

Energistyrelsen

Gevinster ved øget brug af data og digitalisering i bygningsdrift



DATO: 06.12.2018

viegand
maagøe
energy people

RAPPORT: Gevinster ved øget brug af data og digitalisering i bygningsdrift

DATO: 06.12.2018

UDARBEJDET AF: Maria Rizzo
Nicklas Høgh Iversen
Louise Hedelund Sørensen

UDARBEJDET FOR: Energistyrelsen

KVALITETSSIKRET AF: Jan Viegand

VIEGAND MAAGØE A/S

SJÆLLAND
Hovedkontor
Nr. Farimagsgade 37
1364 København K
Danmark

T 33 34 90 00
info@viegandmaagoe.dk
www.viegandmaagoe.dk

CVR: 29688834

JYLLAND
Storegade 1
8382 Hinnerup

FYN
Sanderumvej 16 B
5250 Odense SV

FORORD

Der er i disse år et stigende fokus på øget brug af data og digitalisering både for virksomheder og hos myndighederne.

Regeringen har igangsat initiativet "Energieffektive og Intelligente Bygninger", der skal fremme udvikling og etablering af energieffektive og intelligente bygninger. Som et led i initiativet gennemføres en række analyser i 2016-2018 om potentialer og barrierer for gennemførelse af energieffektiviseringer i bygninger ved anvendelse af data eller nye, intelligente teknologier for Energistyrelsen.

Denne rapport er en del af disse analyser. Rapporten indeholder en analyse af gevinsterne ved anvendelse af data og digitalisering til at opnå en mere energieffektiv drift i bygninger.

INDHOLD

1	SAMMENFATNING	4
2	ENERGIEFFEKTIV DRIFT I BYGNINGER	6
2.1	Omfattede bygninger og energiforbrug i analysen.....	6
2.2	Tendenser indenfor bygningsautomatik og intelligente bygninger.....	7
2.3	Målere og energiovervågning.....	7
3	KONCEPTER FOR FORBEDRING AF DRIFTEN AF BYGNINGER VED BRUG AF DATA.....	9
3.1	Beskrivelse af styringsformer	9
3.2	Specifikke løsninger indenfor slutanvendelserne	11
4	OPSTILLING OG FORUDSÆTNINGER FOR ANALYSEN.....	14
4.1	Opgørelse af energibesparelse	14
4.2	Opstilling af driftskoncepter til analysen	15
4.3	Forudsætninger for udbredelse	17
4.4	Anvendte energipriser	19
4.5	Omkostninger til opnåelse af energibesparelser	19
5	BARRIERER FOR UDBREDELSEN	21
5.1	Tekniske barrierer	21
5.2	Etik og sikkerhed.....	21
5.3	Kompetencebarrierer.....	21
5.4	Investeringsbarrierer	22
6	SAMMENFATTENDE VURDERING AF DRIFTSKONCEPTERNE	23
6.1	Energi- og økonomiske besparelser for slutbrugere.....	23
6.2	Usikkerheder og sensitivitetsanalyser	26
	REFERENCER.....	28
	BILAG A: TEKNOLOGIBESKRIVELSER.....	31
	BILAG B: BESTEMMELSE AF ØKONOMISK NØGLETAL TIL INVESTERINGSOMKOSTNINGER	39
	BILAG C: SENSITIVITETSANALYSER.....	40

1 SAMMENFATNING

Bygningsdriften er for mange mennesker og virksomheder noget, der skal fungere uden bekymringer og stillingtagen. Den handler om, at der i bygningen skal være den rigtige indetemperatur, den gode luftkvalitet, tilstrækkeligt med lys og belysning, der passer til den konkrete anvendelse, hvad enten det er på gangene i en kontorbygning eller over spisebordet i boligen. En energieffektiv drift handler derfor om, at anlæggene leverer præcis den ydelse, der er behov for og ikke mere.

Der er i disse år en kraftig udvikling inden for kunstig intelligens i alle sektorer, der sænker omkostninger til databehandling og styring. Der sker således også en stor udvikling af produkter og løsninger af integrerede energistyringssystemer for mindre bygninger, herunder boliger. Udviklingen går på at involvere Internet of Things (IoT) og integrere smarte produkter (devices) og smartphones (via apps og webapplikationer). Tendensen er lige nu, at flere og flere løsninger er baseret på trådløse teknologier. En anden tendens er, at der inden for bygningsautomationsområdet er stort fokus på brugerfladen og brugeroplevelsen.

Der sker en hastig teknologisk udvikling inden for sensorer og målere, som hele tiden bliver billigere og får bedre opløselighed. Denne udvikling giver virksomheder mulighed for at udvikle nye forretningsområder inden for teknik, rådgivning og kurser. Endvidere kan de kommende gratis data fra DMI om vej- og klimadata og eventuelle øvrige offentlige data blive anvendt af firmaer inden for digitale område til at udvikle nye services og nye produkter med styringsfunktioner med anvendelse af vejprognoser. Det må på sigt forventes, at priserne på produkterne falder, som man ser det på andre elektronikområder, også på grund af det stigende udbud af produkter og løsninger.

Det ser ud til, at også andre ydelser end energieffektivisering kan være drivere for denne udvikling, f.eks. markedsføres systemer til bygningsdrift med alarmer for brand og indbrud og mere avancerede serviceydelser som møderumsbooking og kantineforplejning.

Selvom der allerede i dag findes en lang række af kommercielt tilgængelige systemer med væsentlige energisparepotentialer, så er udbredelsesraten lav. De store barrierer er i undersøgelser fundet at være, at brugeren føler, at de mister kontrol, ikke har tillid til, at systemet virker efter hensigten, manglende datasikkerhed, manglende kompetencer til at anvende systemet rigtigt, og at systemerne ikke altid er kompatible med det eksisterende anlæg i bygningen eller med andre nye systemer på markedet. De nyeste systemer har mere fokus på autonomi, brugervenlighed og integration, så den menneskelige interaktion med styringssystemet kan minimeres og gøres lettere, og på den måde fjerne en del af kompetencebarrieren.

Denne øgede dataindsamling og –produktion og styring af bygningsdrift vil kunne give et signifikant løft til niveauet for energirenovering og forbedret styring af energiforbrug i bygninger i Danmark med betydelige gevinster.

Gevinster for slutbrugere

Internationale studier viser, at digitalisering af energitjenester og drift af bygninger kan give betydelige energibesparelser i fremtiden [1]. Der er ikke tidligere lavet analyser af effekten i Danmark, hvorfor analysen i høj grad er baseret på udenlandske kilder, men sat ind i en dansk kontekst på de områder, hvor der har kunnet skaffes nationale datakilder. Dette gælder især i forhold til fastsættelse af de nødvendige investeringsomkostninger, hvor der primært er brugt en amerikansk kilde.

Det er i analysen estimeret, at slutbrugere med den nuværende teknologiske udvikling og forventning til udbredelse af disse teknologier vil opnå en årlig energibesparelse på 1.200 GWh i 2030, svarende til 2 % af det endelige energiforbrug til rumopvarmning, belysning, komfortventilation og komfortkøling i 2016. Den estimerede økonomiske årlige besparelse for slutbrugere er i størrelsesordenen 860 mio. kr.

i 2030. De største energibesparelser forventes opnået inden for løsninger til rumopvarmning og i enfamiliehuse.

Det er som tidligere nævnt et område i stor udvikling, og analysen indeholder derfor også en vurdering af det maksimale besparelspotentiale ved brug af data og digitalisering, ved at antage en maksimal udbredelse af bedst kendte men ikke på nuværende tidspunkt tilgængelige teknologier på det danske marked i dag. Energibesparelspotentialet vil her ligge på 6.550 GWh/år, svarende til ca. 11% af det endelige energiforbrug til rumopvarmning, belysning, komfortventilation og komfortkøling i 2016. Dette er naturligvis meget usikkert især frem til 2030, og det er derfor mere sandsynligt, at potentialet skal ses på lidt længere sigt f.eks. frem mod 2050. Differencen i besparelspotentialerne viser dog det samlede maksimale potentiale, der kan realiseres ved at øge fokus på området.





2 ENERGIEFFEKTIV DRIFT I BYGNINGER

Bygningsdrift handler om, at der i bygningen skal være den rigtige indetemperatur, den gode luftkvalitet og tilstrækkeligt med ly, der passer til den konkrete anvendelse i kontorbygninger og boliger. En energieffektiv drift handler derfor om, at anlæggene leverer præcis den ydelse, der er behov på det tidspunkt, der er behov for den – og at der ikke leveres mere end den ydelse. Dette kan opnås ved forskellige former for driftskoncepter, der anvender data og digitalisering, ved vedligehold og service og ved udskiftning af til mere energieffektive komponenter eller anlæg. Denne del af rapporten indeholder alene den første del om driftskoncepter, der anvender data og digitalisering.

2.1 OMFATTEDE BYGNINGER OG ENERGIFORBRUG I ANALYSEN

Da teknologier og driftskoncepter afhænger af bygningens energibehov, og brugen af bygningen, deles der op i 4 bygningstyper: enfamilieshuse, etageboliger og erhvervsbygninger og offentlige bygninger, se Figur 1.

Figur 1: Stratificering af bygninger

				
	Enfamilieshuse	Etageboliger	Offentlig	Erhverv
BBR-kode	110, 120, og 130	140	300	400

Kilde: Viegand Maagøe

Der tages udgangspunkt i det endelige energiforbrug til oprettelse af komforten i bygningerne (rumopvarmning og forbrug til belysning, komfortventilation og -køling) i 2016, jf. Tabel 1. Alle tal er baseret på Energistyrelsens Energistatistik 2016 [16]. Andelen til belysning for enfamilieshuse og etagebygninger er baseret på oplysninger fra SparEnergi [72]¹, og for erhverv og offentligt er slutanvendelsesfordelingen baseret på fordelingen for H&S i Erhvervskortlægningen [17].

Tabel 1: Endeligt energiforbrug fordelt på slutanvendelser i 2016

Energiforbrug 2016 [PJ]	Enfamilieshuse	Etageboliger	Offentligt ²	Erhverv
Varme	120,4	43	16,5	20
Lys	2,3	1	2,4	4,5
Ventilation	-	-	1,6	3
Køl	-	-	0,8	1,4

Kilde: Viegand Maagøe baseret på Energistyrelsen Energistatistik.

De konkrete teknologier og løsninger inden for opvarmning, belysning, komfortventilation og -køling er beskrevet i næste kapitel 3, mens de overordnede teknologier og tendenser for anvendelse af data og digitalisering til drift af bygninger er beskrevet i dette kapitel. Nye bygninger indgår ikke i denne rapport.

¹ <https://sparenergi.dk/forbrug/er/dit-elforbrug>

² Slutnendelsesprocentdelen er antaget det samme som i Erhverv
VIEGAND
MAAGØE

2.2 TENDENSER INDEN FOR BYGNINGSAUTOMATIK OG INTELLIGENTE BYGNINGER

Bygningsautomatik omfatter alle produkter og services til automatisk kontrol, og energiovervågning af bygninger eller enkeltanlæg. Automatikken kan også omfatte processering af data og information. Integreret bygningsautomatik (IBAC) er designet til at kunne kommunikere med et eller flere styringssystemer via åbent datakommunikationsnetværk eller grænseflader. De tilgængelige styringssystemer af bygninger kan grundlæggende opdeles efter kompleksitet og intelligensniveau. Komplexiteten afspejler, hvor omfattende systemet er. De mest simple løsninger indeholder styringsenheder, som agerer på baggrund af ét sensorinput. Det kan være en termostat, som styrer varmtvandsflowet på baggrund af et setpoint og en aktuell rumtemperatur. Mere komplekse systemer kan regulere flere steder på baggrund af en række af sensorinput. Intelligensniveauet dækker over, hvorvidt en digitaliseringsproces har medført, at databehandling er blevet integreret i styringsenheden. Dette betyder, at selve styringsenheden – enten lokalt eller fra en cloudløsning – indsamler og analyserer data på baggrund af sensorinputs, og automatisk regulerer driftsparametre på baggrund af dette. Dette kan være en elektronisk termostat, som tilpasser rumtemperaturen afhængigt af rummets brugsmønster. De forskellige koncepter er styringskoncepter til varme, køling, lys, ventilation, og/eller en kombination heraf.

IoT- og Big Data-trenden er dominerende i forhold til en øget anvendelse af data inden for mange brancher og produkter. Denne trend påvirker også udviklingen af bygningsautomatik og integrerede energistyringssystemer for bygninger. Der sker i øjeblikket en stor udvikling af produkter og løsninger, der involverer IoT og integration af smarte produkter (devices) og smartphones (via apps og webapplikationer) især i boliger. Løsningerne kan både være ledningsbaserede (wired) og trådløse, men tendensen er lige nu, at flere og flere løsninger baseres på trådløse teknologier [48]. Dette skyldes, at trådløse moduler er blevet billige, og at der i mange bygninger er eksisterende trådløse netværk (enten Wi-Fi eller Zigbee), som der kan opkobles på. Dette reducerer installationsomkostningerne ved systemerne, da de ofte kan kobles på det eksisterende netværk i stedet for, at der skal etableres et eget netværk.

Mange også store internationale firmaer er i de senere år kommet på markedet med IoT-produkter og løsninger og nye og forbedrede versioner af disse. Det ser ud til, at de nye løsninger i højere grad end hvad der er set tidligere på bygningsautomationsområdet, har fokus på brugerfladen og brugeroplevelsen. Det må forventes på sigt priserne på produkterne falder, som man ser det på andre elektronikområder også pga. det stigende udbud af produkter og løsninger.

En anden tendens er, at det ser ud til at andre ydelser end energieffektivisering kan være drivere for udviklingen, f.eks. markedsføres mange systemer inden for boliger med alarmer for brand og indbrud [42], ligesom mange løsninger rettet mod større bygninger udover brand og indbrud også markedsføres som en metode til at øge den øvrige drift og service, f.eks. med parkeringspladsanvisninger og møderumsbooking og -forplejning [43].

2.3 MÅLERE OG ENERGIOVERVÅGNING

Fjernafmålede målere er på vej frem i alle bygningssegmenter. På el-området er der krav om fjernafmålede elmålere senest 2020, mens det inden for gas, vand og varme ikke er lovpligtigt at installere fjernafmålede målere. Mange fjernvarmeselskaber er dog alligevel i gang med at installere fjernafmålede målere hos deres kunder. De installerede målere kan have forskellig dataindsamlingsfrekvens, der betyder, at de kan være mere eller mindre egnede til at anvende til at fremme en energieffektiv drift. Ud over de målere, der installeres af energiselskaber - og som derfor er på hovedmålerniveau, tilbyder flere firmaer af energistyringssystemer, energirådgivning eller forbrugsafregningssystemer opsætning af bimålere. Det må samlet set forventes, at der i de kommende år bliver bedre muligheder i forhold til dataindsamling og dataovervågning, som underbygger mulighed for opfølgende handling. [66] har opgjort energibesparelsen ved feedback fra elmålere til 2-3 %. Hvis det er baseret på selvafmåling – som vil være tilfældet for mange energistyringssystemer i boliger – er besparelsen lavere, ca. 1-2 %. Bygningsstyrelsen og

HOFOR har gode erfaringer ifm. med feedback og energistyring – driftspersonale-baseret energistyring - og rapporterer om besparelser op mod 10 % [43].

