



AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Aalborg Universitet

Smart Energi i Hjemmet

Evaluering af forsøg med intelligent temperaturregulering i enfamiliehuse

Jensen, Ole Michael

Publication date:
2016

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Jensen, O. M. (2016). *Smart Energi i Hjemmet: Evaluering af forsøg med intelligent temperaturregulering i enfamiliehuse*. (1. udgave udg.) SBI Forlag. SBI Nr. 2016:15

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 providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT
AALBORG UNIVERSITET KØBENHAVN

SMART ENERGI I HJEMMET

EVALUERING AF FORSØG MED INTELLIGENT TEMPERATURREGULERING I ENFAMILIEHUSE

SBI 2016:15



Smart Energi i Hjemmet

Evaluering af forsøg med intelligent temperaturregulering i enfamiliehuse

Ole Michael Jensen

Titel Smart Energi i Hjemmet.
Undertitel Forsøg med intelligent temperaturregulering i enfamiliehuse
Serietitel SBI 2016: 15
Udgave 1. udgave
Udgivelsesår 2016
Forfatter Ole Michael Jensen
Sprog Dansk
Sidetal 46
Litteratur-
henvisninger Side 46
Emneord Enfamiliehuse, energibesparelser, klimastyring, brugerinddragelse.

ISBN 978-87-563-1778-8

Forsidefoto Nils Rosenvold

Udgiver Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet
A.C. Meyers Vænge 15 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

Med denne rapport foreligger en evaluering af det såkaldte SEIH-projekt. Med SEIH refereres der til "Smart Energi i Hjemmet", hvilket igen henviser til et omfattende forsøg med intelligent energistyring af knap 200 huse i Middelfart kommune. Formålet med projektet har været at undersøge, om der kunne opnås energibesparelser i almindelige enfamiliehuse ved at bruge automatik til at sænke temperaturen om natten, og når brugerne ikke var hjemme. Ud over automatisk styring har det været tanken at undersøge, om teknologien kunne vække brugernes interesse for energibesparelser i bred forstand og videre give anledning til ønsker om rådgivning til energibesparelser.

Ud over tilbud om fjernrådgivning er de involverede husejere løbende blevet inddraget gennem borgermøder, informationsmateriale og løbende forbrugsoplysning. Husene selv er fulgt minutløst i hele perioden, idet sensorer har logget indetemperatur og udeklima og forbrug af varmt brugsvand. Alle oplysninger er samlet op i en database og efterfølgende brugt til at analysere de opnåede resultater.

Evalueringen viser, at der kan spares energi, når der gennemføres intelligent sænkning af rumtemperaturen; men også at de besparelser, der blev opnået, meget afhænger af brugernes engagement og forståelse for automatikken.

De datamængder, der er indsamlet, har været så store, at de slet ikke er udnyttet fuldt ud. Til gengæld er datasæt stillet til rådighed for andre forskere og forskningsprojekter, bl.a. med fokus på "smart house", "smart grid" og "Internet of things".

Lidt utraditionelt slutter rapporten af med et forslag til, hvordan et efterfølgende SEIH-2-projekt kunne se ud. Dette sker, fordi SEH-projektet anviser en farbar vej til intelligent styring af varmesystemet i enfamiliehuse og videre peger i retning af styring af varmesystemet, som vil kunne spille tæt sammen med el-systemet og på den måde bane vej for indførslen af varmepumper og smart-grid.

Middelfart kommuner har ledet projektet. Den engelske energistyringsvirksomhed PassivSystems har stået for opsætning af varmestyringssystemet samt dataopsamling, mens Bolius (Boligejernes Videncenter) har været ansvarlig for fjernrådgivning og formidling under vejs. Projektet er finansieret af den erhvervsdrivende forening Realdania.

Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet
Afdelingen for Bygningers Energieffektivitet, Indeklima og Bæredygtighed
Juni 2016

Søren Aggerholm
Forskningschef

Indhold

Forord	3
Indhold	4
Sammenfatning og konklusion	5
Introduktion	8
Projektdesign	10
Projektorganisering	10
Måler-set-up	11
Brugerfladen.....	12
Dataflow	12
Brugerkontakt.....	13
Deltagere	17
Hustyper.....	18
Varmeforsyning.....	19
Gennemførelse	20
Udvælgelse af huse og husejere	20
Boligejermøder.....	21
Opsætning af udstyr.....	21
Dataopsamling	21
Databehandling.....	22
SEIH-portal.....	22
Rapporter	23
Fjernrådgivning	24
Resultater	26
Deltager-engagement	26
Energibesparelser.....	27
Fjernrådgivning	30
Effekt af rådgivning	31
Afledte resultater	32
Langsom afkøling.....	32
Nøjagtig måling af forbruget af varmt brugsvand.....	35
Afkølingsrate, varmetab og energimærke.....	38
Perspektivering	41
Uheld, fejl og mangler	42
Skitse til et SEIH-2 projekt	43
Litteratur.....	46

Sammenfatning og konklusion

SEIH-projektet er et energistyringsprojekt, der med inspiration fra England har brugt intelligent styring til at reducere energiforbruget i enfamiliehuse. Erfaringerne stammer fra energistyringsvirksomheden PassivSystems, der har udviklet en styringsautomatik, der på intelligent vis kan sænke rumtemperaturen i perioder, fx om natten, uden at dette forringer brugernes komfort. Disse erfaringer blev i SEIH-projektet forsøgt overført til danske forhold. I praksis skete det bl.a. ved at inddrage den danske afdeling af PassivSystems

Udover PassivSystems har Bolius - Boligejernes Videncenter - deltaget i projektet. Bolius har stået for kontakten til boligejerne, idet Bolius med denne kontakt skulle undersøge, om der med den rette rådgivning kunne opnås yderligere besparelser, fx gennem efterisolering og adfærdsændringer.

Kontakten til boligejerne gennemførte Bolius ved: 1. at etablere en hjemmeside, hvor den enkelte husejer havde adgang til alle oplysninger om eget hus, herunder det løbende energiforbrug. 2. at udsende husrapporter til de enkelte boligejere med detaljerede oplysninger og gode råd om energieffektivitet ("hvor langt på litteren") og 3. at forbinde oplysningerne i husrapporterne med fjernrådgivning.

Med PassivSystems og Bolius i tæt samarbejde, blev 200 private husejere i Middelfart indbudt til at deltage i projektet. Til grund for indbydelsen lå en grundig analyse af et større antal huse med henblik på at få huse af forskellig alder og byggeskik repræsenteret i forsøget. De valgte huse var fortrinsvis af ældre dato, dvs. opført før 1980, da det var i den gruppe, at man forventede, at der kunne opnås de største energibesparelser.

I alt 191 huse blev godkendt til at deltage i projektet. Imidlertid blev kun 127 huse udrustet med styring, da det viste sig at ingen af de olieopvarmede huse lod sig styre via automatik, og at installation af sensorer og styreenheder ikke lod sig gøre i 44 andre huse. Resultatet blev 55 huse med naturgaskedler og 72 med fjernvarmeopvarmning fik styring.

Automatikken gjorde det muligt at afbryde varmetilførslen i perioder. I disse perioder blev der afgivet mindre varme til omgivelserne, og der kunne på den måde spares energi. I praksis skete det ved, at automatikken i udvalgte perioder, fx om natten, lukkede for varmetilførslen, for senere på "intelligent" vis at åbne for den igen, således at en ønsket komforttemperatur var genoprettet, fx om morgenen, når familien vågnede.

Resultatet af forsøget, der forløb over 2½ år viste, at der i gennemsnit kunne spares 7% på varmeregningen, når man sammenligner forbruget før og efter forsøgets igangsættelse. I udgangspunktet blev der sparet 18%, men denne besparelse skal ses i lyset af, at vinteren forud for forsøget med automatisk styring var 21% varmere. I udgangspunktet blev der altså ikke sparet, men tværtimod brugt 3% mere. Tager man imidlertid højde for, at der alt andet lige bruges mindre energi til opvarmning i kolde vintre sammenlignet med varme vintre, og denne forskel erfaringsmæssigt kan sættes til 10% for vintre af den aktuelle karakter, bliver resultatet, at der samlet set blev sparet 7%, dog med meget store individuelle forskelle.

Med udgangspunkt i PassivSystems engelske erfaringer var det stillet i udsigt, at der kunne spares mellem 14 og 21%, altså det dobbelte eller måske tre gang så meget, som der blev sparet i det danske forsøg. Én forklaring på, at dette ikke skete, kan være, at danske huse har en relativ langsom af-

køling sammenlignet med engelske huse. Således viste det sig, at typiske danske murstenshuse, som de implicerede, kun køler ½-1 grad i timen, når der er slukket for varmen, vel at mærke med en temperaturforskel mellem ude og inde på 20 grader. Engelske huse køler 1-2 grader i timen, altså dobbelt så meget pr. tidsenhed.

En anden forklaring kan være, at husejerne i Middelfart ikke har været lige så flittige som deres engelske modpart med at sænke rumtemperaturen, når de var på arbejde om dagen eller var ude af huset i weekender og på ferier? I hvert fald har det bagefter kunnet konstateres, at det kun sjældent er sket, at husejerne har indstillet systemet til temperatursænkninger uden for natte-timerne, og det selvom alle havde adgang til et betjeningspanel, hvor det var let at ændre på den faste temperaturindstilling døgnet rundt.

Når betjeningspanelet ikke blev særlig flittigt anvendt, bliver det af husejerne begrundet med, at det var for besværligt eller mindre relevant for dem. Dette skal ses i lyset af, at et stort mindretal af de husejere, der indgik i forsøget, var ældre mennesker, der i mange tilfælde havde forladt arbejdsmarkedet og derfor brugte huset døgnet rundt.

Ud over natsækning var det tanken, at forsøget skulle skabe basis for fjernrådgivning, idet samtlige husejere med adgang til automatisk temperatursækning kunne bede om hjælp til at opnå yderligere energibesparelser, fx gennem efterisolering, udskiftning af vinduer, ændret adfærd mv.

Imidlertid var det kun få husejere, der på trods af flere opfordringer benyttede sig af denne rådgivning. Årsagen kan være almindelig modstand mod at gennemføre bygningsforandringer og modstand mod at ændre adfærd. Dertil kommer forvirring og usikkerhed omkring tolkningen af de oplysninger, man blev præsenteret for på hjemmesiden, idet de ikke altid var til at genkende i forhold til egne erfaringer.

Ikke desto mindre valgte en håndfuld husejere at gøre noget ved deres hus i de to år, hvor forsøget fandt sted. Dette gjaldt alt fra at lægge ekstra isolering på loftet, over udskiftning af vinduer til udskiftning varmeanlæg. Den løbende registrering af det faktiske forbrug forløb imidlertid ikke over så lang tid, at disse ændringer for alvor nåede at blive opfanget i det registrerede forbrug.

Dette leder frem til den overordnede konklusion, at den opmærksomhed, som forsøget gav anledning til, herunder den rådgivning, som blev tilbudt, har påvirket husejerne til at spare energi ved helt grundlæggende at være mere påpasselige og for en lille kreds sætte direkte ind med tekniske energibesparelser. Dertil kommer selve besparelsen på 7%, der er opnået takket være den automatik, der var hovedbestanddelen i SEIH-forsøget.

En sidegevinst, der blev opnået som følge af SEIH-forsøget var, at forsøget frembragte viden om danske huses mulighed for at spille en aktiv rolle et smart-grid. Således kom det for dagen, at mange ældre danske huse rent faktisk fungerede som gode "varmebatterier". Husenes havde så langsom afkøling, at der ikke kunne spares nævneværdigt med energi. Til gengæld kræver de ikke varme på et bestemt tidspunkt. Af samme grund vil de være egnede til at forsyne med varme fra varmepumper. De vil med andre ord være i stand til at forskyde deres forbrug væk fra "peak"-situationer, og ved fleksible elpriser væk fra de dyreste og mest uhensigtsmæssige tidspunkter for el-nettet - og alligevel opretholde en fornuftig komforttemperatur.

En anden sidegevinst, der blev opnået som følge af SEIH-forsøget var, at den præcise måling af varmtvandsforbruget afslørede, at det reelle forbrug af energi til fremstilling af varmt vand er langt mindre, end man normalt regner med, selv når man medregner den energi, der tilføres det kolde vand (gennem u-isolerede rør) frem mod varmtvandsbeholderen. At så en lige så stor del går til spilde på vej (gennem dårligt isolerede rør) frem mod tappestedet og tappes i afløbet, indtil den ønskede komforttemperatur opnås, er

så en anden sag. I forhold til de 800 kWh pr. person, man normalt regner med, brugte man i de involverede husstande i SEIH-forsøget kun mellem 450 og 550 kWh, hvoraf henimod 100 kWh årligt spildtes i afløbet.

Endelig som en væsentlig sidegevinst af SEIH-forsøget, kan det konkluderes af målinger over tid, at temperaturfaldet ved afbrydelse af tilførslen af varme i et hus, afdækker husets tidskonstant (afkølingsrate), som igen viser sig at kunne fungere som vægtig signatur for husets isoleringsevne, og som sådan vil kunne fungere som en god kontrol for et beregnet energimærke. Metoden har den fordel, at tidskonstanten findes ved måling og ikke ved beregning, hvilket med en passende grundighed vil kunne sikre, at tidskonstanten en gang i fremtiden kan komme til at spille en fremtrædende rolle ved bestemmelse af huses energimæssige ydeevne.

Introduktion

Med denne evaluering, er der set nærmere på konsekvenserne af at indføre automatisk nat- og dagsænkning i en række ældre parcelhuse i Middelfart kommune. Hvor meget energi kan der på den måde spares hen over året? Hvordan oplever brugerne systemet? Og kan nat- og dagsænkning i kombination med rådgivning føre til yderligere energibesparelser? Det er de tre store spørgsmål, som evalueringen har forsøgt at give svar på.

Derudover har evalueringen søgt at finde svar på, hvilke perspektiver, der tegner sig for rådgivning og benchmarking ved at foretage løbende logninger af rumtemperaturer, vandtemperaturer og vandflow mv. og sammenholde dette med vejrdata samt løbende forbrug af naturgas, fjernvarme og fyringsolie.

Projektets formål er:

- dels at demonstrere at Internet-baserede måle- og styringsenheder baner vej for automatiske energibesparelser ved fortløbende overvågning og smart styring, og
- dels at afprøve helt nye IT-baserede koncepter for brugerinvolvering og ressourceeffektiv rådgivning, hvor målinger og avancerede algoritmer giver energirådgivere og boligejere et særligt godt grundlag for at vurdere mulige tiltag.

Figur 1. Klip fra informationsfolderen til beboerne.

Til grund for evalueringen ligger løbende måling (monitorering) i 191 enfamiliehuse i Middelfart kommune. Ud af disse er der indført automatik til intelligent nat- og dagsænkninger i 127 huse. De resterende 64 huse havde monitorering men ikke styring. Dette gælder de fleste huse med oliekedler samt de huse, hvor der ikke af rent tekniske grunde var muligt at montere styringsautomatikken.

Teknologien, der blev anvendt, er leveret af virksomheden PassivSystems Nordic. Således er systemet i udgangspunktet udviklet til brug for opnåelse af energibesparelser i engelske huse. Erfaringerne herfra viser ifølge PassivSystems, at der med såkaldt smart styring af rumtemperaturen over døgnnet og året kan spares mellem 15 og 20 % på varmeregningen.

Teknikken, der blev installeret i de enkelte huse går under betegnelsen PassivLiving. Den består i princippet af en række temperaturfølere placeret i opholdsrum og soveværelse, en forbrugsmåler på varmtvandsbeholderen samt en styreenhed, som kan regulere stuetemperaturen op og ned afhængig af brugernes behov og tilstedeværelse. Det sidste kan ske mere eller mindre automatisk.

Princippet bag teknikken er den enkle, at ved at regulere temperaturen ned om natten og på tidspunkter, hvor husets beboere ikke er hjemme, sænkes varmeafgivelsen til omgivelserne, især når det er koldt udenfor, og der spares energi. En teoretisk beregning viser, at et ældre hus typisk reducerer varmetabet til opgivelserne med ca. 7%, hver gang temperaturen sænkes med en grad i fyringssæsonen, vel at mærke, når man lægger en ren varmetabsberegning til grund.

Med evalueringen er der set nærmere på, hvor meget der rent faktisk blev sparet, herunder hvilke huse, der opnåede de største besparelser, og hvilke

huse, der kun opnåede små eller ingen besparelser. Således har spørgsmålet været, om der er husets alder og konstruktion har primært indflydelse på, hvor effektivt, det er, at skrue ned for varmen, eller det måske snarere handler om, hvor aktivt brugerne går med på ideen med at spare fx ved i perioder at sænke temperaturen i huset. Dernæst har det være formålet med evalueringen at se nærmere på, om den opfølgende rådgivning gennemført af Bolius har haft indflydelse på, hvor store besparelser, der er opnået, herunder om rådgivningen har ledt til gennemførelse af egentlige energibesparelser fx i form af efterisolering.

