



OSLO METROPOLITAN UNIVERSITY
STORBYUNIVERSITETET

GRADERING:

Åpen

Institutt for bygg- og energiteknikk (Department of Built Environment)

Postadresse: Postboks 4 St. Olavs plass, 0130 Oslo, Norge

Besøksadresse: Pilestredet 35, Oslo

Webside: www.oslomet.no

MASTEROPPGAVE

“Energi & miljø i bygg” studieprogram

TITTEL: Datadrevet kalibrering av modeller for energisimulering av bygninger - Et norsk perspektiv	DATO INNLEVERT: 24.5.2024
	ANTALL SIDER OG VEDLEGG: 40 + vedlegg
FORFATTER: Harman Singh	VEILEDER(E): Moon Keun Kim

UTFØRT I SAMARBEID MED (FIRMA):	KONTAKTPERSON(ER):
---------------------------------	--------------------

KORT SAMMENDRAG (ABSTRACT): <p>Energisimuleringsprogrammer er viktige verktøy for å kunne beregne energibruken i bygg. Det hender altfor ofte at modellene som er laget i datamodelleringsprogrammene ikke stemmer overens med byggene de er modellert etter i virkeligheten, og dette skaper et avvik mellom energi som er simulert og energi som er målt. Hensikten med studiet er å finne og vurdere energisimuleringsverktøy som kan brukes i Norge, med spesielt fokus på brukervennlighet og effektivitet.</p>

NØKKEWORD (skilt med komma): Energisimulering, Kalibrering, Norsk Klima
--

1 Forord

Takk til veilederen min for tiden han har satt av for å hjelpe meg.

Takk til Peter Schild for å ha hjulpet meg med å finne denne oppgaven og hjulpet meg med å komme i gang.

Takk til Habtamu Bayera Madessa for å ha hjulpet meg med å komme i gang med litteratursøket.

5/24/2024

X Harman Singh

Harman Singh

Signert av: ea829ed1-af7d-4768-acca-a836d0980c22

2 Sammendrag

Energisimuleringsprogrammer er viktige verktøy for å kunne beregne energibruken i bygg. Det hender alt for ofte at modellene som er laget i datamodelleringsprogrammene ikke stemmer overens med bygget de er modellert etter i virkeligheten og dette skaper et avvik mellom energi som er simulert og energi som er målt. Det er her kalibrering kommer inn i bildet. Kalibrering er viktig for å kunne få simulert presise resultater. "white-box" verktøy som brukes hyppig i Norge er IDA-ICE med GenOpt som kalibrator og SIMIEN SmartTune. De nevnte programmene er gode, men de kan være tungvinte å bruke.

Hensikten med studiet er å finne og vurdere energisimuleringsverktøy som kan brukes i Norge, med spesielt fokus på brukervennlighet og effektivitet. Dette skal gjøres gjennom et litteratursøk gjennom 3 databaser. Databasene er Google Scholar og Web of Science. Videre har artiklene blitt vurdert etter overskrift og abstrakt. Om artiklene ikke er relevante så blir de ekskludert. Etter denne ekskluderingsprosessen så ble artiklene ekskludert etter inklusjon- og eksklusjonskriterier.

Kalibreringsmetoder i energimodeller kan deles inn i to kategorier, automatisk kalibrering og manuell kalibrering. Det var ingen overraskelse at automatiske kalibreringsmetoder er mer effektive og raskere enn de manuelle. Den bayesiske modellen var den mest effektive metoden når det kommer til automatisk kalibrering. Det er den som dukket opp mest blant de utvalgte artiklene, og det var den metoden som var brukt mest i casestudier og ikke bare blitt bevist teoretisk. Algoritmiske og nevralt nettverk er også effektive, men de er ikke så mye bruk og de er bare bevist teoretisk og ikke gjennom case studier. Men den beste optimale og effektive metoden er en kombinasjon av manuell og automatisk kalibrering.

Studien konkluderes med at en hybridmodell med automatisk og manuell kalibrering er den beste for norske forhold. I tillegg til dette så forslås det også at det blir utviklet en veiledning på samme måte som USA har utviklet en kalibreringsveiledning (ASHRAE 14).

3 Innhold

1	Forord.....	2
2	Sammendrag.....	3
4	Innledning.....	5
4.1	Bakgrunn for studiet.....	5
4.2	Struktur på oppgaven.....	5
5	Teori.....	7
5.1	Hva er energisimuleringer?	7
5.2	Oversikt over programmer	7
5.2.1	White box	7
5.2.2	Black box	7
5.2.3	Grey box.....	8
6	Metodologi.....	9
6.1	Litteraturstudie.....	9
6.2	Inklusjonskriterier.....	9
6.3	Søkestrategier.....	10
6.3.1	Databasevalg.....	10
6.3.2	Søkeord	11
6.3.3	Operatorer	11
6.4	Søkeprosessen.....	11
6.5	Vurdering av litteratur.....	13
6.6	Tematisk analyse.....	13
7	Resultat	17
7.1	Presentasjon av resultater.....	17
7.2	Presentasjon av hovedtema.....	30
7.2.1	Automatisk kalibrering.....	30
7.2.2	Manuell kalibrering.....	32
8	Drøfting.....	34
8.1	Drøfting av resultater	34
8.2	Drøfting av metoder.....	35
9	Konklusjon.....	37
10	Referanser.....	38
	Vedlegg	41

4 Innledning

Energisimuleringsprogrammer er en effektiv måte å gjøre energiberegninger i et bygg. Før energisimuleringens tid måtte man regne ut alle typer energiberegninger for hånd. Heldigvis så er den tid forbi. Selv om energisimuleringsmodellene har gjort prosessen langt enklere så er ikke utregningene 100% presise. Det er her behovet for kalibrering av disse programmene kommer inn. Det er flere faktorer som blir kalibrert som simuleringsinndata, faktisk bygningsdata, beboer atferd, vær, termiske egenskaper til materialer, nasjonale standarder eller lokale forskrifter. (Ofelia Vera-Piazzini, 2024)

I denne oppgaven vil jeg ta en dypere dykk i litteraturen som ligger ute om kalibrering av energisimuleringer. Det ligger masse gode artikler om nettopp dette på nett, men fokuset hos disse artiklene ligger i hovedsak i andre land som har et annerledes klima enn Norge. Dette etterlater et kunnskapsgap da verktøyene og metodene ikke er tilpasset det nordiske klimaet. Noen eksempler på "white-box" verktøy som brukes hyppig i Norge er IDA-ICE med GenOpt som kalibrator og SIMIEN SmartTune. De nevnte programmene er gode, men de kan være tungvinte å bruke. Målet mitt blir å undersøke og eventuelt finne andre verktøy som er mer brukervennlige og effektive. Dette vil bli gjort ved gjennomgang av eksisterende litteratur og vurdere forskjellige verktøys brukervennlighet og nøyaktighet gjennom et norsk perspektiv.

4.1 Bakgrunn for studiet

Energisimuleringsprogrammer er viktige verktøy for å kunne beregne energibruken i bygg. Det hender altfor ofte at modellene som er laget i datamodelleringsprogrammene ikke stemmer overens med byggen de er modellert etter i virkeligheten og dette skaper et avvik mellom energi som er simulert og energi som er målt. Det er her kalibrering kommer inn i bildet. Kalibrering er viktig for å kunne få simulert presise resultater. "white-box" verktøy som brukes hyppig i Norge er IDA-ICE med GenOpt som kalibrator og SIMIEN SmartTune. De nevnte programmene er gode, men de kan være tungvinte å bruke.

4.2 Struktur på oppgaven

Oppgaven starter med en innledning hvor den introduserer problemstillingen, etterfulgt av litt bakgrunn for studiet. Så tar oppgaven for seg teorien innen byggsimulering. Videre er det metodologien som innebærer hva litteraturstudie er. Også blir resultatene presentert. Først så blir artiklene

presentert i tabellformat. Temaene blir presentert etter dette. Drøftingen av resultatene og metodene er nest siste kapittel også avsluttes oppgaven med en konklusjon.

5 Teori

5.1 Hva er energisimuleringer?

En energisimulering er en simulering som kartlegger energibruket til et bygg. Dette blir da gjort gjennom et energisimulerings program som gir en mer eksakt utregning enn en manuell utregning da manuelle utregninger er simplifiserte formler som gir unøyaktige tall. Grunnen til at manuelle utregninger ble simplifisert var for at det skulle bli enklere for brukeren til å bruke formlene, men dette gikk da på bekostning av nøyaktigheten på utregningene (Clarke, 2001).