Det vurderes dog, at en del af de besparelser, der opnås igennem denne driftspersonale-baserede energistyring, opstår igennem renoveringer af installationer eller aktivering og tilpasning af eksisterende styringsfunktioner på varme- eller belysningsanlæg. Derfor er disse energistyringssystemer ikke behandlet som et selvstændigt driftskoncept i denne analyse om energieffektiv drift.

3 KONCEPTER FOR FORBEDRING AF DRIFTEN AF BYGNINGER VED BRUG AF DATA

I det følgende beskrives forskellige koncepter til regulering af hhv. varme, belysning, komfortventilation, komfortkøling, eller en blanding heraf. Der beskrives alene de koncepter, som er på markedet nu eller som vurderes at komme på markedet i nærmeste fremtid (de såkaldte BNAT³).

3.1 BESKRIVELSE AF STYRINGSFORMER

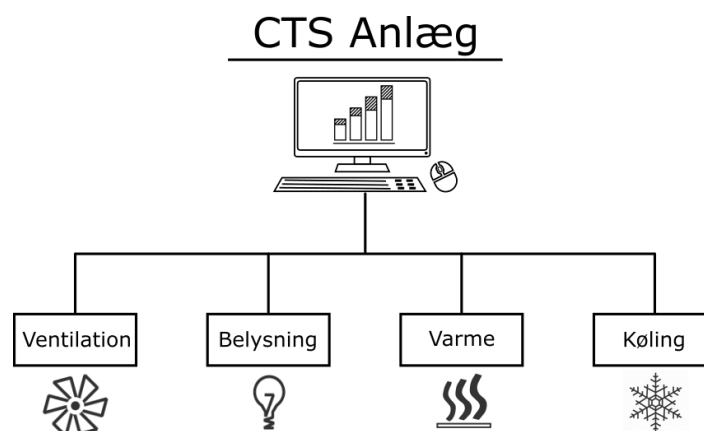
Simple styringer såsom timere, smart plugs og følere af inde- og udetemperatur, CO₂-niveauer, og bevægelse er teknologisk velafprøvede teknologier, som har været anvendt i mange år og giver veldokumenterede besparelser. Styringen sikrer, at produktet/anlægget leverer den ydelse, der er behov for på baggrund af en føler, der registrerer en driftsparameter eller en tidsstyring. På baggrund af disse oplysninger reguleres ydelsen ved at tænde og slukke produktet/anlægget eller gradvis nedsættelse ydelsen. Kort sagt, ét input til ét output. De inkluderer bygningsautomatiske styringer (BAC) f.eks.:

- Mekaniske termostater (både til at styre radiatorers vandflow, og f.eks. en varmepumpes target-temperatur)
- Bevægelsessensorer eller timere til lysstyring (on/off)
- Ventilationsblæsere der styrer flowet efter CO₂-niveauet i rummet
- Kontaktsensorer til døre og vinduer

De kan således udbredes i alle eksisterende bygninger, da de oftest er lokale rum-baserede styringsenheder. Data der driver disse styringer, er dog ikke altid tilgængelige, med mindre de er tilkoblet et BMS/CTS/IBI-anlæg⁴, hvor data fra følerne opsamles sammen med oplysninger om energiforbrug.

CTS-anlæg (Central Tilstandskontrol og Styring) er et system, hvorigennem en eller flere bygningers drift styres, driftsoplysninger opsamles, og hvor det er muligt at etablere alarmer, når driften afviger fra det planlagte. CTS-anlæg har været på markedet i mange år og installeres primært i større bygninger eller af bygningsejere med en væsentlig ejendomsportefølje. CTS-anlæg bliver ofte betegnet som intelligent bygningsdrift, men er i realiteten ofte energiovervågning/aflysning. CTS har den styrke og svaghed, at der er behov for driftspersonale, der kan – og tør – reagere på de oplysninger, de får. Figur 2 viser opbygningen af et CTS-anlæg.

Figur 2: Opbygning af et CTS-anlæg



Kilde: Viegand Maagøe

³ Best Not yet Available Technologies

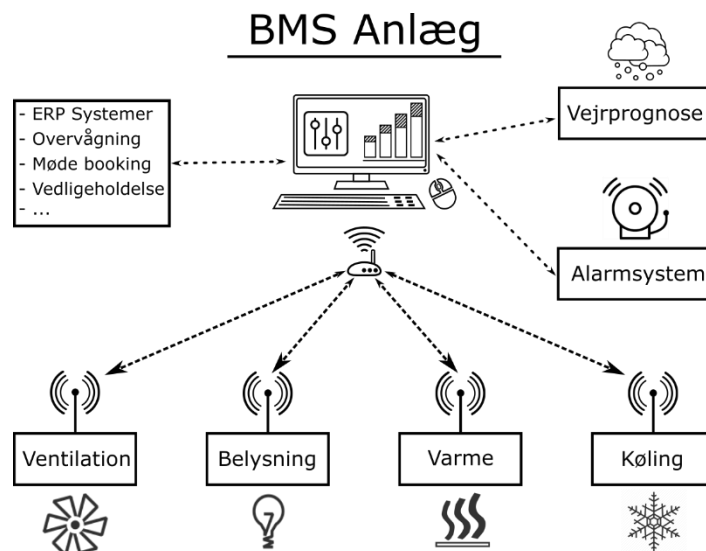
⁴ BMS (Building Management System), CTS (Central Tilstandskontrol og Styring) og IBI (Intelligent BygningsInstallation) er forskellige og overlappende betegnelser for systemer til bygningsstyring. I udlandet anvendes primært betegnelsen BMS.

BMS-anlæg (Building Management System) er grundlæggende et CTS-anlæg med mulighed for intelligente styringer, vejrprognosestyring mv., og det kan binde samtlige tekniske installationer i en bygning sammen via en computer, så systemet kan anvendes til at styre alle installationer i bygningen på baggrund af sensor-inputs. Systemet kan afhængig af opsætning også anvendes til vejrkompensering, adgangskontrol, elevatorer, parkeringsanlæg, sikkerhed mv. og kan have egentlige intelligente funktioner. Da systemerne kan være omfattende at integrere, og fordi de skal skræddersyes til den enkelte bygning, er det typisk de større bygninger, hvor disse anlæg er installeret.

Udviklingen inden for specielt IoT-enheder har imidlertid gjort det mulige at lave løsninger, som er udviklet til mindre bygninger, herunder boliger. Dette er bl.a. fordi sensorer og aktuatorer i sig selv er blevet billigere, men også fordi trådløse moduler til f.eks. Wi-Fi og Bluetooth er blevet billige nok til at kunne installeres i de fleste sensorer. Dette gør, at netværksstrukturen kan gøres 100% trådløs f.eks. ved at koble systemer på det eksisterende Wi-fi netværk, hvilket kan reducere installeringsomkostningerne væsentligt.

Nogle virksomheder arbejder på at inkorporere endnu flere funktioner i systemerne (f.eks. de såkaldte "Total Building Solution"), der kan anvendes til vedligehold af gangarealer og toiletter baseret på forbrug, tilpasse de lokale workspaces til personers behov, tilpasse kantinedrift til de personer, der er på arbejde, planlægge mødeforplejning og kan tilpasses medarbejdernes adfærdsmønstre mv. Dette kræver mange sensorer i bygningen og øget computerkraft til databehandling, og de ekstra funktioner går langt ud over blot at energieffektivisere bygningsdriften. Gevinsten af at indføre disse systemer er derfor ikke på koblet på energibesparelser, men på øget komfort, sikkerhed, arbejds effektivitet og reduktion af spildtimer for medarbejderne. Figur 3 viser opbygningen af et BMS-anlæg.

Figur 3: Opbygning af et BMS-anlæg

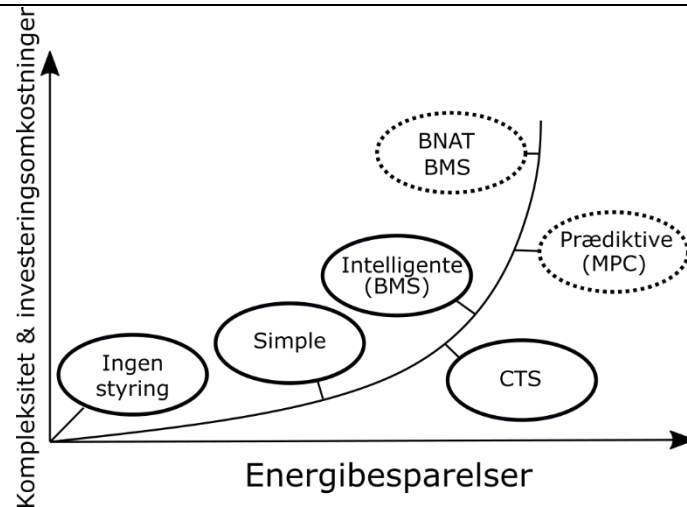


Kilde: Viegand Maagøe

Prædiktiv styring er en styring, hvor vejrprognoser og prognoser for bygningens anvendelse indgår til at optimere bygningens drift. Den prædiktive styring er dermed anderledes end den traditionelle simple styring, hvor der reageres på den aktuelle situation (ude-inde-temperaturer, antal personer i rummet mv.).

Samlet set kan energibesparelser opnået ved de ovenfor beskrevne systemer simplificeres ved nedenstående Figur 4.

Figur 4: Simplificeret sammenhæng mellem energibesparelser og kompleksitet



Kilde: Viegand Maagøe

Figuren illustrerer, at den marginale gevinst ved at gå et trin op i kompleksitet bliver mindre jo mere komplekst systemet bliver.

I de følgende afsnit er en overordnet beskrivelse af trends, teknologier og udbredelse i slutanvendelserne varme, belysning, komfortventilation og -køling, mens der i Bilag A er en udvidet beskrivelse af de enkelte identificerede driftskoncepter.

3.2 SPECIFIKKE LØSNINGER INDEN FOR SLUTANVENDELSENE

Varme

Elektroniske termostater er intelligente erstatninger til den klassiske mekaniske termostat. De elektroniske termostater kan styre temperaturen bedre og mere præcist end de mekaniske termostater, og de har generelt en bedre brugervenlighed, da man kan indstille en temperatur i stedet for skrue på en mekanisk termostat med arbitrære tal som indikatorer. De elektroniske termostater kan derudover indstilles efter forbrugsadfærden, f.eks. sænke temperaturen i faste tidsrum eller i ferier, og nogle produkter kan registrere, hvornår folk er hjemme, og dermed nedregulere varmekonsumet i perioder, hvor folk ikke har brug for varmen. Flere produkter giver også mulighed for at se husstandens varmekonsum. De elektroniske termostater reguleres via et brugerinterface, f.eks. en smartphone. Der er mange produkttyper og producenter af elektroniske termostater.

Mekaniske termostater er de mest udbredte termostater i husholdninger i Danmark. I Tyskland har 94 % af boliger mekaniske termostater [47], og øvrige EU-lande inkl. Danmark har sandsynligvis samme udbredelse [2]. Andelen af husholdninger med elektroniske termostater eller ingen termostater er således lav.

Af Bolius' boligejeranalyse fra 2017 fremgår det, at 9 % af boligejerne har udskiftet gamle termostater inden for det seneste år, mens 4 % nævner, at de planlægger at gøre det i det kommende år. Energisparetiltaget er det tredje mest gennemført tiltag blandt 11 tiltag [30]. De mekaniske termostater udskiftes dermed med nyere modeller og en del af disse vil være elektroniske versioner, især fordi prisforskellen mellem de to typer er lille.

Der er oftest styring på kedler og fjernvarmeunits, og det kan derfor overvejes, om der bliver en overregulering, eller om styringer modarbejder hinanden. F.eks. kan en elektronisk termostat lukke for varmen

på et fastsat tidspunkt (om natten, eller når der ikke er personer i rummet), samtidigt med at kedelstyringen øger fremløbstemperaturen, på baggrund af en temperatursensor der måler udetemperaturen. Regner termostaten med en fast fremløbstemperatur, vil den åbne for fjernvarmefflowet hurtigere end nødvendigt, og besparelspotentialet for termostaten vil derfor formindskes, da rummet vil blive varmet hurtigere op end forventet.

Der er ikke fundet kilder, der belyser dette. Som et led i projektet i Nordhavn [56] er dele af projektet udstyret udelukkende med styring af fjernvarmefremløbstemperaturen og dele af projektet udstyret med styring på radiatorer, så der bliver muligt at få mere viden om de to styringstyper på et senere tidspunkt.

Belysning

Sensorer i belysning er udbredt en lang række af steder og er kendt teknologi, idet de har været fremme mange år. Systemet tænder for belysningen, når der registreres personer i rummet. Dette gøres enten via bevægelsessensorer, eller andre sensorer, der registrerer, om der er personer i rummet. Der skal være en vis omhu ved installeringen for, at effekten opnås, og irritation over lys, der slukker eller tænder på forkerte tidspunkter, undgås.

Derudover findes teknologien Day light Harvesting, som går ud på at udnytte udelyset inde i bygninger. Den er mest relevante til kontorbygninger, hvor udvendige vinduesafsikærmninger automatisk kan regulere sig efter solens højde og på den måde reflektere dagslys ind i bygninger. Dette kobles med indendørs lyssensorer, der lokalt måler lysintensiteten inde i rummet, og regulerer lysinstallationerne, så der opnås det ønskede lysintensitetsniveau. Besparelspotentialet afhænger stærkt af bygningstype, reflektansniveau, placering, årstid, osv.

I bygningsreglementet har der siden BR10 været specifikke krav om dagslysstyring i arbejdsrum og fælles adgangsveje, hvor der er tilstrækkeligt med dagslys.

