

Summary (English)

Global and increased awareness of climate changes are apparent, and within the EU, strengthened energy policies are put in force to reduce greenhouse gas emissions. By accounting for 40 % of the total energy end-use, buildings are the single most energy-intensive consumer, and the residential sector alone, accounts for 25 % with space heating as the dominant share.

With the current EU Energy Performance in Buildings Directive (EPBD), each member state is instructed to establish a national building renovation plan and conduct an energy performance screening of the building stock. The aim is to increase the building renovation rate and the effect of the renovations.

Despite all the initiatives, there exists a well documented and rather large discrepancy between anticipated and actual energy consumption in buildings. Furthermore, the gap can hardly be quantified by evaluating the energy consumption alone. The reason is that occupants, weather, and the building quality affect it. The focus of this PhD thesis is therefore to develop methods to quantify the performance of buildings and to separate the reasons for the energy use.

Earlier research has shown promising results in terms of identifying thermal building performance characteristics based on data-driven quasi-stationary and dynamical mathematical models. A special focus has been on the transition of modelling techniques applied on unoccupied and thermally controlled test buildings, to reliable modelling techniques applied on occupied buildings.

It has been shown in **Paper C** that methods relying on only heat consumption measurements and weather data are capable of quantifying the heat loss coefficient, solar transmittance, influence of wind, transition period etc. Indications of the occupants' effect on energy use have been estimated as well.

Paper D showed that time constants and the building's energy flexibility (i.e. energy demand-shifting capabilities) can be obtained from measurements of only the indoor and outdoor temperature.

For more detailed dynamical grey-box modelling techniques, a novel approach to sun position dependent solar gain estimation has been proposed in **Paper B**.

The thesis discusses the importance of handling the disturbances caused by the occupants' interaction with the building. In **Paper A**, a method for estimating the occupancy status in dwellings has been proposed, with the intention of describing model noise in grey-box models in a more detailed manner.

The work of this thesis outlines new scalable approaches for documentation and screening of thermal building performance and energy flexibility. New modelling techniques have been presented and discussed in order to increase the reliability of data-driven models. The combination of the intensified energy data collection within the EU and reliable methods for thermal building performance assessments is believed to bring us closer to targeted building renovation strategies, and evidence-based energy performance documentation of buildings.

Resumé (Danish)

En global og øget opmærksomhed på klimaændringer ses tydelig, og inden for EU er skærpede energipolitikker blevet introduceret med det formål at reducere udledningen af drivhusgasser. Med 40 % af det totale energi slut-forbrug, er det bygninger, der har det mest intensive energiforbrug. Boliger alene står for 25 %, hvor rumopvarmning er den dominerende andel.

Med det nuværende EU-direktiv for bygningers energimæssige ydeevne (EPBD), skal hver medlemsstat formulere en national bygningsrenoveringsplan og kortlægge energiydeevnen af bygningsmassen. Målet er at øge bygningsrenoveringsraten og effekten af renoveringerne.

Trods alle initiativerne findes der et veldokumenteret og stort spænd mellem forventet og faktisk energiforbrug i bygninger. I tillæg til det er spændet svært at kvantificere ved alene at evaluere energiforbruget. Dette skyldes, at både brugere, vejr og byggekvalitet påvirker det. Fokusset i denne PhD-afhandling er derfor at udvikle metoder til at kvantificere bygningers ydeevne og at separere årsagerne til energiforbruget.

Tidligere forskning har vist lovende resultater ift. identifikation af termiske bygningsydeevne-karakteristikker baseret på datadrevne kvasi-stationære og dynamiske matematiske modeller. Der har været et særligt fokus på overgangen fra modelleringsteknikker anvendt på ubeboede og termisk kontrollerede testbygninger til pålidelige modelleringsteknikker anvendt på beboede bygninger.

Det er vist i **Artikel C**, at metoder der kun bygger på varmetabmålinger og vejrdata kan kvantificere varmetabkoefficienten, solindstrålingen, vindens effekt, overgangsperioden m.m. Indikationer af brugernes påvirkning af energiforbruget er ligeledes estimeret.

Artikel D viser, at tidskonstanter og bygningens energifleksibilitet (evnen til at tidsforskyde energibehovet) kan bestemmes ud fra målinger af kun inde- og udetemperatur.

For mere detaljerede dynamiske grey-box-modelleringsteknikker, er der i **Artikel B** foreslået en ny tilgang til estimering af solpositionsafhængigt solvarmetilskud.

Afhandlingen diskuterer vigtigheden af at håndtere forstyrrelser forårsaget af brugernes interaktion med bygningen. I **Artikel A** er der fremlagt en metode til at estimere brugerstatusen i boliger. Intentionen er at beskrive modelstøj i grey-box-modeller mere detaljeret.

Afhandlingen udlægger nye skalerbare metoder til at dokumentere og kortlægge termisk bygningsydeevne og energifleksibilitet. Nye modelleringsteknikker er blevet præsenteret og diskuteret med det formål at øge troværdigheden af datadrevne modeller. Kombinationen af den intensiverede energidataindsamling i EU og troværdige metoder til at bestemme bygningers ydeevne vil antageligt bringe os tættere på målrettede bygningsrenoveringsstrategier og evidensbaseret dokumentation af bygningers energimæssige ydeevne.