Men med tiden så ble denne praksisen erstattet med matematiske modeller som kunne ta høyde for energistrømningsmønstre og deres samhandling med bygg. Dette markerte en overgang fra manuell energiberegning til en mer avansert og automatisert energiberegning. Med den matematiske modellen var det nå mulig å ta hensyn til de komplekse faktorene som langbølget radierings utveksling og dynamisk varmegjennomgang framfor statisk varmegjennomgang. Dette var et steg nærmere mot å imitere virkeligheten. (Clarke, 2001)

5.2 Oversikt over programmer

White box, black box, og grey box er begreper i softwareprogrammer som blir brukt for å klassifisere ulike programmer etter hvordan metoder de bruker for å teste. I vårt tilfelle så blir programmene kategorisert etter statistisk tilnærming, fysisk tilnærming og en hybrid tilnærming som er en kombinasjon av begge disse metodene (Zaptest, 2024).

5.2.1 White box

Et white box program er basert på en serie med matematiske modeller som er basert på fysisk informasjon om bygget samt de termodynamiske egenskapene til materialet som blir brukt i bygget. En ulempe med denne metoden er at bygget må være ferdigbygd slik at man kan hente ut eksakt informasjon om bygget og at det kan være mulig å kalibrere modellen ved å sette ut sensorer i bygget og bruke strømregninger knyttet til bygget (ASHRAE, 2018).

5.2.2 Black box

Et black box program er i motsetning til white box basert på algoritmiske metoder som forutsier data om bygget. Denne metoden er god når man vet energiforbruket til bygget og ikke vet den fysiske utformingen av bygget (ASHRAE, 2018).

5.2.3 Grey box

En grey box modell kombinerer de overnevnte metodene. Dette vil da si at det finnes programmer som er datadrevne og algoritmiske noe som gjør at den balanserer mellom disse to metodene avhengig av hvor mye data som er tilgjengelig (ASHRAE, 2018).

6 Metodologi

6.1 Litteraturstudie

En litteraturstudie omfatter en systematisk gjennomgang av ulike artikler knyttet til en problemstilling. Litteraturstudie er akademisk forskning som går ut på forskning som allerede er gjort å identifisere "hull" i kunnskapen i disse artiklene. Videre så skal man komme med forslag om hvordan man kan forbedre og utvikle disse artiklene. Man bygger rett og slett videre på kunnskapen. Ved å gjennomgå studie knyttet til en problemstilling så vil man gå en dypere og bredere forståelse innen data drevet kalibrering for simuleringsverktøy. Dette kan føre til at man får testet spesifikke hypoteser og får utvikle nye teorier (Guidance on Conducting a Systematic Literature Review, 2017).

Artikkelen "Guidance on Conducting a Systematic Literature Review" kommer til å være en slags bruksanvisning på hvordan jeg kommer til å gå frem i litteratursøket. Dette vil sørge for at jeg søket kommer til å være strukturert og pålitelig. Artikkelen går igjennom identifisering av artikler, evaluering, hvordan man avdekker svakheter og unøyaktigheter. (Guidance on Conducting a Systematic Literature Review, 2017).

6.2 Type litteratur

Når det kommer til søk av artikler knyttet til litteraturstudiet så ser man enten etter kvalitative- eller kvantitative studier. Valget man tar på hvilke typer artikler man vil hente inn avhenger av hva formålet med studiet er. Vil man få en bred forståelse av et felt så er kvantitative artikler det man burde gå for. Om man ønsker å få mer forståelse av en ting i dybden så burde man gå for kvalitative artikler. I mitt tilfelle så blir det en kombinasjon av begge, da det er ønskelig å få en oversikt over de ulike kalibreringsmetodene som er der ute og samt få en dypere forståelse for hvordan disse metodene fungerer (SurveyMonkey, 2024).

6.3 Inklusjonskriterier

Inklusjonskriterier innebærer å ha en strukturert og metodisk tilnærming til søkene som blir gjort slik at man utelukker irrelevante artikler og faglig svake artikler. Man starter veldig overordnet og ser på hva slags kriterier artiklene skal ha. I mitt tilfelle så vil det være viktig at artiklene enten er engelsk eller norsk for at man skal i det hele tatt forstå artiklene og publikasjonstidspunkt for å sikre at man får de nyeste og mest oppdaterte artiklene innen fagfeltet (Guidance on Conducting a Systematic Literature Review, 2017).

Denne systematiske søksstrategien skal sørge for å innhente forskningsartikler som er relatert til problemstillingen i denne oppgaven. Videre skal disse artiklene klargjøre og knytte sammen den relevante kunnskapen som blir hentet ut fra disse artiklene og bli presentert på en ryddig og oversiktlig måte (Guidance on Conducting a Systematic Litterature Review, 2017).

Tabell 1 viser en oversikt over inklusjon- og eksklusjonskriterier og hvordan jeg har kommet fram til akkurat disse kriteriene. Det første kriteriet er å bare ha artikler som er fra Europa og Nord Amerika. Denne begrensingen er satt inn fordi det bare ønskelig med artikler som er skrevet i land med samme type klima som Norge og/eller har samme bygge standarder som blir brukt i Norge. I Europa finnes det felles bygge standarder som Norge også bruker. Og i Nord Amerika finnes det steder som har samme klima som Norge. Språkkriteriet sier seg selv. Jeg må kunne forstå hva som blir sagt i artiklene. Og det siste kriteriet er at artikler som har blitt publisert etter 1980. Dette er fordi de første simuleringprogrammene ble laget i 1980 og det fantes ikke noe før det (Bigladder Software, 2015) (U.S. Army Corps of Engineers Digital Library, 1977).

INKLUSJONSKRITERIER	EKSKLUSJONSKRITERIER
ARTIKLER FRA NORD EUROPA OG NORD AMERIKA	Alt utenom Nord-Amerika og Nord Europa
SKANDINAVISKE SPRÅK OG ENGELSK	Alle språk utenom Skandinaviske språk og engelsk
ARTIKLER PUBLISERT ETTER 1980	Artikler publiserte før 1980

Tabell 1: Oversikt over inklusjonskriterier og eksklusjonskriterier

6.4 Søkestrategier

6.4.1 Databasevalg

Videre må jeg danne meg en oversikt over hvilke søkemotorer jeg skal bruke for å finne artikler. Artikkelen jeg bruker som en bruksanvisning for å utføre søkene nevner Google Scholar, Web Of science, EBShost og EngineeringVillage. Jeg har valgt å ikke bruke EBShost og Engineeringvillage da jeg la merke til at søkeresultatene overlappet med søkeresultatene til Google Scholar og Web of Science. Så i dette litteraturstudiet bruker jeg bare Google Scholar and Web of Science. En annen ting som vil bli tatt hensyn til for å sikre at jeg finner kvalitetsartikler er å sørge for at jeg kun inkluderer forskning/studier utgitt av anerkjente forlag (Guidance on Conducting a Systematic Litterature Review, 2017).

6.4.2 Søkeord

For å finne relevante søkeord så har jeg brukt et PICO-skjema (Problem, intervention, comparison og outcome). Et PICO-skjema er utviklet for å dekonstruere en problemstilling og bygge opp et databasesøk. Det er i hovedsak to typer skjemaer vi kan bruke for et litteratursøk og det er SPIDER-skjema og PICO skjema. Valget har falt på PICO skjemaet da PICO skjemaet er mer egnet for litteratursøket jeg skal gjøre. SPIDER-skjemaet er egnet mer for kvalitative litteratursøk. Problemstillingen min er en kombinasjon av kvantitativt og kvalitativt litteratursøk, men den biker mer mot kvantitativt søk noe som gjør det mer naturlig å velge PICO-skjema (Systematisk litteratursøk, 2024). PICO er et akronym som står for problem, intervention, comparison og outcome. Problemet er hvor vi identifiserer problemet. Dette kan være problemstillingen. Intervention innebærer å komme med tiltak til problemet. Det er gunstig å være spesifikk her. Comparison er som ordet tilsier, nemlig å sammenligne. Her det er viktig å sammenligne alternativer til tiltakene som ble funnet. Outcome vil si resultatet som man har tiltakene man har funnet. Hvilke resultater er interessante, hvilke er ikke (Helsebiblioteket, 2021)?

P(Population)	I(Intervention/Initiativ/Action)	Comparison	Outcome
Energy Simulation	Data Driven Energy Simulation	Traditiondal vs data driven	Accuracy of energy simulation

Tabell 2: PICO-skjema

6.4.3 Operatører

Kombinasjonssøking er viktig når man utfører søk i ulike databaser. Disse funksjonene heter boolske operatører. Med disse så har man muligheten til å ha et utvidet søk og man kan også begrense søket. De vanligste boolske operatørene som finnes er AND, OR og NOT. Man kan også bruke norske ord så lenge man bruker caps lock (NTNU, 2012).