Det er i dag ikke almindeligt med lysstyring i almindelige boliger ud over lysdæmpning, som kan anvendes på lamper med LED- og halogenpærer, og i udendørslamper, der reguleres efter om der er dagslys. I de senere år er der kommet nye pærer med indbygget trådløs styring og bevægelsesmeldere rettet mod boligsektoren. Med disse kan pærenes lysstyrke og farver reguleres ligesom styringen kan fungere som tænd/sluk. Der er i de eksisterende løsninger endnu ikke tale om regulær dagslysstyring, dvs. regulering af lysmængden efter dagslyset. Pærene er koblet til nettet og kan styres trådløst med telefon mv. og f.eks. sættes til at tænde, når man kommer hjem, og slukke når man forlader sin bolig og til at dæmpe belysningen efter funktioner, stemninger eller årstider. Det kan også kobles sammen med gardinsystemer [58]. Fokuspunktet for de trådløst styrede pærer er ikke energibesparelser, men på ekstra funktioner så som integrering af lysstyringen til smart-hubs (så som Google Home, Amazon Alexa, Samsung SmartThings osv.), let adgang til timer-funktioner mm. Der er ikke fundet uafhængige kilder, der viser, at der kan opnås energibesparelser ved at skifte til disse pærer (medmindre de udskifter en ikke-LED-pære), og besparelspotentialet kan derfor godt tænkes at være negativ, hvis pærene udskiftes i en bolig, hvor der allerede er en energirigtig adfærd, da netværkselektronikken, kontrolhubs osv. har et egetforbrug.

I boligerne kan lyspærer og lamper rent teknisk hurtigt skiftes ud, men der har hidtil været en konservativ tilgang til belysning, som har betydet en langsom indtrængning af både sparepærer og LED. Test har desuden peget på, at der også stadig er udfordringer i forhold til brugervenligheden for nogle af produkterne [28].

Komfortventilation

Gammeldags/simple ventilationssystemer bliver designet efter, hvor mange brugere hvert rum/bygning har og derefter sat til at kunne dække peak-behovet ift. et antal liter ren luft per person per time. Dette betyder, at ventilationssystemet er sat til at køre efter peak-niveauet, som betyder, at der bliver overventileret alle tidspunkter, hvor dette niveau ikke er gældende. Behovstyrede ventilationssystemer kører

i stedet for et fastfast niveau af CO₂- og/eller fugtindholdet i rummet. Det ændrer ydelse dynamisk efter behovet. Det kaldes oftest for demand controlled ventilation (DCV).

Ventilationsmængden er endvidere afhængig af personer i lokalet og kan ligeledes reguleres med prædiktive systemer. Hvis systemet estimerer, at bygningen ikke vil blive brugt i en periode, kan ventilationsanlægget nedregulere langsomt i stedet for at køre ved fuldlast, hvilket giver mindre tryktab, og dermed lavere overordnet energiforbrug. Systemet tillader også helt at stoppe om natten, og så først begynde når mennesker i bygningen gør det nødvendigt.

Bygningsmassen inden for handel og service er af nyere dato, som er omfattet af bygningsreglementet (2018) og dermed af krav om varmegenvinding på ventilation [18]. Nyere anlæg vil derudover have større sandsynlighed for at have styring på de enkelte anlæg f.eks. termostater, behovsstyring mv. I Danmark er behovstyret ventilation ret udbredt og [23] antager, at 50 % af ventilationsanlæggene i bygninger over 1000 m² er behovstyret.

I eksisterende boliger er der et lavt forbrug til ventilation. Forbruget er primært i nyere bygninger, hvor det på grund af den tætte bygningskonstruktion er nødvendigt med ventilation for at sikre et optimalt indeklima. I eksisterende bygninger, hvor der sker en væsentlig renovering og dermed tætning af klimaskærmen, etableres også oftest ventilationsanlæg. Løsninger til boligventilation er dog ikke indeholdt i denne rapport, da forbruget er lille, og nybyggeri ikke indgår i undersøgelsen.

Komfortkøling

Styringsformer til kølesystemer kan som udgangspunkt benytte de samme principper som varmekonsumet, da de grundlæggende fungerer efter samme princip. Derfor er sparepotentialet (procentvist) antaget identisk med koncepterne for varme. Der forventes ikke at være et sparepotentiale for komfortkøleforbrug i private husstande, og energiforbruget indgår ikke som særskilt forbrug i statistikker eller øvrige opgørelser.

4 OPSTILLING OG FORUDSÆTNINGER FOR ANALYSEN

På baggrund af de beskrevne teknologier og styringer i kapitel 3 opstilles en række driftskoncepter, der er relevante for de løsninger, der er i dag og frem til 2030.

Analysen af gevinsterne ved øget brug af data og digitalisering af bygningsdrift består hovedsageligt af to scenarier, et Business-as-usual-scenarie (BAU), og et fremtidsscenario der omfatter best-not-yet-available-technologies (BNAT).

BAU-scenariet indeholder energiforbrugets udvikling som følge af den forventede udbredelsesudvikling for de enkelte driftskoncepter og bygningssegmenter. Den er baseret på de i dette kapitel beskrevne antagelser om energibesparelspotentialer, udbredelser, investeringsomkostninger og nuværende og fremtidige energipriser. Nye teknologier, der endnu ikke er på markedet, har i dette scenarie en lav forventet udbredelse i 2030.

BNAT-scenariet dækker potentialet ved at indføre de bedste kendte teknologier, som endnu ikke er fuldt udviklet, men som forventes mulige på markedet i den nærmeste fremtid. Det antages en udbredelse procent på 100% af de bedste fremtidige teknologier. Hvis der ikke er identificeret nogen fremtidige teknologier, bruges de bedste nuværende.

Dette er naturligvis meget usikkert og usandsynligt frem til 2030, og det er derfor mere sandsynligt, at potentialet skal ses på lidt længere sigt f.eks. frem mod 2050 – og selv her, er 100% udbredelse urealistisk. Scenariet viser dog potentialet for de kommende teknologier og kan ses som en estimering af det maksimale besparelspotentiale inden for øget brug af data og digitalisering af bygningsdrift. Differencen i besparelspotentialerne i mellem BAU- og BNAT-scenarierne viser derfor det samlede maksimale potentiale, der kan realiseres ved at øge fokus på området.

4.1 OPGØRELSE AF ENERGIBESPARELSE

De beregnede energibesparelgesgevinster som følge af de to scenarier bliver beregnet på baggrund af besparelspotentialer per opstillet driftskoncept baseret på Tabel 2, den nuværende og fremtidige udbredelse af driftskoncepter, og energiforbruget til slutanvendelserne, jf. Tabel 1. Dette opgøres for hvert driftskoncept for hvert bygningssegment per år.

Der antages, hvor stor en andel den nuværende udbredelse er for hvert driftskoncept, og hvordan denne forventes at ændre sig frem mod 2030. For eksempel forventes i BAU-scenariet inden for rumopvarmning en andel af de nuværende mekaniske termostater at blive udskiftet med primært elektroniske termostater, mens en mindre andel udskiftes til intelligent styring med elektroniske termostater og prædiktiv styring (MPC). Derudover forventes etableret elektroniske termostater i den lille andel af boliger, der ikke har styring i dag. Udviklingen af udbredelsen af de forskellige driftskoncepter er angivet i Tabel 3.

Energistyrelsens Basisfremskrivning 2017 [36] estimerer, at det samlede energiforbrug til opvarmning af private husstande vil falde frem mod 2030. For at isolere energibesparelseeffekten for energieffektiv drift og således udelukkende tage højde for udbredelsen af de aktuelle koncepter, beregnes alle besparelspotentialer på baggrund af energiforbruget i 2016. Dette gøres, da der i Energistyrelsens Basisfremskrivning indgår den naturlige teknologiudvikling og for at undgå, at effekten af udbredelsen af "smart teknologi" i bygningssegmenterne medregnes to gange.

Det er kendt viden, at energieffektiviseringsstiltag inden for opvarmning af boliger kan betyde, at boligejere vælger at øge komforten, f.eks. ved at lade en større del af boligen være opvarmet eller ved at øge rumtemperaturen og dermed ikke opnår den forventede besparelse. Dette er den såkaldte reboundeffekt. Analyse af reboundeffekten for energireovering af boligen kan være 30-70 %. [35]. Der forventes også ved etablering af intelligente bygningsystemer at være en reboundeffekt. Der er imidlertid ikke fundet kilder på, hvor stor reboundeffekten er for disse intelligente systemer, men det må forventes, at

reboundeffekten er i den lave ende, da adfærdspåvirkningen generelt set formindskes. Derfor anvendes en reboundeffekt på 30 %, som de identificerede besparelser i Tabel 2 reduceres med. Reboundeffekten er således direkte proportional med de beregnede besparelsespotentialer og er derfor en vigtig parameter i beregningerne.

I boligsektoren er der ingen overlap mellem driftskoncepterne, mens der i erhverv og offentlige virksomheder vil være overlap mellem driftskoncepterne inden for varme og ventilation. Der vil derudover være et begrænset overlap i forhold til driftskoncepterne inden for belysning og køling. Der er ikke fundet relevante oplysninger om overlappet mellem driftskoncepterne inden for varme og ventilation. Da energiforbruget til komfortventilation udgør en meget lille andel af det samlede forbrug, vil overlappet være lille, og der tages derfor ikke højde for overlap i beregningerne.

Den reelle beregning bygger på, hvor stor den nuværende udbredelse er for de forskellige teknologier og den årlige ændring i udbredelsen, og hvad besparelsespotentialerne for de forskellige teknologier er.

Eksempelvis, tag to arbitrære teknologier; Teknologi A og teknologi B, som har hhv. 5% og 25% besparelsespotentialer, ift. et 0-punkt⁵. Hvis udbredelsen af teknologi A og teknologi B har hhv. 10% og 25% udbredelser i 2020, og 15% og 20% i 2030, vil 5% af energiforbruget være skiftet fra at bruge teknologi A til at bruge teknologi B mellem 2020 – 2030. Dette betyder, at 5% af energiforbruget er sænket med 20% ift. 0-punktet. Hertil tilføjes den før beskrevet rebound-effekt som tillægges besparelsespotentialerne. Dette gøres for hver teknologi per år per bygningssegment.

De benyttede udbredelser og besparelsespotentialer per teknologi per bygningssegment kan som nævnt ses på hhv. Tabel 3 og Tabel 2

4.2 OPSTILLING AF DRIFTSKONCEPTER TIL ANALYSEN

Det er i dataindsamlingen af besparelsespotentialerne for de enkelte driftskoncepter prioriteret kilder, der er baseret på faktiske undersøgelser i forhold til teoretiske undersøgelser og firmaspecifikke data. Dog er identificerede besparelser for driftskoncepter, der indeholder endnu ikke fuldt udviklede teknologier (Best Not yet Available Technologies, BNAT), i sagens natur beregnede og teoretiske. Alle omtalte sparepotentialer er opsummeret i Tabel 2 og detaljerede beskrivelser af teknologierne og kilderne findes i Bilag A. De opnåede besparelser i de enkelte driftskoncepter afhænger oftest af den konkrete bygning og dens tekniske anlæg. Flere af kilderne angiver f.eks. bygningsstørrelse, antal mennesker i bygningen og anvendelsen (bl.a. brugstid). Disse forskelle og spænd er nærmere beskrevet i Bilag A under de enkelte teknologibeskrivelser. Det skal bemærkes, at besparelserne angivet i Tabel 2 ikke er additive. For driftskoncepter med flere kilder er det benyttede besparelsespotentiale middelværdien af de anførte kilder.

⁵ Typisk angivet "Ingen styring" jf. Tabel 3
VIEGAND
MAAGØE

Tabel 2: Oversigt over besparelspotentiale for driftskoncepterne

	Varme		Belysning		Ventilation		Komfortkøling	
Enfamilieshuse	Ingen	0%	-	-	-	-	-	-
	Mekaniske termostater	7%	-	-	-	-	-	-
	Elektroniske termostater	15%	-	-	-	-	-	-
	Intelligent styring, inkl. MPC	22%	-	-	-	-	-	-
Etageboliger	Ingen	0%	-	-	-	-	-	-
	Mekaniske termostater	7%	-	-	-	-	-	-
	Elektroniske termostater	15%	-	-	-	-	-	-
	Intelligent styring, inkl. MPC	22%	-	-	-	-	-	-
Erhverv	Ingen	0%	Ingen	0%	Ingen	0%	Ingen	0%
	Mekaniske termostater	7%	Bevægelsesmeldere	28%	Timere	15%	Timere	7%
	Intelligent styring	15%	Bevægelsesmeldere + Day light Harvesting	33%	Behovsstyret	23%	Behovsstyret	15%
	Intelligent styring, inkl. MPC	29%			Behovsstyret, MPC	26%	Behovsstyret, MPC	29%
Offentlig	Ingen	0%	Ingen	0%	Ingen	0%	Ingen	0%
	Mekaniske termostater	4%	Bevægelsesmeldere	28%	Timere	15%	Timere	7%
	Intelligent styring	15%	Bevægelsesmeldere + Day light Harvesting	33%	Behovsstyret	23%	Behovsstyret	15%
	Intelligent styring, inkl. MPC	29%			Behovsstyret, MPC	26%	Behovsstyret, MPC	29%

Note: Alle besparelspotentiale anført er i forhold til "Ingen styring". F.eks. er forskellen ved at gå fra mekaniske termostater til elektroniske termostater $15\% - 7\% = 8\%$. For mere detaljeret beskrivelser af driftskoncepterne, se Bilag A.

Kilde: Viegand Maagøe

4.3 FORUDSÆTNINGER FOR UDBREDELSE

Flere kilder peger på, at det europæiske marked er nogle år efter det amerikanske, således at udbredelsen af intelligente produkter er lavere i Europa [26, 32, 33]. På baggrund af kilderne estimeres, at ca. 4 % af husholdningerne i Danmark har et eller flere smarte produkter⁶, mens andelen af amerikanske husholdninger med mindst et smart produkt var 16,7 % ved udgangen af 2016 [26]. Denne tendens understøttes af, at udvalget på amerikanske hjemmesider er større, og at produkterne får en senere markedsintroduktion i Europa end på det amerikanske marked. Kilderne peger dog også på, at det europæiske marked forventes at vokse mere i de kommende år og dermed henter ind på amerikanske marked.

De produkter, der sælges flest af til husholdninger i USA, er smarte termostater, stemmestyringssystemer, alarmsystemer, smarte lyspærer, netværkskameraer og højtalersystemer. Salget af smarte produkter er i stigning [26, 32, 33, 34]. [34] angiver andelen af danske husholdninger med produkter inden for energy management og belysning til at være hhv. 5 % og 4 % i 2017, og at andelen af husholdninger med disse produkter allerede i 2022 vil være hhv. 14 % og 19 %.

For bygningsautomatik i større bygninger angiver [70] en vækst i erhvervsbygninger på i gennemsnit 4 % per år fra 2016 til 2025. Denne vækstrate er anvendt i beregningerne for rumvarme, komfortventilation og -køling frem til 2030. Udbredelsen af de forskellige driftskoncepter i større bygninger ses i Tabel 3.

Der er betydelig fokus i EU-Kommissionen på bygningsautomatik. EU-Kommissionens vinterpakke fra 2016 indeholdt i forslaget til revision af Bygningsdirektivets artikel 14 et forslag om, at medlemsstaterne vil kunne fastsætte krav, som kan sikre, at kommercielle bygninger med et totalt årligt endeligt energiforbrug på over 250 MWh skal etablere bygningsautomatik og kontroller. EU-Kommissionen har endvidere igangsat et scopingstudie af ecodesign og energimærkning af bygningsautomatik [71].

