

Evaluering, verifisering og energioppfølging av energieffektiviseringstiltak i bygninger

Stine Fjærli Sjøthun

Master i energi og miljø

Innlevert: Desember 2012

Hovedveileder: Natasa Djuric, EPT

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for energi- og prosessteknikk

EPT-M-2012-137

MASTEROPPGAVE

for

Stine Fjærli Sjøthun

Høst 2012

Evaluering, verifisering og energioppfølging av energieffektiviseringstiltak i bygninger

Assessment, verification, and energy monitoring of energy-efficiency measures in buildings

Bakgrunn og målsetting

Energieffektivisering i bygninger har vært et aktuelt tema i lang tid. Det er mange ulike energieffektiviseringstiltak som anvendes i bygninger i dag. Det finnes energieffektiviseringstiltak som krever høy investering, mens det finnes andre tiltak som kan forklare som optimalisering i drift. Energieffektivisering i bygninger er et viktig tema, og det har derfor blitt etablert forretning for energieffektivisering. Det finnes ulike energitjeneste-, konsulent- og entreprenørbedrifter som jobber med energieffektivisering. I dag har noen av dem begynt å jobbe etter *energikontrakt*, hvor de gir en garanti for energibesparelse. Likevel blir ikke planlagt energibesparelse alltid oppnådd i prosjekter. Dette kan skyldes flere ting, blant annet at alle foreslåtte tiltak ikke blir gjennomført helhetlig, manglende energioppfølging, feil i antakelser ved foreslåtte tiltak, osv. Gjennom energioppfølgingssystem kan man se om en den helhetlige energibesparelsen er oppnådd. Det viktig å etablere en metodikk som kan brukes som hjelp for å finne ut hvilke energieffektiviserings tiltak som gir gode resultater.

Målet med oppgaven er å etablere forhold mellom foreslåtte tiltak eller tiltakspakke og oppnådde resultater. I tillegg er det et mål å definere ett rammeverk for data som skal brukes for verifisering av oppnådde resultater. For å etablere forhold mellom foreslåtte tiltak og oppnådde resultater er det nødvendig å samle ulik informasjon. Resultater skal være nyttige for beslutningstakere, konsulenter og myndigheten.

Oppgaven bearbeides ut fra følgende punkter

1. Litteraturstudium av vitenskapelige artikler og metodikk som skal brukes for dataanalyse.
2. Kartlegge energieffektiviseringsprosjekter og ta ut viktig informasjon. Samlet informasjon fra nasjonale og internasjonale rapporter skal organiseres i en mindre database. Alle utfordringene med data innsamling og organisering skal forklare. Data innsamling og organisering skal gjøres basert på en bestemt metodikk.
3. Samlet data om energieffektivisering skal analyseres ved bruk av en statistisk metodikk (for eksempel regresjonsanalyse), slik at det kan være mulig å identifisere hva som påvirker at foreslåtte tiltak ikke blir oppnådd.

4. Forhold mellom foreslåtte tiltak og oppnådde resultater skal etableres på en transparent måte. Tilgjengelig informasjon og energidata for en god dokumentering av tiltakene skal defineres. Utkast til en vitenskapelig- eller konferanseartikkel skal leveres.

” - ”

Senest 14 dager etter utlevering av oppgaven skal kandidaten levere/sende instituttet en detaljert fremdrift- og eventuelt forsøksplan for oppgaven til evaluering og eventuelt diskusjon med faglig ansvarlig/veiledere. Detaljer ved eventuell utførelse av dataprogrammer skal avtales nærmere i samråd med faglig ansvarlig.

Besvarelsen redigeres mest mulig som en forskningsrapport med et sammendrag både på norsk og engelsk, konklusjon, litteraturliste, innholdsfortegnelse etc. Ved utarbeidelsen av teksten skal kandidaten legge vekt på å gjøre teksten oversiktlig og velskrevet. Med henblikk på lesning av besvarelsen er det viktig at de nødvendige henvisninger for korresponderende steder i tekst, tabeller og figurer anføres på begge steder. Ved bedømmelsen legges det stor vekt på at resultatene er grundig bearbeidet, at de oppstilles tabellarisk og/eller grafisk på en oversiktlig måte, og at de er diskutert utførlig.

Alle benyttede kilder, også muntlige opplysninger, skal oppgis på fullstendig måte. For tidsskrifter og bøker oppgis forfatter, tittel, årgang, sidetall og eventuelt figurnummer.

Det forutsettes at kandidaten tar initiativ til og holder nødvendig kontakt med faglærer og veileder(e). Kandidaten skal rette seg etter de reglementer og retningslinjer som gjelder ved alle (andre) fagmiljøer som kandidaten har kontakt med gjennom sin utførelse av oppgaven, samt etter eventuelle pålegg fra Institutt for energi- og prosesssteknikk.

Risikovurdering av kandidatens arbeid skal gjennomføres i henhold til instituttets prosedyrer. Risikovurderingen skal dokumenteres og inngå som del av besvarelsen. Hendelser relatert til kandidatens arbeid med uheldig innvirkning på helse, miljø eller sikkerhet, skal dokumenteres og inngå som en del av besvarelsen.

I henhold til ”Utfyllende regler til studieforskriften for teknologistudiet/sivilingeniørstudiet” ved NTNU § 20, forbeholder instituttet seg retten til å benytte alle resultater og data til undervisnings- og forskningsformål, samt til fremtidige publikasjoner.

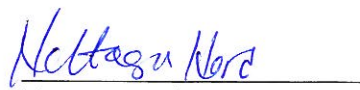
Besvarelsen leveres digitalt i DAIM. Et faglig sammendrag med oppgavens tittel, kandidatens navn, veileders navn, årstall, instituttnavn, og NTNUs logo og navn, leveres til instituttet som en separat pdf-fil. Etter avtale leveres besvarelse og evt. annet materiale til veileder i digitalt format.

- Arbeid i laboratorium (vannkraftlaboratoriet, strømningsteknisk, varmeteknisk)
- Feltarbeid

NTNU, Institutt for energi- og prosesssteknikk, 30. august 2012



Olav Bolland
Instituttleder



Natasa Nord
Faglig ansvarlig/veileder

Forord

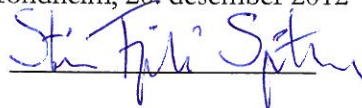
Denne masteroppgaven er utarbeidet som en del av studieprogrammet Energi og Miljø ved Institutt for Energi- og Prosessteknikk ved Norges teknisk- og naturvitenskaplige universitet, NTNU, høsten 2012.

Jeg vil gjerne rette en stor takk til min veileder, Natasa Nord, for god hjelp, nyttige innspill, og bidrag med litteratur.

Oppgaven er delvis utført på samarbeidsbedriftens kontor, og i den anledning ønsker jeg å rette en stor takk til alle ansatte der for tilgang til data, opplæring i systemene, interessante innspill og synspunkter.

Til slutt ønsker jeg å takke familien min som har støttet og oppmuntret meg gjennom hele denne arbeidsprosessen.

Trondheim, 20. desember 2012



Stine Fjærli Sjøthun

Sammendrag

Forskning viser at oppnådde besparelser som følge av gjennomførte ENØK-tiltak i bygg ikke alltid blir som forventet. For å realisere forventet energibesparelser peker den siste rapporten til International Energy Agency (IEA) [1] på nødvendigheten i å styrke stegene for måling og verifikasjon. Med utgangspunkt i dette har målet med denne oppgaven vært å evaluere og verifisere besparelser som følge av gjennomførte ENØK-tiltak i bygg, og derav se på hva som er årsaken til at besparelser ikke blir som antatt.