Projektdesign

Idéen til det valgte projektdesign udspringer af erfaringer fra England, hvor man har haft held til at spare energi ved at bruge intelligent styring til at sænke temperaturen og udnytte den energibesparelse, som engelske erfaringer viser, der kan opnås.

I England har virksomheden PassivSystems demonstreret, hvordan dette kan lade sig gøre. PassivSystems blev derfor budt ind til at deltage i projektet, og til at tilpasse konceptet danske forhold. Ud over intelligent nat- og dagsænkning, blev der valgt et projektdesign, hvor brugerne blev involveret i løsningen. Ideen med dette var, at brugerinvolvering, herunder detaljeret rådgivning ville kunne øge besparelserne men også fremme afledte besparelser ved adfærdspåvirkning og energioptimering af de implicerede huse. Dette gjorde, at Bolius, der et etableret Videncenter for boligere, ligeledes blev inddraget i projektet.

Som en tredje part indgik Middelfart kommune i projektet. Middelfart kommune er kendt for tidligere forsøg med fremme af energibesparelser i enfamiliehuse. Dermed kan ideen med intelligent styring ses som en forlængelse af tidligere forsøg med brugerinvolvering i energibesparelser og CO₂-reduktion (Jensen, 2011).

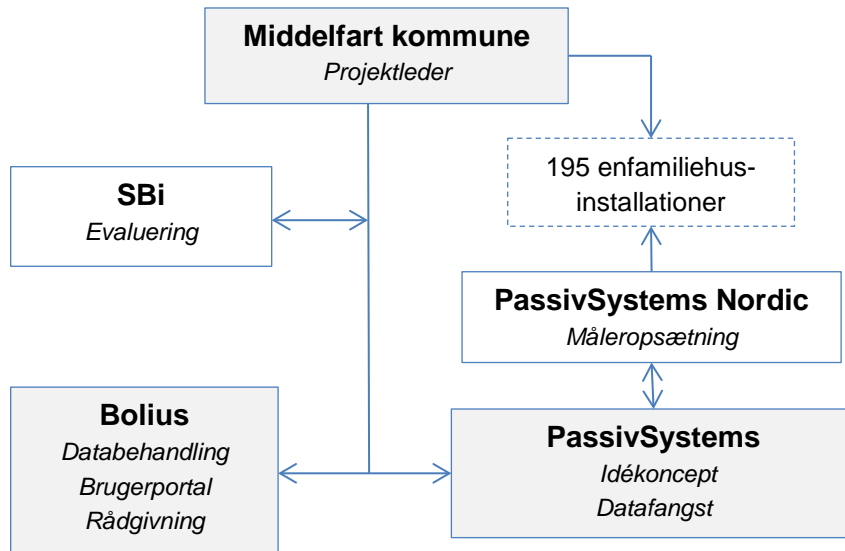
Med assistance fra kommunen blev der ud af et større udvalg af enfamiliehuse lavet aftale med 195 af ejerne til huse beliggende forskellige steder i kommunen. Husene blev valgt således, at alle typiske byggeperioder af ældre oprindelse var repræsenteret. Husene blev endvidere udvalgt, således at tre opvarmningsformer var repræsenteret, henholdsvis fjernvarme, naturgasopvarmning og olieopvarmning. Det sidste udsprang af ønsket om, at kunne vurdere om opvarmningsformen havde en indflydelse på, hvor store besparelser, der ville kunne opnås ved intelligent nat- og dagsænkning af rumtemperaturen i de pågældende huse.

Projektorganisering

Tre parter indgik i projektet: Middelfart kommune, PassivSystems og Bolius. Fra Middelfart kommunes side udnyttede man tidligere projekters erfaring med at gennemføre større projekter med energirenovering og brugerkontakt. PassivSystems er en virksomhed specialiseret i energistyring og hjemmehørende i Berkshire vest for London, mens Bolius er dansk videncenter for enfamiliehusejere støttet af den erhvervsdrivende forening RealDania.

PassivSystems blev repræsenteret af den danske afdeling af PassivSystems, kaldet PassivSystems Nordic. Ud over at skabe kontakt til en række husejere i kommunen, blev kommunes Teknik- og Miljøforvaltning udpeget til projektleder. Med streg under ny smart teknologi blev "Smart Energi I Hjemmet" valgt som varmemærke for projektet - eller kort SEIH.

SBi blev knyttet til SEIH-projektet med henblik på at evaluere projektet. De to udførende parter, PassivSystems Nordic og Bolius, har henholdsvis stået for opsætning af automatik og logning af data osv. mens Bolius har stået for databehandling, udarbejdelse af rapporter til husejerne samt rådgivning undervejs. Lagring af data fandt sted på en server i PassivSystems modervirksomhed i England. Se diagram over projektets organisering, figur 2.



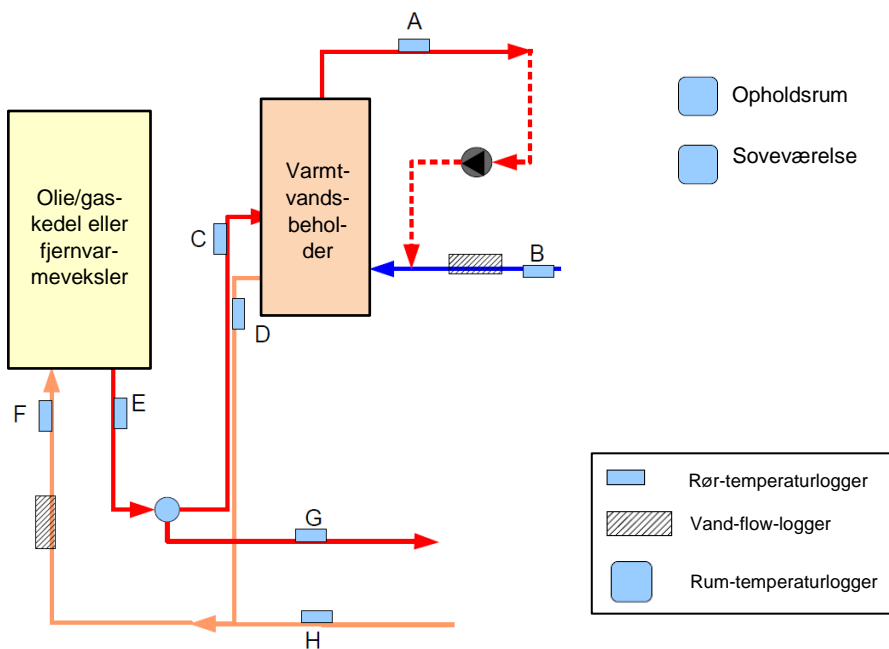
Figur 2. SEIH-projektets organisering. De to udførende parter er PassivSystems og Bolius, mens SBI har stået for evalueringen.

Måler-set-up

PassivSystems Nordic varetog måleropsætning. Dette skete i praksis ved at PassivSystems Nordic fik energiselskabet TREFOR til at udføre opgaven, hvilket betød, at det var VVS-virksomheder og elektrikere tilknyttet TREFOR, der løste den praktiske del af opgaven.

I hvert huse blev der opsat en række sensorer med loggere til registrering af flow og temperatur. Se figur 3.

Som det fremgår af diagrammet, var der opsat to flowmålere, én som viser hvor meget vand der passerer gennem kedlen og én, der viser, hvor meget vand der passerer gennem varmtvandsmåleren. Da det i praksis viste sig umuligt at placere flowmåleren ved kedlen, blev denne måler i de fleste tilfælde opgivet.



Figur 3. Principdiagram, som viser hvordan de enkelte målere i form af temperatur og flow-loggere er placeret i det enkelte hus. Rumtemperaturloggeren i opholdsrummet blev anvendt som censor til styring af PassivSystems automatiske temperatursænkning.

Alle andre målere blev opsat efter planen. Det drejer sig om to temperaturfølere ved henholdsvis tilgang og afgang til brugsvandssystemet (A og B), to temperaturfølere ved varmtvandsbeholderens til- og afgang til varmforsyningen (C og D), om to temperaturfølere ved kedlens tilgang og afgang til den samlede varmforsyning (E og F) og endelig to temperaturfølere ved varmesystemet tilgang og afgang til rumopvarmningen (G og H). I alt blev der opsat en flowmåler og 8 temperaturmålere med elektronisk logning, knyttet til centralvarmesystemet. Derudover blev der logget temperatur i opholdsrum og soveværelse. Den løbende registrering af temperaturen i stuen har været styrende for den automatiske natsænkning og evt. dagsænkning.

Alene sensoren knyttet til rumtemperaturloggeren placeret i opholdsrum var nødvendig for at drive PassivSystems intelligente natsænkning. De andre sensorer var designet og sat op for at kunne levere informationer om det løbende varmeforbrug og varmtvandsforbrug samt levere afkølings- og opvarmningskurver til analyse for husenes evne til at holde på varmen i perioder med afbrudt varmetilførsel.

De tekniske vanskeligheder med at opsætte flowmåler ved kedel betød, at det ikke var muligt at følge den samlede varmeproduktion løbende.

Brugerfladen

PassivSystems brugerflade var ganske enkelt at benytte for deltagerne. Via et kontrolpanel kunne brugerne udpege de perioder, hvor varmforsyningen skulle afbrydes. Systemet var på forhånd indstillet til at give natsænkning, hvorfor natsænkning skulle vælges aktivt fra, hvis dette var uønsket. Omvendt med dagsænkning, eller sænkning af temperaturen i ferieperioder e.l. Her skulle brugeren vælge temperatursænkning aktivt til. Det var med andre ord op til de enkelte husejere, om de ville gå videre og spare mere, end der kunne spares ved natsænkning.

Når det gjaldt natsænkning kunne brugerne gå ind via kontrolpanelet og i detaljer indstille tidspunktet om aftenen, hvor der skulle slukkes for varmetilførslen og tidspunktet om morgenen, hvor temperaturen igen skal nå en ønsket komforttemperatur.

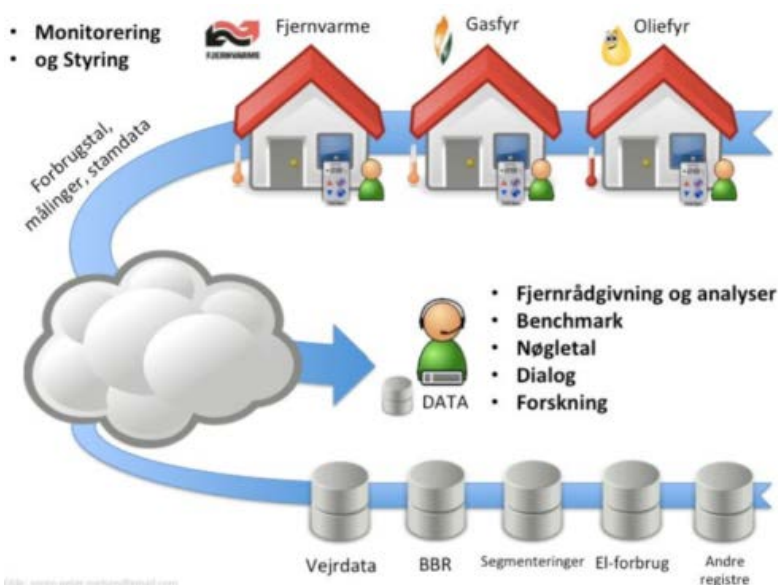
Når det gælder dagsænkning, kunne husstandens familiemedlemmer løbende gå ind og slå dagsænkningen til eller fra, fx når den sidste forlod huset eller den første kom hjem. Dette kunne ske på en synlig "tilstandsknap", idet familiemedlemmer umiddelbar kunne se, om knappen stod på "inde" eller "ude". Som ved natsænkning kunne man ved dagsænkning af temperaturen fastsætte de tidspunkter, hvor man regnede med at være hjemme for derved at sikre, at husets rum havde opnået en ønsket komforttemperatur på et valgt tidspunkt. Sidstnævnte indstillinger ville også kunne foretages via en internetadgang, fx ved brug af smartphone.

Dataflow

PassivSystems dataopsamling skete løbende over Internettet og blev tilgået PassivSystems server i England. Herfra har den danske deltager, Bolius, modtaget data løbende i form af datapakker. Disse datapakker er derpå pakket ud og overført til Bolius' server. Data er efterfølgende overført til Bolius' eget databaseprogram, et databasesystem af typen MongoDB. I modsætning til traditionelle relationsdatabaser opererer MongoDBs med dynamiske skemaer. Fordelen ved dette er, at mange sammenhørende data, fx alle informationer tilhørende en og samme måler samles i såkaldte "data books".

Udover data opsamlet via sensorer og loggere i den enkelte huse er der til Bolius MongoDB database tilflydt data fra fjernvarme- og naturgasselskab, Olie-

fyrssaflæsninger. Dertil kommer stamdata for de enkelte husholdninger, vejrdata og BBR-data mv. Dog er elforbruget i de enkelte huse ikke opsamlet og overført til databasen.



Figur 4. Data fra de enkelte forsyningselskaber samt olieforbrug på den ene side og vejrdata, BBR-oplysninger mv. på den anden side. Kilde Søren Peter Nielsen PassivSystems.

De mange data, der på den måde blev samlet op, er efterfølgende forsøgt omsat til nyttig viden. En del af denne viden var tilsigtet de deltagende husejere direkte. En anden del var tilsigtet Bolius til brug for rådgivning af husejerne, dvs. kunder hos Bolius. En tredje del af den opsamlede viden var tilsigtet forskerne, bl.a. på Statens Byggeforskningsinstitut.

Både forbrugsoplysninger og oplysninger fra BBR-registret blev lagt ind i Bolius databaseprogram. Det samme gjaldt vejrdata samt oplysninger indsamlet løbende via spørgeskemaundersøgelser til husejerne. Alle data blev samlet og integreret i en og samme database (Mongo). Herfra kunne der efterfølgende trækkes oplysninger ud til en brugerportal og ud til rapporter stilet til de enkelte husejere.

SBi har i forskningsøjemed haft løbende adgang til såvel rådata som behandlede data.

Brugerkontakt

De involverede husejere blev i udgangspunktet rekrutteret af Middelfart kommune. Dette skete ved, at Middelfart kommune med brev henvendte sig til de husstande, der på forhånd var blevet udvalgt på den måde at både nye og gamle huse, store og små huse, og store og små husstande blev repræsenteret, vel at mærke fra både fjernvarme og naturgasområder, mv. Se nedenfor. Udsendelse af breve skete samtidig med udsendelse af en pressemeddelelse, der skulle sikre lokal omtale. Med brevet modtog husejerne en invitation til at deltage i SEIH-projektet samt en velkomstbrochure, der mere i detaljer fortalte om projektet, og de betingelser, der knyttede sig hertil.

I alt blev der gennemført fire rekrutteringsrunder, før det ønskede antal husstande på 200 var nået.

Igen blev den enkelte husejer informeret om, hvordan han eller hun ville kunne spare energi ved at bruge systemet aktivt. Igen bliver det understreget, at den sænkning af temperaturen på udvalgte tidspunkter, som er ryg-raden i systemet, sker automatisk. Det bliver med andre ord understreget, at systemet ikke er noget, man skal tænke over det i hverdagen, bortset fra hvis man ville opnå ekstra besparelser ved at etablere dagsænkning af temperaturen, dvs. bruge systemets "tilstedeværelsesknap" aktivt. Endelig blev man oplyst om muligheden for at kunne følge forbruget og ændre på "sætværdierne" for nat- og dagsænkning af temperaturen. Der omtales også en iPhone-APP. Denne når imidlertid ikke at blive udviklet færdig under forsøget.

Da først forsøget kom i gang, bestod brugerkontakten i, at man i den enkelte husholdning kunne følge udviklingen i forsøget på brugerportalen, og samtidig følge med i sit eget forbrug.

Sådan forløber projektet

Projekt 'smart energi i hjemmet' løber over tre år:

- 1** I den første fyringssæson får du opsat udstyr, der måler dit energiforbrug. Det giver dig en grundlig og præcis viden om dit forbrugsmønster og husets varmeforhold.
- 2** I den anden fyringssæson får du opsat ekstra udstyr, der styrer dit energiforbrug intelligent. Det kan mindske dine udgifter til energi, uden at du behøver at ændre vaner.
- 3** I den tredje fyringssæson fortsætter du med at anvende den intelligente energistyring.