60 % af virksomhederne havde i 2015 en eller flere LED-installationer [50]. I USA er der fundet, at hvis en kommerciel bygning har LED-belysning, har den også i højere grad bevægelsesmeldere, lysdæmpning og Day light Harvesting, end hvis den ikke har LED-belysning [50]. Dette kunne skyldes, at belysningsanlægget er nyere, og at man ved renoveringen har installeret en eller flere typer af styringerne. Det er især bemærkelsesværdigt, at 8 % af bygningerne med LED har Day light Harvesting, hvilket tyder på, at det er en velkendt og anvendt teknologi. Endvidere viser de amerikanske tal, at andelen af erhvervsbygninger med bevægelsesmeldere er ca. 50 % i bygninger med LED. Der antages, at der er samme andel i Danmark, da der i en årrække har været fokus på bevægelsesmeldere og lysstyring.

På baggrund af ovenstående er opstillet en oversigt over de estimerede udbredelser af de forskellige driftskoncepter i år 2016, samt for begge scenarier, der hhv. beskriver den forventede teknologiske udbredelse i 2030 (BAU), samt udbredelsesfordelingerne brugt til at beregne det maksimale potentiale (BNAT). Oversigten ses i Tabel 3.

⁶ Interaktive produkter, der kombinerer en fysiske og software baserede brugergrænseflader, og som oftest kan agere autonomt i forskellige omfang.

Tabel 3: Oversigt over udbredelse af driftskoncepter (%) for status og scenarier

	Varme [%]			Belysning [%]			Ventilation [%]			Komfortkøling [%]						
	2016	BAU	BNAT	2016	BAU	BNAT	2016	BAU	BNAT	2016	BAU	BNAT				
Enfamiliehuse	Ingen	3	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Mekaniske termostater	94	70	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Elektroniske termostater	3	25	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Intelligent styring, inkl. MPC	0	5	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Etageboliger	Ingen	3	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Mekaniske termostater	94	80	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Elektroniske termostater	3	15	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Intelligent styring, inkl. MPC	0	5	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Erhverv	Ingen	0	0	0	Ingen	70	20	0	Ingen	25	0	0	Ingen	25	0	0
	Mekaniske termostater	50	35	0	Bevægelses-meldere	30	65	0	Timere	25	35	0	Timere	25	35	0
	Intelligent styring	50	60	0	Bevægelses-meldere + daylight harvesting	0	15	100	Behovsstyret	50	60	0	Behovsstyret	50	60	0
	Intelligent styring, inkl. MPC	0	5	100					Behovsstyret, inkl. MPC	0	5	100	Behovsstyret inkl. MPC	0	5	100
Offentlig	Ingen	0	0	0	Ingen	70	20	0	Ingen	25	0	0	Ingen	25	0	0
	Mekaniske termostater	50	35	0	Bevægelses-meldere	30	65	0	Timere	25	35	0	Timere	25	35	0
	Intelligent styring	50	60	0	Bevægelses-meldere + daylight harvesting	0	15	100	Behovsstyret	50	60	0	Behovsstyret	50	60	0
	Intelligent styring, inkl. MPC	0	5	100					Behovsstyret inkl. MPC	0	5	100	Behovsstyret inkl. MPC	0	5	100

Note: Oversigt over estimerede udbredelser i 2016, forventede udbredelser i 2030 for BAU scenariet, samt udbredelsen brugt til at beregne BNAT scenariet.

Kilde: Viegand Maagøe

4.4 ANVENDETE ENERGIPRISER

Alle benyttede energipriser bygger på Energistyrelsens Basisfremskrivning 2017 [36]. Elprisen er taget for den angivne spotpris, og tilføjet elafgift og distribution, og moms for private forbrugere. Alle afgifter og momsrate er antaget konstante på 2017-niveauer.

Varmeprisen per kWh bygger ligeledes på Basisfremskrivning, hvor nettovarmebehovet er fordelt på teknologier og er angivet for hhv. olie, gas, biomasse, elpaneler, elvarmepumper og fjernvarme. Baseret på denne distribution er de fremskrevne priser for de forskellige varmeteknologier blevet aggregeret per år, og én samlet gennemsnitlig varmepris er derfra blevet udregnet. Da fjernvarmeprisen ikke er blevet fremskrevet, er denne holdt konstant på 0,74 kr./kWh baseret på [37]. De benyttede el- og varmepriser kan ses i Tabel 4. Variationen af varmeprisen er umiddelbart ret lille. Dette er primært en effekt af, at fjernvarmeprisen holdes konstant (da fjernvarme dækker knap 50 % af det totale varmebehov). Til trods for, at mængden af fossile brændsler falder frem mod 2030, stiger elprisen, som gør, at elvarmeteknologier bliver dyrere.

Tabel 4: El- og varmepriser [kr./kWh]

	2017	2020	2025	2030
Elpris	2,22	2,26	2,38	2,46
Varmepris	0,778	0,775	0,796	0,813

Note: El- og varmepriser er inkl. moms, afgifter, og distributionsomkostninger holdt konstant på 2017-niveauer Alle priser i kr./kWh.

Kilde: Viegand Maagøe baseret på data fra [26].

4.5 OMKOSTNINGER TIL OPNÅELSE AF ENERGIBESPARELSER

BMS-systemer skræddersyes til de enkelte virksomheder, hvorfor investeringsomkostninger er vanskelige at standardisere som kr. per m² bygningsareal, og det har ikke været muligt at finde danske kilder, der har kunnet levere et grundlag for dette. Det er derfor valgt at estimere de økonomiske udgifter på baggrund af oplysninger i rapporten "Smart Building: Using Smart Technology to Save Energy in Existing Buildings" [24], hvor der angives tilbagebetalingstider for forskellige bygningsautomatikløsninger på markedet. Derudover er der anvendt danske priser for elektroniske termostater til boliger fra søgning på danske hjemmesider. Der indgår i analysen også en række produkter, som endnu ikke er på markedet, men der er ikke fundet nogle kilder, der kan belyse omkostninger til disse teknologier, og indgår med samme omkostninger som eksisterende bedste-teknologi-produkter i den økonomiske opgørelse.

For flere produkter er der i kilden angivet, at det er detailpriser (retail), og at der ikke indgår installation og eventuelle nødvendige tilpasninger til eksisterende systemer. Denne ekstra omkostning må forventes at varierer bredt for de forskellige segmenter og teknologier. F.eks. for store BMS-systemer i erhvervsbygninger er investeringsomkostningerne (til installering af f.eks. sensorer, integrering i eksisterende systemer mm.) så signifikante, at de er inkluderet i den overordnede tilbagebetalingstid. For teknologier til private husstande er installeringsomkostningen ikke væsentlige, da de fleste produkter medtaget i denne rapport er lavet til, at forbrugere selv kan installere dem.

En nærmere beskrivelse af beregningen af levetid og tilbagebetalingstiden kan ses i Bilag B.

På baggrund af forholdet mellem tilbagebetalingstiden og levetiden kan et tilnærmet udtryk for investeringsomkostningerne blive beregnet. Dette forhold angiver, hvornår i løbet af produktets levetid, at summen af de årlige besparelser er lig med investeringsomkostningen. Udgifter til drift og vedligeholdelse er ikke regnet med. Hvis et produkt f.eks. har en levetid på 20 år og en tilbagebetalingsperiode på 5 år, går 25% af den økonomiske gevinst ved energibesparelserne over produktets levetid til at betale for produktet (uden tilbagediskontering af beløbene). Dette forhold vægtes med energiprisen (som afhænger af driftskoncept og bygningssegment) og den tilhørende energibesparelse.

De tilnærmede investeringsomkostninger "U" beregnes i kroner per år som:

$$U = \frac{TBT}{LT} \times Q_b \times E_p$$

Hvor TBT og LT er henholdsvis tilbagebetalings- og levetiden, som kan ses i Tabel 9 i bilag B, Q_b er de totale besparelspotentialer for henholdsvis el (belysning, ventilation og komfortkøling) og varme i kWh fra Tabel 6, og E_p er energiprisen i DKK/kWh fra Tabel 4. Opgørelsen af den tilnærmede investering er således direkte koblet til besparelspotentialerne forklaret i sektion 4.1.

På baggrund af det meget begrænsede antal kilder, er investeringsberegningerne holdt simple. Usikkerheden på datakilderne er så store, at en mere detaljeret analyse ikke nødvendigvis vil give mere plausible resultater. Alle økonomiske tal er beregnet med 2017-priser, og der er ikke benyttet diskonteringsrente.

Det skal bemærkes, at der kun beregnes tilnærmede investeringsomkostninger for BAU-scenariet, og at dette kun gøres for at give et estimat på størrelsen af den forventede samlede økonomiske besparelse efter fradrag af investeringer.

For BNAT-scenariet er der derfor kun vist de potentielle besparelser ved reducere af energiforbruget, men ikke beregnet nogen omkostninger for integreringen. Dette er fordi, investeringsomkostningen til disse fremtidige produkter og systemer, som endnu ikke er kommercielt tilgængelige, ikke er muligt at estimere.

Tabel 5 viser de beregnede tilnærmede investeringsomkostninger for energibesparelserne opnået i henholdsvis 2020, 2025, og 2030 for BAU. De økonomiske udgifter er afhængige af to ting; Den årlige udvikling af udbredelsen af nye teknologier, og prisen på disse. De nye teknologier er ofte dyrere i indkøbspris og har typisk kortere levetider end traditionelle løsninger (f.eks. smarte termostater sammenlignet med mekaniske termostater). Dette betyder, at der sker en kontinuerlig udskiftning af komponenterne, hvorfor den totale investeringsomkostning stiger i takt med, at de nye teknologier bliver mere udbredte. For en mere detaljeret gennemgang fordelt på segmenterne se Tabel 7.

Tabel 5: Tilnærmede investeringsomkostninger for slutbrugere til opnåelse af energibesparelser i BAU-scenariet [mio. DKK/år]

	2020	2025	2030
BAU-scenariet	98	249	477

Note: Økonomiske udgifter for slutbrugere i henholdsvis 2020, 2025 og 2030 for BAU-scenariet

Kilde: Viegand Maagøe

5 BARRIERER FOR UDBREDELSEN

Selvom der allerede i dag findes en lang række af kommercielt tilgængelige systemer med væsentlige energisparepotentialer, så er udbredelsesraten lav. Ref. [41] har fundet, at villigheden til at investere i smart home-teknologier er drevet af fem ting: Forventet besparelse, opfattet nytte af forbrugsfeedback, miljøbevidsthed, hensigt til at ændre brugeradfærd og tillid til databeskyttelse (privatlivsproblemer). De store barrierer er identificeret til at være mistet kontrol, manglende pålidelighed, at smart home-teknologi ses som eksklusiv eller irrelevant og har højere installationsomkostninger [41].

5.1 TEKNISKE BARRIERER

De fleste typer af eksisterende energibesparelssystemer agerer som styringsenheder på eksisterende anlæg, så som kedler, ventilatorer, belysningsarmaturer osv. Dette betyder, at kompatibilitet mellem de nuværende anlæg og de nye teknologier er ekstremt vigtig for udbredelsen af de nye intelligente styringsenheder. Da de fleste virksomheder udvikler deres egne kontrolsystemer – og dermed softwareprotokoller – betyder det, at integreringen af specielt de store systemer bliver langt dyrere at installere, ift. hvis der var udviklet en standard for softwareprotokoller, som sikrede krydskompatibilitet imellem styringsenhederne og selve anlæggene [62] [63]. Eksempelvis, hvis en stor erhvervsbygning skal integrere et nyt omfattende BMS-system, kræver det, at der bliver sat styring på lysarmaturer, ventilationsenheder (enten direkte på blæseren, eller på spjæld) og varmeanlæg. Hvis der allerede eksisterer lokale styringer, kan det være så tidskrævende at udskifte, at det økonomiske grundlag for etableringen af systemet bliver ikke eksisterende.

Et eksempel er DTU, der som et led i dialogen mellem bygherrer og leverandører, har udarbejdet standarder for BMS-systemer, så de sikrer sig, at f.eks. målerhierarki, navngivning af styretavler mv. er beskrevet og ensartet i bygningerne på DTU Campus i Lyngby [51].

For privatforbrugere følger der oftest adaptere til radiatortermostaterne med, men det er ikke alle varmeanlæg og rumtermostater, der er kompatible med de nye smarte styringsenheder [20]. Selv nye systemer fra forskellige leverandører eller fra samme leverandør kan ikke nødvendigvis kommunikere med hinanden.

EU-Kommissionen har igangsat et scopingstudie om ecodesign og energimærkning af bygningsautomatik. Første del af projektet vedrørende produktdefinition, scoping og markedsanalyse var forventet afsluttet i marts 2018 og kan følges på <https://ecodesignbacs.eu/documents>.

5.2 ETIK OG SIKKERHED

For mange af de fremtidige og nuværende systemer, går sparepotentialet på at kunne forudsige og overvåge, hvornår der er mennesker i et givet rum. For erhvervssektoren, er de mest omfattende af disse systemer inkluderet Real Time Location System (RTLS), som gør, at hver medarbejders lokationer bliver tracket i real-time. Dette kan få folk til at føle sig overvåget, når chefen f.eks. kan se, hvor lang tid en medarbejder ikke har siddet ved sit skrivebord osv.

For privatforbrugere opnås den største energibesparelse på f.eks. de intelligente termostater, hvis de kan følge, hvornår man er hjemme, og hvornår man ikke er. Dette udgør i sig selv en sikkerhedsrisiko, specielt, når datasikkerheden på IoT-enheder sjældent er i fokus [64] og kan reducere sparepotentialet, hvis folk ikke stoler nok på enhederne til at varetage og håndtere så personfølsomme data.

5.3 KOMPETENCEBARRIERER

En stor barriere for at opnå det fulde besparelspotentiale i de moderne systemer i store bygninger, er tilstrækkelige kompetencer hos driftspersonale og slutbrugere. Ofte vil der være behov for særlige kompetencer til både installation og drift af systemerne. Hvis driftspersonalet ikke har kompetencer til at bruge styringssystemet og derfor reagere på alarmer, kan hele sparepotentialet gå tabt [62] [63] [59]. På

samme måde kan placeringen af en sensor det forkerte sted (f.eks. temperatursensor ved siden af ventilationsspjældet eller i solen) gøre, at indeklimaet bliver dårligt, og systemet derfor manuelt slås fra. Teknologisk Institut har igennem et antropologisk studie fundet, at driftspersonalet grundet bl.a. tidspres under opgaveløsninger, mangler incitament til at optimere på driftsparametre, og ønsker at få opdateret viden ift. drift af faste installationer [14].

De nyeste systemer har mere fokus på autonomi og brugerflade, så den menneskelige interaktion med styringssystemet kan minimeres og gøres lettere og på den måde fjerne en del af kompetencebarrieren.