Med denne kunnskapen så ble det gjort søk med ordene fra PICO-skjemaet. I de første søkene så var tanken å gjøre et utvidet søk. Da brukte jeg OR operatøren. Deretter brukte jeg AND operatøren for å gjøre et mer fokusert søk som omhandlet de ordene jeg aller helst ønsket i artiklene. Det var lite hensiktsmessig å bruke NOT operatøren da problemstillingen er et veldig nisjeproblem og det gjør at søket ikke overlapper med andre fagområder. Jeg ville finne artikler som omhandlet energisimuleringer og det holdt med å bruke AND og OR operatørene.

6.5 Søkeprosessen

Web of science

Google Scholar

1.	Energy simulation calibration OR Energy efficiency modeling calibration OR Predictive analytics in building performance calibration OR Norwegian building codes and energy simulation calibration	Energy simulation calibration OR Energy efficiency modeling calibration OR Predictive analytics in building performance calibration OR Norwegian building codes and energy simulation calibration
2.	Energy consumption data analysis calibration OR HVAC systems simulation Norway calibration OR Renewable energy integration in building simulations calibration OR Comparative analysis of energy simulation methods calibration	Energy consumption data analysis calibration OR HVAC systems simulation Norway calibration OR Renewable energy integration in building simulations calibration OR Comparative analysis of energy simulation methods calibration
3.	Building energy simulation Norway calibration	Building energy simulation Norway calibration
4.	Energy efficiency modeling calibration AND building AND norway	Energy efficiency modeling calibration AND building AND norway
5.	Data-driven model calibration AND building* AND norway	Data-driven model calibration AND building* AND norway
6.	Energy efficiency modeling AND building AND norway	Energy efficiency modeling AND building AND norway
7.	Predictive analytics in building performance AND norway	Predictive analytics in building performance AND norway
8.	Norwegian building codes and energy simulation	Norwegian building codes and energy simulation
9.	Machine learning for energy simulation calibration AND norway	Machine learning for energy simulation calibration AND norway
10.	Comparative analysis of energy simulation methods AND norway	Comparative analysis of energy simulation methods AND norway

Tabell 3: Oversikt over alle søkene som ble gjort i google scholar og web of science

Søkene ble gjort fra 19.mars.2024 til 25.mars.2024. I denne tidsperioden ble det samlet 1594 artikler fra søkene som ble gjort (Google Scholar: 828 og Web of science: 756). Alle søkene som ble gjort er beskrevet i tabell 3. Som sagt så ble det samlet 1594 artikler. Det var hensiktsmessig å stoppe søket på dette tidspunktet da mange artikler som allerede var funnet kom opp på flere søk. Da vet man at man har truffet med søkene sine og man har bygget opp en database som dekker gir nok informasjon til å svare på problemstillingen. (Guidance on Conducting a Systematic Litterature Review, 2017). Etter å ha gått gjennom alle artiklene så ble 1496 artikler ekskludert grunnet irrelevans i enten overskrift

eller sammendraget. Etter å ha fjernet duplikater så var det 98 artikler. Videre ble eksklusjonskriteriene brukt for å snevre inn databasen enda mer og da endte man opp med 19 artikler.

6.6 Vurdering av litteratur

Etter å gjort søk på hvordan man kan kvalitets vurdere artiklene som er funnet så ble det bestemt at CASP sin sjekkliste som er mest brukt når det kommer til vurdering av kvantitative og kvalitative artikler (Brookes Universities, 2024). En ulempe med denne sjekklisten er at den i hovedsak er utviklet for helse og sosialvitenskap studier. Det har blitt gjort forsøk på å finne vurderingsmetoder innenfor ingeniørstudier, men det uten hell. Selv om sjekklisten er tilpasset for helse og sosialvitenskap studier så er det noen prinsipper som er aktuelle for dette litteratursøket. Vurdering vil bli gjort på premisset av at dette er et litteratursøk innen ingeniør feltet og punkter i sjekklisten som ikke samsvarer det vil bli omformulert slik at det passer dette studiet.

CASP sjekklisten er laget for å vurdere den metodiske delen av artiklene. Alle artiklene som er funnet og sortert vil bli gått igjennom grundig for så å gi artiklene en vurdering på en skala fra 1-7 basert på kriteriene fra sjekklisten. Resultatene av vurderingene er presentert i en tabell på side 16. I grove trekk så vil tydeligheten ved formålet i studien vurdert og metoden som blir brukt i studien også. Videre i artikkelen vil de sterke og svake sidene ved artiklene beskrevet. Dette vil gi en overordnet vurdering samt en mulighet til å ekskludere artikler om de er altfor svake.

Denne analysen har 19 artikler som skal vurderes i dybden. Her skal man lese mer om resultater og metoder som er brukt i de ulike artiklene. Som sagt så skal jeg følge framgangsmåten til "Guidance on Conducting a Systematic Literature Review". I "Guidance on Conducting a Systematic Literature Review" så blir det poengtert at det er viktig å ikke bare inkludere artikler som blir klassifisert som "høy kvalitet", men også vurdere artikler vurdert som lavere kvalitet siden disse også kan bidra positivt i litteraturstudiet. Men det er ikke gitt at alle lav kvalitets artikler kommer til å bidra, man må vurdere hver eneste artikkel og ta en vurdering derfra (Guidance on Conducting a Systematic Literature Review, 2017).

6.7 Tematisk analyse

Etter å ha vurdert artiklene så må man få en oversikt over temaene i de ulike artiklene. Da gikk jeg grundig igjennom alle artiklene og dannet meg en oversikt over metodene/fremgangsmåtene som ble benyttet for kalibrering av modellene i artiklene. Måten dette ble gjort på var å se igjennom metodedelen og se igjennom resultatdelen for å se på funnene som ble gjort. Det ble også lagt ekstra

vekt på å finne gjentakende ord og uttrykk som beskrev de ulike kalibreringsmetodene (Guidance on Conducting a Systematic Litterature Review, 2017). Det hendte at temaene/metodene som ble funnet overlappet med hverandre. Dette betyr at en kalibreringsmetode kan være en kombinasjon av flere metoder som utgjøres til en metode.

Målet med den tematiske analysen er å identifisere temaer. Det vil naturligvis være undertemaer knyttet til hovedtemaene. For eksempel så ble algoritme funnet som et hovedtema, men så ble også genetisk algoritme funnet også. Det er ugunstig å etablere to temaer, siden man bare kan plassere genetisk algoritme under algoritme og ha det som et undertema. En annen fordel ved å ha undertemaer er at det vil gi et tydeligere bilde på hva hovedtemaet vil handle om og det gjør at man kan ha en oversikt over hvordan utviklingen kan bli. Etter en detaljert og krevende analyse av alle artiklene ble disse hovedtemaene funnet: Algoritmisk kalibrering, parameterbasert kalibrering, automatisk kalibrering, bayesisk kalibrering og neural network.

	Manuel	Automatisk		
	Parameter	Algoritmisk	bayesisk	ANN
Hidden factors and handling strategies on virtual in-situ sensor calibration in building energy systems: Prior information and cancellation effect			X	
Building model calibration using energy and environmental data	X			
Identifying informative energy data in Bayesian calibration of building energy models	X		X	
Assessment of linear emulators in lightweight Bayesian calibration of dynamic building energy models for parameter estimation and performance prediction			X	

Net zero-energy buildings in Germany: Design, model calibration and lessons learned from a case-study in Berlin.	X			
Guidelines for the Bayesian calibration of building energy models	X		X	
Hierarchical calibration of archetypes for urban building energy modeling			X	
Digital Twin framework for automated fault source detection and prediction for comfort performance evaluation of existing non-residential Norwegian buildings		X	X	
Genetic algorithm for building envelope calibration		X		
A performance comparison of multi-objective optimization-based approaches for calibrating white-box building energy models		X		
Comparison between monitored and simulated data using evolutionary algorithms: Reducing the performance gap in dynamic building simulation.		X		
Application of a staged automated		X		

calibration methodology to a partiallyretrofitted university building energy model				
A comparison of six metamodeling techniques applied to building performance simulations				X
Building energy model calibration using a surrogate neural network				X
A pattern-based automated approach to building energy model calibration		X		
A review of methods to match building energy simulation models to measured data				
Hidden factors and handling strategies on virtual in-situ sensor calibration in building energy systems: Prior information and cancellation effect	X	X	X	X
Model calibration for building energy efficiency simulation				
A model calibration framework for simultaneous multi-level building energy simulation	X			
Stochastic modeling of overtime occupancy and its application in building energy simulation and calibration	X	X		

Tabell 4: Oversikt over temaer i utvalgte artikler

7 Resultat

Dette kapittelet er todelt. I først del så vil artiklene bli presentert, hvor metode, resultat og kvalitet av artiklene vil bli presentert. I andre del så vil de seks hovedtemaene bli presentert. Hovedtemaene er: manuell kalibrering og automatisk kalibrering. Ved å sette søkelys på disse hovedtemaene så vil det gi gode forutsetninger til å besvare problemstillingen.