For å skaffe data for bygg som har gjennomført ENØK-tiltak ble det i denne oppgaven samarbeidet med en energirådgiving- og entreprenørbedrift. 41 bygninger ble studert, derav 18 hotell, 10 skoler, fem kontorer, to kjøpesentre, fire helsebygg og to idrettsbygg.

For verifisering av energibesparelsene ble «International Performance Measurement and Verification Protocol» benyttet, som gir en generell fremgangsmåte for å sammenligne målt energibruk eller etterspørsel før og etter gjennomføring av energisparetiltak. Forbruk før og etter gjennomføring ble hentet fra energioppfølgingssystemet (EOS) som alle byggene er knyttet til, og beskrivelser av tiltak og øvrig informasjon om byggene ble hentet fra ENØK-analyser som lages for hvert av byggene før gjennomføring, samt gjennom samtaler med energirådgiverne i samarbeidsbedriften. Besparelsene ble i denne oppgaven beregnet ut fra *totale* forbruk før og etter gjennomføring, da det for flere av byggene ikke var mulig å måle forbruket fordelt på type energibærere. I tillegg var antatte besparelser per tiltak kun oppgitt til å være av totalt forbruk.

Det viser seg at det er stor variasjon i hvorvidt besparelsene ble som antatt, der 18 av de 41 byggene første år etter gjennomføring oppnådde lavere besparelser enn antatt. Avvik fra antatt total energiforbruk første år for de ulike byggene varierer mellom 29,0 % og -20,5 %, der positivt avvik betyr at det ble oppnådd en større besparelse enn antatt og negativt avvik betyr at det ble oppnådd en mindre besparelse enn antatt. Av de 41 byggene har 14 av dem oppnådd mer enn 5 % lavere forbruk enn antatt og fem av dem har oppnådd mer enn 5 % høyere forbruk enn antatt.

For å finne årsaker til avvikene fra antatt resultat, ble det sett på følgende påvirkende faktorer; *bygningstype, byggeår, før-forbruk, ressursbruk, oppvarmet areal, antatt besparelse, energirådgiver* og *type tiltak*. Av de analyserte parameterne ble det funnet at *før-forbruk, ressursbruk* og hvilke *type tiltak* som gjennomføres er de mest bestemmende. Dette henger i stor grad sammen med hvordan tiltakene planlegges, gjennomføres og driftes.

Resultatene viser at bygg med høyt førforbruk ofte oppnår større besparelser i forhold til antatt enn bygg med lavt førforbruk. Dette kan ses i sammenheng med antatte besparelser, der energirådgiverne ofte underestimerer besparelsene for bygg med høyt forbruk, og overestimerer besparelsene i bygg med lavt forbruk. Når det gjelder ressursbruk blir ofte prosjektene for store bygg med store investeringer gjennomført av de dyktigste og mest erfarne rådgiverne, samt at det brukes mye mer tid og interne ressurser på slike prosjekter. Resultatene viser at disse byggene ofte oppnår betydelig større besparelser enn antatt, i motsetning til bygg med lave investeringskostnader, som oftere oppnår lavere besparelser enn antatt. I tillegg viser resultatene at av de byggene som har oppnådd lavere besparelser i forhold til antatt, har de fleste gjennomført tiltak der besparelsene i stor grad er avhengig av riktig oppfølging og drift. Motsatt viser resultatene at byggene som har oppnådd høyere besparelser i forhold til antatt, har i større

grad gjennomført tiltak som går på utskifting eller forbedring av utstyr og isolering av komponenter, der besparelsene ikke er like avhengig av god drift.

Generelt viser resultatene viktigheten ved oppfølging, riktig drift og motivasjon hos driftsansvarlig har på oppnåelsen av besparelsene. For at tiltak som i stor grad er avhengig av drift skal bli vellykket, er en avhengig av godt motiverte driftsansvarlige og god opplæring fra energirådgiver.

I tillegg viser det seg at besparelsene varierer med årene etter gjennomføring, og det tyder på at hvordan byggene driftes og styres også er årsaken til dette. Hvordan driften har fungert i etterkant av gjennomføringene har for noen bygg vært årsak til gode og forbedrede besparelser, men i de fleste tilfellene har driften vært årsak til lave og synkende besparelser. Av resultatene for årene etter gjennomføring er det også sett virkningen av garantien til besparelsene. Garantien innebærer at hvis besparelsen er lavere enn antatt, skal samarbeidsbedriften, som har planlagt og gjennomført tiltakene, finne årsaken til det dårlige resultatet og gjøre forbedringer for å få forbruket ned til planlagt nivå. Virkningen av garantiens lengde vises også av resultatene, der besparelsen etter garantiens slutt, som var etter ett år, går ned.

Resultatene viser at endringer i areal og bruksmønster som det ikke korrigeres for, også har en stor betydning for at besparelsene ikke blir som antatt. Dette ble også bekreftet av samarbeidsbedrift, som hevder at bygg nesten uten unntak avviker fra definert basisår med årene etter gjennomføring. I tillegg er det ikke alltid tiltakene blir gjennomført som først planlagt. I denne oppgaven ble før-forbruket korrigert for slike endringer, men denne typen informasjon var for flere bygg vanskelig å avdekke da den ikke er dokumentert og lagt tilgjengelig for analyser i senere tid. I tillegg er det ikke alltid driftsansvarlig eller byggeier informerer om endringer som gjøres i byggene. Med bakgrunn i dette ble det gjennomgått en usikkerhetsanalyse, og det ble gjennom denne avdekket at endringene har en stor betydning på de verifiserte resultatene. I tillegg ble det sett på følgene av at informasjon om endringer i gjennomføring av tiltak ikke blir dokumentert. For ett av byggene ble det avdekket at ett av tiltakene ikke for ble gjennomført som planlagt. Usikkerhetsanalysen viste at uten denne informasjonen ville resultatet ha vist et avvik fra antatt forbruk på 1,5 %, istedenfor 8,5 % ved korrigerings.

Det har i denne oppgaven vært krevende å verifisere besparelsene i henhold til IPMVP. Årsaken til dette har først og fremst vært mangel på nødvendig data. Måling og verifisering av besparelser er nødvendig for å realisere forventet energibesparelser. For å kunne verifisere i henhold til IPMVP er det nødvendig at prosjekteringsteamet tidlig i planleggingsfasen avklarer om måling og verifikasjon skal være en del av prosjektet. Hvis besparelsene skal verifiseres, er det nødvendig med en spesiell planlegging som kan innebære overvåking- og målingsaktiviteter for å etablere en basistilstand før en implementerer noen endringer i bygget. Gjennom hele prosessen er det nødvendig at all informasjon dokumenteres og lagres, det vil si alt som planlegges og endringer som gjøres underveis. Denne dokumentasjonen er verdifull for verifisering i senere tid.

Et annet problem i forhold til verifisering av besparelser i henhold til IPMVP har vært verifisering av besparelser på tiltaksnivå. For dette kreves det mer detaljert datalogging. I denne oppgaven var det kun mulig å verifisere besparelsen for hele pakker med tiltak, og besparelsene per tiltak var kun oppgitt å være av totalt forbruk. Dette gjorde det krevende å avdekke hvilke tiltak som var avgjørende i de tilfellene hvor oppnådde resultat ikke ble som antatt.