Andre løsninger kan være at fjerndrive bygningen, så kompetencerne bliver samlet ét sted hos et specialiseret firma i stedet for at holdes lokalt. Dette giver mange fordele, men kræver yderligere investeringsomkostninger, da alle sensorinputs skal kunne fjernaflæses⁷, samt at CTS systemet skal kunne fjernstyres. Specielt i mellemstore bygninger, hvor der ikke er ansat decideret driftspersonale, kan denne løsning være en fordel.

En helt anden problemstilling er håndteringen af de store datamængder, som de nye systemer kan levere. Oftest er de enkelte bygninger så unikke, at et intelligent monitoreringssystem kan have svært ved at inkorporere generelle analyse-algoritmer [62] til rapportering og efterfølgende handling. Dette betyder at menneskelig analyse i et vist omfang – i hvert fald på nuværende tidspunkt – kan være nødvendigt. Det økonomiske grundlag for etablering af systemet kan dermed let forsvinde - især for mindre bygninger, hvor sparepotentialet er lille. De kommende prædiktive systemer kan være medvirkende til at reducere denne barriere. De benytter sig af datadrevne, machine-learning algoritmer⁸, som kan behandle samtlige sensor input og lave numeriske modeller til at forudsige, hvordan forskellige parametre påvirker systemet/bygningen/rummet, og dermed handle på baggrund af disse modeller (for mere information, se Bilag A.2). De ville dermed reducere behovet for menneskelig indblanding, samt reducere nødvendigheden af at have stærke kompetence hos driftspersonalet eller slutbrugeren

For små huse, (enfamiliehuse, mindre etageejendomme mv.), vil energibehovet i mange tilfælde være præget af særlige mønstre afhængige af beboersammensætning og forbrugsvaner, hvilket giver mulighed for, at opnåelse af effektiviseringsgevinster ved brug af prædiktive, selvstående algoritmer uden behov for særlige kompetencer hos slutbrugerne eller driftspersonale.

5.4 INVESTERINGSBARRIERER

Et norsk projekt [40] identificerede, at mange bygherrer ikke har tillid til, at en investering i bygningsautomatik ville give positivt afkast, mens bygherrer, der byggede til udlejning, ikke fandt det nødvendigt at investere i nye systemer, da lejerne betaler driftsomkostningerne. I Danmark er der ved projektsalg typisk ikke er tilvalg af bygningsautomatik eller styringer, men mulighed for valg af bl.a. gulve og køkkener. I Nordhavn-projektet har der i den indledende projektfase været tilbageholdenhed med at tilbyde bygningsautomatik i alle lejligheder, og der er således bygninger, hvor to naboopgange ikke har fået installeret den samme automatik. Nogle steder, hvor der ikke er blevet tilbudt udvidet bygningsautomatik, har enkelte lejligheder efterfølgende fået installeret automatikken som resultat af naboeffekten.

⁷ Dette kan dog gøres simpelt ved at oprettet fjernadgang til CTS systemet.

⁸ F.eks. "Decision trees", logisk regression, og/eller Naive-Bayes algoritmer.

6 SAMMENFATTENDE VURDERING AF DRIFTSKONCEPTERNE

På baggrund af de angivne forudsætninger i kapitel 5 er resultaterne for de årlige energibesparelser for slutbrugere opgjort for hhv. BAU-scenariet og BNAT-scenariet. Derudover er der beregnet samlede økonomiske gevinster for BAU-scenariet.

De økonomiske gevinster for slutbrugerne er opgjort som værdien af energibesparelsen i kr. fratrukket de tilnærmede investeringsomkostninger forbundet med at integrere teknologierne, jf. sektion 4.5.

6.1 ENERGIBESPARELSER OG ØKONOMISKE BESPARELSER FOR SLUTBRUGERE

Det årlige energibesparelsespotentiale for slutbrugere kan ses i Tabel 6 og med en mere detaljeret gennemgang på Figur 5 og Figur 6. Økonomiske beregninger opdelt på hhv. udgifter og besparelser for BAU-scenariet kan ses i Tabel 7.

Bemærk at energibesparelsespotentialet for BAU-scenariet er estimeret til at blive indfriet i 2030. Beregningerne for BNAT-scenariet skal blot ses som det maksimale potentiale, som forklaret i afsnit 4.

Tabel 6: Energibesparelsespotentialet for slutbrugere

	GWh / år		Millioner kr. / år	
	BAU	BNAT	BAU	BNAT
Varme	946	6040	769	4908
Belysning	195	325	384	642
Ventilation	44	98	87	194
Komfortkøling	15	83	30	164
Samlet	1.200	6.547	1.269	5.908

Note: Årlige energibesparelsespotentialer for slutbrugere for hhv. BAU- og BNAT scenarierne i GWh og millioner kroner om året. Bemærk at omkostningerne til at opnå de viste besparelser ikke er medberegnet i denne tabel. Alle besparelser er inklusive elafgifter og distributionsomkostninger og moms for privatforbrugere.

Kilde: Viegand Maagøe

Det ses, at der i BAU-scenariet opnås en energibesparelse på ca. 1.200 GWh/år, svarende til 1,27 mia. kr./året. Samlet set vil dette give en forventet økonomiske gevinst for slutbrugere på 864 mio.kr/år⁹ i 2030 baseret på de simple økonomiske beregninger foretaget i sektion 4.5. Det skal bemærkes, at den økonomiske gevinst alene omfatter et tilnærmet udtryk for investeringen, og udgifter til drift og vedligeholdelse mm. er ikke inkluderet i beregningerne. Selvom beregningerne til at bedømme de økonomiske udgifter er usikker, tyder alt på, at gevinsten vil være positiv for den enkelte forbruger, så energibesparelserne højst sandsynligt vil overstige investeringsomkostningerne for teknologierne set over produktets levetid. Alle beregnede energibesparelser er, som før nævnt, baseret på en antagelse om at alle afgifter, distributionsomkostninger og momsrate er konstante. En reduktion i elafgiften vil betyde, at det økonomiske besparelsespotentiale i kroner og øre vil blive tilsvarende reduceret. For BAU-scenariet kan dette også betyde, at udbredelsen af teknologierne vil blive mindre end forventet, da det økonomiske Incitament for at integrere teknologierne bliver formindsket.

Det ses, at det største besparelsespotentiale er i driftskoncepterne inden for varme i enfamilieshuse. Faktisk udgør besparelsen i denne sektor over halvdelen af de beregnede besparelser i BAU-scenariet. I alt udgør besparelserne inden for varme ca. 79 % af de estimerede energibesparelser. Dette stemmer godt overens med, at energiforbruget til rumopvarmning i husholdninger er det største energiforbrug.

⁹ Energibesparelser på 1.269 mio. DKK/år fra Tabel 4, fra trukket de tilnærmede investeringsomkostninger på 405 mio. DKK/år fra Tabel 5. Se Tabel 7 for flere detaljer.

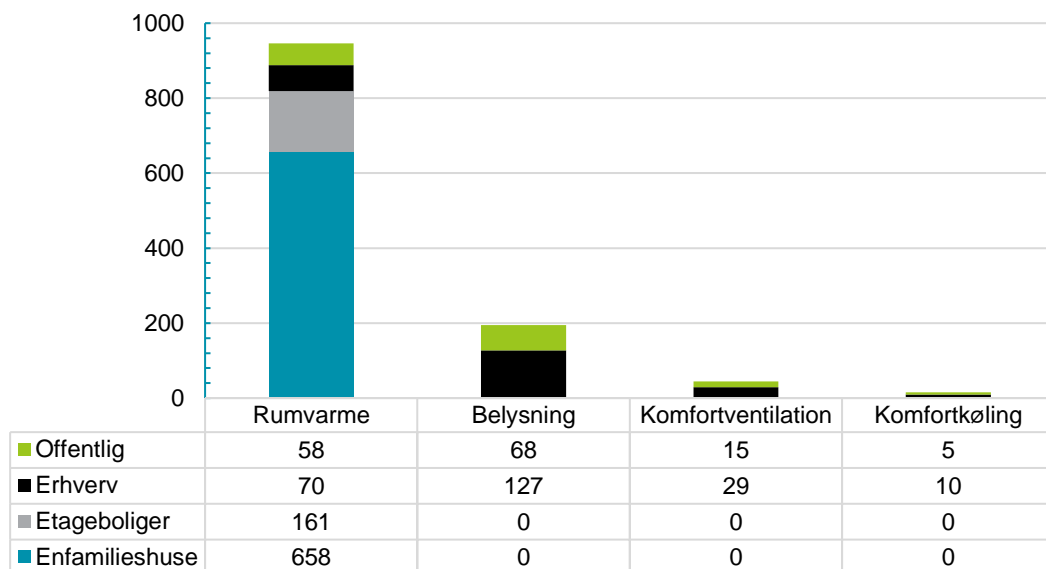
Besparelserne inden for belysning udgør ca. 16 % af de samlede besparelser, mens besparelserne udgør knap 4 % inden for komfortventilation og ca. 1 % inden for komfortkøling. Den samlede energibesparelse i BAU-scenariet udgør 2% af det endelige energiforbrug til de fire slutanvendelser i 2016, jf. Tabel 1.

For BNAT-scenariet er energibesparelserne opgjort til 6.547 GWh/år, svarende til 5,91 mia. kr./år. Det er over 5 gange mere end de besparelser, der er estimeret i BAU-scenariet. Som tidligere nævnt er 2030 en meget kort tidshorisont i forhold til udvikling og implementering af de kommende teknologier, hvorfor potentialet nærmere skal ses som muligt på længere sigt, f.eks. 2050. Det viser dog, at der er et ekstremt stort potentiale for energibesparelser på området.

Der er som nævnt ikke beregnet økonomiske udgifter ved BNAT-scenariet grundet de naturligt store usikkerheder ved produkter, der endnu ikke findes på markedet. Man må dog forvente - i stil med BAU-scenariet - at den overordnede gevinst for slutforbrugere er positiv: Forudsætningen for, at besparelsepotentialet derfor kommer op i nærheden af niveauet beskrevet i Tabel 2 er, at der en positiv økonomisk gevinst for forbrugerne.

Figur 6 viser de årlige energibesparelser, hvis BNAT-scenariet blev gennemført, altså at også de først-kommende teknologier bliver markedsmodne og implementeret i de eksisterende bygninger. De samlede estimerede årlige besparelser i dette scenarie er 6.547 GWh, heraf udgør ca. 92 % besparelser inden for rumopvarmning. Over halvdelen af besparelserne vil kunne opnås inden for enfamilieshuse. Den samlede energibesparelse i dette scenarie udgør knap 11 % i forhold til endeligt energiforbrug til de fire slutanvendelser i 2016 angivet i Tabel 1.

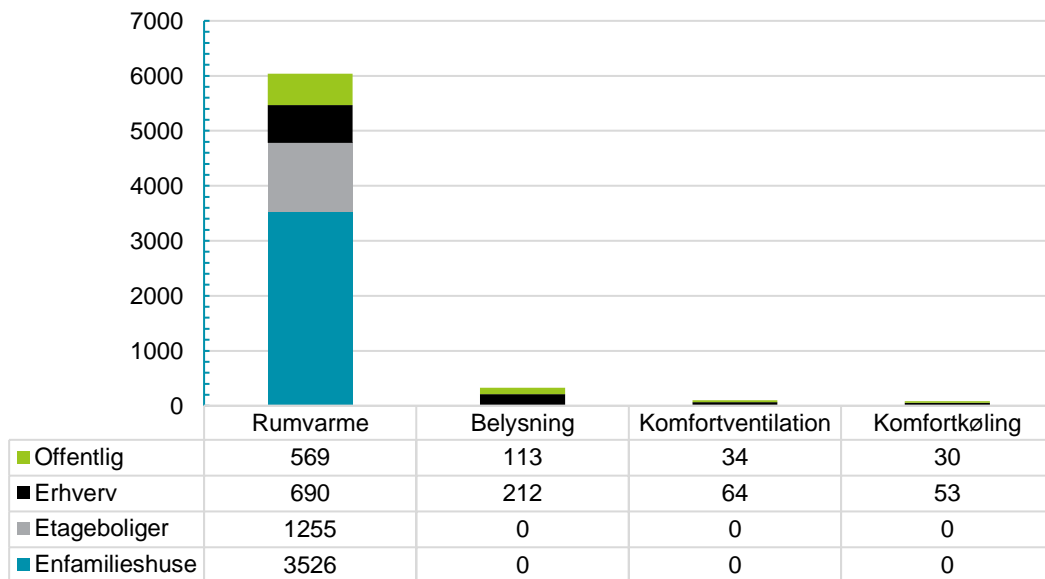
Figur 5: Energibesparelser i 2030, BAU-scenariet [GWh/år]



Note: Årlige besparelser i energiforbrug i 2030, ift. forbruget i 2016. BAU-scenariet.

Kilde: Viegand Maagøe

Figur 6: Energibesparelser, BNAT-scenariet [GWh/år]

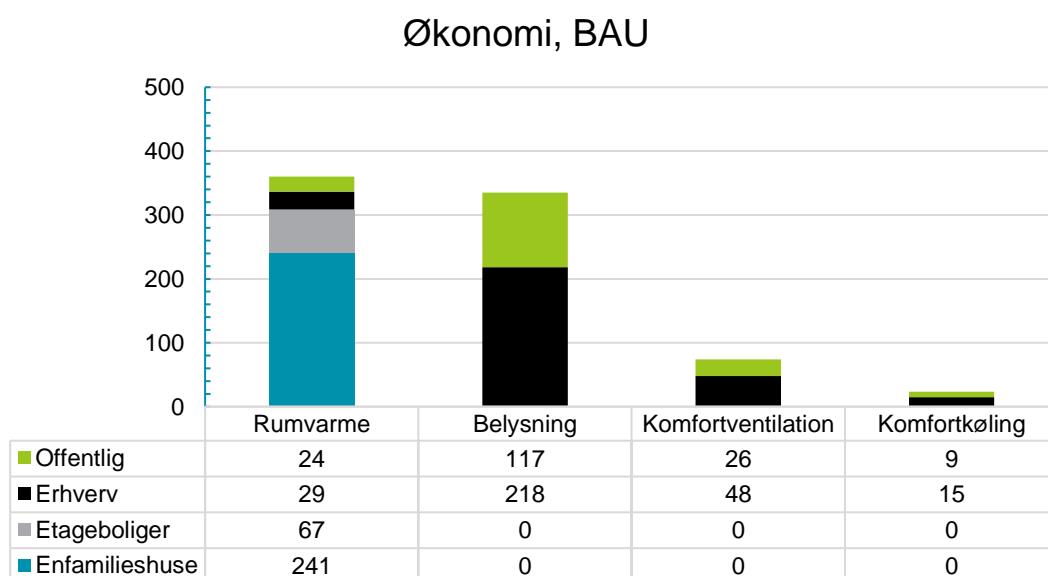


Note: Årlige besparelser for BNAT scenariet ift. forbruget i 2016. Bemærk at skalaen på y-aksen er anderledes end i figur 5.