Figur 7. På SEIH-portalen bliver brugene grundigt orienteret om det forestående forsøg. Fx har det allerede fra begyndelsen stået klart, at forsøget ville forløbe over tre år.

I forsøgsperioden blev der gennemført tre spørgeskemaundersøgelser. Svarene herfra blev sammen med måleroplysningerne gjort tilgængelige på brugerportalen. Sidst men ikke mindst blev der tilbudt rådgivning. Rådgivningen blev nært forbundet med udsendte rapporter.

En særlig side på brugerportalen blev anvendt til at give svare på de mange spørgsmål, der typisk melder sig, når ny teknologi skal tages i brug, såkaldte FAQs. Mange af de spørgsmål, der på forhånd kunne besvares vedrørte udstyr og tidsplan, og hvad der vil ske, hvis der skete uforudsete ting undervejs, så som at udstyret ikke virkede, husejeren flyttede osv. Også spørgsmål om datasikkerhed blev besvaret på dette sted. Husejere blev i samme forbindelse orienteret om de forpligtelser, de selv havde, ved at være med i forsøget. Det sker under et særligt faneblad. Endelig blev husejerne orienteret om de muligheder, de havde for at gå aktivt ind i forsøget, herunder vælge at lægge uheldig brugeradfærd af sig.

Rådgivning

En vigtig komponent i SEIH-projektet var forsøg med fjernrådgivning. Her var ideen den, at husejerne, når de fik synliggjort deres forbrug og af rådgiver blev oplyst op besparelsesmuligheder, ville få interesse i at benytte rådgiveren til at identificere oplagte energisparemuligheder, herunder rette ind på uheldig brugeradfærd. Rådgivningen blev bygget op omkring rapporter udsendt til den enkelte husejer, se nedenfor. Fjernrådgivningen blev varetaget af Bolius baseret på dataindsamling fra målere, BBR-register samt to spørgeskemaundersøgelser.

Rapporter

Ud over brugerportalen, er husejerne i to runder blevet tilsendt en såkaldt husrapport, henholdsvis en åbningsrapport i foråret 2013 og en slutrapport i foråret 2015. Bolius stod bag udsendelse af rapporterne, ligesom Bolius har stået bag den rådgivning, der fandt sted på baggrund af rapporterne.

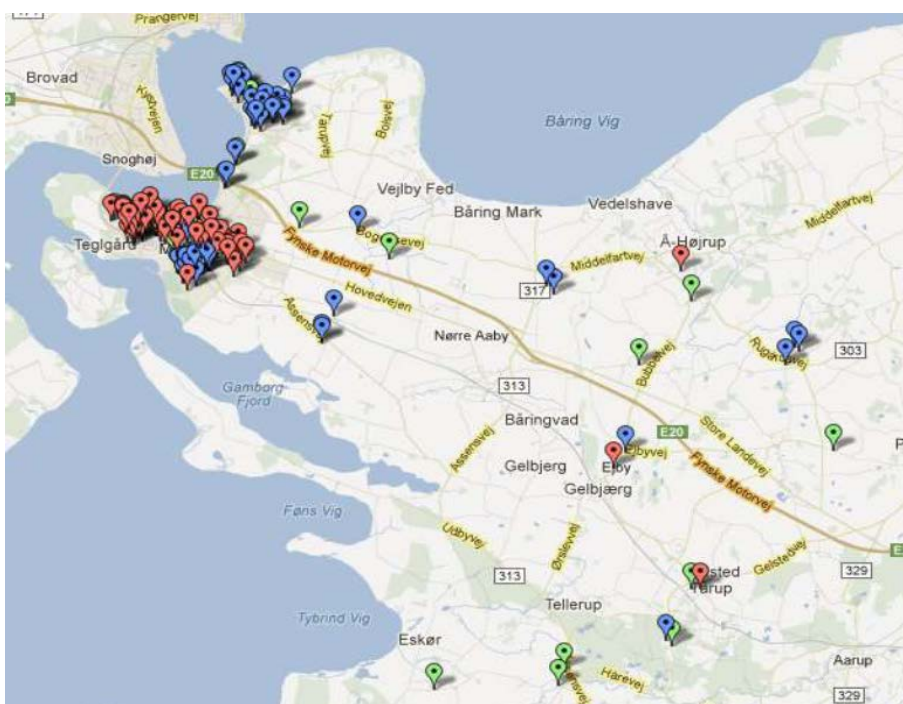
I rapporterne, stilet til hvert hus i SEIH-projektet, gennemgås det pågældende hus, idet oplysninger fra BBR-registret og oplysninger indsamlet via spørgeskemaundersøgerser blev lagt til grund.

I første runde blev der udsendt 191 rapporter, dvs. til alle deltagerne. I anden runde blev der kun 11 rapporter. Den sidste udsendelse var afmålt efter den interesse husejerne havde udvist.

Deltagere

I alt 191 enfamiliehuse kom efter enkelte frafald til at indgå i forsøget. Ud af disse blev der installeret automatisk dag- og natsænkning i 127 huse. Resten af husene, dvs. 44 huse med naturgas og fjernvarme samt alle 20 huse med oliefyr, har fungeret som kontrolgruppe i den forstand, at der i disse huse kun finder monitorering og ikke styring sted.

Husene blev valgt, således at flere byggetyper og alle relevante byggeperioder var repræsenteret. Ligeledes blev der valgt huse fra forskellige forsyningsdistrikter, dvs. huse som indgår i den kollektive varmforsyning i form af fjernvarme og naturgas og huse, med individuel varmforsyning typisk i form af oliekedler. Tilsvarende blev der ved valget af huse gjort bestræbelser på, at forskellige husstandstyper blev repræsenteret. Kort sagt blev det ved udvælgelsen af huse og husstande sikret en vis spredning, således at resultaterne så vidt muligt var repræsentative. Se videre om udvælgelsen i kapitel om gennemførelse.



Figur 8. I alt 191 huse indgik i SEIH-forsøget. Det største antal huse er beliggende i eller omkring Middelthart by. Disse er typisk forsynet med fjernvarme (røde nåle). Et mindre antal huse forsynet med naturgas (blå nåle) ligger mere spredt i kommunen. Endelig indgår der et lille antal olieopvarmede huse (grønne nåle) i forsøget. Kortudsnit: Google Maps.

Hustyper

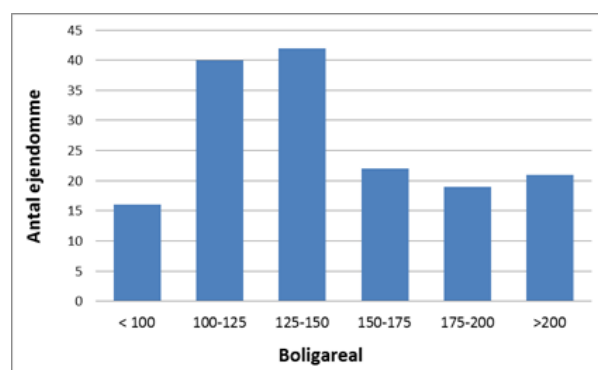
Der er i de fleste tilfælde tale om traditionelle enfamiliehuse. Dog indgår der et antal byhuse og landejendomme i forsøget. Endelig indgår et mindre antal række og klyngehuse.

Tabel 1. Fem hustyper er repræsenteret i forsøget. Fire af rækkehusene er enderækkehuse. Som det fremgår af tabellen er langt størstedelen af de 195 deltagende huse fritliggende parcelhuse. Tallene er baseret på spørgeskemaundersøgelse, hvor 147 husejere har svaret.

Hustyper	Procent
Fritliggende parcelhus	74,1
Landejendom	5,4
Rækkehus/klyngehus	6,1
Byhus	14,3

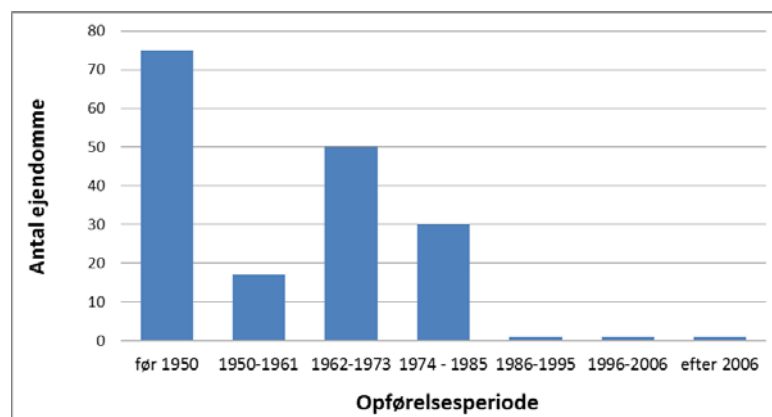
For langt hovedparten af husene er der tale om murstensbygninger eller tilsvarende konstruktioner opført i sten eller gasbeton. Kun 12 ejendomme er opført i lette materialer så som træ og eternit.

Ejendommene spreder sig arealmæssigt over hele spektret fra et opvarmet areal på 76 m² til et opvarmet areal på 250 m². De fleste huse i deltagerkredsen har et opvarmet areal i omegnen af 125 m², se figur 9. Gennemsnitsstørrelsen er 148 m².



Figur 9. De involverede ejendomme fordelt på seks arealkategorier. Opgørelsen baserer sig på resultat af spørgeskema udsendt ved projektets start.

Godt 75 af de implicerede huse er opført før 1950 (43%). 17 huse er opført i perioden 1950-1961 (10%), 50 huse (29%) er opført i perioden 1962-1973 og 30 huse (17%) er opført i 1974-1985. Endelig optræder der tre nyere huse i undersøgelsen opført i tre senere perioder siden. Husenes opvarmede areal går fra 70 m² til 260 m², se figur 10.



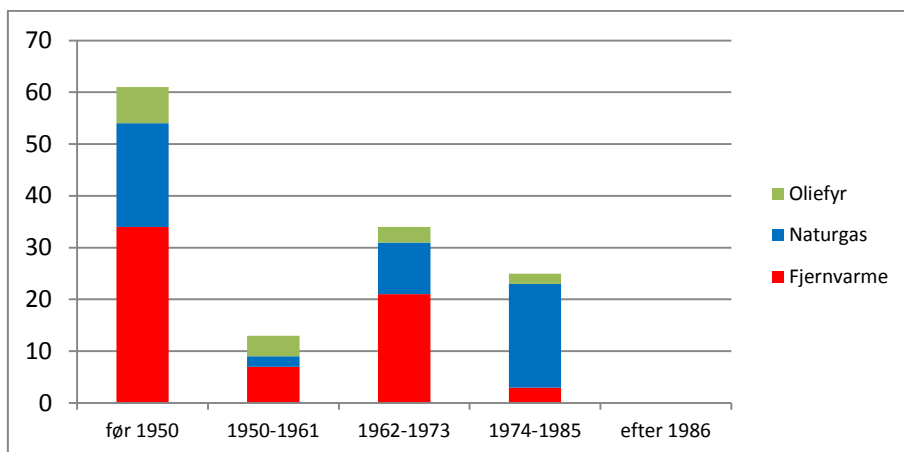
Figur 10. Den største andel af huse, som indgår i forsøget er opført før 1950. Den næststørste gruppe af enfamiliehuse er opført i perioden 1962-1973. Opgørelsen baserer sig på resultat af spørgeskema udsendt ved projektets start.

Perioderne, der er valgt, afspejler de såkaldte bygningsreglementsperioder. Dvs. de perioder, hvor kravene til bygningers isoleringsevne og energieffektivitet har været uændret. De fleste af de implicerede huse opført før, der for alvor stilles krav i bygningsreglementet til bygningers isoleringsevne, dvs. før 1985. På den baggrund kan det forventes, at de fleste af huse har et energiforbrug på mellem 150 og 250 kWh pr. m². Undtagelser vil forekomme for huse, der er blevet efterisoleret og evt. har fået tilbygninger af nyere dato.

Af besvarelserne i spørgeskema udsendt til husejerne forud for monitorering og styring fremgår, at 85 eller ca. halvdelen af husene på et tidspunkt har fået en tilbygning. Ligeledes fremgår det, at en stor del af husene er efterisoleret. For ydervæggene gælder, at kun 22 af husene ikke er hulmursisoleret. Blandt disse er 6 huse efterfølgende forsøgt efterisoleret udvendigt, evt. indvendigt på ydermuren.

Varmeforsyning

Husene, der indgår i undersøgelsen, er for de flestes vedkommende tilsluttet den kollektive varmforsyningsnet, henholdsvis 80 til fjernvarmenettet og 40 til naturgasnettet. 34 huse opvarmes med individuelle oliekedler. I 54 af husstandene supplerer man med anden energikilde, typisk fastbrændsel-kedel og brændeovn. Men der optræder også huse med pillefyr, varmepumpe og solvarmeanlæg.



Figur 11. Husene fordelt op opførelsesperiode samt forsyning. De fleste nyere huse er forsynet med gas

Gennemførelse

SEIH-projektet har gennemløbet en forsøgsperiode på tæt ved 3½ år. Det blev indledt i begyndelsen af 2012 og løb frem til af midten 2015.

Projektet blev gennemført over tre faser, hver især bundet op på en serie af arbejdsopgaver. I den indledende fase (A) blev husejerne udpeget, og der blev indgået kontrakter. Dette muliggjorde i slutningen af den fase, at opsætning af det nødvendige måleudstyr og begyndende logning af forbrug kunne finde sted. I den altdominerende driftsfase (B), som forløb fra december 2012 og frem til januar 2015 var automatikken slået til i alle huse, samtidig med at der skete løbende logning af data. I slutfasen (C) foråret 2015, blev udstyret pillet ned og projektet afsluttet. Data til afrapportering er sket løbende (D), idet de fleste input til afrapporteringen stammer fra de første og sidste arbejdsopgaver.

Tabel 2. Oversigt over projektets forskellige faser med tilhørende arbejdsopgaver. Monitoring og brug af automatik forløb parallelt i hele 2013 og 2014 og frem til forsøgets afslutning i april 2015.

Faser		2012		2013		2014		2015	
Arbejdsopgaver		1	2	1	2	1	2	1	2
A	1. Udvælgelse af husejere								
	2. Borgermøder								
	3. Opsætning af udstyr								
B	4. Monitoring								
	5. Brugerportal								
	6. Automatik i drift								
	7. Dataopsamling								
	8. Husejerportal								
C	9. Rådgivning								
	10. Nedpilning af udstyr								
	11. Afrapportering								

Til databehandlingen skal medregnes fortolkning og videreformidling af såvel måledata som oplysninger indsamlet gennem to spørgeskemaundersøgelser, oplysninger om forbrug fra forsyningsselskaber samt klimadata. Spørgeskemaundersøgelserne blev gennemført forud for hver af de intensive rådgivningsopgaver. En brugerportal stod åben for husejerne i hele driftsfasen.

Udvælgelse af huse og husejere

Udvælgelsen af de huse, der skulle være med i SEIH-projektet gennemløb tre runder. I første runde blev der set på alle huse i Middelfart kommune, der kunne leve op til en række på forhånd opstillede krav. Udover krav om enfamiliehusstatus, var det et krav, at huset skulle være opført før 1980, og ikke ifølge BBR-registret være udrustet med supplerende varmekilder. Dernæst var det et krav, at husene skulle være forsynet med enten fjernvarme, naturgas eller olie. Endelig var det et krav, at man på forhånd havde kendskab til det årlige energiforbrug. Dette samt en række oplysninger fra BBR-registret skulle sikre, at man fik frasorteret såkaldte "outliers", dvs. huse der af den ene eller anden grund var ekstreme. I alt var der 4500 huse, der levede op til kravene.

Ud af denne pulje blev der udtrukket 300 huse. Et særligt ønske ved udvælgelsen var, at man godt ville have huse fra Landsbyen Føns med. Her fandt

man en særlig aktiv gruppe med interesse i effektiv energiudnyttelse, som, man fra projektledelesens side fandt det interessant, var med i forsøget.

Målet var oprindeligt 300 deltagende husstande. Dette blev af sparehensyn reduceret til 200. Således viste det sig, at omkostningerne ved selve installationen var større end først skønnet.

I december 2013 blev anden fase i udvælgelsesprocessen indledt med en egentlig rekruttering. Der blev sendt brev ud til de udtrukne 300 husstande, samtidig med, at man fra SEIH-sekretariatets side sendte en pressemeddelelse ud om SEIH-projektet. På den baggrund var meldte 75 husstande sig.

I januar 2013 blev der yderligere sendt 100 invitationer ud til relevante husejere. Også denne gang blev rekrutteringen understøttet af en pressemeddelelse. Kun få meldte sig, og der blev fulgt op på rekrutteringen igen i februar. Igen blev det fulgt op af en pressemeddelelse, hvor der samtidig blev givet grønt lys for fri tilmelding.