Abstract

Previous research have concluded in several studies that the savings achieved as a result of implemented energy efficiency measures in buildings are not always as expected. The latest report from the International Energy Agency (IEA) [1] emphasizes the necessity of strengthening the steps of measurement and verification in order to realize the expected energy savings. With this in mind, the objective of this study is to evaluate and verify the savings as a result of implemented energy efficiency measures in buildings, and look at different reasons for when savings are not as expected.

To obtain data on buildings that have implemented energy efficiency measures, cooperation with an energy consulting and contracting business were undertaken. 41 buildings were studied, of which 18 hotels, 10 schools, five offices, two malls, four healthcare centers and two sports hall.

For verification of energy savings, the "International Performance Measurement and Verification Protocol" was used, which provides a general method for comparing the measured energy use or demand before and after the implementation of energy efficiency measures. Consumption before and after implementation was derived from the energy monitoring system (EMS) that all the buildings are connected to, and descriptions of measures and other information about the buildings are from the analysis that is made for each of the buildings prior to implementation, and through conversations with energy consultants in the collaborating company. The savings were in this paper calculated from the total consumption before and after implementation, owing to the fact that it was not possible to measure the energy consumption by type of energy carrier for all of the buildings. Additionally, the estimated savings for each of the different energy saving measures was only stated to be of total consumption.

It turns out that there is considerable variation in the extent to which savings are as estimated, where 18 of the 41 buildings experienced lower savings the first year after implementation than estimated. Deviations from the expected total energy consumption first year of the different buildings varies between 29.0% and -20.5%, with positive deviation meaning there is obtained greater savings than expected (and the negative difference means that there is obtained a less savings than expected). Of the 41 buildings, 14 have achieved more than 5% more consumption than anticipated, and five of them have gained more than 5% lower consumption than expected.

To find the reasons for the deviations from the expected savings, several influencing factors may be relevant; *building category, year of construction, prior consumption, resource use, heated area, anticipated savings, energy consultant* and *type of measure*. Of the analyzed parameters it was found that *prior consumption, resource use* and *the type of measures taken* is the most decisive. This is largely related to how measures are planned, implemented and managed.

The results show that buildings with high consumption prior to implementation of measurements often achieve greater savings compared to estimated energy consumption, than buildings with low consumption prior to implementation. This can be seen in the context of anticipated savings, energy advisors often underestimates savings for buildings with high consumption and overestimates the savings in buildings with low consumption. When it comes to resource use are often projects concerning large buildings with large investments made by the most experienced advisors, and the use of time and internal resources is higher for these projects. The results show

that these buildings often achieve significantly greater savings than anticipated, as opposed to buildings with low investment costs, which often achieves lower savings than anticipated. In addition, the results show that most of the buildings that had achieved lower savings than estimated were largely dependent on proper follow-up and operation. Conversely, the results show that buildings that have achieved higher savings have increasingly taken measures regarding replacement or improvement of equipment and isolation of components, where the savings are not as dependent on efficient operations.

Overall, the results show the importance of follow-up, proper operation and the operator's motivation for achieving high savings. For measures that are largely dependent on operations are consequently dependent on well-motivated and proper trained operators.

In addition, it appears that the savings vary with the years after implementation, which suggests that the reason may be the way buildings are operated and controlled. How the operation has worked in the aftermath of the implementation has in some cases improved savings, while in most cases the operation was the cause of low and declining savings. The results over the years after implementation also shows the impact of the savings guarantee. The guarantee means that if savings are lower than expected, the responsible company, which has planned and implemented measures, has to make up for poor performance and make improvements to reduce consumption. The effect of the duration of the guarantee is also shown by the results, where savings by end of warranty, which is for one year, decreases.

The results show that changes in area use and usage patterns that are not considered, or corrected, also has a major impact when savings are not as expected. This was also confirmed by the collaborating company, claiming that the building almost invariably deviate from the defined base year by the years after implementation. Additionally, the measures are not always implemented as originally planned. In this study, the pre-consumption is adjusted for such changes, but this information was in several cases difficult to detect as it is not documented and available for analysis in recent years. In addition, the operator or building owner does not always inform about changes in buildings. In light of this, the study presents a risk analysis, revealing that the changes have a major impact on the verified results. In addition, the implications of missing information regarding changes in the implementation of measures were considered. It was revealed for one of the buildings that one of the measures was not implemented as planned. Without the analysis of uncertainty regarding this situation, a deviation from the estimated consumption would have been 1.5% rather than 8.5% after correction.

It has in this study been difficult to verify the savings according to IPMVP. The reason for this has primarily been the lack of necessary data. In order to verify according to IPMVP it is necessary that the design team early in the planning stage determines if measurement and verification must be part of the project. Measurement and verification of savings is needed to realize the expected energy savings. If the savings should be verified, special planning may necessary involving monitoring and measurement tasks in order to establish a baseline condition before implementing any changes in the building. Throughout this process, it is necessary that all the information gets documented and stored, i.e. all schedules and changes made along the way. This information is valuable for verification later in the buildings life cycle.

Another problem relating to the verification of the savings in accordance with IPMVP has been verification of savings measures level. For this requires more detailed data logging. In this study it was only possible to verify savings for all packages of measures, and the savings per measure was only stated to be of total consumption. This made it difficult to identify which measures were crucial in cases where the results obtained were not as expected.

Innhold

Forord	I
Sammendrag.....	III
Abstract.....	V
Figurliste	iv
Tabelliste.....	vi
Forkortelser og begrepsforklaringer	vii
1. Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn.....	1
1.2 Mål	2
1.3 Oppgavens struktur.....	3
1.4 Oppgavens begrensninger.....	3
2. Prosess for valg og gjennomføring av ENØK-tiltak i bygg.....	5
2.1 Ulike typer tiltak.....	5
2.2 Prosedyre for analysering og gjennomføring av ENØK-tiltak i et bygg.....	8
3. Energisparekontrakt	17
4. Faktorer som påvirker energiforbruket i bygninger og oppnådd resultat som følge av ENØK-tiltak	19
4.1 Bygningsrelaterte faktorer	19
4.2 Parametere som påvirker tiltaksgjennomføring	22
5. Metode.....	27
5.1 Protokollens funksjon.....	27
5.2 Fremgangsmåte.....	28
5.3 Måling -og verifikasjonsplan	30
6. Eksempelbygninger	35
6.1 Samarbeidsbedrift.....	35
6.2 Metode for datainnsamling	35
6.3 Metode for beregning av besparelser.....	37
6.4 Beskrivelse av eksempelbygningene og basisårene	37
6.5 Metode for analyse	40
7. Resultater.....	45
7.1 Oppnådd energiforbruk i forhold til antatt første år etter gjennomføring	45
7.2 Opprettholdelse av besparelse over tid	47
7.3 Bygningskategori.....	54