Kilde: Viegand Maagøe

Figur 7 viser de slutbrugerøkonomiske gevinster i 2030 for BAU scenariet, dvs. de økonomiske gevinster af energibesparelserne, fratrukket de tilnærmede investeringsomkostninger. Det kan ses, at på trods af at energibesparelserne er større for rumvarmen end den er for belysningen, så er den samlede økonomiske gevinst på samme niveau. Dette skyldes bl.a., at investeringsomkostningerne er mindre for systemerne til belysning, samt at 1 kWh el er mere dyrer end 1 kWh varme. En samlet økonomisk slutbruger gevinst på 793 Mil. DKK/år er forventet i 2030 for BAU scenariet. En mere detaljeret opdeling kan ses i Tabel 7.

Figur 7: Slutbrugerøkonomisk gevinst i 2030, BAU-scenariet [Mil. DKK/år]



Note: Årlige slutbrugerøkonomiske besparelser i 2030 i millioner kroner. Alle tal er i 2017-priser. BAU-scenariet.

Kilde: Viegand Maagøe

Tabel 7: Besparelser og udgifter for BAU-scenariet i 2030 [Mil. DKK/år]

		Varme	Belysning	Ventilation	Komfortkøling	Sum
Udgifter	Enfamilies-huse	293	0	0	0	293
	Etageboliger	64	0	0	0	64
	Erhverv	28	32	9	4	73
	Offentlig	23	17	5	2	47
Besparelser	Enfamilies-huse	535	0	0	0	535
	Etageboliger	131	0	0	0	131
	Erhverv	57	250	57	19	383
	Offentlig	47	133	30	11	221
Total	Enfamilies-huse	241	0	0	0	241
	Etageboliger	67	0	0	0	67
	Erhverv	29	218	48	15	310
	Offentlig	24	117	26	9	174
Sum total		360	335	74	23	793

Note: Årlige økonomiske besparelser og udgifter (i form af tilnærmede investeringsomkostninger) for BAU scenariet i 2030.

Kilde: Viegand Maagøe

6.2 USIKKERHEDER OG SENSITIVITETSANALYSER

De identificerede besparelser bygger på en lang række antagelser præsenteret i kapitel 2 – 5. Det bemærkes dog, at langt de største besparelspotentialer ligger i energiforbruget til opvarmning og specielt til enfamiliehuse. Dette er først og fremmest, fordi energiforbruget i dette segment er højest (jf. Tabel 1), men også fordi, at besparelspotentialerne for de enkelte teknologier tilhørende dette segment er højest (jf. Tabel 2). De endelige besparelspotentialer på 2% og 11% for hhv. BAU- og BNAT-scenariet er derfor meget afhængige af de antagelser, der ligger til grund for beregningerne, specielt for teknologierne, der påvirker rumopvarmning.

De vigtigste variable parametre for beregning af energibesparelspotentialerne er reboundeffekten og besparelspotentialerne for de enkelte teknologier. For de økonomiske beregninger i BAU-scenariet er levetider og tilbagebetalingsperioder altafgørende for, om den økonomiske gevinst antages at være positiv. Fælles for alle beregninger er udbredelsesprocenten, som ikke gør de enkelte teknologier bedre eller dårligere, men blot øger den samlede effekt.

For energibesparelspotentialerne er teknologierne, der bliver benyttet i BAU-scenariet alle tilgængelige på markedet i dag, og effekten af disse er kendt med en rimelig sikkerhed. Udbredelsen af disse scenarier er antaget konservativt, men realistisk, og er estimeret på baggrund af kilderne beskrevet i kapitel 4.

For BNAT-scenariet, er udbredelsen antaget 100% for de bedste, kommende teknologier. Det forventes ikke, at dette vil være tilfældet inden for en tidshorisont frem til 2030, og resultatet skal ses som et potentiale, der kan tilnærmes på længere sigt f.eks. frem mod 2050 eller på endnu længere sigt.

Bilag C indeholder sensitivitetsanalyser på reboundeffekten, besparelspotentialet for MPC-teknologier, levetid og tilbagebetalingsperioder. Det kan ses, at de to første parametre betyder meget for den

samlede effekt specielt i BNAT-scenariet. Det betyder også, at usikkerheden på resultaterne i kapitel 6.1 skal ses som et groft estimat med store usikkerheder tilknyttet.

For de økonomiske beregninger kan det ses, at levetiden skal ændres markant for at ændre væsentligt på resultatet. Det skyldes, at de benyttede levetider er meget større end tilbagebetalingsperioderne, og at alle teknologierne derfor er rentable på sigt. Først når levetiden kommer ned omkring tilbagebetalingsperioden, begynder effekten at være stor. Den samme konklusion er gældende for tilbagebetalingsperioden, som dog har en mere direkte effekt.

Samlet set skal der ændres væsentligt på de økonomiske parametre før, at effekten for slutbrugere vil være negativ. Dette resultat kan også forventes gælde for BNAT-scenariet, som samlet set må forventes at bidrage med en positiv økonomisk gevinst for slutbrugerne.

REFERENCER

- [1] International Energy Agency, Digitalization & Energy, 2017.
- [2] Grainger et al, Optimising the energy use of technical building systems, Ecofys, 2017.
- [3] Hirschberg, Rainer (2016): Energy efficiency related to the change of thermostatic radiator valves.
- [4] Hughes, R. F., & Dhannu, S. S. (2008). Substantial energy savings through adaptive lighting. 2008 IEEE Electrical Power and Energy Conference - Energy Innovation
- [5] Chew, I., Kalavally, V., Oo, N. W., & Parkkinen, J. (2016). Design of an energy-saving controller for an intelligent LED lighting system. *Energy and Buildings*, 120, 1–9.
- [6] B. Von Neida, D. Manicria, A. Tweed, An analysis of the energy and cost savings potential of occupancy sensors for commercial lighting systems, *J. Illum. Eng. Soc.* 30 (2) (2001) 111–125
- [7] Matta, Sherif, and Syed Masud Mahmud. "An Intelligent Light Control System for Power Saving." *Ilecon Proceedings (Industrial Electronics Conference)* (2010)
- [8] Gianniou, P., Foteinaki, K., Heller, A., & Rode, C. (2017). Intelligent Scheduling of a Grid-Connected Heat Pump in a Danish Detached House. Paper presented at Building Simulation 2017, San Francisco, United States.
- [9] Byggeri & Energi, Hvad kan smart bygningsteknologi gøre for din bygning? 2012.
- [10] Jirí Cigler, Model Predictive Controls for Buildings, Czech Technical University in Prague, 2013
- [11] Samuel Prívarva, Jan Široký, Lukáš Ferkl, Jiří Cigler, Model predictive control of a building heating system: The first experience, In *Energy and Buildings*, Volume 43, Issues 2–3, 2011, Pages 564-572, ISSN 0378-7788,
- [12] Tanaskovic, M., Sturzenegger, D., Smith, R., & Morari, M. (2017). Robust Adaptive Model Predictive Building Climate Control. *Ifac-Papersonline*, 50(1), 1871–1876.
- [13] Trent Hilliard and Miroslava Kavcic and Lukas Swan, model predictive control for commercial buildings: trends and opportunities, *Advances in Building Energy Research*, 2016.
- [14] Jensen et al., Characterization and optimized control by means of multiparameter controllers, Teknologisk Institut, 2010.
- [15] Killian, M., & Kozek, M. (2016). Ten questions concerning model predictive control for energy efficient buildings. *Building and Environment*, 105, 403–412
- [16] Energistyrelsen, *Energistatistik 2016*, 2017.
- [17] Viegand Maagøe et al., *Kortlægningen af Energiforbrug I Virksomheder*, 2015.
- [18] COWI, *Kortlægning af energibesparelspotentialer i erhvervslivet*, 2015.
- [19] <https://www.ecobee.com/savings/>
- [20] <https://nest.com/thermostats/> og <https://support.tado.com/hc/en-gb/articles/207442673-Why-does-tado-need-to-check-the-compatibility-of-my-heating-system->
- [21] Wang, Z., & Wang, L. (2013). Intelligent Control of Ventilation System for Energy-Efficient Buildings With CO2 Predictive Model. *IEEE Transactions on Smart Grid*,
- [22] Bjørn R. Sørensen (2012). Energy Efficient Control of Fans in Ventilation Systems, *Energy Efficiency - The Innovative Ways for Smart Energy, the Future Towards Modern Utilities*, Dr. Moustafa Eissa (Ed.), InTech, DOI: 10.5772/48597.
- [23] Christian Holm Christiansen, *Energifleksibilitet i erhvervsejendomme*, Teknologisk Institut, *Energiefektivisering og ventilation*, 2014
- [24] Jennifer King and Christopher Perry. *Smart Buildings: Using Smart Technology to Save Energy in Existing Buildings*, 2017.
- [25] Christopher Perry. *Smart Buildings: A Deeper Dive into Market Segments*. 2017.
- [26] Berg Insight. *Smart Homes and Home Automation*. <http://www.berginsight.com/ReportPDF/Product-Sheet/bi-sh5-ps.pdf>
- [27] Kortlægning af kompetencebehov og barrierer for videregående VEU for faglærte inden for det tekniske og produktionsrettede område. Teknologisk Institut, 2015.
- [28] Test af smarte lyspærer: <https://jyllands-posten.dk/livsstil/digitalt/ECE9945096/stortest-af-paerer-lad-der-blive-smart-lys/>. Jyllandsposten, oktober 2017.
- [29] <https://www.fpl.com/business/pdf/building-controls-brief.pdf>
- [30] Bolius Boligejeranalyse 2017, Bolius maj 2017.
- [31] Varmebesparelse i eksisterende bygninger. SBI, 2017.

- [32] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/100-million-plus-us-homes-lack-smart-devices#gs.0tor9vg>.
- [33] <https://iotbusinessnews.com/2017/07/13/50933-number-smart-homes-europe-north-america-reached-30-3-million-2016/>
- [34] <https://www.statista.com/outlook/279/133/smart-home/denmark#market-users>
- [35] Reboundeffekten for opvarmning af boliger, Energistyrelsen, 2016.
- [36] Basisfremskrivningen 2017, Energistyrelsen, 2017.
- [37] Fjernvarmestatistik 2017, Energistyrelsen, 2017.
- [38] Dubois, M.-C., & Blomsterberg, A. (2011). Energy saving potential and strategies for electric lighting in future North European, low energy office buildings: A literature review. *Energy and Buildings*, 43(10).
- [39] IMPACT ASSESSMENT Accompanying the document Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings, COM (2016) 765.
- [40] Building Control: En studie av markeds- og konkurransesituasjonen i Norge for etablering av Teleca Wireless Solutions AS som leverandør av intelligente styringsystemer til byggautomatiseringsanlegg, Kim Fredrik Harsvik Roger Kilvær, 2005
- [41] Insights on Smart Home concept and occupants' interaction with building controls. Valentina Fabi, Giorgia Spigliantini, Stefano Paolo Corgnati, 2016
- [42] <https://smarterlife.dk/produkt-kategori/hjemmeautomatisering/>
- [43] HOFOR interview/ <http://www.hofor.dk/baeredygtige-byer/spar-med-energistyring-forsynometer/>
- [44] <https://www.bygst.dk/viden-om/energi/energistyring-af-varmeforbrug/>
- [45] <https://www.ibm.com/internet-of-things/spotlight/iot-zones/iot-buildings>
- [46] <https://buildingsolutions.honeywell.com/en-US/industries/commercialbuildings/Pages/default.aspx>
- [47] Energy & GHG emission savings potentials of thermostatic valves. Final report. Report by order of EUUnited Valves. With assistance of Bernhard von Manteuffel, Markus Offermann, Kjell Bettgenhäuser. ECOFYS (Ed.), 2016
- [48] Energy Efficiency of the Internet of Things. Technology and Energy Assessment Report. Prepared for IEA 4E EDNA". April 2016.
- [49] Erfaringer med LED i danske virksomheder, Energistyrelsen, november 2015.
- [50] Commercial building energy consumption survey 2012, <https://www.eia.gov/consumption/commercial/data/2012/>
- [51] http://www.dtu.dk/Om-DTU/Praktisk-information/For-leverandoerer/DTU_Standarder/Standarder_BMS
- [52] Statista, Electricity prices in selected countries, 2017. <https://www.statista.com/statistics/263492/electricity-prices-in-selected-countries/>
- [53] IEA, Monthly Oil Prices, 2017, <https://www.iea.org/statistics/monthlystatistics/monthlyoilprices/#d.en.34639>
- [54] OECD, Consumer Index Prices, 2017, <https://stats.oecd.org/index.aspx?queryid=221>
- [55] Samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger for energipriser og emissioner, Energistyrelsen, maj 2017.
- [56] Nordhavnprojektet <http://www.energylabnordhavn.dk/>
- [57] <https://www.amazon.com/Motion-Daylight-Sensor-LED-lights/dp/B007KEO3JI>
- [58] <http://www.lutron.com/europe/Residential-Commercial-Solutions/Pages/Residential-Solutions/Residential-App/ResidentialApplications.aspx>
- [59] Smart Readiness Indicator, Søren Østergaard Jensen, Teknologisk Institut, "Intelligent bygningsdrift konference", 2017
- [60] Erfaringer med optimering af bygningsdrift, NEWSEC DATEA, "Intelligent bygningsdrift konference", 2017
- [61] Case stories fra Teknologisk Institut, Christiansen et al., "Intelligent bygningsdrift konference", 2017
- [62] Vejen til datadrevet dimensionering og bygningsdrift, Peter Weitzmann & Lars Andersen, NCC Danmark, "Intelligent bygningsdrift konference", 2017.
- [63] Interview med Balslev ifm. EnergyLab Nordhavn, 2017.
- [64] "Stol aldrig på en IoT enhed", Henrik Malmgreen, <https://www.altomdata.dk/stol-aldrig-paa-iot-enhed> (1/2/2017)

- [65] "Knowledge transfer from professionals to end-users in the building hand-over phase", Thomsen et al., SINTEF, ECEEE 2017
- [66] Impact of Feedback about energy consumption, EA Energianalyse 2015
- [67] <https://sourceable.net/intelligent-buildings-can-enhance-human-productivity/>
- [68] Intelligent buildings: For smarter, healthier, more productive people, ARM, 2016.
- [69] Udskiftning af radiatorventiler/ termostatstyringer, energiløsning, Videncenter for energibesparelser i bygninger
- [70] <https://www.navigantresearch.com/research/commercial-building-automation-system>
- [71] <https://ecodesignbacs.eu/welcome>
- [72] <https://spareenergi.dk/forbruger/el/dit-elforbrug>
- [73] http://www.byggerioenergi.dk/media/1727/udskiftning-af-radiatorventiler_ok.pdf

BILAG A: TEKNOLOGIBESKRIVELSER

I det følgende beskrives forskellige teknologier til regulering af hhv. varme, belysning, ventilation, komfortkøling, eller en blanding heraf, og som der anslås at være relevante nu og/eller i fremtiden. Alle omtalte besparelspotentialer er opsummeret i Tabel 2.