7.1 Presentasjon av resultater

Nedenfor så vil de inkluderte artiklene bli presentert gjennom en skjematisk oversikt. Denne oversikten vil beskrive metodene som ble brukt i artiklene, resultatene og funnene som ble gjort i artiklene også vil det bli gitt en vurdering fra 1 til 7 på kvaliteten av artikkelen hvor sjekklisten til CASP er brukt. Se metodedel hvor forklaring og framgangsmåte av CASP sjekkliste blir forklart. Under presentasjonen av artiklene så vil det komme en liten seksjon som forteller om styrker og svakheter til artiklene.

Forfatter, tittel, publikasjon og år	Metode (kalibreringsmetode)	Resultat og funn	Kvalitet
Hidden factors and handling strategies on virtual in-situ sensor calibration in building energy systems: Prior information and cancellation effect	Bayesiansk in situ kalibrering Bruker bayesiansk interferens til å forbedre kalibrering. Bruker ny informasjon sammen med en sannsynlighets funksjon Matlab ble brukt her	<ul style="list-style-type: none">- Forbedret nøyaktighet- Reduksjon av energifeil- Ingen behov for fysisk manipulering- Strategier for lokal kalibrering og oppdatering av priors- Forbedring på 17,82%	5/7 – høy kvalitet

Sungmin Yoon og Yuebin Yu (2018)			
Styrker		Svakheter	
<ul style="list-style-type: none"> - Artikkelen gir en grundig gjennomgang av bayesisk virtual in-situ calibration (VIC). Dette gjør det lettere for lesere med teknisk bakgrunn å forstå metoden. - Forfatterne har gjort grundige analyser med forklaringer på hvordan inndataen ble behandlet og presentasjon av resultatene 		<ul style="list-style-type: none"> - For en leser som er ganske ny i kalibreringsfeltet så kan kompleksiteten av detaljene være veldig overveldende. - Det er ikke alltid tydeliggjort forutsetninger og modellvalg som er gjort i studiet. 	
Forfatter, tittel, publisering og år	Metode (kalibreringsmetode)	Resultat og funn	Kvalitet
Building model calibration using energy and environmental data Mohammad Royapoor og Tony Roskilly (2015)	To-steg kalibrerings prosess. Som først innebærer å sette opp modell i Energy Plus også blir modellen kalibrert etter værdata i det gitte bygget. Også blir sensorer og værstasjoner plassert i bygget slik at man får data i sanntid og modellen kan kalibreres ytterligere. Etter dette blir kalibreringsprosessen verifisert gjennom ASHRAE guideline 14 hvor maks 5% MBA og 10% CV(RMSE) godt nok kalibrert, men over dette så er avviket for stort.	<ul style="list-style-type: none"> - Høy nøyaktighet en nøyaktighet på ± 1.5 Celsius 99.5% av tiden - Tilfredsstilte ASHRAE veiledningenes MBA og CV(RMSE) - Lokaldata utgjorde forskjellen 	5/7 – Høy kvalitet
Styrker		Svakheter	

<ul style="list-style-type: none"> - Detaljrik forklaring av metoden. - Klar og organisert struktur - Bruken av ASHRAE guideline 14 forsterker troverdigheten til resultatene og forskningen 		<ul style="list-style-type: none"> - Det er en amerikansk artikkel hvor de har brukt en veiledning manual som er laget for amerikanske bygg. - Artikkelen er fra 2015. Denne forskningen kan være noe utdatert gitt alderen på den. 	
Forfatter, tittel, publikasjon og år	Metode (kalibreringsmetode)	Resultat og funn	Kvalitet
Identifying informative energy data in Bayesian calibration of building energy models Wei Tian, Song Yang, Zhanyong Li, Shen Wei, Wei Pan og Yunliang Liu (2016)	Multisteg kalibreringsprosess som innebærer å først samle data (historisk og fysisk), sensitivitetsanalyse, korrelasjonsanalyse, regresjonsanalyse, bayesisk kalibrering også avslutte med en modellverifisering med målt data. Energy plus og R blir brukt her.	<ul style="list-style-type: none"> - forbedret kvalitet - kan håndtere manglende data basert på data som allerede er hentet inn - bruk av data som er mest informativ 	5/7 – Høykvalitet
Styrker		Svakhet	
<ul style="list-style-type: none"> - Grundig forklaring av metode - Detaljert analyse og case studie som gir et bedre bilde på hvordan metoden anvendes - God struktur 		<ul style="list-style-type: none"> - Begrenset diskusjon om begrensingene i studiet. 	
Forfatter, tittel, publikasjon og år	Metode (kalibreringsmetode)	Resultat og funn	Kvalitet

Assessment of linear emulators in lightweight Bayesian calibration of dynamic building energy models for parameter estimation and performance prediction	Bruk av lineær regresjon, bayesisk kalibrering, ytelses mål, sammenligning og validering. Energy plus og R blir brukt her.	- Regresjonsmodellen i kombinasjon av bayesisk kalibrering ga en raskere kalibreringsprosess sammenlignet med en mer typisk bayesisk modell. - Continuous rank probability score rangeringssystem som vurderer kvaliteten på antagelsene som blir gjort av modellen - forskjellig typer modeller ble testet. Jo mer detaljer modellen hadde jo mer presis var den, men jo mindre detaljer modellen hadde jo fortere gikk kalibreringsprosessen. Artikkelen legger vekt på viktigheten av å kunne balansere disse to elementene er viktig for effektiv kalibrering.	5/7 – høy kvalitet
Qi Li, Godfried Augenbroe og Jason Brown (2016)			
Styrker		Svakheter	
<ul style="list-style-type: none"> - Grundig og strukturert - Forklarer metoden i dybden - Relevante funn. Og drøfter fordeler og ulemper ved det 		<ul style="list-style-type: none"> - Dataen som er brukt er ikke tilgjengelig for offentligheten. 	
Forfatter, tittel, publisering og år	Metode (kalibreringsmetode)	Resultat og funn	Kvalitet
Net zero-energy buildings in Germany:	Energy plus og design builder Multisteg prosess: en numerisk modell blir laget	<ul style="list-style-type: none"> - Noe utdata stemte overens med de forventede verdiene, men så 	3/7 – Middels kvalitet

<p>Design, model calibration and lessons learned from a case-study in Berlin.</p> <p>Fabrizio Ascione, Nicola Bianco, Olaf Böttcher, Robert Kaltenbrunner og Giuseppe Peter Vanoli (2016)</p>	<p>hvor målt data fra bedrifts tiden, spørreundersøkelser og okkupertidsskjema blir brukt. Også blir modellen kalibrert mot målt data. Modellen blir validert gjennom indikasjoner for å sikre nøyaktighet. Og siste steg er kontinuerlig overvåking og justering av modellen ved hjelp av data som blir samlet i sanntid.</p>	<p>hadde man noe utdata som energi til oppvarming og varmtvannsproduksjon som var 172% høyere enn forventet. Ventilasjon, belysning, og utstyr hadde lavere energibruk enn antatt.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Kalibreringen av den numeriske modellen en MBE på under $\pm 2\%$ for alle energibruk områder. - Elektrisk energibruk knyttes mot brukeatferd. Dette understreker viktigheten av å kunne forstå og integrere brukeratferd i energisimuleringen - Behov for å ha overvåking 	
<p>Styrker</p>		<p>Svakheter</p>	
<ul style="list-style-type: none"> - Detaljert beskrivelse av metoden 		<ul style="list-style-type: none"> - Geografisk relevans - Noe utdata som overhodet ikke stemte med forventede verdier. MBE var på under $\pm 2\%$ noe som gir grunn til å stille spørsmålstegn med denne metoden som også er 	

		brukt i andre artikler som denne. Men denne artikkelen brukte bare MBE og ikke CV(RMSE).	
Forfatter, tittel, publisering og år	Metode (kalibreringsmetode)	Resultat og funn	Kvalitet
Guidelines for the Bayesian calibration of building energy models Adrian Chong og Kathrin Menberg (2018)	Multisteg kalibrering: Starter med Kennedy og O'Hagans bayesiske rammeverk, også gaussisk prosess, også HMC sampling, også NUTS sampling for å optimere sample prosessen fra HMC steget, også ender det med en sensitivitetsanalyse.	<ul style="list-style-type: none"> - Økt nøyaktighet på modellen - Effektiv samplings teknikk. - Robust måte å håndtere usikkerheter på 	5/7 – Høyt nivå
Styrker		Svakheter	
<ul style="list-style-type: none"> - Metoden gir et solid og pålitelig resultat. - I tillegg til å gi teoretisk informasjon så gir artikkelen også praktisk informasjon på hvordan man kan bruke denne metoden selv. 		<ul style="list-style-type: none"> - Geografisk relevans - Krevende metode som krever høy kompetanse og ferdigheter innenfor koding, men det hjelper at forfatterne har lagt ut veiledning på github. 	
Forfatter, tittel, publisering og år	Metode (kalibreringsmetode)	Resultat og funn	Kvalitet
Hierarchical calibration of archetypes for urban building energy modeling	<ul style="list-style-type: none"> - Multinivåmodellering - Dynamisk byggsimulering - Markov Chain Monte Carlo sampling <p>Energy plus og R ble brukt.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Forbedret kalibrerings nøyaktighet - Effektiv selv med begrenset data 	5/7 – Høy kvalitet