7.4	Forbruk basisår	56
7.5	Byggeår.....	57
7.6	Ressursbruk	58
7.7	Oppvarmet areal	59
7.8	Antatt besparelse	60
7.9	Energirådgiver.....	61
7.10	Type tiltak	62
8.	Usikkerhetsanalyse.....	67
8.1	Korrigeringer i forhold til endringer i definert basisår.....	67
8.2	Endringer i gjennomføring av tiltak, målefeil og beregningsfeil.....	70
9.	Diskusjon av resultatene	73
9.1	Opprettholdelse over tid	73
9.2	Bygningskategori.....	74
9.3	Forbruk basisår og antatt besparelse	74
9.4	Byggeår.....	75
9.5	Oppvarmet areal og ressursbruk	75
9.6	Energirådgiver.....	75
9.7	Type tiltak	76
9.8	Usikkerhetsanalyse.....	76
9.9	Verifisering i henhold til IPMVP	78
	Konklusjon.....	81
	Forslag til videre arbeid	83
	Referanser.....	85
	Vedlegg	i
A.	Oppsett for database	i
B.	Resultat for de ulike byggene.....	v
C.	Tiltaksbeskrivelser, antatte besparelser og investeringskostnader	xiii
C.1	Hotellene	xiii
C.2.	Skolene	xv
C.3.	Kontorene	xvi
C.4.	Kjøpesentrene	xvii
C.5.	Helsebyggene.....	xvii
C.6.	Idrettsbyggene	xviii
D.	Oppvarmingstyper for byggene	xix

D.1 Hotellene	xix
D.2 Skolene.....	xx
D.3 Kontorene	xx
D.4 Kjøpesentrene.....	xxi
D.5 Helsebyggene	xxi
D.6 Idrettsbyggene.....	xxi
E. Artikkel	1

Figurliste

Figur 1-1: McKinseys kurve for tiltakskostander for ulike klimagassreduksjonstiltak fram mot 2030 [4]	1
Figur 2-1: Kostnadskurve for næringsbygg for tiltak til en investeringskostnad lavere enn 2 kr per sparte kWh [11].....	7
Figur 2-2: Bygningers livsløp [28]	13
Figur 3-1: EPC – Energisparekontrakt (mottatt av samarbeidsbedrift)	17
Figur 4-1: De syv klimasonene og normal årsmiddeltemperatur 1961-90 i Norge [36].....	20
Figur 4-2: Visuell fremstilling av gjennomsnittlig temperatur- og stedskorrigert spesifikk tilført energi i 2010 for de største bygningsgruppene [36].	21
Figur 4-3: Gjennomsnittlig samlet brukstid i timer per uke for de største bygningstypene [35].....	21
Figur 5-1: Måling- og verifikasjonsalternativer [14].....	29
Figur 5-2: Målingsgrenselinje for Måling- og verifikasjons-alternativ [15].....	30
Figur 5-3: Utvikling fra 1999 til 2010 i gjennomsnittlig energigradtall i prosent av normal av energigradtall for 1981-2010 [31]	33
Figur 7-1: Antatt og oppnådd totalt energiforbruk for bygningskategoriene.....	46
Figur 7-2: Antatt og oppnådd totalt energiforbruk for bygningskategoriene for bygg med mindre enn 400 kWh/m ² år antatt energiforbruk	46
Figur 7-3: Avvik fra antatt forbruk over fire år etter gjennomføring for bygg som hadde større besparelse enn antatt første år etter gjennomføring.....	48
Figur 7-4: Avvik fra antatt forbruk over fire år etter gjennomføring for bygg som hadde lavere besparelse enn antatt første år etter gjennomføring.....	49
Figur 7-5: Totale besparelser og besparelser fordelt på energibærere for hotellene.....	50
Figur 7-6: Totale besparelser og besparelser fordelt på energibærere for skolene, kontorene, kjøpesentrene, helsebyggene og idrettsbyggene.....	51
Figur 7-7: Avvik fra antatt forbruk for de ulike bygningskategoriene	55
Figur 7-8: Gjennomsnittlig avvik fra antatt forbruk for de ulike bygningskategoriene (%).....	56
Figur 7-9: Avvik fra antatt forbruk og forbruket for basisår	57
Figur 7-10: Avvik fra antatt forbruk og byggeår for byggene.....	57
Figur 7-11: Avvik fra antatt forbruk og total investeringskostnad for gjennomførte tiltak	58
Figur 7-12: Investeringskostnad og forbruk basisår.....	59
Figur 7-13: Avvik fra antatt forbruk og oppvarmet areal.....	59
Figur 7-14: Oppvarmet areal og total investeringskostnad for gjennomførte tiltak.....	60
Figur 7-15: Avvik fra antatt forbruk og antatt besparelse for bygningskategoriene.....	60
Figur 7-16: Avvik fra antatt forbruk og energirådgiver som planla og gjennomførte tiltakene.....	61
Figur 7-17: Antall av de ulike tiltakstypene som er gjennomført i byggene totalt	62
Figur 7-18: Sammensetning av type tiltak og hvor mange av de 41 byggene som har gjennomført de ulike sammensetningene	63
Figur 7-19: Avvik fra antatt forbruk og andel besparelse for tiltakstype Dr	63
Figur 7-20: Opprettholdelse av besparelse over tid og andel antatt besparelse av tiltakstype Dr..	64
Figur 8-1: Avvik fra antatt forbruk over tre år, der forbruket før og etter gjennomføringen ikke er korrigert.	68

Figur 8-2: Avvik fra antatt forbruk over tre år, der forbruket før og etter gjennomføringen ikke er korrigert.	68
Figur 8-3: Avvik fra antatt forbruk over tre år, der forbruket før og etter gjennomføringen ikke er graddagskorrigert.....	69
Figur 8-4: Avvik fra antatt forbruk over tre år, der forbruket før og etter gjennomføringen for skolene ikke er graddagskorrigert.....	70
Figur 8-5: Avvik fra antatt forbruk for I2 med og uten endringer i besparelse for tiltak	71

Tabelliste

Tabell 2-1: Eksempler på energieffektiviseringstiltak fordelt på tiltaksgrupper for boliger og næringsbygg.....	6
Tabell 5-1: Nøkkelpåkomponenter i en måling- og verifikasjons-plan	31
Tabell 6-1: Teknisk data for hotellene.....	38
Tabell 6-2: Teknisk data for skolene.....	38
Tabell 6-3: Teknisk data for kontorene.....	39
Tabell 6-4: Teknisk data for kjøpesentrene	39
Tabell 6-5: Teknisk data for helsebyggene.....	39
Tabell 6-6: Teknisk data for idrettsbyggene	39
Tabell 7-1: Resultat for bygg som har gjennomført samme tiltak.....	65

Forkortelser og begrepsforklaringer

ENØK – Energiøkonomisering

ECM – Energy Conservation Measures

EPC - Energi Performance Contract, som har fått den norske betegnelsen *Energisparekontrakt*

