kræve en særlig opmærksomhed i forhold til varmeinstallationerne i bygningerne. Monitorering af forbruget vil kunne hjælpe med styring af driften.
- **Individuelle varmepumper synes at være det bedste økonomiske alternativ til fjernvarme, når det drejer sig om bygninger, der ligger langt fra et fjernvarmenet.** Det skyldes, at varmepumper giver fordele i energisystemet gennem høj energieffektivitet, ved at være elforbrugende og have en vis fleksibilitet. Jordvarmepumper bør fremmes, da effekten i disse er højere end i luft-luft varmepumper under kolde vintre, og bygningsintegrerede solfangere kan assistere varmeproduktionsenheder så som varmepumper og biomassekedler.
- **Det er vigtigt, at energieffektivitet og bygningsintegreret energiproduktion er reguleret uafhængigt af hinanden** for at undgå, at fx installation af solceller, solvarmeanlæg eller individuelle varmepumper resulterer i lavere renoveringstakt eller husstands batterier. Bygningens energimæssige ydeevne forbliver dermed upåvirket, selvom der f.eks. er installeret solceller på taget.
- Fremtidens energisystem vil have en højere andel af solcelleanlæg med op mod 5.000 MW kapacitet installeret. **Dog er det vigtigt, at solcelleanlæg (og andre elektricitetsproducerende enheder) bliver installeret, hvor det er mest omkostningseffektivt og hensigtsmæssigt for energisystemet.** Det er ikke nødvendigt at installere solcelleanlæg på alle bygninger, og det kan være ineffektivt at installere dem på bygninger for at udligne energiforbruget i bygningen. Al el-produktion bør være tilsluttet nettet og interagere med systemet, og decentral el-lagring skal undgås, da det ikke er fordelagtigt for energisystemet og vil øge omkostningerne.



Bygningers energimæssige ydeevne	Niveau for varmebehov i eksisterende bygninger	Lavt, medium og højt	Lavt
	Niveau for varmebehov i nye bygninger	Meget lavt	Meget lavt
Bygningsdrift og brugeradfærd	Niveau for husholdningsapparaters el-behov	Medium	Lavt
	Niveau for varmepumpers el-behov	Lavt	Medium
	Energieffektiv brugeradfærd	Begrænset	Medium
	Fleksibelt behov på bygningsniveau	Intet	Meget begrænset
	On-site el-produktion og egetforbrug	Meget begrænset	Meget begrænset
	On-site el-lagring	Ingen	Meget begrænset
Nye energikilder – nye lagringsmuligheder	Niveau af fjernvarmedækning	Højt	Meget højt
	Lavtemperatur-fjernvarme	Ingen	Højt
	Storskala varmepumper	Lavt	Højt
	Individuelle varmepumper	Lavt	Højt
	Individuelle fyr	Højt	Lavt

Figur 7: Tre nøgleperspektiver, hvor den danske bygningsmasse bliver mere involveret i fremtidens energisystem