Martin Heine Kristensen, Rasmus Elbæk Hedegaard, Steffen Petersen (2018)			
Styrker		Svakheter	
<ul style="list-style-type: none"> - Detaljert beskrivelse av metode - Anvendt I Danmark som har et liknende klima som Norge - Gode resultater selv med begrenset data 		<ul style="list-style-type: none"> - Artikkelen har et fokus på kalibrering av større databasesett med bygg, enn kalibrering av enkelt bygg. 	
Forfatter, tittel, publikasjon og år	Metode (kalibreringsmetode)	Resultat og funn	Kvalitet
Digital Twin framework for automated fault source detection and prediction for comfort performance evaluation of existing non-residential Norwegian buildings Haidar Hosamo Hosamo, Henrik Kofoed Nielsen, Dimitrios Kraniotis, Paul Ragnar Svennevig, Kjeld Svidt (2023)	Bruker en BIM modellering med sanntid data, tilbakemeldinger fra brukere, en bayesisk modell, og maskinlæringsteknikker. Revit, Energyplus, stan, R og Green Building XML	<ul style="list-style-type: none"> - Forbedret komfort for brukere - Plukker opp feil før brukeren merker ubehag - Fant feil ved HVAC systemet 	6/7 – Høy kvalitet
Styrker		Svakheter	

<ul style="list-style-type: none"> - Datadreven tilnærming. - Studie gjort i Norge 		<ul style="list-style-type: none"> - Veldig tungvinn måte. - Krever høy kompetanse 	
Forfatter, tittel, publikasjon og år	Metode (kalibreringsmetode)	Resultat og funn	Kvalitet
Genetic algorithm for building envelope calibration	<ul style="list-style-type: none"> - NSGA-II algoritme. Som søker etter de beste settene med parametere med den minste feilmarginen - Sensitivitets analyse - Usikkerhetsanalyse. Tar hensyn til NMBE og CVRMSE - Energyplus og Genopt. Og matlab for følsomhetsanalyse 	<ul style="list-style-type: none"> - Høy kalibreringssikkerhet - Billig å utføre, gitt at den bare bruker temperatur sensorer. 	5/7 – Høy kvalitet
Germán Ramos Ruiz, Carlos Fernández Bandera, Tomás Gómez-Acebo Temes, Ana Sánchez-Ostiz Gutierrez (2016)			
Styrker		Svakheter	
<ul style="list-style-type: none"> - Datadreven kalibrering - Avansert algoritme - Praktisk implementering og verifisering 		<ul style="list-style-type: none"> - Geografisk irrelevans 	
Forfatter, tittel, publikasjon og år	Metode (kalibreringsmetode)	Resultat og funn	Kvalitet
A performance comparison of multi-objective optimization-based approaches for calibrating white-box building energy models	<p>Sammenligning av NSGA-II, SPEA2 og MOEA.</p> <p>Energyplus og genopt</p>	NSGA-II ga best resultat. SPEA2 ga like resultater, men NSGA-II var litt bedre når det gjaldt konvergens og antall løsninger. MOEA/D var god når det kom til antall løsninger, men ikke så effektiv i konvergensen.	5/7 – høy kvalitet

Sandra Martínez, Pablo Eguíaa , Enrique Granadaa , Amin Moazami og Mohamed Hamd (2020)			
Styrker		Svakheter	
<ul style="list-style-type: none"> - God sammenligning av algoritmer - Objektiv sammenligning (BESTEST600) 		<ul style="list-style-type: none"> - Bare teoretisk - Ikke noe sammenligning med faktisk data. 	
Forfatter, tittel, publikasjon og år	Metode (kalibreringsmetode)	Resultat og funn	Kvalitet
Comparison between monitored and simulated data using evolutionary algorithms: Reducing the performance gap in dynamic building simulation. António Figueiredoa, Jérôme Kämpf, Romeu Vicente , Rui Oliveiraa og Tiago Silva (2018)	Kombinerer to algoritmer (covariance matrix adaption evolution strategies og hybrid differential evolution) Sensorer brukt for temperatur. CVRMSE: 4.51% til 5.36%	<ul style="list-style-type: none"> - Høy kalibreringsnøyaktighet 	6/7 - Høy kvalitet
Styrker		Svakheter	
<ul style="list-style-type: none"> - Høy kalibreringsnøyaktighet - Praktisk mtp. Å kunne implementere denne metoden selv. 		<ul style="list-style-type: none"> - Geografisk irrelevans 	
Forfatter, tittel, publikasjon og år	Metode (kalibreringsmetode)	Resultat og funn	Kvalitet
Application of a staged automated calibration methodology to a	Multisteg kalibrering. Steg 1: Sensitivitetsanalys	Økt kalibreringsnøyaktighet	5/7

partiallyretrofitted university building energy model	e, også NSGA-II også validering gjennom ASHRAE 14. Steg 2: Enda mer sensitivetsanalyse, NSGA-II finjustere parametere og validering på samme måte som steg 1. Energyplus, Openstudio, jEPlus + EA, Simlab		
Styrker		Svakheter	
<ul style="list-style-type: none"> - Detaljert metodebeskrivelse - Høy kalibreringsnøyaktighet 		<ul style="list-style-type: none"> - Geografisk Irrelevans 	
Forfatter, tittel, publikasjon og år	Metode (kalibreringsmetode)	Resultat og funn	Kvalitet
A comparison of six metamodeling techniques applied to building performance simulations Torben Østergård, Rasmus Lund Jensen og Steffen Enersen Maagaard (2018)	Random forrest, 4 regresjonsteknikker, Neural Network	Høy kalibreringsnøyaktighet	5/7
Styrker		Svakheter	
<ul style="list-style-type: none"> - Solid sammenligning av ulike metoder - Praktisk mtp. implementering i egne prosjekter 		Geografisk irrelevans	

Forfatter, tittel, publikasjon og år	Metode (kalibreringsmetode)	Resultat og funn	Kvalitet
Building energy model calibration using a surrogate neural network Florent Herbinger, Colin Vandenhof og Michael Kummert (2023)	Surrogat Ann modell, sammenlignes mot er black box optimerer Python for ann modell TRNSYS and Energyplus, RBF OPT, PyTorch	Raskere optimering sammenlignet med tradisjonell BEM kalibrering Gode resultater i kontrollerte omgivelser, men ikke i realistiske omgivelser	5/7
Styrker		Svakheter	
- Solid sammenligning av nyere metoder med gamle		- Svake resultater når modellen ikke kjøres i kontrollerte omgivelser	
Forfatter, tittel, publikasjon og år	Metode (kalibreringsmetode)	Resultat og funn	Kvalitet
A pattern-based automated approach to building energy model calibration Kaiyu Sun, Tianzhen Hong, Sarah C. Taylor-Lange og Mary Ann Piette (2016)	Kjøre en energimodell, etablere bias patterns, velge parametere basert på bakgrunn av bias pattern, også automatisk stilling av parametere. Energyplus, openstudio, ruby, CBES toolkit.	Resultatene ga en signifikant bedring. Strømforbruk og gassforbruk ble redusert betraktelig,	6/7 – Høy kvalitet
Styrker		Svakheter	