På dette tidspunkt manglede der fortsat deltagere, hvorfor man i marts valgte at finde de sidste deltagere blandt de husejere i Føns, der opfyldte kriterierne. Derved kom man i mål og havde i april 2013 nået op på 200 deltagere.

Ved alle udsendelser modtog husejerne et eksemplar af introduktionsfolderen. Se figur 5 og figur 6 ovenfor under brugerkontakt.

I mellemtiden var tredje fase skudt i gang, dvs. selve kontraktunderskrivelsen. Dette gav et frafald og dermed anledning til, at rekrutteringen måtte intensiveres i slutfasen.

Boligejermøder

Som opfølgning på den løbende indgåelse af kontrakter, blev der afholdt fire boligejermøder. Det første blev afholdt den 24. marts 2013 i Byggecentrum. Et efterfølgende boligejermøde blev afholdt den 13. september. Her var temaet det styringssystem, som de fleste boligejere daværende tidspunkt havde fået installeret i huset. Derpå blev der afholdt et boligejermøde 22. oktober 2014, hvor der blev fokuseret på fjernrådgivning. Her deltog Bolius i mødet. Et sidste boligejermøde blev afholdt den 3. december 2015.

Til det første boligejermøde mødte 200 mennesker op. Dette betyder at størstedelen af de indbudte husstande var repræsenteret. Ved de efterfølgende møder faldt interessen, forstået på den måde, at deltagertallet faldt til henimod det halve.

Opsætning af udstyr

Opsætningen af udstyr skete over en længere periode, dog således at monitoring, dvs. måling af forbrug varmtvandsproduktion kunne iværksættes før det egentlige startskud på forsøget, dvs. det tidspunkt, hvor der blev iværksat automatisk temperaturstyring i de enkelte huse.

Dataopsamling

Opsamlingen af data via Internettet, idet PassivSystems server i England har opsamlet data fra datahubben placeret i de enkelte huse. Når denne løsning blev valgt, og ikke en lokal løsning ved PassivSystems Nordic, evt. formidlet direkte til Bolius' server i København, skyldtes det udelukkende, at den engelske server uden ekstra investeringer og udbygninger kunne varetage opsamlingen, helt som det allerede skete for engelske kunder.

I praksis er data opsamlet af hubben i de enkelte huse, en gang i døgnet, og derpå overført til England i såkaldte datapakker. Disse datapakker er efterfølgende sendt videre til Bolius.

Mængden af data, der er logget har været omfattende. Især PassivSystems løbende logninger af temperatur- og flowmålinger løber over de tre år op over 1 mia. datalogninger. Som eksempel er der alene for at følge vandforbruget foretaget logninger fra en flowmåler og to temperaturmålere, der for hvert hus løber op over ½ mio. datalogninger, se dataomfang i tabel 3.

Tabel 3. Tabellen viser, at den store mængde data knytter sig til PassivSystems logninger. Langt mindre datamængder stammer fra de implicerede forsyningselskaber samt klimalogninger fra DMI.

Dataleverandør	Datamængder
PassivSystems	1.020.936.972
NGF (Naturgasfyn)	565.511
Middelfart Fjernvarme	104.316
DMI	164.854

Databehandling

I Danmark blev Bolius valgt som dataoperatør. Bolius skulle stå for analyse af data og videreformidling af fortolkede data til husejerne i Middelfart. For at dette kunne lade sig gøre, blev der en gang om måneden overført en datapakke til Bolius server indeholdende alle loggede data fra temperaturloggere flow-målere osv.

Derudover blev der opsamlet data fra en nærliggende klimastation samt forbrugsoplysninger fra forsyningselskaberne for de husejere, der i perioden fik leveret naturgas eller fjernvarme. Naturgasforbruget blev logget med timeværdier og fjernvarmeforbrug med døgnværdier. Olieforbruget er blevet indrapporteret af husejerne selv.

Derudover er Bolius server blevet brugt til opsamling af resultater fra to spørgeskemaundersøgelser samt resultat af dataanalyse til brug for SEIH-portal og rapporter henvendt på de enkelte husejere med henblik på at opnå yderligere energibesparelser.

SEIH-portal

Med SEIH-portal har den enkelte husejer i forsøget haft mulighed for at læse om projektet og se nyheder om dette. Imidlertid var det også muligt for den enkelte husejer at logge sig ind på portalen og der genfinde BBR-oplysninger om eget hus, genfinde egne svar fra gennemførte spørgeskemaundersøgelser og sidst men ikke mindst følge med i forbrugsudviklingen for så vidt angår naturgas og fjernvarme.

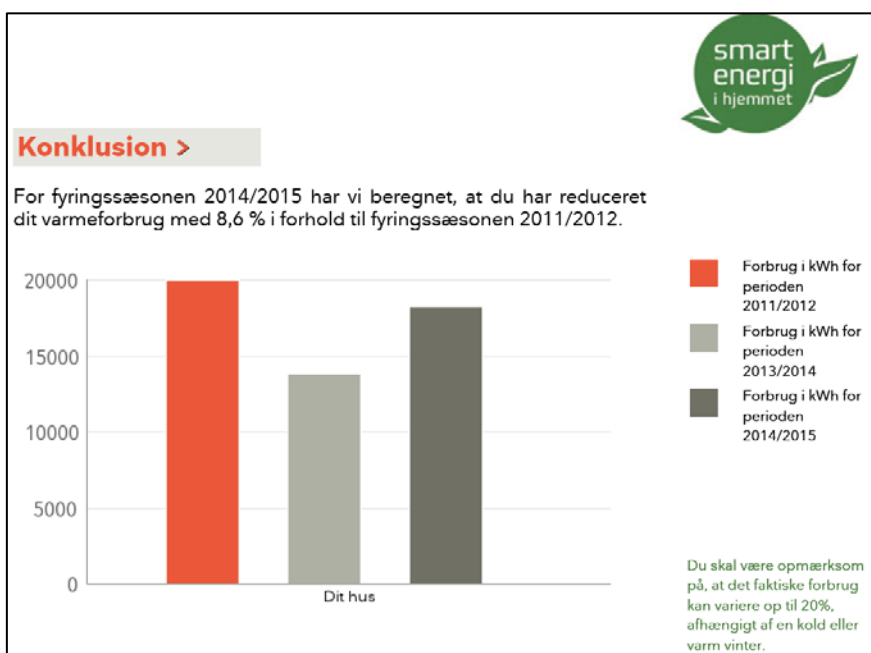


Figur 12. På SEIH-portalen har husenerne i hele projektløbet kunnet finde deres eget hus og her finde stamdata, BBR-oplysninger samt i tal og diagrammer følge med i det løbende forbrug.

Rapporter

Forud for Bolius' fjernrådgivning blev der udsendt såkaldte rapporter. Det skete i foråret 2013 med en åbningsrapport og anden gang i foråret 2014 og endelig i efteråret 2015 med en slutrapport. Alle 124 tilmeldte husstande modtog en åbningsrapport, og alle deltagere blev dermed tilbudt fjernrådgivning. Det samme gjaldt i foråret 2014, hvor der ligeledes blev udsendt 124 rapporter

Slutrapporten blev derimod kun sendt til 11 husejere, dvs. de husejere, der tidligere havde vist interesse for at modtage fjernrådgivning. Udover en række baggrundsoplysninger, indeholdt begge de udsendte rapporter en kort introduktion til projektet herunder tilbud om fjernrådgivning. Slutrapporten indeholdt en konklusion med oplysninger om energiforbruget gennem de tre forsøgsår. Dette forbrug forklares nærmere i rapporterne, idet der dels redegøres for betydningen af kolde og varme vintre (graddagekorrektion), dels refereres til den energiklasse og dermed det energimærke, som det aktuelle hus i praksis kunne tildeles.



Figur 13. Eksempel fra tekstsiden i slutrapporten, her omhandlende energiforbruget de tre forsøgsår. Disse tal bliver i rapporten forklaret nærmere, idet der gøres rede for, hvor meget varmere eller koldere de efterfølgende sæsoner har været efter en graddagekorrektion.

Som en udløber af forbrugsopgørelserne, fortæller rapporterne efterfølgende om husets energieffektivitet, dels ved at fortælle, hvor langsomt huset køler ned, efter at der er afbrudt for varmetilførslen, dels at fortælle hvor hurtigt huset varmes op igen, efter at varmetilførslen sluttet til igen. Rapporten taler henholdsvis om en afkølingsrate og en opvarmningsrate, dvs. hvor mange grader temperaturen falder og stiger pr. time.

I rapporterne oplyses tilsvarende om varmtvandsforbruget. Og da det vedrører varmtvandsforbrug bliver sammenligning gjort mulige ved at opgøre det i forbrug (kWh) pr person. Det opgjorte forbrug af energi til fremstilling af varmt vand sammenlignes med gennemsnittet i alle huse i forsøget.

Rapporten rummer også en kommentar til den registrerede temperatur i stue og soveværelse. Det sker i et afsnit om "Komfort og indeklima". Kommentaren kan være, "din stuetemperatur er under gennemsnittet som er 21.2°C " eller "din natsænkningstemperatur, som er 19.8°C, er over gennemsnittet". Det sidste refererer til, at SEIH-forsøget ikke mindst går ud på at sænke nattemperaturen, hvorfor en bemærkning, som den citerede, er et påmindelse til husejeren om, at der kan spares energi ved at sænke nattemperaturen mere, end det sker.

Sammen med flere gode råd slutter rapporten med en opfordring til husejeren om at kontakte en rådgiver i Bolius for at få uddybet oplysningerne i rapporten.

Fjernrådgivning

Ideen med fjernrådgivning var, at husejerne skulle have tilbud om energirådgivning gennem hele forsøgsperioden. I praksis blev det iværksat ved at opfordre husejerne til at kontakte Bolius, når der var spørgsmål, som brændte sig på. Husejerne blev med andre ord opfordret til via en telefon- eller Skype-samtale komme i direkte dialog med rådgiveren for på den måde at få personlig rådgivning om de muligheder, som rådgiveren så for at spare energi i det enkelte hus.

Da kun få husejere henvendte sig, blev der organiseret rådgivningsforløb, med i alt 39 fjernrådgivninger. Den første fjernrådgivning blev gennemført i januar 2014. Den anden i oktober 2014 og endelig den tredje oktober 2015. Den første fjernrådgivning skete over Skype/Face time, og de to andre ved brug af almindelig telefoni.

Tabel 4. Oversigt over antal deltagere i Bolius' fjernrådgivning.

	Tidspunkt	Antal rådgivninger	Fjernrådgivning
1. Fjernrådgivning	Januar.2014	18	Skype/Face time
2. Fjernrådgivning	Oktober 2014	10	Telefonopringning
3. Fjernrådgivning	Oktober 2015	11	Telefonrådgivning

Som en opfølgning på rækken af fjernrådgivninger skrev Bolius ud til husejerne for at høre, om de havde fået noget ud af rådgivningen og især om de rent faktisk havde gennemført energirenoveringer, evt. blot gjort tiltag, som det hedder opfordringen, se ordlyden i figur 14.

Kære alle SEIH-deltagere,

I forbindelse med SEIH-projektets første, anden og tredje runde af fjernrådgivning, kunne vi godt tænke os at vide, om hvorvidt I har energirenoveret jeres hjem, eller gjort mindre tiltag for at spare på energien. På et tidspunkt har I talt med en Boliusrådgiver, som måske har foreslået en efterisolering af loftet, udskiftning af vinduerne, eller noget andet, og det er dette vi efterspørger om hvorvidt I har draget nytte af vores fjernrådgivning. I må meget gerne smide mig en mail, med eventuelle tiltag, og om det har rykket på varmeregningen og komforten. På forhånd, og på vegne af Bolius, siger jeg tak.

Figur 14. Ordlyden i det brev, som Bolius sendte til husejerne for at få disse vurdering af rådgivningen.

Kun to svarer, den ene, at man har udskiftet radiatorventiler, den anden, at man i forbindelse med ombygning har sat nye ventiler op. Se nærmere om resultater af brevet til husejerne.

Resultater

Resultaterne af SEIH-forsøget kan gøres op på flere måder. I første omgang samler interessen sig om de energibesparelser, der har kunnet opnås gennem automatisk nat- og dagsenkning, dvs. udbyttet af SmartSystems løbende senkning af rumtemperaturen i de huse, der fik installeret styring. Dette resultat skal naturligvis ses i lyset af de enkelte husejeres deltagerengagement, herunder om de er gået mere eller mindre aktivt med i forsøget, idet det ud over natsenkning har stået husejerne frit for at lukke ned for varmen i dagtimerne eller sænke temperaturen på bestemte tidspunkter af ugen eller året.

I anden omgang har interessen samlet sig om den effekt, der ville kunne opnås af en rådgivning som den Bolius har ydet, herunder interessen for og effekten af den hjemmeside, som alle husejere har haft adgang til, og de rapporter, som nogle af husejerne har modtaget.

En særlig type resultater, som ligger uden for det oprindelige program er de afledte resultater, der blev opnået takket være forsøget om de enkelte huses afkøling. Hertil regnes ny viden om varmtvandsforbrug, og ny viden om danske huses afkøling, når der etableres natsenkning, eller omvendt: husenes evne til at holde på varmen. Et tredje afledt resultat handler direkte om afkølingsrater.

Deltager-engagement

Gennem hele forløbet fra de første husstande fik styringsenheden til intelligent energistyring installeret og til forsøgets ophør, har et vekslende antal husstande været aktive i forsøget. De har været aktive på den måde, at de mere eller mindre har udnyttet mulighederne for nat- og dagsenkning af husets rumtemperatur. De mest aktive brugere har både udnyttet den obligatoriske natsenkning og udnyttet mulighederne for at spare energi ved også at bede om i hverdagen at anmode om dagsenkning og i ferier anmode om ferie-senkning. To stikprøver taget i henholdsvis 2014 og 2015 viser, hvor aktive brugerne har været de pågældende dage, se tabel 5.

Ud af i alt 110 husstande med energistyring har mellem 95 og 100 husstande været aktive i den forstand, at de har udnyttet den obligatoriske natsenkning. Kun halvdelen har imidlertid valgt den pågældende dag at gå skridtet videre og udnytte muligheden for dagsenkning, se tabel 5.

Tabel 5. Stikprøver, som viser hvor aktive brugerne har været med hensyn til at vælge nat- og dagsenkning samt eventuel ferie-senkning. Tallene i parentes angiver antallet af husstande, hvor man har holdt nat-/dag-/ferie-senkning konstant over de undersøgte døgn.

	Antal huse	Nat-senkning (konstant)	Dag-senkning (konstant)	Ferie-senkning (konstant)	Ingen senkning
28.01.2014	110	99 (1)	57 (1)	0 (0)	7
19.02.2014 (vinterferie)	109	98 (1)	58 (1)	0 (0)	4
11.02.2015 (vinterferie)	93	93 (0)	41(3)	4 (2)	13
22.03.2015	92	92 (1)	24(2)	3 (2)	9

To af stikprøverne er taget i skolernes vinterferie (uge 8 i 2014 og uge 7 i 2015). Heraf fremgår, at man i to husstande - i begge de valgte uger - har valgt feriesænkning. Det lavere antal huse med dagsænkning i februar og især marts 2015 kan være udtryk for at forsøget nærmer sig sin afslutning og interessen for at være aktiv da var svækket.

Enkelte huse har holdt indstillingerne konstant over de undersøgte døgn. Dette betyder at hverken automatik eller bruger har "rørt" ved indstillingsknapperne. En oplagt antagelse må være, at disse husstanden ikke har brugt systemet, evt. har opgivet at bruge det.

Energibesparelser

Energiforbruget i de enkelte huse foreligger i form af indberetninger fra fjernvarmeselskab og naturgasselskab. I de oliefyrede huse bygger forbrugsopgørelserne på husejernes egne indberetninger af olieforbrug. En opgørelse over det faktiske forbrug af brændsler og energi før forsøget, dvs. vinteren 2012-13 fremgår af tabel 6, her vist som forbrug pr. kvadratmeter.

Lidt uventet ligger det gennemsnitlige energiforbrug anvendt på opvarmning i huse opført i perioden 1962-1973 højere end i huse opført i perioden før. Dette kunne tyde på, at de ældre huse ved udstrækning er blevet efterisoleret eller bruger andre varmekilder fx brændeovn. En anden årsag til det lavere brug i ældre huse, kan være, at man som ejer af et gammelt hus, er mere fokuseret på at spare på varmen, hvor det kan lade sig gøre fx ved nat- og dagsænkning. Ikke overraskende er forbruget lavest i huse opført i perioden efter energikrisen, dvs. fra 1974 og frem. Der optræder ingen nyere huse i forsøget. De anvendte opdeling i tidsperioder referer til byggeskik og perioder med uændrede energikrav jf. bygningsreglementet.