M&V – Måling og Verifikasjon

IPMVP – International Performance Measurement and Verification Protocol

SD-anlegg - Sentral driftskontroll

BEMS - Building Energy Management Systems, betyr SD-anlegg på norsk

EOS – Energioppfølgingssystem

Før-forbruk – Energiforbruk *før* ENØK-gjennomføring

Etter-forbruk – Energiforbruk *etter* ENØK-gjennomføring

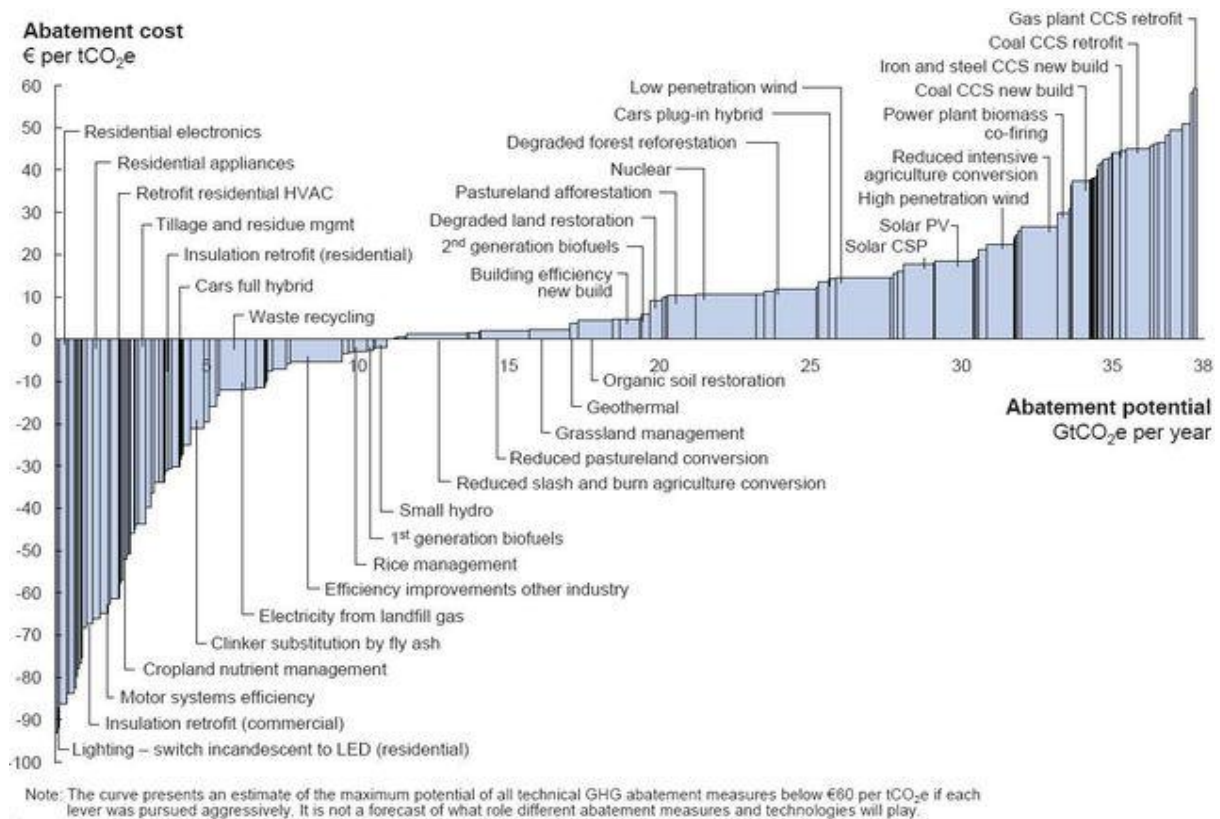
Samarbeidsbedrift – Bedrift som gjennomførte analyse og prosjektering av tiltakene i byggene som er studert i denne oppgave

1. Innledning

1.1 Bakgrunn

6. april 2009 ble det vedtatt et fornybardirektiv med formål at EU skal ha 20 % fornybarandel i 2020. Direktivet er EØS-relevant og må derfor implementeres i Norge. For å nå dette målet har alle land fått et krav om hvor stor fornybar andel de skal ha i 2020. Direktivet sier at alle land må øke denne andelen med 5,5 prosentpoeng fra 2005-nivå, og de rikeste landene skal i tillegg til dette gjøre mest. Norge hadde i 2005 et innenlands forbruk på 227 TWh, og en fornybarandel på 59,8 %. Point Carbon [2] har gjennomført beregninger som viser at ut fra EUs beregningsmetode, vil Norge måtte øke andelen fornybar energi med 14,5 prosentpoeng innen 2020. Det vil bety at fornybarandelen i Norge må være på 74,3 %. For å oppfylle fornybardirektivet er det avgjørende å holde energibruken nede samtidig som man øker produksjonen av fornybar energi.

FNs klimapanel (IPCC) og det internasjonale energibyrådet (IEA) har slått fast at energieffektivisering er det tiltaket som vil gi de største og raskeste klimagassreduksjonene. IEA angir i sitt scenario fram mot 2030 at 54 % av klimagassreduksjonene må skje innenfor energieffektivisering [3]. Videre har konsultentselskapet McKinsey & Company gjort en stor studie der de har sett på tiltakskostnader for ulike klimagass tiltak, se Figur 1-1. Tiltakene til venstre i figuren er de mest lønnsomme og billigste tiltakene, og de til høyre de minst lønnsomme og dyreste.



Figur 1-1: McKinseys kurve for tiltakskostnader for ulike klimagassreduksjonstiltak fram mot 2030 [4]

Av Figur 1-1 viser at det er mange av energitiltakene utført i bygningssektoren som er vurdert å være de billigste og mest lønnsomme tiltakene.

Energibruk i bygg utgjør om lag 40 % av Europas totale energiforbruk [5]. I Norge sto bygg for 36 % av det totale energiforbruket og 53 % av det stasjonære energiforbruket i 2008.

Sammenliknet med andre land har Norge et høyt forbruk av elektrisitet. Dette skyldes blant annet vår rike tilgang på vannkraft. Redusert energibruk i bygg er avgjørende for at Norge skal kunne klare å oppfylle fornybardirektivet.

Det har det vært stor satsning på energieffektivisering i bygninger de siste årene, og det er blitt opprettet stor forretning for energieffektivisering. Noen bedrifter har startet å jobbe etter energikontrakt, hvor det gis garanti for besparelse. I en rapport fra Lavenergiutvalget [6] er energieffektiviseringspotensialet for byggsektoren fram mot 2020 beregnet å være ca. 10 TWh. Det viser seg imidlertid at oppnådd besparelse som følge av gjennomførte tiltak i bygg ikke alltid blir som antatt.

Hense [7] har gjort en studie på et bolighus som har gjennomgått en ombygging med innføring av PV-panel, solkoker, bedre isolering, mer energieffektive vinduer, bedre lufttetthet og oppgradering av ventilasjon- og oppvarmingsanlegg. I studiet sammenlignes beregnet totalt energiforbruk med målt energiforbruk for flere år etter gjennomføringen av tiltakene, og det kommer frem at det er oppnådd 28 % mer besparelse enn antatt. På den andre siden viser en annen studie, som analyserer resultater for 500 bygninger som har gjennomført energieffektiviseringstiltak, at det var det stor spredning i oppnådd besparelse, der en signifikant andel av byggene faktisk hadde et større energiforbruk *etter* gjennomføringen [8]. Det samme viser en studie av Goldman *et al.* [9]. Her ble 25 000 bygninger analysert, og det ble funnet at besparelsen varierte mellom 10-30 % for 60 % av byggene. Her ble det i tillegg funnet at de parameterne som avgjorde de store forskjellene var før-forbruk, størrelse på investeringen og valg av gjennomføringsstrategi.

I den siste rapporten til International Energy Agency (IEA) fra 2012 [1], pekes det på at måling og verifikasjon av besparelser er nødvendig for å realisere forventet energibesparelser. I tillegg poengteres det at stegene for måling og verifikasjon må styrkes med en større investering av energiledelse og administrativ kapasitet på alle nivå.

1.2 Mål

Målet med denne oppgaven er å evaluere, verifisere og oppfølge besparelser oppnådd i bygg som følge av gjennomførte ENØK-tiltak, og derav etablere forhold mellom foreslått tiltak og oppnådde resultater. Det skal med dette identifiseres hva som påvirker at antatt resultat ikke blir oppnådd. I tillegg er det et mål å definere ett rammeverk for data som skal brukes for verifisering av oppnådde resultater.