<ul style="list-style-type: none"> - Brukervennlig. Web basert kalibreringsverktøy - Testet i virkeligheten noe som validerer kalibreringsmodellen. 		<ul style="list-style-type: none"> - Avhengig av data. Bruker månedlig strømregninger som data. Dette gjør at man ikke får tak i data som reflektere temperatur som fluktuerer timevis. - Begrenset bruk av parametere. Er modellen like robust om man øker antallet parametere. Den fokuserer også bare på en viss type bygningstype. 	
Forfatter, tittel, publikasjon og år	Metode (kalibreringsmetode)	Resultat og funn	Kvalitet
<p>A review of methods to match building energy simulation models to measured data</p> <p>Daniel Coakley , Paul Raftery og Marcus Keane (2014)</p>	<p>Sammenligning av manuell og automatisk kalibrering.</p> <p>Manuel kalibrering: karakteristiske teknikker, avansert grafisk metode, simplifiseringsteknikker</p> <p>Automatisk kalibrering: optimeringsteknikker og mer avanserte metoder.</p>	<p>Manuell kalibrering krever ekspertkunnskap og er svært tidkrevende</p> <p>Automatisk kalibrering går fortere.</p>	5/7 – Høy kvalitet
Styrker		Svakheter	
Bredt spekter av metoder		Gitt at det er så mange metoder, så går ikke artikkelen i dybden på metodene og implementering av metodene.	
Forfatter, tittel, publikasjon og år	Metode (kalibreringsmetode)	Resultat og funn	Kvalitet

Model calibration for building energy efficiency simulation Giorgio Mustafaraj, Dashamir Marini, Andrea Costa og Marcus Keane (2014)	To steg kalibrering. Første er mer overordnet og andre er mer detaljert og finjustert.	Forbedring på 20% til 27%.	5/7 – høy kvalitet
Styrker		Svakheter	
Detaljert analyse		Bare fokus på energi som er spart for varmpumpe. Nevner ikke andre poster	
Forfatter, tittel, publikasjon og år	Metode (kalibreringsmetode)	Resultat og funn	Kvalitet
A model calibration framework for simultaneous multi-level building energy simulation Zheng Yang og Burcin Becerik-Gerber (2015)	Multinivåkalibrering (byggningsnivå, sonenivå og ECM), sensitivitetsanalyse og minimering	Høykalibreringsnøyaktighet	5/7 – høy kvalitet
Styrker		Svakheter	
<ul style="list-style-type: none"> - Høy nøyaktighet på kalibrering - Validert gjennom virkelig modell 		<ul style="list-style-type: none"> - Krever veldig mye data 	
Forfatter, tittel, publikasjon og år	Metode (kalibreringsmetode)	Resultat og funn	Kvalitet
Stochastic modeling of overtime occupancy and its application in building energy simulation and calibration	Hybridkalibrering ASHRAE og kolmogrov-smirnov DeST og MATLAB	Høykalibreringsnøyaktighet	5/7 – Høy kvalitet

Kaiyu Sun, Da Yan, Tianzhen Hong og Siyue Guo (2014)			
Styrker		Svakheter	
Praktisk validering med virkelig scenario		Krever mye data	

Tabell 5: Vurdering av utvalgte artikler og metode

7.2 Presentasjon av hovedtema

Hensikten med en tematisk analyse er å få en oversikt over temaer innen et fagfelt. Disse temaene grupperes, analyseres og etter hvert blir brukt å besvare en problemstilling (Guidance on Conducting a Systematic Literature Review, 2017). Ved å identifisere disse temaene så vil også "løsningen" på problemstillingen gi et mer nyansert svar siden man har flere vinkler (temaer) å angripe problemstillingen på. Det er også verdt å nevne at alle artiklene ikke kommer til å bli nevnt når hovedtemaene blir presentert. Dette fordi mange av artiklene ikke har en bestemt kalibreringsmetode som hovedfokus, men har heller en kombinasjon av flere kalibreringsmetoder. Derfor er det mest hensiktsmessig å nevne artikler som har fokus på en kalibreringsmetode. Dette vil ikke si at artiklene som ikke er nevnt er mindre viktige. Tvert imot, de bidrar i stor grad til å gi et mer nyansert bilde av kalibreringsmetodene.

7.2.1 Automatisk kalibrering

Automatisk kalibrering går ut på å la en algoritme eller noe liknende kalibrere. Her er tanken at arbeidet skal være minimalt for brukeren som skal kalibrere.

7.2.1.1 Bayesisk kalibrering

Første tema under automatisk kalibrering er bayesisk kalibrering. Denne kalibreringsmetoden var sentral i hele 7 artikler som ble inkludert. En felles observasjon for artiklene som brukte en bayesisk tilnærming var at kalibreringen ga veldig gode resultater. Det var lite avvik på modellene når de ble validert på mot ulike standarder/reell data. En annen ting som var imponerende med denne metoden var dens evne til å forutsi verdier til parametere som ikke var kjent. For å være mer spesifikk så er den bayesiske metoden en statistisk modell som oppdaterer informasjonen den har i sanntid og med det oppdatere sannsynligheten for utfallet for en verdi på en gitt parameter.

Mange av studiene har et fokus på å finne parametere som gir størst utslag på et kalibrert resultat og hvordan data til de ulike parameterne blir hentet inn. I artikkelen til Kristensen, Hedegaard og Petersen et al. (2018) så blir en database bygd og kategorisert etter ulike arketyper. Ut ifra dette så danner man et referansepunkt for en gitt type bygning og om det er manglende data for en eller flere parametere så har man referansebygningen til å hente ut data fra (Martin Heine Kristensen, 2018).

Begrepet "informative data" blir introdusert i artikkelen til Tian, Yang, Li, Wei, Pan and Liu et al. (2016) som går ut på å finne forskjellige kombinasjoner av energidata. Disse kombinasjonene leder til nøyaktige parameter verdier. Man finner denne informative dataen ved hjelp av korrelasjonsanalyse og klyngeanalyse. Disse analysene ble gjort ved hjelp av et plugin i energyplus kalt R (Wei Tian, 2016). Artikkelen som la vekt på parametere, hadde to forskjellige tilnærminger til hvordan man skal håndtere parameterne slik at man får en økt kalibreringsnøyaktighet. Artikkelen til Chong og Menberg et al. (2018) sier at over parameterisering, altså det å kalibrere for mange parametere kan føre til en mer unøyaktig kalibrering. Dette gjelder spesielt når dataene til de gitte parameterne er begrenset (Adrian Chong, 2018).

7.2.1.2 Algoritmisk Kalibrering

Antallet artikler som har hatt en algoritmisk tilnærming til kalibrering er 5 artikler. I disse artiklene så blir flere forskjellige algoritmer brukt og validert ved hjelp av CM(RMSE) som er en formel utviklet for å validere kalibreringsmodeller. I artikkelen til Martinez, Eguia, Granada, Mozami og Hamdi et al. (2020) så blir CV(RMSE) referert som en robust metode til å validere kalibreringsbygg. Et annet fellestrekk ved framgangsmåten til disse artiklene er deres hyppige bruk av følsomhetsanalyse til å finne parametere som har størst innflytelse på energiforbruket i et bygg. På denne måten så kan man forenkle modellen og gjøre hele kalibreringsprosessen effektiv.

Det er 2 artikler som har et spesielt fokus på NSGA-II og 2 artikler som bruker evolusjonære algoritmer (CMA-ES og HDE). NSGA-II algoritmene ble begge programmert i genopt. Begge modellene brukte Energyplus til å modellere også. I artikkelen til Ruiz, Bandera, Temes og Gutierrez et al. (2016) så er et av de store hovedfunnene at antall simuleringer blir mindre siden antallet parametere blir redusert som dermed gjør at simuleringene blir mindre (Germán Ramos Ruiz, 2016). I artikkelen til Martinez, Eguia, Granada, Mozami og Hamdi et al. (2020) så sammenligner de hele 60 algoritmer hvor NSGA-II er en av dem. Og her så trumfer NSGA algoritmen over alle disse metodene og det blir konkludert i artikkelen at dette er den mest nøyaktige kalibreringsalgoritmen.

Artiklene som omhandlet CMA-ES og HDE brukte evolusjonære algoritmer til å programmere CMA-ES og HDE. Dette kan blir programmert i programmer som Matlab eller liknende. Resultatene i begge artiklene hadde svært høy nøyaktighet.

7.2.1.3 ANN (Artificial Neural Network)

Det er 2 artikler som har hatt "neural network" som en sentral kalibreringsmetode. Et nevralt nettverk går ut på å programmere, trene, validere og teste det nevralt nettverket parallelt med et datamodelleringsprogram (Florent Herbinger, 2023).