Tabel 6. Energiforbruget i de 133 SEIH-enfamiliehuse, som der forelå målinger på i vinteren 2012-13. Forbruget, der er opgjort i kWh/m², er fordelt på forsyning og opførelsesår.

KWh/m ²	før 1950	1950-1961	1962-1973	1974-1985	Alle huse
Alle forsyninger	143	130	135	109	133
Fjernvarme	134	136	140	118	135
Naturgas	154	97	116	112	129
Olie	156	128	173	64	140

Vinteren efter, dvs. i 2013-14, og et år efter forsøgets start faldt energiforbruget markant. Igen bliver husene fra perioden 1962-1973 noteret for et relativt højt forbrug. Imidlertid er der i denne fyringssæson så stor afstand ned til de ældre årgange af huse. Der spares altså relativt mindre på varmen i de gamle huse, når vinteren som 2013-14 var mild, se tabel 7.

Tabel 7. Energiforbruget i de samme 133 huse som ovenfor, men nu året efter, dvs. vinteren 2013-14. Igen er forbruget fordelt på forsyning og opførelsesår. Der er indregnet, at 3 huse i mellemtiden har fået udvidet boligarealet.

KWh/m ²	før 1950	1950-1961	1962-1973	1974-1985	Alle huse
Alle forsyninger	115	105	108	90	107
Fjernvarme	119	117	119	103	118
Naturgas	117	87	92	91	101
Olie	91	88	99	56	87

lavere energiforbrug til opvarmning i 2013-14 kan imidlertid ikke udelukkende tilskrives besparelser. Som nævnt var vinteren 2013-14 en mild vinter, mere præcist 21 % lunere end den foregående vinter, når forbrugene begge år graddagekorrigeres. Dette betyder, at det lavere forbrug i 2013-14 ikke umiddelbart kan karakteriseres som besparelse, men tværtimod som et øget forbrug. Deraf de negative tal i tabel 8, som viser, hvordan besparelserne fordeler sig efter graddagekorrektion, dvs. modregnet den klimaforskel, der var mellem en relativ kold fyringssæson 2012-13 og en relativ varm fyringssæson 2013-14. De store forskelle noteret for huse opvarmet med olie skyldes usikkerhed omkring indberetninger af olieforbrug. Dertil skal bemærkes at olieopvarmede huse ikke har været omfattet af natsænkningforsøget.

Tabel 8. De opnåede besparelser efter graddageregulering. Negative tal betyder, at der reelt blev brugt mere energi til opvarmning i 2013-14 end i startåret 2012-13. Som det fremgår af tabellen, har alle huse til sammen brugt 3,5 % mere energi vinteren 2013-14 sammenlignet med vinteren 2012-13. Den største stigning er sket blandt fjernvarmebrugere.

	før 1950	1950-1961	1962-1973	1974-1985	Alle huse
Alle forsyninger	-6,3 %	-5,2 %	0,2 %	-0,8 %	-3,5 %
Fjernvarme	-9,1 %	-7,8 %	-4,5 %	-6,3 %	-7,4 %
Naturgas	-0,3 %	-10,2 %	1,1 %	2,4 %	0,9 %
Olie	-10,0 %	0,5 %	27,3 %	-24,2 %	-2,2 %

For imidlertid at tegne et reelt billede af de opnåede besparelser, er det nødvendigt at indregne den såkaldte varm-vinter-effekt. Varmvinter-effekten er udtryk for, at energiforbruget efter graddagekorrektion generelt er større, når vinteren er lun, end når vinteren er rigtig kold. Effekten, som hænger sammen med, at de fleste finder det mere naturligt at spare på varmen, når det er koldt udenfor, end når det er varmt. Med en kold vinter øges faren for, at varmeregningen løber løbsk eller blot stiger ud over det budgetterede. Anderledes udtrykt, vil husejerne typisk være mere motiveret for at spare på varmeregningen, når det er koldt udenfor.

Varm-vinter-effekten er vanskelig at bestemme, da mange forhold spiller ind, herunder måden, den varme eller for så vidt kolde vinter forløber på. Dertil kommer, at måden hvorpå kolde og varme vintre følger efter hinanden i sig selv har betydning. Alt sammen bunder det både vaner, sparelyst og komfort, alt sammen menneskelige og ikke mindst psykiske faktorer.

Sammenligner man imidlertid en række vintre, vil man se, at rigtig kolde og rigtig varme vintre lægger sig henholdsvis 10 % over og 10 % under normalen.

I det aktuelle tilfælde havde vinteren 2012-13 et graddagetal (3143), der i Middelfartområdet lå 7,5 % over normalen, mens den efterfølgende vinter havde et graddagetal (2470), der lå 17,5 % under normalen, der er fastlagt til 2905 graddage. I praksis betyder det, at den aktuelle varm-vinter-effekt ved at gå fra den kolde vinter 2012-13 til den varme vinter 2013-14 skønsmæssigt kan sættes til 10 %.

Overført til de opnåede resultater efter graddageregulering, vil de opnåede forbrug reelt ligge 10 % højere, som angivet i tabel 9. Naturgasforbrugerne har opnået de største besparelser, naturgasbrugerne de mindst. Selvom olieforbrugerne lægger sig på gennemsnittet, må dette resultat alligevel tages med forbehold, idet den løbende indberetning af olieforbrug har været af svingende kvalitet.

Tabel 9. De opnåede besparelser efter graddageregulering og efterfølgende korrektion for en varm-vinter-effekt på 10 %. Som det fremgår af tabellen har alle huse til sammen opnået en besparelse på 6,5 %. Størst har besparelsen været for Naturgasbrugere, ikke mindst hvad angår nyere huse opført i perioden 1974-1985. Besparelserne opnået blandt oliebrugere er som følge af mangelfuld indberetning omgærdet af stor usikkerhed, og kan i sagens natur ikke tilskrives natsænkning.

	før 1950	1950-1961	1962-1973	1974-1985	Alle huse
Alle forsyninger	3,7 %	4,8 %	10,2 %	9,2 %	6,5 %
Fjernvarme	0,9 %	2,2 %	5,5 %	3,7 %	2,6 %
Naturgas	9,7 %	-0,2 %	11,1 %	12,4 %	10,9 %
Olie	0,0 %	10,5 %	37,3 %	-14,2 %	6,5 %

Slutopgørelsen viser, at det har været lettest at opnå besparelser i de nyere huse, altså huse opført fra 1962 og frem. Dette skal ses i lyset af, at disse huse, især hvad angår deres alder i udgangspunktet har et stort energiforbrug sammenlignet med de ældre årgange. Forklaringen er givet vis den, at huse opført efter 1962 har færre tunge materialer indbygget og derfor køler langsommere, når varmforsyningen, jf. forsøget, slås fra for at opnå besparelser ved fx natsænkning. Forsøget viser med andre ord, at det er lettere at opnå besparelser ved nat- og dagsænkning, hvis huset er bygget af lette materialer og typisk er opført efter 1961.

Dette bekræftes af en stikprøve taget den 28. januar, som viser hvem og hvor mange husstande, der denne vinterdag har aktiveret natsænkningen. Sammenligner vi disse husstande med resten ser vi, at nyere huse og især naturgasbrugere med huse fra 1962-1973 sparer ekstra meget, se tabel 10. Dette bekræfter samtidig, at det er svært for ældre huse at opnå besparelser ved natsænkning. Godt nok har de et større forbrug; men da de køler langsomt er gevinsten ved natsænkning begrænset.

Tabel 10. Den gennemsnitlige besparelse blandt de huse, der havde natsænkning den 28. januar 2014 sammenlignet med den gennemsnitlige besparelse for alle huse (små tal).

	før 1950	1950-1961	1962-1973	1974-1985	Alle huse
Alle forsyninger	3,2 % 3,7 %	2,4 % 4,8 %	9,1 % 10,2 %	11,5 % 9,2 %	6,2 % 6,5 %
Fjernvarme	0,7 % 0,9 %	2,9 % 2,2 %	6,9 % 5,5 %	5,6 % 3,7 %	3,1 % 2,6 %
Naturgas	7,1 % 9,7 %	-0,2 % -0,2 %	13,1 % 11,1 %	12,5 % 12,4 %	10,0 % 10,9 %

Laver man den samme øvelse og afgrænser sig til de 39 huse, hvor både nat- og dagsænkning er aktiveret den 28. januar 2014, ser billedet ud som vist i tabel 11.

Tabel 11. Den gennemsnitlige besparelse blandt de huse, der havde både nat- og dagsænkning den 28. januar 2014, sammenlignet med den gennemsnitlige besparelse for alle huse (små tal).

	før 1950	1950-1961	1962-1973	1974-1985	Alle huse
Alle forsyninger	1,2 % 3,7 %	0,7 % 4,8 %	7,8 % 10,2 %	8,7 % 9,2 %	4,1 % 6,5 %
Fjernvarme	2,0 % 0,9 %	1,1 % 2,2 %	3,3 % 5,5 %	7,7 % 3,7 %	2,4 % 2,6 %
Naturgas	-0,2 % 9,7 %	-0,2 % -0,2 %	11,5 % 11,1 %	8,9 % 12,4 %	6,1 % 10,9 %

Lidt overraskende giver det ikke yderligere besparelser, i det mindste ikke så markant, at de 39 huse, der kører med dagsænkning den pågældende dag sætter sig markante sport i gennemsnittet, tværtimod.

Sammenfattende må det konkluderes at nat- og dagsænkning, som det er blevet praktiseret i SEIH-projektet giver energibesparelser. Der er, som beregnet, opnået gennemsnitlige besparelser på 7 % fra vinteren 2012-13 til vinteren 2013-14, vel at mærke efter graddagekorrektion og korrektion for varm-vinter-effekten. De største besparelser opnår naturgasbrugerne (10.9 %), de mindste fjernvarmebrugerne (2,6 %). Dernæst viser målingerne, at yngre huse med lette konstruktioner opnår de største besparelser, mens ældre huse med tunge konstruktioner opnår de mindste besparelser. På grund af usikkerheden, lykkedes det ikke at påvise, at nat- og dagsænkning øger besparelserne. Dette vil igen sige, at metoden til energibesparelser anvendt i SEIH-forsøget, dvs. periodevis afbrydelse af varmen til hele huset, opnår de bedste resultater i huse opført i perioden fra 1962 til 1985. Desværre indgik der ikke i forsøget huset af nyere dato.

Fjernrådgivning

Fjernrådgivningen blev udført af Boliuss' energirådgivere. Rådgivningen var først og fremmest baseret på den viden, der kom fra husejerne selv, dvs. svar via to spørgeskemaundersøgelser. Dernæst byggede rådgivningen på oplysninger fra BBR-oplysninger, dvs. almindelige oplysninger om bygningen så som opførelsesår, opvarmet areal, varmforsyning osv. Endelig var rådgivningen baseret på løbende registreringer af forbrug, afkøling, rumtemperaturer, varmtvandsforbrug mv. Disse oplysninger kom dels fra gas- og fjernvarmeleverandørerne, dels fra opsamling af måleresultater fra Passiv-Systems.

Oplysningerne fra husejerne selv viste sig at være vigtige for at komme i den rette dialog med husejerne. Tilsvarende var oplysninger fra BBR-registret en hjælp for rådgiverne, da det gav et første vigtigt signalement af de enkelte huse. Endelig var det gavnligt for rådgivningen, at man lå inde med de aktuelle oplysninger omkring husejernes løbende forbrug af naturgas og fjernvarme, da dette var en vigtig indikator på, om store eller små forbrug, skulle knyttes til bygningen eller brugeradfærden.

Anderledes med de måleroplysninger, der tilgik Boliuss fra PassivSystems løbende logninger. Disse viste sig kun i begrænset omfang at kunne nyttiggøre i rådgivningen, især fordi udtræk af væsentligt fra uvæsentligt viste sig at volde store problemer. Dels fra datamængden enorm, dels var det mere krævende end ventet udvikle de analyseværktøjer, som skulle gøre det nemt at finde oplysninger om fx varmtvandsforbrug, og afkølings- og opvarmningsrater.

Det lykkedes med en del besvær frem mod første rådgivningsrunde at fremdrage oplysninger omkring de enkelte huse afkølings- og opvarmningsrater, dvs. den hastighed hvormed husene blev afkølet, når varmetilførslen, typisk ved midnatstid blev slået fra, samt den hastighed, hvormed husene genvandt komforttemperaturen, typisk tidligt om morgenen. Oplysningerne blev samlet i rapporter, som brugerne modtog forår og efterår 2014. Det var imidlertid svært for rådgiverne at forklare husejerne, at en hurtig afkøling havde den fordel, at natkøling gav en stor besparelse, men også, at dette var et tegn på, at huset var både utæt og dårligt isoleret. Ordet afkølingsrate var i sig selv et svært begreb, og når både en høj og en lav afkølingsrate have både ulemper og fordele, blev det i realiteten vanskeligt at levere gode råd omkring dette fænomen.

Det samme gjaldt varmtvandsforbruget. Et stort varmtvandsforbrug kan i sig selv være en stor belastning af varmeregningen, hvortil kommer vandregningen. Imidlertid viste de første gennemregninger, at stort set alle huse havde et lavt varmtvandsforbrug. Det betød, at der ikke umiddelbart var grundlag for at uddele gode råde på dette område. Imidlertid var der fejl i ud-

regningerne, eller rettere: det viste sig, at Passivsystemet logninger med 2-minutters intervaller havde afstedkommet så store datamængder, at det i sig selv var en kompliceret opgave at fremdrage et korrekt opgørelse over varmtvandsforbruget i kalorier eller kWh.

Set i bakspejlet melder Bolius tilbage, at man skulle have holdt sig til at rådgive ud fra mængden af forbrugt varmt vand, fx på døgnbasis og på dette grundlag give gode råd til storforbrugerne om, hvordan man eventuelt kunne spare på det varme vand.

Effekt af rådgivning

Der har været svært at spore nogen direkte effekt af rådgivningen. Tilbagemeldinger fra enkelte husejere vidner dog om en vis effekt. I hvert fald er der flere husejere, der melder tilbage, at de har foretaget en del for at spare energi. Som eksempel skriver et par:

Vi fik sidste år i november udskiftet radiatorventiler og termostater på alle husets radiatorer - 11 stk. - samt monteret klimastyring i gaskedelen.

En anden husejer skriver:

"I forbindelse med forestående byggeprojekt, får jeg fjernet én radiator og udskiftet en anden. De øvrige radiatorer i huset vil blive udstyret med nye termostater.

Det var ingen boligejere, der ifølge rådgiverne i Bolius var proaktive i forhold til at få energirådgivning – forstået på den måde, at der ikke kom henvendelser ind med direkte ønske om rådgivning. De henvendelser, der var, har mere rette sig imod tekniske fejl (PassivSystems udstyr), fejl i rapporter (forkerte tal), nedtagning af udstyr osv.

Selvom det direkte effekt af SEIH-forsøgets rådgivning er svært at gøre op, er det alligevel bemærkelsesværdigt at i alt 17 huse under SEIH-forsøget fik foretaget efterisolering af tag, og at der i 4 huse blev foretaget hulmursisolering. Dertil kommer at der i 17 huse blev foretaget hel eller delvis udskiftning af vinduer. Endelig blev der indberettet eksempler på udskiftning af termoruder til nye termoruder med energiglas. I alt var 30 huse berørt af større eller mindre energirenoveringsopgaver i perioden. I 8 huse var det mere omfattende opgaver, idet der blev foretaget både vinduesudskiftning og efterisolering af tag eller hulmur. Dette tal er højt sammenlignet med den aktivitet der sker i enfamiliehuse i øvrigt, og konklusionen bliver, at deltagelse i SEIH-projektet, med den rådgivning, der er givet, i mange tilfælde har motiveret husejerne til at energiforbedre deres hus.

Afledte resultater

SEIH-forsøget har vist, at der kan spares energi med avanceret udstyr, der er i stand til at sænke temperaturen uden at det går ud over komforten. Men takket være de mange målinger og de tætte logninger af alt fra rumtemperatur til varmtvandsforbrug har forsøget kastet viden af sig, som der ikke på forhånd var lagt op til. Disse, såkaldte afledte resultater, kan imidlertid medvirke til at sætte de direkte resultater i perspektiv, lige som de kan medvirke til at identificere pejlemærker til en fremadrettet indsats inde for smart styring af energiforbruget i almindelige husholdninger.