I denne oppgaven ses det derfor på 41 bygg som har gjennomført ENØK-tiltak. Informasjon om byggene er hentet fra bedriften som gjennomførte tiltakene. Bedriften ønsker å være anonym, og blir gjennom oppgaven referert til under navnet «samarbeidsbedrift». Antatt resultat og oppnådd resultat skal sammenlignes for alle byggene for å se om oppnådd besparelse blir som forutsatt, og

det skal ved hjelp av tilgjengelig data for de ulike byggene forsøke å finne de mest bestemte parameterne for variasjonene i resultatene.

1.3 Oppgavens struktur

Oppgaven struktureres i elleve ulike kapitler. Først blir ulike typer ENØK-tiltak presentert, samt prosedyre for valg og gjennomføring av tiltakene. Deretter energisparekontrakt. Videre beskrives faktorer som påvirker energiforbruket i bygg og oppnådd resultat som følge av gjennomførte ENØK-tiltak. Så presenteres metoden som er brukt for å beregne og verifisere besparelsene oppnådd i de analyserte byggene. Etter dette presenteres eksempelbyggene, samt metode for datainnsamling og analyse. Deretter fremstilles resultatene og det gjøres en usikkerhetsanalyse av dem. Til slutt følger en diskusjon av resultatene, konklusjon og anbefalinger til videre arbeid.

1.4 Oppgavens begrensninger

For byggene som brukes for analysen i denne oppgaven, var det mulig å avdekke kun *totale* besparelser, og ikke besparelse fordelt på energibærere (elektrisitet, fjernvarme osv.). Av samarbeidsbedriften ble kun totale besparelser per tiltak oppgitt. I tillegg er ikke bygningene utstyrt med detaljert datalogging, slik at det var mulig å se på besparelser på tiltaksnivå.

2. Prosess for valg og gjennomføring av ENØK-tiltak i bygg

Hvilke energieffektiviseringstiltak som bør velges ut for et bestemt prosjekt er et multi-objektivt optimaliseringsproblem, da hvert bygg er unik med sin bygningskropp, lokasjon, type brukere og bruksformål osv. Et arbeid gjort av Zhenjun *et al.* [10] nevner flere studier i forbindelse med dette og studiene demonstrerer at energi- og miljømessig ytelse av eksisterende kontorbygg i høy grad kan forbedres hvis tiltakene er valgt ut og implementert på riktig måte. Imidlertid er de fleste av disse studiene gjort basert på numerisk simulering. Den faktiske energibesparelsen som følge av implementering av utvalgte tiltak er ikke rapportert i de simuleringsbaserte studiene. Mer forskning og applikasjonsarbeid med praktiske case-studier på ENØK-tiltak i bygninger er essensielt nødvendig.

I dette kapitlet presenteres de mest vanlige tiltakene for energieffektivisering i bygninger, samt prosedyren som bør gås igjennom ved planlegging og gjennomføring av tiltakene.

2.1 Ulike typer tiltak

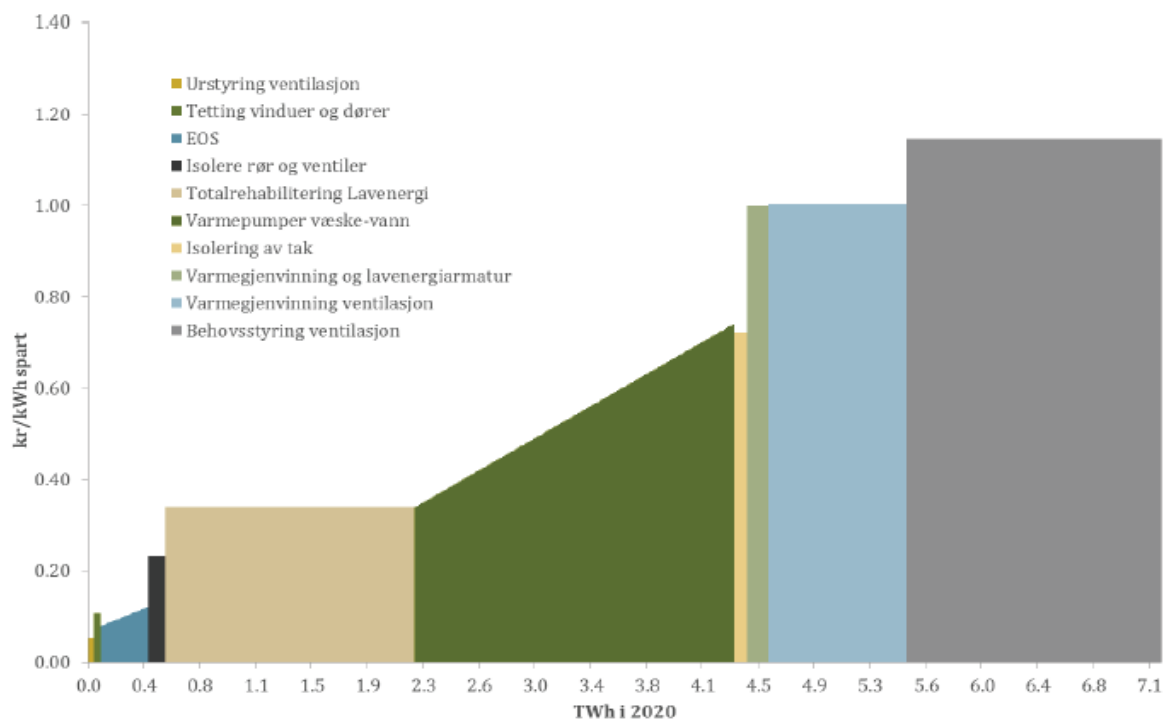
Energieffektiviseringstiltak i eksisterende bygninger kan helt overordnet deles inn i fire hovedgrupper: struktur, varme og kjøling, utstyr og adferd [11], som vist i Tabell 2-1.

Tabell 2-1: Eksempler på energieffektiviserings tiltak fordelt på tiltaksgrupper for boliger og næringsbygg.

Tiltaksgruppe	Boliger	Næringsbygg
Struktur	<ul style="list-style-type: none"> • Isolering av yttervegg (fra innsiden eller utsiden) • Isolering av loft • Isolering av kjeller • Tetting av vinduer og dører • Bytte vinduer • Bytte dører • Totalrehabilitering 	<ul style="list-style-type: none"> • Isolering av yttervegg • Isolering av innervegg • Isolering av tak • Tetting rundt vinduer og dører • Bytte vinduer • Bytte dører • Totalrehabilitering
Varme og kjøling	<ul style="list-style-type: none"> • Solfangere/solcelle • Varmepumpe • Tidsstyring – varme • Behovsstyring – ventilasjon • Varmegjenvinner (balansert ventilasjon) • Bytte ut gammel vedovn 	<ul style="list-style-type: none"> • Solfangere/solcelle • Varmepumpe • Automatisk solavskjerming • Energistyringssystem (eksempelvis SD-anlegg for styring etter tid, temperatur og tilstedeværelse) • Ventilasjonsstyring (tid, behov) • Varmegjenvinning – ventilasjon • Behovsstyring
Utstyr	<ul style="list-style-type: none"> • Speredusj • Hvitevarer • Belysning (pærer) 	<ul style="list-style-type: none"> • Hvitevarer • Pc'er og annen elektronikk • Belysning (armaturer)
Adferd	<ul style="list-style-type: none"> • Energibevissthet • Velge energieffektivt utstyr • Slå av utstyr og lys • Redusere innetemperatur 	<ul style="list-style-type: none"> • Energiledelse • Velge energieffektivt utstyr • Slå av Pc'er og lys

I Tabell 2-1 ser en at de vanligste tiltakene for næringsbygg er noe forskjellig fra det som er vanlig i næringsbygg. Dette er på grunn av ulik bruk i bygningene, samt ulike tekniske installasjoner. Med strukturtiltak menes det her tiltak på bygningskonstruksjonen.