I artikkelen til Østergård, Jensen og Maagaard et al. (2018) så sammenlignes 6 ulike kalibreringsmetoder hvor en av metodene er nevralt nettverk. Det er bare den lineære regresjonen som nesten var på nivå med det nevralt nettverket. Den var raskere til å kalibrere, men det nevralt

nettverket var den mest effektive metoden. I artikkelen til Herbinger, Vandenhof og Kummert så blir det programmert en surrogatmodell av bygget. Her så sammenlignes kalibreringsmåten med en blackbox modell og her kom det frem at den nevrale modellen var raskere og mer effektiv.

7.2.2 Manuell kalibrering

Manuell kalibrering er uten tvil den mest tidkrevende da mange av parameterne blir lagt inn manuelt. Dette er langt mer arbeid som kreves sammenlignet med automatisert kalibrering (Daniel Coakley, 2014). Til gjengjeld så kan man være mer sikker på kalibreringsresultatet da dataen som er innhentet er hentet inn gjennom, målte verdier, standarder, intervjuer og spørreundersøkelser. I manuell kalibrering så er behovene til brukerne tatt mer hensyn til siden det er en direkte kommunikasjonskanal mellom brukerne og den som kalibrere (Giorgio Mustafaraj, 2014).

7.2.2.1 Parameterjustering

Det er 3 artikler som har stort fokus på manuell kalibrering. Det er flere felles faktorer i metodene disse artiklene bruker. Innsamling av data, estimering av parametere som er ukjente, iterativ justering og bruk av ASHRAE 14 veiledningen er felles faktorene i alle artiklene. Det er også verdt å nevne at kalibreringene ble gjort på flere nivåer (byggningsnivå, romnivå og sonenivå). Med dette så fikk man "mer" data å jobbe og modellene ble mer stabile.

I artikkelen til Yang og Becerik et al. (2015) så gir kalibreringen en økt nøyaktighet Her så samles all type data som er tilgjengelig for det aktuelle bygge samt bruke værdata fra området bygget er lokalisert i. Videre så blir det gjort målinger for å samle inn data for parametere det mangler data for. Om det fortsatt er behov for data for parametere så blir det gjort en parameter estimering ved av en statistisk formel. Til slutt blir resultatet validert opp mot ASHRAE 14 veiledningen og resultatet av den kalibrerte modellen ga veldig lite avvik.

I artikkelen til Royapoor og Roskilly et al. (2015) ble det plassert en værstasjon på bygget. Ved hjelp av denne værstasjonen ble det hentet inn svært nyttig værdata. Videre så ble det gjort en parameter estimering på samme måte som i artikkelen til Yang og Becerik et al. (2015). Videre så ble det gjort en iterativ justering av parameterne slik at modellen ble mer nøyaktig. Også her ble ASHRAE 14 veiledningen brukt for å validere den kalibrerte modellen.

Artikkelen til Musatafaraj, Marini, Costa og Keane så var det en to steg kalibreringsprosess. I første steg så ble det bygge opp modellen etter tilgjengelig data informasjon. Her ble også brukerdataba tatt

inn. Etter dette så ble det gjort en sensitivitetsanalyse. Etter å ha kjørt simuleringer etter første steg så fant man ut at nøyaktighetene var begrenset. I andre steg så ble det lagt inn mer data ved hjelp av å hente inn dataen gjennom intervjuer og spørreundersøkelser gjort av brukerne. Etter dette så ble det gjort en iterativ justering på parameterne og etter steg nummer 2 så fikk man et godt kalibrert resultat som hadde lite avvik fra den virkelige modellen.

8 Drøfting

I dette kapittelet skal resultatene diskuteres med tanke på studiens funn i de utvalgte artiklene. Kapittelet er todelt, hvor resultatene diskuteres i første del og i andre del skal metodene bli diskutert. Resultatdiskusjonen vil ta for seg funnene gjort i dette studiet og trekke tråder mellom funnene og problemstillingen til oppgaven. Videre vil metodedelen i studiet drøftet. Her vil studiens styrker, svakheter og validitet diskutert.

8.1 Drøfting av resultater

Resultatene i dette studiet viser til at automatisk kalibrering er langt mer effektivt enn manuell kalibrering (Daniel Coakley, 2014). Selv om manuell kalibrering åpenbart er en svak metode i forhold til automatiserte metoder, så er det viktig å inkludere de manuelle kalibreringsmetodene siden det er med på å danne et helhetlig bilde av kalibreringslandskapet. Ved å aktivt fjerne metoder så bidrar det til en mindre objektiv studie (Guidance on Conducting a Systematic Litterature Review, 2017). Det er ikke mange studier som har gjort studiene sine i klimaer som ligner på klimaet til Norge. Av de 20 artiklene som ble valgt så ble det funnet en artikkel som brukte maskinlæringsalgoritme til å kalibrere i Norge (Haidar Hosamo Hosamo, 2022). Til gjengjeld så var denne artikkelen veldig god og scoret veldig høyt på CASP vurderingen. Alle studiene var ikke casestudier, mange av studiene ble forsket på teoretisk og testet i kontrollerte forhold. Så man kan bruke metodene i Norske forhold, men kan ikke garantere at resultatet blir det samme siden studiene er bare gjort i kontrollerte forhold.

ASHRAE 14 ble brukt i mange av artiklene til å validere de kalibrerte datamodellene, spesielt i artiklene om manuell kalibrering. Dette er en amerikansk veiledningsmanual som er utviklet for å kalkulere energisparing knyttet til bygg (West, 2023). Denne metoden ble først publisert i 2002 og siden blitt brukt hyppig i USA. I veiledningen så blir det foreslått at man bruker CVRMSE (Coefficient of the Variation of the Mean Square Error) og MBE (Mean Bias Error). Dette er metoder som bidrar til å evaluere nøyaktigheten av en modell (Turkish State Meterological Service, 2024). Det har blitt gjort søk i norske standarder og Byggforskserien uten funn av noe liknende veiledninger. Gitt at denne metoden er godt brukt i USA og har gitt gode kalibreringsresultater så ville en norsk veiledning.

Algoritmisk, bayesiansk, og ANN er alle solide og effektive metoder ut ifra studiet som er gjort. Automatiske metoder er også veldig gode til å behandle store mengder data og gi et veldig presist resultat. I artikkelen til Yoon og Yu blir den bayanske kalibreringsmetoden brukt med sensorer. Her kom det frem at denne kalibreringsmetoden ga høy nøyaktighet og det uten å fysisk manipulere sensorene. All type justering ble gjort gjennom matlab kodene. ANN metodene ga også veldig gode resultater, men det hendte noen ganger at resultatene var mindre nøyaktige grunnet lite informasjon og ikke kontrollerte omgivelser.

Men studiene som ga en de aller beste resultatene var studier som kombinerte flere metoder for å kalibrere. Artikkelen til Hosamo, Nielsen, Kraniotis og Svennevig et al. (2023) er et veldig godt eksempel på dette. Her brukes en BIM modell som stilles inn etter sanntid data, også hentes det mer data gjennom spørreundersøkelser og intervjuer med brukere og så bli modellen kalibrert ved bruk av en kodet bayesisk modell. Dette studiet bruker også maskinlæring for å full automatisere prosessen, men i startfasen så er det en kombinasjon av manuell og automatisk kalibrering. Denne framgangsmåten er god da det gir deg fordelene av det manuelle og det automatiserte.

8.2 Drøfting av metoder

Validiteten til denne studien gjennom en svært omfattende og tidskrevende søkeprosess og bruk av en revidert CASP-sjekkliste som vurderte de inkluderte artiklene. Dette gjorde at bare relevante artikler er inkludert. Det var totalt 3 databaser som ble brukt og dette dekket et bredt spekter. Litteratursøket kunne i midlertidig blitt bedre ved ha enda en part til som utførte litteratursøket. Dette ville sørget for å gjøre søket mer objektivt.

I dette studiet så har det blitt forsøkt å gjøre hele litteratursøket så åpent som mulig. Altså vise alle stegene som er gjort og alle valgene som er gjort. Det har blitt gjort grundige søk, men det alene. Artiklene har heller ikke blitt diskutert i dybden da veileder ikke hadde så mye kunnskap om problemstillingen, noe som ikke er gunstig da artikkelen "Guidance on Conducting a Systematic Literature Review" anbefaler å gjøre litteratursøket på med en annen part. Dersom dette studiet skulle bli gjort igjen med to personer framfor en, så kunne resultatet kanskje sett litt mer annerledes ut. Det kunne hendt at man hadde inkluderte flere/mindre artikler, men siden det er det samme studiet som er utført så ville ikke resultatene så mye mer annerledes enn om det skulle vært gjort med to personer.