Et første overraskende resultat var, at de opnåede energibesparelser ikke blev større, end de blev, som følge af natsænkning mv., men også at der var så stor spredning i de opnåede varmebesparelser. Imidlertid afslørede de løbende temperaturudviklinger i det store antal huse, der indgik i SEIH-forsøget, at dette i virkeligheden skyldes, at flertallet af husene køler langsomt. Dette betyder igen, at forskellen mellem ude- og indetemperaturen ikke når at blive særlig stor, selv en kold vinternat, hvorfor varmetabet ikke falder, og varmebesparelsen ikke indfinder sig i en størrelsesorden, som forventet. Omvendt indikerer den lange afkølingstid, at husene i princippet vil kunne fungerer som gode varmelagre fx den dag, hvor de via varmepumper kan blive en del af et såkaldt smart-grid.

Et andet overraskende resultat var, at der blev brugt meget mindre energi til opvarmning af det varme brugsvand, end man kunne forvente ud fra de badevaner, der blev oplyst af beboerne, og i øvrigt ud fra hvad man normalt regner med som standard fx i bygningsreglementet. Dertil kommer at definitionen på varmtvandsforbrug med de mange data kom på en alvorlig prøve. Er den mængde energi, der går til fremstilling af varmt vand, den mængde energi, der tilføres varmtvandsbeholderen, eller er det den mængde energi der tilføres det kolde vand fra indkøbet i huset regnet med fortegn frem til tæppetstedet - eller er det den mængde energi, der kommet brugeren af det varme vand til gode?

Under alle omstændigheder har viden om afkøling og viden om varmtvandsforbrug ført til den tanke, at afkølingsraten sammen med husets varmetab og forbrug til fremstilling af varmt i virkeligheden giver et godt billede af husets energieffektivitet. Det er med andre ord lykkedes at pege på måleresultater, der kan matche det mål for energieffektivitet, man ellers kun opnår ved at gennemføre en beregning af et hus' energieffektivitet, jf. det officielle energimærke.

Langsom afkøling

Som det fremgår af afsnittet omkring opnåede energibesparelser, var energibesparelserne mindre end ventet. Dette gjaldt især de ældre huse. Forklaringen er den enkle, at de huse, der indgik i SEIH-forsøget, og især de ældre huse har så stor en termisk masse, at afkølingen kun sker langsomt. De har en såkaldt lille afkølingsrate

For at forstå dette fænomen er det nødvendigt at se på hvad, der menes med afkølingsraten eller mere teknisk den såkaldte tidskonstant (τ), som populært sagt siger hvor mange timer, det tager for et hus at tabe en tredjedel af den energi, det har indlejret. Pr. definition er det forholdet mellem et hus' varmekapacitet (samlet energiindhold) og varmetabet pr. time:

$$\tau [\text{h}] = \frac{\text{Varmekapacitet} \left[\frac{\text{Wh}}{^\circ\text{C}} \right]}{\text{Varmetab} \left[\frac{\text{W}}{^\circ\text{C}} \right]}$$

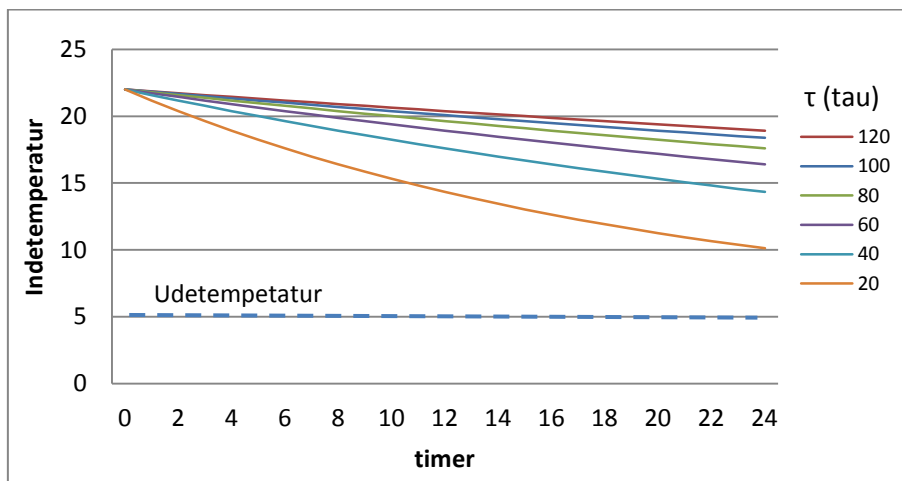
hvor τ måles i timer, varmekapaciteten i watt-timer pr. grad og varmetabet i watt pr. grad. Da temperaturen i en bygning, der ophører med at få tilført varme, afkøler efter en faldende eksponentialkurve, har man valgt at definere tidskonstanten ved eksponenten eksponentialkurvfunktionen - rundt regnet den tid, det tager bygningen at tabe en tredjedel af sin energi. Har en bygning en tidskonstant på 20 timer betyder det, at den er 20 timer om, at miste en tredjedel af sit ekstra energiindhold jf. den omgivende temperatur.

Vil man med andre ord følge temperaturfaldet i en bygning og kender τ , sker det efter følgende formel:

$$T(t) = T_u + (T_i - T_u) * e^{(-t/\tau)}$$

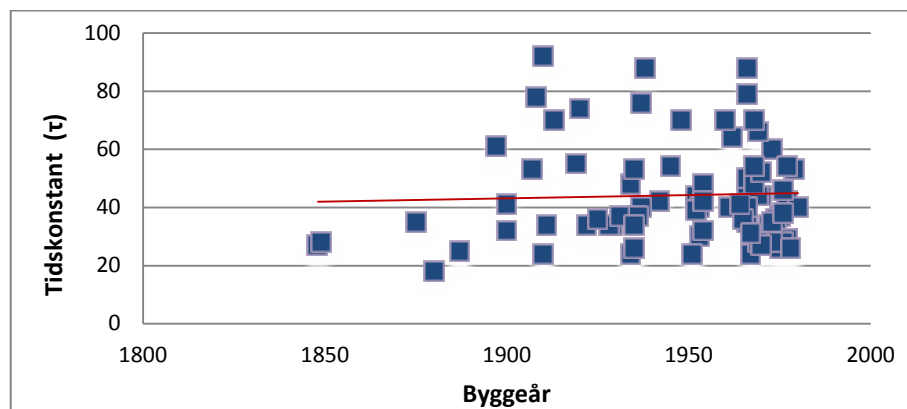
hvor T_u er udetemperaturen og T_i er indetemperaturen.

I huse med tidskonstanter på mellem 20 og 120, der vel at mærke får afbrudt varmen, mens der er en temperatur inde på 20° C og en temperatur ude på 5°, vil temperaturerne falde som vist i figur 15.



Figur 15. Temperaturfald i huse med forskellige tidskonstanter. Ligger tidskonstanten (τ) som i mange huse i SEIH-forsøget på mellem 40 og 50, falder temperaturen ca. 7 grader over 24 timer eller blot 2 grader på en hel nat.

For husene i SEIH-forsøget blev der fundet τ -værdier på mellem 18 og 400. Da alle værdier over 100 kunne tilskrives tilstedeværelse af sekundære varmekilder eller gulvarme, lades disse huse ude af betragtning. Herefter tegner der sig et billede af relativ stor spredning i tidskonstanter, hvilket altså er udtryk, at det tidsrum, der går fra varmetilførslen afbrydes i et hus, til det har tabt en tredjedel af sin varme ligger mellem 18 og 92 timer. Dog ligger de fleste huse inden for intervallet 40 til 50 med et gennemsnit på 44 timer, hvilket med et svagt stigende tendens viser sig at være normalt for huse opført i hele perioden fra 1850 til 1980. Først for huse opført efter 1980 stiger tidskonstanten markant, idet nye huse bygget efter 2000 kan komme helt op på et tidskonstant på 120 (Olsen, 2015).



Figur 16. Tidskonstanter for husene i SEIH-projektet. De høje værdier skyldes sekundære varmekilder, eller udstyr, som afgiver varme, og derfor forsinker afkølingen. De lave værdier vil typisk skyldes utætte og dårligt isolerede huse. Gennemsnittet ligger på 44. Dette betyder, at husene i gennemsnit taber en tredjedel af deres varmekapacitet i løbet af 44 timer. Tendensen i Middelfarthusene (rød streg) er, som ved huse i almindelighed, at tidskonstanten stiger jo senere opførelsestidspunkt..

Konsekvensen af de høje tidskonstanter er, at husene i Middelfart i reglen køler langsomt. Dette betyder igen, at besparelspotentialet er lille. Det er nemlig kun i de perioder, hvor stuetemperaturen kan sænkes i forhold til komforttemperaturen, typisk 22-23 °C, at der spares energi.

Tages der udgangspunkt i gennemsnitstemperaturen ude i fyringssæsonen, og regnes der med, at stuetemperaturen i hele huset får lov til at falde i 2x6 timer i døgnet, reduceres varmetabet på mellem 5 og 7 % ved en tidskonstant mellem 20 og 30, og der kan i princippet opnås en tilsvarende besparelse. Øges tidskonstanten falder besparelspotentialet tilsvarende, se tabel 12.

Tabel 12. Det teoretisk maksimalt opnåelige besparelspotentiale i en gennemsnitlig fyringssæson ved forskellige tidskonstanter. I SEIH-projektets havde husene en gennemsnitlig tidskonstant på 44, hvilket giver et teoretisk besparelspotentiale på 3,5 %.

Tidskonstant (τ)	Antal huse	Besparelspotentiale
20-30	17	5-7 %
30-40	21	4-5 %
40-60	19	3-4 %
50-60	10	1-3 %

Høje tidskonstanter har den ulempe, at de kun giver mulighed for små reduktioner i varmetabet og dermed kun mulighed for at opnå små energibesparelser. Til gengæld har huse med høje tidskonstanter og dermed langsom afkøling gode muligheder for at lagre varme. Huse med høje tidskonstanter er med andre ord gode "varme-batterier". De behøver ikke at blive tilført varme på bestemte tidspunkter af døgnet for at opretholde en acceptabel komforttemperatur over døgnet.

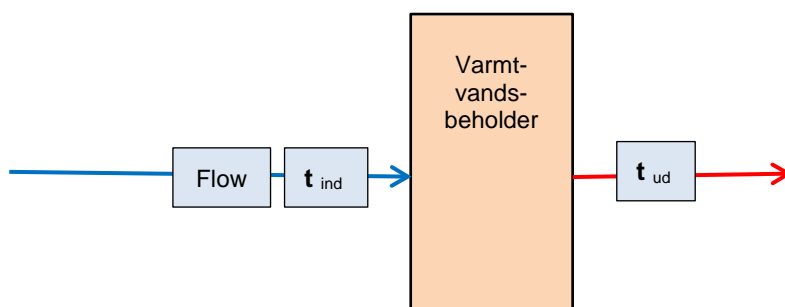
Denne egenskab udnyttes ikke i dag; men det vil den kunne i det øjeblik, de enkelte huse forsynes med varme fra varmepumper og derved bliver i stand til at forskyde forbruget af el væk fra "peak"-situationer - og ved fleksible el-priser - væk fra de dyreste og mest u hensigtsmæssige tidspunkter for el-nettet. Videre vil huse med høje tidskonstanter kunne bruge el fra el-nettet på forhånd, når der er overskud af fx vindmøllestrøm, og lagre det til forbrug på et senere tidspunkt.

Konklusionen bliver, at hvor varmebesparelspotentialet i de fleste huse i SEIH-projektet er lille, er de samme huses potentiale som varmelager i et smart-grid stor.

Nøjagtig måling af forbruget af varmt brugsvand

På trods af nøjagtige målinger af vandforbruget SEIH-husene, har det vist sig svært at afgøre, hvor stor en del af den energi, der tilføres varmtvands-systemet, der rent faktisk bruges på opvarmning af det varme vand.

For at kunne følge varmtvandsforbruget løbende, var der i alle huse opsat to temperaturmålere og en flowmåler, dvs. et termometer før og et efter varmtvandsbeholderen, samt et tællerværk, der løbende har registreret mængden af vand, der var passeret. Flowmåleren har med et minuts intervaller og temperaturmålerne med to minutters intervaller logget henholdsvis flowmåleren tællerstand og de to termometers visning, se figur 17.



Figur 17. Principfigur, der viser, hvordan målerne er placeret omkring varmtvandsbeholderen.

Beregningen af varmtvandsforbruget er derefter sket ved, at alle tapninger af varmt vand i de enkelte huse er registreret på en måde, så hver ændring af målerstanden er forbundet med tilhørende logninger af temperaturen foran og efter varmtvandsbeholderen. På en måde kan energiindholdet E i alle forbrug delt op i minut-intervaller beregnes som:

$$E = \Delta t \cdot \text{Vol}$$

Hvor Δt er forskellen mellem den temperatur vandet har, når det løber ind i beholderen og den temperatur, det har, når det løber ud, og Vol er volumen af den mængde vand, der i et givet minut løber gennem varmtvandsbeholderen. Energiindholdet fremkommer følgelig ved at multiplicere vandmængden med differensen mellem Indløbs- og udløbstemperatur i det pågældende minut. Med den angivne metode vil den temperaturlæsning, der ligger tættest på et bestemt minut, og som refererer til den målte vandmængde blive valgt. Måles temperaturen i grader og vandmængden i liter kommer resultatet ud i kalorier (cal). Ved brug af omregningsfaktoren (0,001163) omsættes resultatet til kWh varmeenergi.

Alle minutintervaller med forbrug er herefter summeret op over et givet kalenderår, og resultatet er for 12 udvalgte huse vist i tabel 13. Her ses først (kolonne 3), hvor stor den samlede mængde af vand, der er forbrugt til varmt vand i hvert enkelt hus. Dernæst vises det målte og beregnede energiforbrug (kolonne 4), jf. metoden beskrevet ovenfor.

Et gennemsnitligt forbrug på 440 kWh pr. person, jf. det målte og beregnede forbrug, til fremstilling af varmt vand ligger en del under det tal, man normalt regner med, faktisk under det halve. En del af forklaringen på det lave forbrug kan ligge i, at beboerne i SEIH-projektets huse bruger mindre varmt vand end gennemsnittet i befolkningen. Se igen tabel 13.

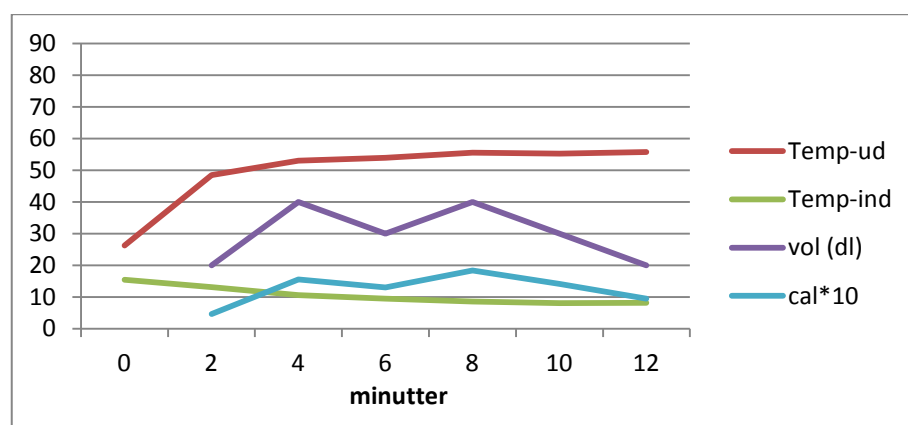
Tabel 13. Det målte og beregnede varmtvandsforbrug vist for 12 udvalgte huse, se seks øverste i rækken med fjernvarme og de seks nederste med naturgasopvarmning. Udover det målte og beregnede forbrug er der til sammenligning vist et netto og et bruttoenergiforbrug. Endelig er i sidste kolonne vist skøn over den udnyttede energi i det vand, der når frem til tappestederne. Alle forbrug er angivet som forbrug pr. person.

Hus	Antal personer	Flow-måling m ³	Målt / beregnet kWh	Min ind. Ca. 8°C Netto KWh	Ved diff. 45°C Brutto kWh	Udnyttet energi kWh
1	5	8,2	273	234	427	176
2	3	22,4	914	1140	1174	855
3	2	13,5	413	512	706	384
4	2	17,1	556	746	894	560
5	3	7,7	271	359	403	269
6	1	9,1	231	400	479	300
7	6	8,0	398	485	420	364
8	4	10,4	420	507	543	380
9	2	14,9	763	883	778	662
10	2	6,9	244	356	363	267
11	2	11,7	494	608	610	456
12	2	12,8	296	456	671	342
Gennemsnit	2,8	11,9	440	557	622	418

Af flow-måleren fremgår, at der i gennemsnit er brugt lidt under 12 m³ pr. person. Dette svarer til 215 liter pr. m² bolig om året med de husstørrelser, der indgår i SEIH-forsøget. Dette ligger 35 liter under de 250 liter pr. m² bolig årligt, der regnes med i det danske bygningsreglement.