En studie utført av Vista Analyse [11] har beregnet samfunnsøkonomisk tiltakskostander per spart kWh basert på eksisterende kilder og intervjuer. I Figur 2-1 under ser en kostnadskurve for de viktigste kjente tiltakene for energieffektivisering i næringsbygg. Potensialet per tiltak for eksisterende bygninger i Norge er vist langs den horisontale akse, og kan summeres til et gitt potensial innenfor en gitt kostnadskurve. Figuren er noe uklart i bildet.



Figur 2-1: Kostnadskurve for næringsbygg for tiltak til en investeringskostnad lavere enn 2 kr per sparte kWh [11]

For næringsbygg kommer energioppfølgingssystem og ur-styring ut som de to billigste tiltakene. En totalrehabilitering som innebærer en overgang til lavenergiløsninger har både lave kostnader og et stort potensial. Væske-/vann-varmepumper har også lave kostnader og stort potensial. Av strukturtiltak utover totalrehabilitering, vil isolering av tak ha et relativt lavt samfunnsøkonomisk kostnad per sparte kWh.

En annen studie som har sett på besparelsen og investeringskostnadene for tiltak i boliger og næringsbygg er et samarbeid mellom Multiconsult og NVE [12]. I dette studiet ses det på hvor mye hvert av tiltakene potensielt kan spare frem til 2020 (2009-2020). Her er tiltakene kategorisert i fem hovedkategorier: energioppfølging (EOS), isolering og tetting, teknisk utstyr (BTT – beste tilgjengelige teknologi), energistyring og lavenergiløsninger (en samling av flere tiltak). Resultatene viser at etablering av et energioppfølgingssystem er billig, men det sparer ikke så veldig mye energi slik at totalt spart i 2020 lå dette tiltaket lavest. Isolering og tetting, nærmere bestemt ekstra isolering av yttervegg i boliger, kom nest best ut i både nye og eksisterende boliger, dette til tross for at investeringskostnaden er høyere enn for både EOS og isolering og tetting. Dette skyldes at en sparer mer per investerte krone ved isolering enn ved de to andre tiltakene. Innenfor BTT er skifte til sparedusj et relativt billig tiltak, men fordi en ikke sparer så mye energi kom dette i sum ut som det dyreste tiltaket. Innenfor energistyring er å installere tidsur for varme i boligen også et rimelig tiltak i eksisterende boliger, men kom dyrere ut enn EOS og isolering og tetting. Lavenergiløsningstiltaket viste at maksimalt sparepotensial i norske boliger er på litt over 6 TWh innen 2020. Tiltaket har en svært høy investeringskostnad, men på grunn av store energibesparelser for alle deltiltakene det inkluderer, samt lang levetid, er den totale samfunnsøkonomiske kostnaden lav.

2.2 Prosedyre for analysering og gjennomføring av ENØK-tiltak i et bygg

En fremgangsmåte for å sikre energieffektive bygninger er å integrere bygningene med en hel pakke av energiltak, slik at hvert tiltak oppnår utfyllende besparelser [13]. Imidlertid må designeren bestemme et optimalt sett av energieffektive tiltak som fører til den største gevinsten innenfor kostnadsrammen. Som nevnt er valget om hvilken teknologi eller hvilket tiltak som skal brukes for det bestemte prosjektet et multi-objektiv optimaliseringsproblem som er avhengig av mange begrensninger og avgrensninger, eksempelvis bygningskonstruksjon, totalt budsjett som et tilgjengelig, prosjektmål, bygningsdrift og effektivitet, bygningskropp, osv. Økonomisk fordel er ikke det eneste kriteriet for utvelgelsen av tiltak. Den optimale løsningen er en avveining blant en rekke av energirelaterte- og ikke-energirelaterte faktorer som energi, eierskap, økonomi, miljø, osv.

Det skal her sees på hvordan fremgangsmåten bør være for å finne de optimale løsningene for hvert enkelt prosjekt slik at potensialet for energieffektivisering blir tatt hånd om, samt at byggeiers ønsker og mål blir innfridd.

2.2.1 En systematisk fremgangsmåte for gjennomføring av energieffektive tiltak

Den overordnede prosessen for gjennomføring av energieffektive tiltak kan deles inn i 5 faser [10].

1. **Forberedelse og kartlegging:** I denne fasen må bygningseier definere rammen av arbeidet og sette mål for prosjektet. De tilgjengelige resursene for å sette en ramme for budsjettet og programmet for arbeidet kan så bestemmes. Det bør gjennomgås en forundersøkelse for å forstå driftsproblemene til bygget og hovedbekymringen eller interessene til brukerne. Det er også vanlig prosedyre å velge ut en erfaren teknisk entreprenør/rådgiver for å ta ansvar for planlegging av gjennomføringen av prosjektet.
2. **Energi-revisjon:** Energi-revisjon er brukt for å analysere energidata, forstå bygningens energiforbruk, identifisere områder med sløst energiforbruk, og foreslå ikke-kostands- og lav kostands energibevarende tiltak (EMCs). Evaluering av ytelse er anvendt for å fastsette bygningens energiforbruk ved å velge ytelsesindikatorer. Diagnostisering kan brukes for å identifisere ineffektivt utstyr, feilaktig kontrollordning og hvilke som helst funksjonsfeil i bygningsdriften.
3. **Identifisering av tiltaksalternativer:** Ved å bruke en passende energimodell, økonomisk analyseverktøy og metode for evaluering av usikkerhet, kan ytelsen av en rekke tiltaksalternativer evalueres kvantitativt. Tiltakene kan da prioriteres basert på de relevante energirelaterte faktorene eller de ikke-energirelaterte faktorene.
4. **Implementering og funksjonskontroll:** De utvalgte tiltakene implementeres. Test og funksjonskontroll er så anvendt for å tilpasse tiltakene for å forsikre at bygningen og dens systemer fungerer optimalt.
5. **Måling og verifisering av energibesparelser:** Når tiltakene er implementert og godt justert, kan det brukes standard måling- og verifikasjonsmetoder for å verifisere energibesparelser [14]. Det trengs også en inspeksjon etter gjennomføringen for å forstå om bygningsokkupantene og bygningseierne er tilfredse med det overordnede resultatet.

Det skal i de neste delkapitlene ses nærmere på de ulike prosedyrene.

2.2.1.1 Fase 1 og fase 2

Ressursene og forventningene til byggeierne avgjør prosjektets mål, og derav avgjør hvilke tiltaksteknologier som skal benyttes. En suksessfull energieffektiviserings-oppgradering avhenger av godt definerte mål og en varsomt konstruert ramme [15]. Det er flere forventingen og incentiv byggeieren kan ha til prosjektet. I denne fasen er det viktig at entreprenøren/rådgiveren velger riktig fremgangsmåte for å dekke byggeierens behov, samt å få fremmet potensialet som foreligger.