Tabel 8: Besparelspotentialer for forskellige driftskoncepter

	Enfamiliehuse	Etagebygninger	Offentlig	Erhverv
Varme				
Udskiftning af mekaniske termostater til elektroniske termostater	8%	11%	(<8%) ¹⁰	(<8%)
Intelligent styring, dedikeret (autonomt forbrugsmønstreanalyse) ¹¹	8%-23%	11%-23%		
CTS med timere og alarmer			5%-10%	5%-10%
Intelligent styring og prædiktiv vejrprognosestyring (MPC)	15%-28%	15%-28%	15%-28%	15%-28%
Belysning				
Bevægelsesmeldere (PIR, ultrasonisk, mikrobølge)			20%-35%	20%-35%
Dagslysudnyttelse ¹² og styring			15%-50%	15%-50%
Ventilation				
Behovsstyret ventilation			10%-19%	10%-19%
Behovsstyret ventilation, person afhængigt m. RTLS ¹³ .			10%-25%	10%-25%
Behovsstyret ventilation, prædiktiv styring.			10%-26%	10%-26%
Komfortkøling				
CTS med timere og alarmer			5%-10%	5%-10%
Intelligent styring og prædiktiv vejrprognosestyring (MPC)			15%-28%	15%-28%

Note: Detaljerede beskrivelser af teknologierne og kilderne findes i dette Bilag A

Kilde: Viegand Maagøe

A.1 Bygningsautomatik

BMS¹⁴ systemer

Omfang: Erhverv, offentligt

Kommercielt tilgængeligt: Nu

Besparelspotentiale: Varierende

Intelligent: Ja/Nej

BMS/CTS-systemer fungerer som centrale kontrolsystemer, der kan overvåge og styre lys og HVAC-anlæggene, og måle og kortlægge energiforbrugene. Komplexitetsgraden varierer afhængigt af

¹⁰ Kun til små virksomheder, f.eks. små kontormiljøer med "privat"-lignende forhold.

¹¹ Inkluderer sænkning af temperatur om natten, samt i dagtimer, hvor der ikke er brugere af bygningen

¹² Daylight Harvesting

¹³ RTLS er Real Time Location System, som bruges til automatisk at identificere og spore placeringen af objekter eller personer i realtid, normalt inden for en bygning eller et andet indeholdt område.

¹⁴ Dette driftkoncept dækker også CTS systemer, IBI-systemer og øvrige intelligente bygningsstyringssystemer.

størrelsen på systemet, og alderen på anlægget. Lokale simple styringerne kan kobles på systemet, hvorfor at der findes ét centralt sted, hvor de forskellige simple systemer kan styres og/eller overvåges fra. Typisk vil det være et centralt styringsværktøj i form af et panel eller anden grænseflade, hvor driftspersonalet kan overvåge de forskellige parametre i bygningen med en detaljegrad, der afhænger af antallet af sensorer, der er koblet på systemet.

Systemernes rækkevidde går derfor fra at styre temperaturen i enkelte rum ved at styre fremløbs-flow og temperatur på radiatorvandet, op til at styre sammenspillet mellem ventilations-, køle-, og varmeanlægget afhængigt af bl.a. tid og vejrforhold.

Systemerne er på sin vis ikke intelligente, selvom de gemmer og bruger data. Dette er grundet i, at data bliver brugt bagudrettet til at lave f.eks. uge- og månedsrapporter og alarmer, og ikke til at forudsige forbrugsmønstre og komme med forslag til forbedringer. De kan derfor opfange uregelmæssigheder på f.eks. ventilationsanlægget, men kan ikke komme med forbedringer til selve styringen. Dermed kommer, at sensorerne, der er koblet på systemet, typisk er begrænset til bevægelses, temperatur, og fugt/CO₂-sensorer.

Det egentlige besparelsespotentiale ved installationen af disse systemer kan derfor ikke evalueres generelt, da det kommer an på, hvilke del-systemer anlægget styrer.

Eksempler på systemer

- Honeywell ComfortPoint Open
- Trend CTS
- ABB i-bus® KNX
- CISCO
- Johnson controls
- Schneider EcoStruxure
- IHC – Lauritz Knudsen

Intelligente BMS systemer

Omfang: Erhverv, offentligt

Kommercielt tilgængeligt: Nej

Besparelsespotentiale: Der har ikke været muligt at finde kilder på disse avancerede systemer.

Intelligent: Ja

Intelligente BMS-systemer er på et intelligensniveau i sådan en grad, at bygningen er "kognitiv". Dette system kan mange af de samme ting som et regulært BMS-anlæg kan, men med langt flere muligheder.

Dette betyder for det første, at datamængden mangedobles i forhold til normale BMS-systemer, og at sensorantallet er langt større, og at systemet inkluderer bl.a. RTLS¹⁵ og ansigtsgenkendelseskameraer. Derudover bruger systemet data fra selve IT-systemet, f.eks. mødebookingsystemerne, således at bygningen ved, hvornår forskellige rum skal varmes op, eller der skal serviceres med kaffe osv. Regulering af BMS-anlægget går fra at blive styret af driftspersonale til, at hver enkelt person kan regulere f.eks. temperaturen på sit kontor via sin smartphone.

Fællesnævneren er "Big Data", som reelt set kommer fra en øget mængde af data fra sensorer. Dette er dog samtidig også den største udfordring, da der ligger en enorm og kompliceret opgave i at konvertere data til reelle ydelser og/eller energibesparelser.

En væsentlig del af det samlede regnskab ved energibesparelserne ved brug af intelligente systemer er omkostningerne ved rent faktisk at indsamle og behandle data.

¹⁵ Real Time Location System
VIEGAND
MAAGØE

De intelligente BMS systemer kræver en lang række af sensorer i hvert rum, bl.a.

- Temperaturmålere
- Fugtigheds- og CO₂ -målere
- Støjsensorer
- Lyssensorer
- Bevægelsessensorer
- Videokameraer til bl.a. ansigtsgenkendelse
- RTLS-systemer

Alle disse sensorer kommunikerer med en række gateways, som opsamler, komprimerer, og sender data til en database, som kan tilgås af de forskellige analyseværktøjer og BMS-systemer, som hver især laver beregninger og rapporter ud fra data.

Alle trin i processen har et energiforbrug og med et større og større antal nødvendige sensorer, bliver energiforbruget til drift af systemet højere og højere. Analysedelen kan også kræve en stor mængde beregningskraft til at kunne håndtere den store datamængde, hvilket potentielt kan bruge en betydelig mængde energi. Specielt hvis prædiktive modeller skal benyttes og beregnes. Det ser dog ud til, at forbruget per internetbaseret sensor er faldende og kan være så lavt som 0,09 Watt [48]. Specielt udbredelsen af Zigbee¹⁶ hjælper med at reducere det samlede energiforbrug af systemet.

Derudover komme omkostninger til vedligeholdelse af systemet herunder at skulle identificere og udskifte fejlramte komponenter. Ved store mængder af sensorer kan dette blive betydeligt til en sådan grad, at drift og vedligeholdelsesomkostningerne kan forestilles at blive væsentlige.

Der findes ingen studier, der konkret har undersøgt problematikken endnu, hvilket skyldes den pt. meget begrænsede udbredelse af de intelligente BMS-systemer, men det skal belyses, hvis det reelle energimæssige sparepotentiale skal afklares. [14] nævner, at energiforbruget af de forskellige sub- og styringssystemer skal afklares, før nettobesparelser kan beregnes. I små systemer med få sensorer og simple reguleringstyper kan det være negligibelt, men i store intelligente, komplekse systemer med mange sensorer og komplekse beregningsmodeller, kan energiforbruget være markant.

De fleste ekstra ydelser dette system kan levere, er serviceydelser, som påvirker bruger-komforten. Sammenlignet med et CTS-anlæg er det ikke energibesparelser, der er hoved-fokus for driften, selvom de omfattende Real Time Location System (RTLS) kan regulere bl.a. ventilationsmængden per rum, og sænke rumtemperaturen steder, hvor folk er gået hjem – hvilket normale CTS-anlæg har svært ved – udover de normale tidsindstillinger. RTLS-systemet betyder også, at rengøring og vedligeholdelsesarbejde af bygningsinstallationerne kan planlægges således, at der kun er servicepersonale ude, når det er nødvendigt. Der er dog ikke i dette projekt fundet tilstrækkelige data på, hvorvidt dette potentiale kan realiseres.

Eksempler på systemer

- IBMs Watson IoT
- Remoni

A.2 Varme

Mekaniske termostater

¹⁶ En lav energis trådløst mesh-baseret netværk, som har lavere energiforbrug sammenlignet med f.eks. Bluetooth og Wi-Fi netværk.

Omfang: Enfamilieshuse, etageboliger, offentligt, erhverv

Kommercielt tilgængeligt: Nu

Besparelsespotentialer: 7% [73] (Termisk)

Intelligent: Nej

Simple mekanisme termostater som justerer varmtvandsflowet i radiatoren på baggrund af et setpoint, der indstilles på termostaten, som justerer i forhold til omgivelsernes temperatur. Der er 7% besparelser at hente i forhold til at have konstant-flow [73]

Eksempler på produkter

- Danfoss RAX

Elektroniske termostater

Omfang: Enfamilieshuse, etageboliger

Kommercielt tilgængeligt: Nu

Besparelsespotentialer: 8%-23% [2] [19] [20] (termisk, ift. mekaniske termostater)

Intelligent: Ja

Elektroniske termostater er intelligente erstatninger til den klassiske mekaniske termostat. Besparelsespotentialer går delvist på at kunne styre temperaturen bedre og mere præcist, da man kan indstille en fast temperatur i stedet for at skrue på en mekanisk termostat med arbitrære tal som indikatorer, og derved kan reducere måleusikkerheden. Det andet potentiale ligger i, at de forskellige produkter kan indstilles efter slutbrugerens forbrugsvaner ved hjælp af en nemmere tilgængelig brugerflade (bl.a. smart-phone apps) og ved nedregulering af varmekonsumet i perioder, hvor folk ikke er hjemme. Et samlet besparelsespotentiale op imod 23 % på det samlede varmekonsum kan ifølge producenterne forventes [19] [20], mens uafhængige kilder rapporterer om besparelser i størrelsesordenen 8 % [2] [69].

Eksempler på produkter

- ecobee4
- Nest Thermostats
- Danfoss Eco
- Tado

CTS-styret inkl. timere og alarmer

Omfang: Offentligt, erhverv

Kommercielt tilgængeligt: Nu

Besparelsespotentialer: 5%-10% [2] (Termisk, ift. Mekaniske termostater)

Intelligent: Nej

CTS-systemer med integreret varmeanlægskontrol kan regulere rumtemperaturen i de enkelte rum afhængigt af et timersystem, som kan sænke temperaturen om natten, hvor ingen opholder sig i bygningen. Besparelser på 5 %-10 % kan opnås, afhængigt af bygningens isoleringsmæssige stand, størrelse, og type af bygning [2]

Eksempler på produkter

- Honeywell ComfortPoint Open
- Trend CTS
- Schneider Electric
- Siemens DESIGO™

Prædiktive styring - Predictive Controllers

Omfang: Enfamilieshuse, etageboliger, erhverv, offentligt

Kommercielt tilgængeligt: Om få år

Besparelsespotentiale: 15 % - 28 % [10] [11] [15] [13]

Intelligent: Ja

De fleste styringsenheder til nuværende HVAC-systemer (heating, ventilation and air conditioning) tager højde for de øjeblikkelige egenskaber ved omgivelserluft, så som temperatur, fugt- og CO₂-indhold, f.eks. anvende frikøling er muligt om sommeren, når temperaturen udenfor er lavere end indenfor eller regulere varmeudvekslingen efter udetemperaturen (vejrkompensering).

En anden tilgang er at kunne tage højde for de forskellige parametre, der påvirker bygningens tilstand og dermed varme- og ventilationssystemet i de kommende dage. Dette kan f.eks. være brug af bygningen eller udetemperaturforhold ved at bruge vejrprognoser til at forudsige temperaturvariationer.

Disse styringsstrategier kaldes prædiktive styringer eller Model Predictive Controllers (MPC). Fordelen ved denne løsning er, at man kan udbytte bygningens varmekapacitet til at udjævne belastningerne på f.eks. varmesystemet, så systemet kan køre stabilt uden at lave pludselige spring, hvis temperaturgradienten udenfor bliver for høj, eller når folk møder på arbejde. Dette kan gøres ved langsomt at forvarme bygningerne på baggrund af prognoser, f.eks. om det kommer til at regne og blive koldt, og på den måde undgå store udsving i varmeudvekslingen. Dette betyder, at man gennemsnitligt kan opretholde en lavere temperaturforskelle på frem- og tilbageløbet af radiatorvandet, som giver energibesparelser i varmtvandsproduktionsenheden [10].

En anden fordel er, at temperaturniveauet i bygningen er mere konstant, således at komfortniveauet øges. Dette skyldes den mere stabile varmetilførsel, som reducerer temperaturgradienterne i bygningerne [15].

Der er fundet besparelsespotentialer ved løsningen i størrelsesordenen 15-28 % [10] [11] i varmeforbruget om vinteren, men potentialet er meget afhængigt af bygningens varmekapacitet og isoleringsgrad. Bygninger med lav isoleringssevne giver de største besparelser, da disse er mest afhængige af udeforholdene.

Problemet med MPC-systemer er selve integreringsdelen. For at styringsenheden korrekt skal kunne regulere, kræver det, at der er indbygget en matematisk model med algoritmer, som skal analysere forhold som bygningsmasse, isoleringsgrad, udetemperatur, vindforhold og virkningsgrader på varmesystemet for at kunne lave korrekte responskurver. Dette kræver ikke-trivielle matematiske modeller, som tilmed kræver en dedikeret styringsenhed til at lave beregningerne [11].

Systemet kræver en betydelig investeringsomkostning, da der er behov for et betydeligt antal mandetimer fra højt specialiseret personale. Dette er den primære grund til, at systemerne ikke er kommercielle tilgængelige endnu, selvom alle forskningsresultater peger på, at der er store energibesparelsespotentiale i systemerne [13].