En anden forklaring på det relativt lave forbrug, kan være den temperaturforskel, der er brugt ved beregningen. Her viser det sig, at den gennemsnitlige forskel mellem de registrerede ind- og udløbstemperaturer ligger så lavt som på 24 °C. Normalt regner man med en temperaturdifferens på 45°C, dvs. omkring 8° C ved indløbet og omkring 53°C ved udløbet af varmtvandsbeholderen.

For at forstå den lave forskel, der rent faktisk er blevet målt og logget fra temperaturfølerne ved varmtvandsbeholderen, er der set nærmere på et typisk tappeforløb. Nedenfor er vist et tappeforløb på 12 minutter, angiveligt et brusebad, se figur 18.



Figur 18. I diagrammet følger man et tappeforløb over 12 minutter. Og som det fremgår af diagrammet stiger udløbstemperaturen henover forløbet, mens indløbstemperaturen falder. Vol og cal viser, hvordan vandmængden (i dl) og den indeholdte energi (i cal*10) følges ad.

Som det fremgår af diagrammet, er det først efter et par minutters forløb, at forskellen mellem ind- og udløbstemperaturen når sit maksimum, her knap 48° C. Vi ser med andre ord, at der skal gå flere minutter, før temperaturforskellen mellem indløb til og udløb fra varmtvandsbeholderen når op på ca. 45°C. Da de fleste tapninger af varmt vand er på under 2 minutters varighed, kan det heraf sluttes, at den beregning af energiindholdet, der er foretaget, og som med eksemplerne er vist i tabel 13, nok kan diskuteres.

Som det fremgår af figur 12, kan temperaturmåleren, der er anvendt til logning af temperaturen før indløbet, meget vel være påvirket af temperaturen i rummet uden for varmtvandsbeholderen såvel som temperaturen i varmtvandsbeholderen, idet den viser en højere temperatur end den, der senere løber ind i varmtvandsbeholderen. Tilsvarende kan temperaturmåleren, der er anvendt til logning af temperaturen efter udløbet meget vel være påvirket af både rumtemperaturen og temperaturen i varmtvandsbeholderen. Men sammenlignet med den temperatur, varmtvandsbeholderen er indstillet til at levere, er det typisk en lavere temperatur end den, der senere løber ud af varmtvandsbeholderen.

Det, som forsøgsopstillingen viser, er, at det, vi i sidste instans ønsker at måle: varmtvandsforbruget i kWh, står og falder med den definition, der lægges til grund for opgørelsen af varmtvandsforbruget. I princippet kan vi skelne mellem et målt varmtvandsforbrug, et netto varmtvandsforbrug et brutto varmtvandsforbrug og endelig et udnyttet varmtvandsforbrug.

Ved det målte (og beregnede) varmtvandsforbrug skal forstå den mængde energi, der tilføres vandet ved alene at forholde sig til det, der sker i varmtvandsbeholderen. Ved den definition ses der bort fra den energi, der tilføres det kolde vand frem til varmtvandsbeholderen, lige som tabet i rørene frem mod tappestedet lades ude af betragtning.

Ved netto varmtvandsforbruget skal forstås den mængde energi, der tilføres vandet fra det løber ind i huset og til det løber ud af varmtvandsbeholderen. Tanken er her, at den energi, der tilføres det kolde vand på vej frem mod varmtvandsbeholderen, også er energi, der medgår til fremstilling af varmt vand. Et godt mål for energiindholdet i dette varmtvandsforbrug fås ved løbende at operere med den temperaturforskelle, der fremkommer ved at fratrække udløbstemperaturen den laveste temperatur, der forekommer ved indløbet af varmtvandsbeholderen, idet den må formodes at være identisk med indløbstemperaturen i huset.

Ved brutto varmtvandsforbruget skal forstås den mængde energi, der fremkommer ved at multiplicere vandmængden, der løber gennem varmtvandsbeholderen med den ønskede forhøjelse af temperaturen fra koldt vand til varmt brugsvand, typisk fra 8 til 53°C, altså 45°C. Ud fra denne betragtning medregnes både den mængde energi, som det kolde vand er blevet tilført frem mod varmtvandsbeholderen og den mængde energi, der medgår til opvarmning af rør og omgivelser frem mod tappestedet, både før under og efter den enkelte tapning.

Ved det udnyttede varmtvandsforbrug forstås den del af forbruget af varmt vand, der kommer brugeren til gode. Her medgår i opgørelsen, at brugerne kun anvender en del af varme vand, og i mange tilfælde først, når det nærmer sig komforttemperaturen på 55°C. Dette betyder i praksis, at skønsmæssigt 25% af den energi, der tilgår det varme vand, der ud fra en netto-betragtning udnyttes. Resten tabes som lunkent vand i afløbet.

Sammenfattende kan det konkluderes, at en entydig bestemmelse af mængden af energi anvendt til fremstilling af varmt vand afhænger af hvordan, dette defineres. Holder man sig til den mængde energi, der tilføres i varmtvandsbeholderen, giver det et relativt lavt forbrug (nettoenergiforbrug). Her medregnes ikke den mængde energi, der tilføres vandet frem til varmtvandsbeholderen, lige som der ses bort fra tabet frem til tappestedet. Et no-

get større forbrug af energi nås, hvis man tager udgangspunkt i den mængde energi, der tilføres vandet, fra det kolde vand løber ind i huset, til det varme vand løber ud af varmtvandsbeholderen (bruttoenergiforbruget). Endelig får man det største forbrug af energi, hvis man medregner al den energi, der i princippet tilføres det kolde vand, idet det forudsættes, at der i alt tilføres energi svarende til at hæve koldt vandstemperaturen 45 grader, dvs. fra ca. 10°C til 55°C, se tabel 13.

I det aktuelle tilfælde viser målingerne, at husejerne i SEIH-forsøget har et lavt varmtvandsforbrug uanset hvordan, man definerer det. Det ligger på 12 m³, eller 3 m³ under det, andre større undersøgelser har vist (Bøhm et al., 2009) og 35 liter pr. m² under det, bygningsreglementet opererer med. Dette betyder, at husejerne i SEIH-forsøget har et forbrug, der ligger på 40 til 60 % af det energiforbrug, der normalt regnes med til fremstilling af varmt brugsvand, afhængig af, om netto- eller bruttoenergiindholdet lægges til grund.

Afkølingsrate, varmetab og energimærke

Afkølingsraten (tidskonstanten) er dels udtryk for det enkelte hus' varmekapacitet, dels udtryk for husets varmetab gennem klimaskærmen, herunder graden af utæthed. For huse må man derfor i udgangspunktet regne med, at de har en høj varmekapacitet dvs. er bygget tunge materialer. Det forlænger ydermere afkølingsraten, hvis huset er godt isoleret i den forstand, at lofter, vægge og gulve er isoleret udadtil, og vinduerne består af lavenergiglas, således at varmen kun langsomt diffunderer ud gennem klimaskærmen. Sidst man ikke mindst er det med til at forlænge et hus' afkølingsrate, at huset er så tæt, og ikke mister varme ved at varm luft diffunderer uhindret ud gennem revner og sprækker. Kort sagt er lange afkølingsrater for et hus udtryk for, at det har gode energimæssige ydeevne.

Målinger at temperaturfaldet i forbindelse med afbrydelse af varmen, viste i SEIH-forsøget, at rigtig mange af de huse, der indgik i SEIH-forsøget havde lange afkølingsrater (høj tidskonstant), dvs. høj energimæssig ydeevne. Netop energimæssig ydeevne, er det, der lægges vægt på, ikke blot omkring danske huse men huse overalt i EU, der i henhold til EU-direktiv skal være udrustet med et energimærke, fx ved salg.

Energimærker i EU er fortrinsvist baseret på varmetabet gennem klimaskærmen. Denne størrelse kan man nemlig beregne, hvis man kender de termiske egenskaber for de forskellige bygningsdele. Dermed kan man regne sig frem til en værdi for varmetabet gennem klimaskærmen af formen: kWh pr. kvadratmeter pr. år. Det har i Danmark ført til at man har kunnet opstille en skala for huses varmetab, og dermed kunnet indordne alle huse på en skala fra A2020 til G og dermed kunnet tildele dem et energimærke på samme måde som man tildeler energimærker til køleskabe og elpærer. Den danske energimærkeskala er for en bygning på 150 m² vist i tabel 14.

Tabel 14. Den danske energimærkeskala, her vist med udregning for et hus på 150 m².

Energimærke	m ²	Fra m ²	Til m ²
A2020	< 20		20
A2015	< 30 + 1000/A	Under	42
A2010	< 52,5 + 1650/A	42	61
B	< 70 + 2200/A	61	85
C	< 110 + 3200/A	85	131
D	< 150 + 4200/A	131	178
E	< 190 + 5200/A	178	225
F	< 240 + 6500/A	225	283
G	> 240 + 6500/A	over	400

Men da den energimæssige ydeevne for et hus er ikke blot et udtryk for husets isoleringsevne, men også dets evne til at akkumulere varme vil afkølingsraten eller tidskonstanten (τ) være en alternativ måde at tildel energimærker på.

I Tabel 15 er vist de sammenhængende værdier af tidskonstant, energiforbrug og energimærke for 12 huse i SEIH-forsøget. Det er alle huse, som i forvejen var blevet tildelt et energimærke. Tabellen er ordnet således at de højeste tidskonstanter ligger øverst, dvs. de huse der i SEIH-forsøget havde de største tidskonstanter og dermed var længst tid om at køle ned. Dette stemmer godt overens med at husene med lave varmekonstanter pr. m² generelt ligger øverst, lige som de huse, der har de bedste energimærker (C og D), ligger øverst. Omvendt finder vi de laveste tidskonstanter nederst sammen med de højeste forbrug og de ringeste energimærker (E og F).

Tabel 15. sammenhængende værdier af tidskonstant, energiforbrug og energimærke for 12 huse i SEIH-forsøget

Hus	Tidskonstant	Varmeforbrug kWh/m ²	Energimærke	Forsyning
1	79	69	C	Naturgas
2	78	95	D	Fjernvarme
3	70	79	D	Fjernvarme
4	53	90	D	Fjernvarme
5	50	70	D	Fjernvarme
6	48	77	D	Fjernvarme
7	44	100	D	Fjernvarme
8	42	107	D	Fjernvarme
9	40	78	E	Fjernvarme
10	40	88	F	Fjernvarme
11	39	189	F	Fjernvarme
12	36	149	D	Naturgas

Huset med den laveste tidskonstant (hurtig afkøling) er også noteret for et af de højeste varmekonstanter. Dette kunne tyde på, at det tildelte energimærke er forkert, eller at adfærden i huset har ført til et ekstraordinært stort forbrug. Omvendt for huset med den højeste tidskonstant, i øvrigt også et naturgasopvarmet hus, der meget passende har det laveste forbrug og tildelt energimærke C.

Det bemærkes også, at der er mange huse mærket D. Dette passer med at mange af de huse, der indgår i SEIH-forsøget, befinder sig i midterkategorien, og derfor naturligt har et D-mærke. Når der ikke er nogen mærker over energiklasse C, skyldes det, at der ikke er nye huse med i SEIH-forsøget. For D-mærkerne gælder, at tidskonstant og varmekonsum, nogenlunde følger hinanden, idet varmekonsumet stiger ned gennem rækken. Der er dog undtagelser bl.a. i form af to huse med lave forbrug i midten.

Ser man nærmere på de enkelte huses energiforbrug og ser på hvilket energimærke, det har, bemærker man straks, at de fleste huse har et noget lavere forbrug, end man skulle forvente i henhold til den måde energimærkeskalaen er defineret, se tabel 14. Dette er ikke så mærkeligt al den stund, at energimærket også inkluderer el m.v. og i øvrigt referer til et normaliseret hus med et vist antal beboere og et vist varmtvandsforbrug. Mange af de husstande, der indgår i SEIH-forsøget er små husstande, der ikke blot har sparet energi ved at lave natsænkning, men i øvrigt har flere muligheder for at lægge sig i underkanten, fx ved ikke at varme alle rum op.

Når alle forbehold er taget i betragtning, ser tidskonstanten ud til at give et godt signalement af et hus. Skal tidskonstanten imidlertid ophøjes til en egentlig "energisignatur", skal der være sikkerhed for, at der under fastlæggelse af afkølingskurven ikke er alternative energikilder til stede i huset, ligesom mere end en temperaturlogger kan være nødvendig for at give en så præcis tidskonstant og dermed så præcis en energisignatur som mulig.

På den baggrund kan det konkluderes, at tidskonstanten har potentiale til at kunne fungere som vægtigt supplement og en god kontrol for et beregnet energimærke. Metoden har den fordel, at tidskonstanten findes ved måling og ikke ved beregning, hvilket med en passende grundighed skulle sikre, at tidskonstanten en gang i fremtiden kan komme til at spille en fremtrædende rolle ved bestemmelse af huses energimæssig ydeevne.

Perspektivering

SEIH-projektet har været omfattende, primært med det formål at afprøve mulighederne for at opnå energibesparelser ved automatisk styring af rumtemperaturen. Som sådan kan SEIH-projektet ses som et af mange forsøg på at afprøve et grundelement i den såkaldte Smart-hus-teknologi. Nærmere betegnet har SEIH-projektet været optaget af at afprøve "intelligent" styring af rumtemperaturen over døgnet og henover ugen. Tanken har været at være, at man ved at forbinde en simpel tænd-sluk-teknologi med en avanceret styringsalgoritme, der respekter brugervaner og indtænker løbende forandringer i udeklimaet, kan opnå energibesparelser, der ellers ikke ville kunne realiseres. Smart-hus-teknologien forsøger med andre ord at se hvor langt, man kan komme med intelligent styring af varmetilførslen uden at ændre på bygningernes fysiske konstruktioner og uden at give køb på komforten, i SEIH-forsøget dedikeret enfamiliehusejere.

I det lys har SEIH-projektet vist, at der kan opnås besparelser. Samlet set summer den sig op på 7%. Nærstudier af de deltagende husstande viser imidlertid, at der er meget stor forskel på den mængde energi, der spares. I nogle tilfælde blev der sparet mere end det dobbelt. I andre tilfælde blev der ikke sparet noget og i atter andre tilfælde øgede man forbruget i den enkelte hus. Forsøget viste med andre ord, at de husstande, der forstod at udnytte teknologien sparede meget, mens de husstande, der regnede med, at det hele ville gå automatisk, ikke sparede noget.

Den valgte teknologi fra engelske Smartsystems var i stand til at regulere temperaturen over døgnet og over ugen. Systemet kunne generere nat- såvel som dagsænkning, ligesom det kunne indstilles til at køre med en lavere rumtemperatur under ferier osv. Hurdlen var imidlertid, at den enkelte husejer kunne vælge natsænkning fra og undlade dagsænkning. Resultatet af netop den adfærd var, at energiforbruget i mange tilfælde steg snarere end faldt.

Anderledes udtrykt var det kun de aktive og interesserede brugere og de, der havde lyst til at eksperimentere, der for alvor opnåede varme- og dermed energibesparelser. Man skulle kort sagt have en forståelse for, at systemet sparede energi, ved at varmetabet fra huset kunne reduceres i takt med at temperaturforskellen mellem ude og inde blev reduceret. Uden denne forståelse, og uden et aktivt medspil fra brugernes side, giver denne form for automatik ikke de store besparelser. Ud fra de henvendelser, som Bolius modtog, og ud fra de besvarelser, der indkom i kølvandet på de iværksatte spørgeskemaundersøgelser, ved vi nu, at under halvdelen havde denne forståelse.

Den anden hovedkomponent i SEIH-projektet var, at de implicerede husejere skulle ydes løbende rådgivning. Det kunne dreje sig om rådgivning møntet på en mere energivenlig adfærd, og det kunne dreje sig om rådgivning møntet på at foretage efterisolering og andre fysiske forbedringer af huset. Alt sammen skulle det bidrage til en reduktion af energiforbruget. Effekten af denne rådgivning var imidlertid begrænset. Kun få familier lagde livsstilen om og kun et få husejere gennemførte som følge af rådgivningen større energirenoveringer. Hvor rådgivningen mest var rettet mod brugeradfærd og bygningsrenovering, viste det sig, at rådgivning omkring det installerede energisparessystem var det mest efterspurgt. PassivSystems ydede teknisk support, men denne modsvarede ikke efterspørgslen, eller for så vidt behovet. Således viste det sig, at mange brugere ikke kunne forstå princippet i

natsænkning og ikke kunne finde ud af, hvordan de skulle betjene anlægget. En del glædede blot sig over systemet i den tro, at det fungerede 100 % automatisk, hvorfor man ikke selv skulle gøre noget. Af samme grund glemte mange helt at forholde sig til systemet

Uheld, fejl og mangler

SEIH-1 projektet har ved at kombinere en avanceret algoritme med en simpel tænd-sluk-teknolog vist, at dette er en farbar vej til at spare energi til opvarmning.