Inklusjons- og eksklusjonskriteriene ble valgt på bakgrunn av forkunnskapen jeg har innenfor kalibreringsfeltet. Disse kriteriene ble gjort om flere ganger da jeg tilegnet meg mer og mer kunnskap gjennom å lese de ulike artiklene. Ved hjelp av disse kriteriene så ble utvalget av artiklene mer rettet mot den valgte problemstillingen, og jeg er sikker på at utvelgelsen av artiklene er gode og nyanserte.

Det er viktig å være bevisst på styrkene og svakhetene på artiklene jeg samlet inn samt studiet i seg selv. Viktigheten med å ikke bare inkludere artikler av høy kvalitet kan ikke bli understreket nok. Det er viktig å ta med artikler som ikke har den høyeste kvaliteten, og også viktig å kommentere begrensingene på artiklene av middels kvalitet. Artikkelen "*Net zero-energy buildings in Germany: Design, model calibration and lessons learned from a case-study in Berlin*" fikk den laveste vurderingen av artiklene jeg hadde samlet inn, men den hadde fortsatt et interessant funn. Dette funnet var at det

ikke bare holdt å kalibrere ved bare MBE. Det var tilfellet i denne artikkelen da MBE ga gode resultater i på noen resultater og veldig dårlige resultater på andre parametere.

9 Konklusjon

I dette studiet så har litteraturstudiet gitt en oversikt over de mest effektive kalibreringsmetodene av energisimuleringsmodeller av bygg med tanke på klimaet i Norge. Her har det kommet fram til at automatiserte metoder er langt mer effektive enn manuelle metoder, dette pga. de automatiserte metodenes evne til å behandle store mengder data raskt og effektivt.

Bayesisk viste seg å være den mest effektive og brukte metoden når det kom til automatisk kalibrering. Algoritmisk kalibrering og da spesielt NSGA-II algoritme ga veldig gode resultater også. Det samme gjelder hybrid kalibreringen da CMA-ES og HDE ble brukt. Nevrale nettverk (ANN) ga gode resultater, men resultatene kunne få store avvik når metodene ble brukt i ukontrollerte omgivelser.

De mest effektive og presise resultatene ble til når man kombinerte automatisk kalibrering med manuell kalibrering. Denne kombinasjonen utnytter fordelene av både manuell og automatisk kalibrering. Et godt eksempel på dette er artikkelen til Hosamo, Nielsen, Kraniotis og Svennevig et al. (2023) som kombinerer innhenting av sanntid data, spørreundersøkelser, en bayesisk modell samt maskinlæring for en fullautomatisert modell. Selv om dette er den mest effektive og presise kalibreringsmetoden så er det en veldig krevende metode og det krever veldig høy kompetanse å kunne gjennomføre det.

Det konkluderes med at en kombinasjon av manuell og automatisk kalibrering er veien å gå når det gjelder kalibrering i Norge. Dette er en metode som krever veldig mye forkunnskaper og er ikke særlig brukervennlig. Kalibrering er generelt veldig tungvint, og det finnes ikke noe lett metode å utføre dette på. Men med maskinlæring så kan denne prosessen bli lettere og mer brukervennlig da kunstig intelligens blir mer og mer brukt i ulike felt og byggsektoren er ingen unntak for dette. Vi har sett det i artikler som bruker nevralt nettverk som fortsatt er litt ustabil når det kommer til resultater, men dette er bare startfasen når det kommer til kunstig intelligens og det vil sikkert bli tatt store skritt de kommende årene når det kommer til kunstig intelligens og kalibrering. I tillegg til dette så er det også rådet til å forme en veiledning som ASHRAE 14 som man har i USA, da dette har vist seg fungere veldig godt i USA.

10 Referanser

- (2017, Juni 1). Hentet fra Guidance on Conducting a Systematic Literature Review:
<https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0739456X17723971>
- Adrian Chong, K. M. (2018, Juni 16). *Sciencedirect*. Hentet fra Sciencedirect:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778818307539>
- ASHRAE. (2018, September 28). *ASHRAE*. Hentet fra ASHRAE:
<https://www.ashrae.org/File%20Library/Conferences/Specialty%20Conferences/2018%20Building%20Performance%20Analysis%20Conference%20and%20SimBuild/Papers/C025.pdf>
- Bigladder Software. (2015, Januar 1). *Bigladder Software*. Hentet fra Bigladder Software:
<https://bigladdersoftware.com/epx/docs/8-4/getting-started/what-is-energyplus.html>
- Brookes Universities. (2024, Mai 13). <https://www.brookes.ac.uk>. Hentet fra <https://www.brookes.ac.uk>:
[https://www.brookes.ac.uk/students/academic-development/online-resources/casp-checklists#:~:text=CASP%20\(Critical%20Appraisal%20Skills%20Programme,help%20you%20evaluate%20research%20studies.](https://www.brookes.ac.uk/students/academic-development/online-resources/casp-checklists#:~:text=CASP%20(Critical%20Appraisal%20Skills%20Programme,help%20you%20evaluate%20research%20studies.)
- BuildingSmart. (2013, November 10). *BuldngSmart*. Hentet fra arkiv.buidlingsmart.no:
<https://arkiv.buildingsmart.no/nyhetsbrev/2013-10/er-ns-3031-for-simplifisert-til-a-brukes-i-energisimulering>
- Clarke, J. (2001). Energy Simulation In Building Design. I J. Clarke, *Energy Simulation In Building Design* (ss. 3-5). Glasgow: Butterworth Heinemann.
- Daniel Coakley, P. R. (2014, Mai 27). *Sciencedirect*. Hentet fra Sciencedirect:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114003232>
- Florent Herbinger, C. V. (2023, April 11). *Sciencedirect*. Hentet fra Sciencedirect:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778823002876>
- Germán Ramos Ruiz, C. F.-A. (2016, Februar 16). *Sciencedirect*. Hentet fra Sciencedirect:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261916300629>
- Giorgio Mustafaraj, D. M. (2014, Juni 5). *Sciencedirect*. Hentet fra Sciencedirect:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261914005145>
- Haidar Hosamo Hosamo, H. K. (2022, Desember 17). *Sciencedirect*. Hentet fra Science Direct :
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778822009033>
- Helsebiblioteket. (2021, Oktober 17). *Helsebiblioteket.no*. Hentet fra Helsebiblioteket.no:
<https://www.helsebiblioteket.no/innhold/artikler/kunnskapsbasert-praksis/kunnskapsbasertpraksis.no>
- Martin Heine Kristensen, M. E. (2018, Juli 17). *Sciencedirect*. Hentet fra Sciencedirect:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778818312532>
- NTNU. (2012, Januar 1). *i.NTNU.no*. Hentet fra i.NTNU.no: <https://i.ntnu.no/oppgaveskriving/avansert-litteratursok>
- Ofelia Vera-Piazzini, M. S. (2024, Juni 1). *Sciencedirect*. Hentet fra Sciencedirect.com:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352710223024701>

- Sungmin Yoon, Y. Y. (2018, Januar 5). *Scienedirect*. Hentet fra Sciencedirect: Hidden factors and handling strategies on virtual in-situ sensor calibration
- SurveyMonkey. (2024, Januar 1). *surveymonkey*. Hentet fra surveymonkey: <https://no.surveymonkey.com/mp/quantitative-vs-qualitative-research/>
- Systematisk litteratursøk. (2024, Januar 1). *Systematisk Litteratursøk*. Hentet fra Systematisk Litteratursøk: <https://systemlit.wordpress.com/konseptkart-og-pico-spider/>
- Turkish State Meteorological Service. (2024, Januar 1). *Ministry of enviroment*. Hentet fra Ministry of enviroment: <https://www.mgm.gov.tr/FTPDATA/arastirma/toz/sdswa/DescriptiveInformation.pdf>
- U.S. Army Corps of Engineers Digital Library. (1977, Januar 1). <https://usace.contentdm.oclc.org/>. Hentet fra <https://usace.contentdm.oclc.org/>: <https://usace.contentdm.oclc.org/digital/collection/p266001coll1/id/9895/>
- Wei Tian, S. Y. (2016, Mars 17). *Scienedirect*. Hentet fra Sciencedirect: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778816301967>
- West, S. (2023, Mars 7). *HFA*. Hentet fra HFA: <https://www.hfa-ae.com/blog/ashrae#:~:text=ASHRAE%20Guideline%2014%3A%20Measurement%20of,and%20power%20savings%20in%20buildings.>
- wikipedia. (2024, Mai 3). *wikipedia*. Hentet fra wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Root_mean_square_deviation
- Zaptest. (2024, April 8). *Zaptest*. Hentet fra Zaptest: <https://www.zaptest.com/no/videos/white-box-vs-black-box-vs-grey-box-testing>

Vedlegg

Se ZIP mappe