En måde at omgå de store integreringsomkostninger er at benytte adaptive reguleringsmetoder. Med dette bruger styringsenheden en række grove start-forudsætninger, som den så tester ved at regulere bygningens temperatur ved at regulere varmetilførslen. Over en periode og ved brug af en closed-loop-regulering modificeres modellen, så den ender med præcise responskurver for den pågældende bygning [12]. Dette fjerner ikke investeringsomkostninger til den dedikerede styringsenhed til at styre beregningerne, men det fjerner det tunge manuelle arbejde og mindsker afhængigheden af en god kvalitet og mængde af tilgængelige bygningsdata. Ulempen er dog, at der vil være en indfasningsperiode, som kan tage op til 500 timer, afhængigt af, hvor meget bygningen bliver benyttet, og hvor stabilt vejret er.

MPC-systemer er ét af de fremtidige intelligente styringssystemer, der har størst potentialer til energieffektivisering af bygningsdriften. Dette er bl.a. fordi, at hvor de intelligente BMS-systemer i højere grad tilstræber at øge brugerkomforten og give besparelser i mandetimer, så har MPC-systemer udelukkende fokus på energiforbruget og er intelligent og uden menneskelig involvering. De har tilmed potentiale til at blive integreret andre steder end store kontorbygninger, hvis integreringsdelen bliver optimeret. De adaptive controllere har på denne front stort potentiale.

Da et MPC-system i sig selv er rent softwarebaseret, er de også oplagte til at blive installeret steder, hvor BMS-systemer allerede findes, som oftest kontorbygninger og offentlige institutioner [15].

Systemet kræver tilgængeligt vejrdata for at fungere. Dette har hidtil været et problem i Danmark, da der har manglet offentligt og gratis tilgængelige vejrdata. Energi-, forsynings- og klimaministeriet har i december 2017 oplyst, at vejrdata fra DMI bliver gratis tilgængelige fra 2019¹⁷, lige som det er tilfældet i mange andre lande, bl.a. Tyskland, Norge, Sverige, Finland, Storbritannien og Holland. Dette forventes at have en betydelig effekt på udvikling og udbredelse af MPC-systemerne i Danmark.

A.3 Belysning

Bevægelsesmeldere/ PIR-følere¹⁸

Omfang: Erhverv, offentligt

Kommercielt tilgængeligt: Nu

Besparelsespotentiale: 20 % - 35 % [5] [38]

Intelligent: Ja/Nej

Bevægelsessensorer og/eller occupancy sensors er udbredt en lang række af steder. Systemet tænder for belysningen, når der bliver registreret, at der er personer i rummet. Dette gøres enten via bevægelsessensorer, eller sensorer, der på andre måder registrerer, hvorvidt der er personer i rummet (f.eks. PIR-følere).

Kombineres det med Daylight harvesting er der blevet vist besparelsespotentialer op i mod 62 % [4]. Dette er selvfølgelig afhængigt af bygningstype, drift og udstyr.

Daylight Harvesting/Dagslysstyring

Omfang: Erhverv, offentligt

Kommercielt tilgængeligt: Nu

Besparelsespotentiale: 15 % - 50 % [5] [6] [7] [38] (Strømforbrug)

Intelligent: Ja.

Daylight Harvesting går ud på at udnytte udelyset inde i bygninger. Det er mest relevante til kontorbygninger, hvor uønskede vinduesafsærmninger automatisk kan regulere sig efter solens højde og på den måde reflektere dagslys ind i bygninger. Dette kobles med indendørs-fotosensorer, der lokalt måler lysintensiteten inde i rummet, og regulere lysinstallationerne, så der opnås det ønskede lysintensitetsniveau. De findes med forskellige kompleksitetsniveauer, og kaldes også for Adaptive Illuminance rendering, hvis systemet er i stand til at beregne, hvordan det mest energieffektivt er i stand til at dække lysbehovet. Besparelsespotentialet afhænger stærkt af bygningstype, reflektansniveau, placering, årstid osv.

Eksempler på produkter

- AMS Smart lightning
- Digital Lumen

¹⁷ <https://via.ritzau.dk/pressemeddelelse?publisherId=9426318&releaseId=12175508>

¹⁸ En PIR sensor er en sensortype, der anvender infrarødt lys (PIR står for Passive InfraRed).

A.4 Komfortventilation

Behovstyret ventilation

Omfang: Erhverv, offentligt

Kommercielt tilgængeligt: Nu

Besparelsespotentiale: 10-35% [21], 19% [22] (strømforbrug)

Intelligent: Nej

Gammeldags og simple ventilationssystemer bliver designet efter, hvor mange brugere hvert rum/bygning har, og derefter sat til at kunne dække peak-behovet, efter et antal liter ren luft per person per time. Dette betyder, at ventilationssystemet er sat til at køre efter peak-niveauet, som betyder, at der bliver over-ventileret alle tidspunkter, hvor dette niveau ikke er gældende. Behovstyrede ventilationssystemer kører i stedet for et fastfast niveau efter CO₂- og/eller fugtindholdet i rummet. Det ændrer således ydelse dynamisk efter behovet. Det kaldes oftest for demand controlled ventilation (DCV).

Sammenlignet med ventilationssystemer med fastlagt flowrate, kan besparelsespotentialer på mellem 10-35 % findes – afhængigt af størrelsen af bygningen og antallet af mennesker, der benytter sig af bygningen.

Behovstyret, person.afhængigt

Omfang: Erhverv, offentligt

Kommercielt tilgængeligt: Nej

Besparelsespotentiale: 25% [21] [22] (strømforbrug)

Intelligent: Nej/Ja

Behovstyret ventilation (DCV) kan kombineres med Real Time Location System (RTLS), så systemet ved, hvor mange personer der befinder sig i lokalet på et givet tidspunkt. Dette gør, at controlleren dynamisk kan regulere luftmængden gradvist og derfor holde sig gennemsnitligt på en lavere belastningsprocent, hvilket kan give energibesparelser. Det kræver dog, at der findes et eksisterende RTLS-system, som kan give input til controlleren. Da disse ikke er særligt udbredte, og når besparelsespotentialet er lille i forhold til sammenlignet med DCV systemer, er systemerne ikke tilgængelige.

Model Predictive Controllers

Omfang: Erhverv, offentligt

Kommercielt tilgængeligt: Nej

Besparelsespotentiale: 26% [21] (strømforbrug)

Intelligent: Ja

Ventilationsbehovet er afhængigt af personer i lokalet. Model Predictive Controllers (MPC) kan både styre varmemængden og ventilationsmængden. Hvor de på varmesystemet har et set-punkt (f.eks. 22°C), et input (vejrprognose) og et output (aktuel udetemperatur), så kan de også sættes til at styre ventilationsanlægget. Outputtet er her CO₂-mængden i rummet, set-punkt er f.eks. X-antal PPM CO₂/liter, og inputtet er antallet af mennesker, der kommer til at benytte bygningen de kommende timer og dage.

Hvis systemet estimerer, at bygningen ikke kommer til at blive brugt f.eks. de næste 3 timer, kan det regulere blæserne til at blæse på den lavest mulige effekt, der gør, at rummet kommer ned på set-punkt, så langsomt som muligt i stedet for at køre med fuld effekt, indtil set-pointet er nået. Lavere gennemsnitshastighed på blæseren giver mindre tryktab og dermed lavere overordnet energiforbrug.

Systemet tillader også helt at stoppe om natten og så først begynde 1-2 timer, før der kommer mennesker i bygningen, eller når det er nødvendigt.

A.5 Komfortkøling

Styringsformer til kølesystemer kan som udgangspunkt benytte de samme principper som varmeforbruget, da de grundlæggende fungerer efter samme princip. Derfor er sparepotentialet i % antaget identisk med koncepterne for varme på trods af alt det samlede energiforbrug er markant mindre. Der er ikke antaget noget besparelspotentiale for komfortkøling for private husstande, da energiforbruget til dette ikke bliver kortlagt i tilgængelige databaser og endvidere vurderes at være forsvindende lille i Danmark.

En af de styringer, der er relevant i forhold til komfortkøling er, at der kan etableres en såkaldt interlock mellem køling og varme, der forhindrer, at der køles og opvarmes på samme tid i bygningen.

BILAG B: BESTEMMELSE AF ØKONOMISK NØGLETAL TIL INVESTERINGSOMKOSTNINGER

Tilbagebetalingstiden og levetid er så vidt muligt baseret på offentligt tilgængelige priser, og ellers estimeret fra [24] for tilsvarende produkter. Da kilden angiver tilbagebetalingstider for det amerikanske marked er disse konverteret til det danske tilbagebetalingstider. Dette gøres med en omregningsfaktor, der beregnes således:

$$f = \frac{\frac{CPI_{DKK}}{CPI_{USD}}}{\frac{EP_{DKK}}{EP_{USD}}}$$

Hvor CPI er OECD's Consumer Price Index, og EP er Energy Price for hhv. enten elpris eller varmepris. For varmeprisen er benyttet den gennemsnitlige pris for gasolie, da denne afviger mindst muligt ift. geografi. For at få sammenlignelige energipriser i forhold til afgifter mv. er der valgt at anvende danske og amerikanske energipriser fra samme kilder til denne omregningsfaktor. Benyttede tal er fra [36] [52] [53] [54].

Da CPI er højere i Danmark end i USA, er investeringsomkostningerne højere. Energiprisen er imidlertid også højere i Danmark end i USA, og derfor er den samlede tilbagebetalingsperiode kortere i Danmark end i USA. Omregningsfaktoren er på 59 % og 83 % for hhv. elektricitet og gasolie, og indgår i analysen. For segmenterne som ikke er momspligtige, er de beregnede tilbagebetalingstider blevet reduceret med 25%. De endelige levetider og tilbagebetalingstider kan ses i Tabel 9.

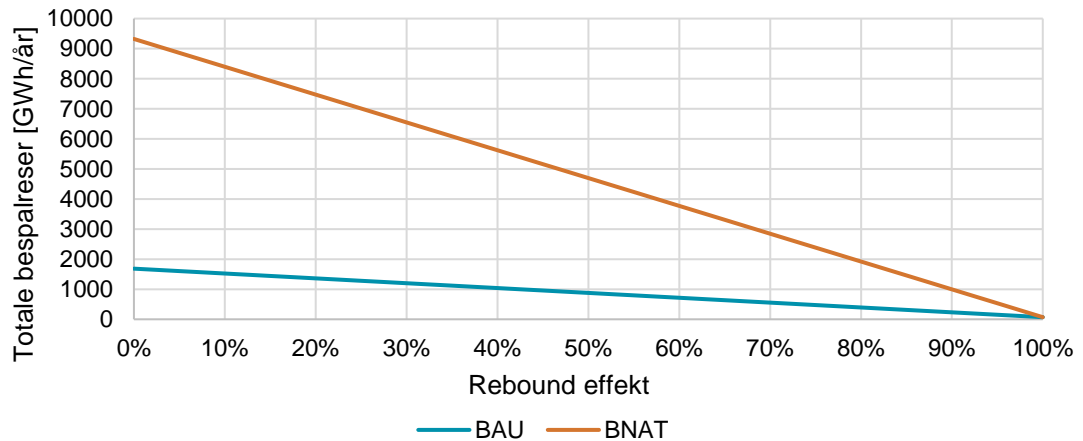
Tabel 9: Benyttede levetider og tilbagebetalingstider [år]

	Varme		Belysning			Komfortventilation			Komfortkøling			
	TBT	LT		TBT	LT		TBT	LT		TBT	LT	
Enfamilie-huse	Ingen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Mekaniske termostater	5,0	20	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Elektroniske termostater	3,3	10	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Intelligent styring, inkl. MPC	4,2	10	-	-	-	-	-	-	-	-	
Etageboliger	Ingen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Mekaniske termostater	5,0	20	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Elektroniske termostater	3,3	10	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Intelligent styring, inkl. MPC	4,2	10	-	-	-	-	-	-	-	-	
Erhverv	Ingen	-	-	Ingen	-	-	Ingen	-	-	Ingen	-	
	Mekaniske termostater	5,0	20	Bevægelsesmeldere	2,2	15	Timere	3,8	20	Mekaniske termostater	5,0	20
	Intelligent styring	2,5	10	Bevægelsesmeldere + Day light Harvesting	1,3	15	Behovsstyret	1,5	10	Intelligent styring	1,8	10
	Intelligent styring, inkl. MPC	3,1	10				Behovsstyret, MPC	1,5	10	Intelligent styring, inkl. MPC	2,2	10
Offentlig	Ingen	-	-	Ingen	-	-	Ingen	-	-	Ingen	-	
	Mekaniske termostater	5,0	20	Bevægelsesmeldere	2,2	15	Timere	3,8	20	Mekaniske termostater	5,0	20
	Intelligent styring	2,5	10	Bevægelsesmeldere + Day light Harvesting	1,3	15	Behovsstyret	1,5	10	Intelligent styring	1,8	10
	Intelligent styring, inkl. MPC	3,1	10				Behovsstyret, MPC	1,5	10	Intelligent styring, inkl. MPC	2,2	10

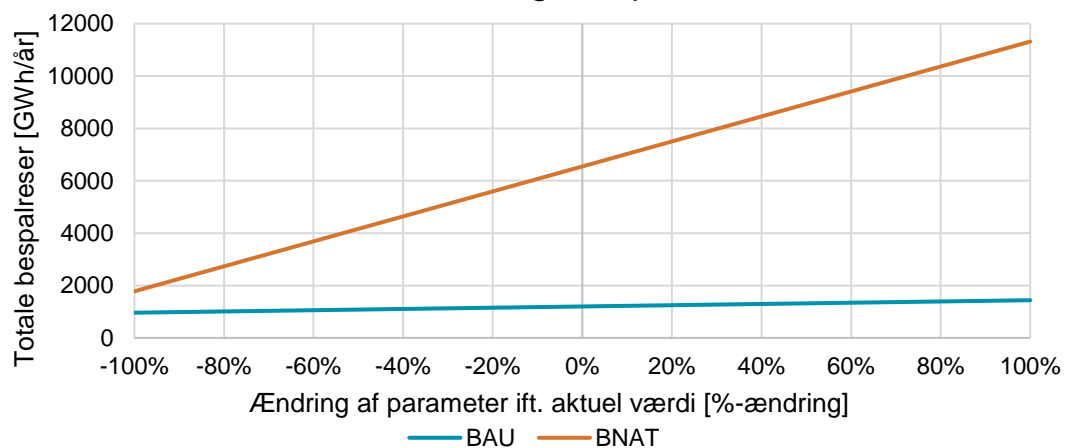
BILAG C: SENSITIVITETSANALYSER

Nedenstående figurer viser effekten af rebound-effekten, MPC-teknologi-besparelspotentiale, levetid og tilbagebetalingstider. På de to nederste plot er x-aksen i % ændring fra aktuel værdi (ved 0%). En +50% ændring, betyder "Aktuel værdi*(100%+50%)". Bemærk at levetid/tilbagebetalingstidsfiguren ikke varierer begge parametre på samme tid, men at effekterne er isolerede.

Rebound-effekt



MPC-Teknologi-besparelse



Levetid og tilbagebetalingstid