Men på trods af simpel teknologi og central styring i hvert hus, har forsøget ikke været uden uheld, fejl og mangler. De første vanskeligheder opstod, da systemet med sensorer, målere Wi-Fi-koblinger rent fysisk stod over for at skulle installeres. Således erfarere teknikkerne bl.a., at der er stor forskel på, om man vil installere automatik på et centralvarmeanlæg, baseret på fjernvarme, på en naturgaskedel eller et oliefyr. Selvom det på et tidligt tidspunkt var planlagt, at alle tre forsyningsformer skulle afprøves på lige fod, måtte Passivsystem opgive at opsætte automatik op til brug for nat- og dagsænkning i de olieopvarmede huse.

Dertil kom pladsmæssige problemer med at installere flow-målere ved både kedler og fjernvarmeunit. Af samme grund var det ikke var muligt at følge forbruget i de enkelte huse tæt. Dette betød, at monitoringen af forbrug og besparelser i SEIH-forsøgets måtte trække på logninger udført af de implicerede forsyningsselskaber. For husejere med oliefyr betød dette, at forbruget i deres tilfælde kom til at bero på egne månedlige indberetninger.

Manglen på forbrugsmålere knyttet til SEIH-projektet gjorde det med andre ord vanskeligt at lave præcise opgørelser og analyser over forbruget undervejs. Dette svækkede rådgivningen og kan også have bidraget til de begrænsede energibesparelser.

En anden grund til, at husene i SEIH-forsøget ikke nåede de forventede besparelser kan tilskrives selve teknikken. Teknikken var på den ene side relativt avanceret på den måde, at en avanceret algoritme sørgede for, at komforttemperaturen indfandt sig på forud angivne tidspunkter, fx om morgenen. Teknikken var på den anden side simpel i den forstand, at temperaturen i hele huset blev reguleret op og ned fra kun et sæt-punkt, dvs. ud fra én temperaturmåling placeret ét sted i huset. Ydermere var teknikken simpel i den forstand, at den i bogstaveligste forstand lukkede for varmetilførslen til huset. Dette udelukkede individuel styring af de enkelte rum, og udelukkede dermed også muligheden for at zoneinddele huset over døgnet eller over ugen. Det var fx ikke muligt at sænke temperaturen i stue, køkken og alrum, uden også at sænke temperaturen i soveværelse og gæsteværelse - og omvendt,

En tredje grund til, at der kun blev opnået begrænsede besparelser i forsøget må tilskrives husenes langsomme køling. Takket være løbende logninger af temperaturudviklingen i husene døgnet rundt, året rundt, var det muligt at påvise endog meget langsom afkøling (høje tidskonstanter). Dette betød i praksis, at den simple afbrydelse af varmetilførslen ikke afstedkom den ventede afkøling og dermed den ventede varmebesparelse.

En fjerde grund til, at der ikke kunne spares energi i stort omfang, var, at mange af husene var udstyret med varmtvandsbeholdere, der modvirkede natsænkning. Dette var tilfældet i de huse, hvor en dårligt isoleret varmtvandsbeholder eller dårligt isolerede rørføringer frem mod tappestedet leverede varme til huset, på trods af nat- og dagsænkning.

En femte grund til, at forsøget ikke kom til at leve op til forventningerne, var manglende interesse fra boligejernes side til at gå aktivt ind i forsøget og

selv eksperimenterer med at optimere nat- og dagsænkning af temperaturen. Således var det kun halvdelen af boligejerne, der forsøgte sig med dag- og weekendsænkning. Der var endog huse, hvor natsænkningen blev helt opgivet. Noget af den manglende interesse kan givet vis tilskrives det forhold, at husejerne opfattede SEIH-projektet som noget, det ikke skulle tænke over i hverdagen forstået på den måde, at man blot havde hæftet sig ved at PassivLiving-systemet jo blev "solgt" under sloganet Smart Energi i Hjemmet, dvs. energibesparelser, der kunne opnås uden at man ændrede vaner og uden man gjorde noget særligt.

Endelig skal det bemærkes, at kun de færreste boligejere fik mod på at gå i gang med energirenovering af deres ejendom. Det forhold, at der var opsat automatik med det formål at spare energi afholdt de fleste fra selv at gøre noget ekstra, fx gennemføre efterisolering e.l. for på den måde at spare energi. Boligejerne kunne med andre ord ikke se nogen sammenhæng mellem det at være med i et energispareforsøg og så selv skulle gå i gang med gennemføre energibesparelser.

Alt i alt viste SEIH-forsøget, at der fortsat ligger uudnyttede muligheder i et "smart-system" som det der er afprøvet med SEIH-forsøget. Men en række forhold i det aktuelle forsøg betød, at det ikke lykkedes helt at nå de forventede resultater. Mangler ved installationerne, en måske lidt for forenklet styring, tunge huse med langsom afkøling, dårligt isolerede varmtvandsbeholdere og begrænset brugerengagement gjorde, at der ikke blev opnået de energibesparelser, det var lagt op til. Dertil kommer, at forsøget ikke i sig selv animerede til at gennemføre fysiske forbedringer ved huset, selv ikke med den intensive fjernrådgivning, som Bolius kunne tilbyde husejerne.

Skitse til et SEIH-2 projekt

SEIH-forsøget var grundigt planlagt. Alle parter inklusiv SBi, der har stået for evalueringen, blev involveret tidligt i planlægningen. En løbende evaluering har gjort, at det nu er muligt at identificere uheld, der opstod, og de fejl og mangler ved teknologien, der viste sig hen ad vejen. Dertil kommer den type overraskelser, som altid dukker op, når ny teknologi skal afprøves.

Med disse forbehold har SEIH-forsøget været en succes. Det har været en succes, fordi det har vist at ideen med intelligent styring af varmforsyningen kan give energibesparelser, og fordi de implicerede parter på hver sin måde har lært en hel del om, hvordan smart-teknologi fungerer i praksis, hvordan brugerne tager imod teknologien, og hvordan relevant rådgivning gribes an.

Samler man alle erfaringer fra SEIH-projektet, og tager samtidig ved lære af de uheld, forsøget blev ramt af og de fejl og mangler, der viste sig ved teknologien, står det klart, hvordan et SEIH-2-projekt skal "skrues sammen". For et SEIH-2-projekt taler, at et sådan projekt for alvor vil kunne bane vej for en større udbredelse af den type automatik, der kan generere energibesparelser i hjemmet.

Med erfaringerne fra SEIH-1-projektet står det klart: 1. at Automatikken skal forfines, 2. at husenes termiske egenskaber skal være bedre kortlagt, 3. at flere målinger af indeklima og temperatur skal foretages for at kunne evaluere forsøget korrekt, 4. at brugernes skal være bedre orienteret på forhånd, og 5. at rådgivningen skal være koncentreret om den nye teknologi. Endelig gælder 6. at dataopsamling, dataorganisering og opbygning af brugerinterface skal ligge ét sted.

1. Automatikken skal forfines ved, at den anvendte teknolog gør det muligt at foretage differentieret op- og nedregulering af temperaturen i alle større rum i huset. En simpel sænkning af temperaturen, som det skete i SEIH-1-projektet, giver ikke tilstrækkelig store energibesparelser i danske murstenshuse. Danske huse er i modsætning til fx engelske huse

opført af tunge materialer, de er tættere, har typisk termoruder, lige som de tit er udrustet med gulvarme og brændeovn. Ved at regulere temperaturen individuelt i de enkelte rum, kan komforttemperaturen differentieres fra rum til rum hen over døgnet og hen over ugen. Det må således forventes, at en temperatursænkning på måske 2 grader i hele døgnet i nogle rum vil lede til større besparelser end sænkning temperaturen på måske 3 grader i alle rum i nogle få timer om natten. Det bør endvidere overvejes at sætte ind med styring af varmforsyningen til varmtvandsbeholderen (de steder hvor en sådan findes), da gamle varmtvandsbeholdere virker som varmekilder.

2. Der blev i SEIH-projektet lagt vægt på husenes termiske egenskaber, typisk ved at se på huse med forskellig opførelsesår. Desværre deltog relativt mange huse fra før år 1900, mens nyere huse fra 1980 og frem blev fravalgt. Dertil kommer, at mange af de ældre huse var renoveret på en måde, som var svær at gennemskue, ligesom mange huse var udrustet med vandbårne gulvvarmesystemer, dvs. tunge konstruktioner bygget sammen med centralvarmeanlægget. Endelig var der huse med brændeovn. Gennem en større spredning af de deltagende huses opførelsestidspunkt og ved på forhånd at have identificeret huse med gulvarme og brændeovn, ville det have været lettere at trække relevante data ud og videre foretage analyse af afkølingsraterne (tidskonstanten).
3. Der blev i SEIH-1-projektet foretaget løbende monitorering af husenes forbrug og rumtemperatur. Men med blot to temperaturfølere og stor forsinkelse af data for forbrug af fjernvarme og naturgas var det ikke muligt at vurdere resultatet af forsøget tilfredsstillende. Derfor er ønsket til et SEIH-2-forsøg, at der i hvert hus skal være installeret en wi-fi-indeklimastation WIFI, så indetemperaturen forskellige steder i huset kan logges samtidig med, at udetemperaturen logges. En indeklimamåling bør samtidig omfattende måling af luftfugtighed og CO₂-indhold, så indeklimaet kan følges kontinuerligt. Dertil kommer behov for nøjere monitorering af varmtvandsforbruget. Erfaringerne fra SEIH-forsøget viser, at temperaturmålinger omkring en varmtvandsbeholder er usikker, hvorfor flowmåling kan vise sig at være tilstrækkelig til at bestemme varmtvandsforbruget.
4. Det er vigtigt, at deltagerne på forhånd bliver orienteret grundigt om hvad automatisk temperaturregulering op og ned i forskellige rum betyder med hensyn til at opnå energibesparelser, men også hvad det har af konsekvenser for indeklimaet. I SEIH-1-forsøget så mange forsøget som noget, der automatisk gav energibesparelser uafhængig af, om brugerne gik aktivt ind i forsøget eller ej. Dette betød, at flere husejere ikke fik tilstrækkeligt udbytte af teknologien og i værste fald kom til at modarbejde systemet og forbruget. Dette kan formodentlig undgås, hvis brugerne får klare informationer om, hvordan de selv skal agere, og hvordan de gennem aktiv deltagelse kan øge besparelserne.
5. Den løbende monitorering, kan umiddelbart bruges til at give brugerne rådgivning omkring brugen af automatikken, herunder programmering og om-programmering. Rådgivning derudover, bør imidlertid kun gives i den udstrækning, monitorering giver klare indicier om, at der sker unødige energitab, fx pga. manglende hulmursisolering, utætte eller dårligt isolerende vinduer og manglende isolering i øvrigt. Ligeledes kan monitoreringen give husejerne direkte råd om uheldig adfærd så som brug af el-gulvvarme under natsænkning, regulering af vandbåren gulvvarme og brug af brændeovn. Endelig kan det vise sig relevant at rådgive om fremstilling af varmt brugsvand, herunder råd om udskiftning af varmtvandsbeholder.
6. Til SEIH-1-forsøget var der knyttet en omfattende dataopsamling. Data blev opsamlet af selskabet (PassivSystems), der havde leveret automatik og styring. Efterfølgende blev data behandlet af Bolius, rådgiveren i forsøget, for derefter at blive videreformidlet til brugerne. Dette viste sig

at være en for omstændelig og dyr løsning og i øvrigt kompliceret løsning, da den krævede ekstra programmering. Oplysninger om det løbende forbrug samt logninger af temperatur inde og ude samt oplysninger om indeklima skal være umiddelbart tilgængelig for brugerne. Dette vil gøre automatikken mere nærværende for brugerne, der umiddelbart vil kunne aflæse konsekvenserne af forskellige indstillinger af rumtemperaturen hen over døgnet og henover ugen og året, og samtidig blive animeret til at bruge systemet til at opnå lavere forbrug og bedre indeklima. En direkte adgang til alle logninger vil samtidig gøre det synligt for brugerne, hvis deres hus trænger til isolering eller har en uheldig brug af supplerende varmekilder. Bliver alle data samtidig stillet løbende til rådighed for de forskere, der skal følge forsøget og evaluere det, vil det være kilde til en langt dybere forståelse for termo-dynamikken i et hus og sidst men ikke mindst samspillet mellem brugeradfærd, hus og automatik – helt grundlæggende: samspillet mellem menneske og teknologi.

SEIH-1-forsøget viste, at de fleste huse havde lange afkølingstider (stor tidskonstant). Det var en væsentlig grund til, at der ikke blev opnået så store energibesparelser, som ventet. Dette forhold, de lange afkølingstider, taler for, at der i et SEIH-2-forsøg indgår varmepumper. Varmepumper bruger el, og installeret i et dansk hus opført af tunge materialer som det gjaldt de fleste SEIH-1-huse, vil huse med varmepumper kunne flytte elforbruget væk fra de perioder, hvor der er stor efterspørgsel efter el (kogespids). Ved et sådan udbygning af et evt. SEIH-2-forsøg, vil "smart house"-teknologi møntet på direkte energibesparelser kunne kombineres med "smart house"-teknologi møntet på flytning af energiforbrug.

I SEIH-1-huset deltog ca. 150 huse. Dette var en fordel m.h.t. at få afprøvet teknologien i så mange forskellige huse som muligt og med så mange familietyper og forbrugsmønstre som muligt. I SEIH-2-projektet vil der ikke være det samme behov for storskalaforsøg. Husene viste sig i SEIH-1-forsøget at være relativt ens i den forstand, at de fleste huse var opført efter to byggeprincipper, tunge og lette huse. Der bør i et SEIH-2-projekt være huse opført både før og efter 1960. endvidere bør det være et antal huse fra før 1930 og efter 1980. Alt i alt foreslås et antal huse på 48 huse fordelt på de nævnte byggeperioder og fordelt på tre opvarmningsformer: Fjernvarme, naturgas og varmepumper. Huse med oliefyr er ikke relevante.

Ved valg af teknologi, anbefales det, at produkter, som allerede er på markedet, anvendes. Det kunne for varmestyringen være "Danfoss living connect" og for inde- og udeklimamålingernes vedkommende produkter på markedet så som dem, der leveres af Netatmo, NorthQ eller Visility. På den måde kunne der spares midler til opsætning af udstyr, ligesom vejen fra de opnåede forsøgsresultater til almindelig udbredelse af teknologien blev kort

Litteratur

Jensen, O.M. (2009). *Virkemidler til fremme af energibesparelser i bygninger* (SBI 2009:06). København: Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet.

Jensen, O.M. (2011). *Min klimaplan, En model for energirenovering af enfamiliehuse* (SBI 2011:55). København: Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet.

Jensen, O.M. (2013). *Incitament og virkemidler til fremme af energibesparelser i bygninger* (SBI 2013:05). Netværk for energirenovering..

Olsen, L. (2015). *Results from measurements on many Danish single-family houses with heat pumps*. Notat fra Teknologisk institut.

Bøhm, B. et al. (2009). *Varmt Brugs vand - Måling af forbrug og varmetab fra cirkulationsledninger* (SBI 2009:10). København: Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet.

Rasmussen, T. H. & Høpner, C. (2106). *Value Creation in Triple Helix Systems. A comparative case study of two Danish Smart City projects*. Master thesis, MSc. in Management of Innovation and Business Development. Copenhagen Business School.

Med denne rapport foreligger en evaluering af det såkaldte SEIH-projekt: Smart Energi i Hjemmet. Projektet er gennemført i samarbejde med 191 husejere i Middelfart Kommune med formål at af-søge mulighederne for at opnå energibesparelser i enfamiliehuse ved at bruge automatik til at sænke temperaturen om natten, og når der ikke er nogen hjemme. Evalueringen viser, at der kan spares 7 %. Det var mindre end ventet og mindre end teknologien lagde op til. Ved en endnu mere avanceret styring og bedre brugerinvolvering, vil der imidlertid kunne spares det dobbelte, lyder konklusionen. Ud over Middelfart Kommune og de mange husejere har PassivSystems og Bolius deltaget i projektet. Realdania har finansieret projektet.

1. udgave, 2016
ISBN 978-87-563-1778-8