Basert på en undersøkelse av 100 firma i Australia ble det identifisert faktorer som påvirker et firmas valg for investering. Det ble funnet at et stort antall faktorer involvert og den mest brukte faktoren var tilbakebetalingstid [16]. I en studie gjort av Fluhner *et al.* [17], som sammenligner to ulike fremgangsmåter for gjennomføring av energieffektive tiltak, er det påpekt at ved å kun ta hensyn til tilbakebetalingstiden ved vurdering av tiltaksalternativer vil en avvise verdiøkende prosjekter. Ved kun å vise til tilbakebetalingstid blir ikke byggeieren informert om ytterligere pengestrøm en oppnår ved å gjennomføre ENØK-tiltak som følge av endring i bygningens verdi. I tillegg burde målestokker som NPV¹ og IRR² benyttes, som tar hensyn til pengestrøm som forekommer etter at prosjektet er tilbakebetalt. Problemet med dette er ofte at entreprenøren må gå varsomt frem; ved å presse byggeieren for hardt kan en risikere å miste jobben. Før kontrakten er signert, jobber entreprenøren under risiko, mens han gjør sitt mest kritiske arbeid.

Analyse av energiforbruket tillater å identifisere energiforbruket og kostandene. Denne revisjonen varierer i rang og dybde. «ASHREA handbook» [18] klassifiserer inspeksjonen i tre nivå:

- **Nivå 1:** Gå-gjennom-evaluering
- **Nivå 2:** Energiinspeksjon og analyse
- **Nivå 3:** Detaljert energianalyse

Energirevisjon er viktig for at tiltakene skal være bærekraftige [19]. Siden energirevisjon kan bidra til en bedre forståelse av energiytelsen til en bygning og dens systemer, kan de potensielle tiltaksmulighetene identifiseres basert på informasjonen hentet gjennom revisjonen. For å oppnå dette, er det mest ønskelig i denne planleggingsfasen å få tilgang til historikk på energiforbruket, helst ned i en oppløsning på timesverdier. Dette gjør det enklere å se hvor det store potensialet for besparelse ligger, og hvor det eventuelt brukes unødvendig mye energi. Tilgangen til slike data er ikke alltid mulig, og noe som derav kan påvirke resultatet.

En mye brukt metode for å predikere energiytelser i bygg er å ta i bruk simuleringsmodeller.

2.2.1.2 Fase 3

Troverdig identifisering og utvelgelse av de ulike tiltaksalternativene er essensielt for å gjennomføre et bærekraftig energieffektiviseringsprosjekt. Denne prosessen varierer i grundighet og dybde, og kan være basert på følgende:

- **Erfaring:** For noen bygg kan mange av tiltakene identifiseres basert på erfaringen en prosjektleder har for den vurderte bygningstypen.

¹ Se kapittel 2.2.1.2 for beskrivelse av NPV

² Se kapittel 2.2.1.2 for beskrivelse av IRR

- **Eksisterende problemer:** I noen tilfeller har byggeier på forhånd definert et problem, der løsningen ofte er gitt. Dette kan for eksempel være en utslitt pumpe som burde skiftes ut i frykt for at den skal ryke. Denne pumpen kan da byttes ut med en mer energieffektiv pumpe, for eksempel med frekvensstyring.
- **Simulering:** Ytelsen av de ulike alternativene er ofte evaluert gjennom energisimulering – og modellering. Her finnes det mange simuleringsspakker, eksempelvis EnergyPlus, eQUEST, TRNSYS, BLAST, osv., som kan benyttes til å simulere de termodynamiske karakteristikene og energiytelsen for forskjellige typer tiltak. Eksempelvis brukte Chidiac *et al.* [20] EnergyPlus for å simulere effektiviteten av tiltak for kontorbygg.

Bygningsforskere har gjort en signifikant innsats for utvikling og applikasjon av ulike tiltaksteknologier og hjelpeverktøy for utvelgelsesprosessen for å forbedre bygningers ytelse. Et eksempel er en studie som er gjort av Doukas *et al.* [21]. Her presenteres det en innovativ intelligent modell til hjelp for å identifisere behovet for inngrep og for fremtidig evaluering av tiltak for energibesparelser i et typisk eksisterende bygg, basert på den systematiske innarbeidelsen av bygningsdata. I studiet listes opp alle mulige komponenter i bygget, og det identifiserer en standard indeks for hver av komponenter. Data fra sentral driftskontrollanlegg (SD-anlegg) brukes så for å sammenligne de målte verdien med indeksen, og finner da de målingene som avviker mest fra indeksen. Det planlegges så mulige tiltak, der det vurderes hvilke som er mest lønnsomt ut i fra investering, energipris, tilbakebetalingstid o.l.

Et annet eksempel er et studie som bruker et hjelpeverktøy som kan brukes til raskt å identifisere og bestemme optimale tiltak, gjort av Flourentzou *et al.* [22]. Her presenteres det et interaktivt hjelpeverktøy (TOBUS) for utvelgelse av tiltak i kontorbygg. Dette verktøyet har syv moduler, inkludert bygningsbeskrivelse og dimensjoner, bygningsdiagnostikk, innendørs luftkvalitet, energiforbruk, tiltaksscenarioer, kostanalyse og rapportering av resultater.

En studie gjort av Chung *et al.* [23] beskriver en benchmarking-prosess for energieffektivisering ved hjelp av multipl regressjonsanalyse, hvor forholdet mellom energibruk-intensiteter (EUIs) og forklarings-variabler (for eksempel operasjonstid) er utviklet.

Asadi *et al.* [24] utviklet en multi-objektiv matematisk modell for å gi støtte til evalueringen av alternativer av teknologivalg til tiltaksstrategier.

Disse studiene viser alle hvordan en kan gjennomføre bærekraftig energieffektivisering i bygg og derav forbedre energiytelsen. Imidlertid er de fleste av disse studiene basert på numerisk simulering. De faktiske besparelsene som følge av implementasjonene ble ikke rapportert. Det er derfor et stort behov for mer forskning og utvikling rundt praktiske og reelle case på næringsbygg for å hjelpe til med å øke troverdigheten ovenfor byggeier for å gjennomføre tiltak på deres bygg.

Uansett hva som blir lagt til grunn for utvelgelsen av tiltak, er det viktig å gjøre seg kjent med usikkerheten knyttet til det.

Økonomisk analyse

En økonomisk analyse er nødvendig for å gi en indikasjon på om de ulike tiltaksalternativene er energieffektive og kostnadseffektive. Det finnes flere metoder for evaluering av gjennomførbarheten til et tiltak på. De mest brukte er

- **Nåverdimetoden:** Er en metode for å beregne lønnsomheten av en investering basert på nåverdien av fremtidige diskonterte kontantstrømmer. Med en positiv nåverdi så vil investeringen være lønnsom, med en negativ nåverdi vil investeringen være ulønnsom.
- **Internrente:** Er et bedriftsøkonomisk nøkkeltall som brukes for å vurdere ulike alternative investeringer mot hverandre. Internrenten er den renten som gir en nåverdi av fremtidige kontantstrømmer lik 0.
- **ROR (Overall rate of return):** Er forholdet mellom avkastning eller tapt penger på en investering og investeringsbeløpet.
- **Benefit-cost ratio (BCR):** Er forholdet mellom gevinsten av et prosjekt, uttrykt i kroner og øre, og dens kostnad.
- **Tilbakebetalingstid:** Refererer til tiden som trengs for en gevinst å «tilbakebetale» summen av den originale investeringen.

Usikkerhetsanalyse

Gjennomføring av energieffektiviseringstiltak er knyttet til usikkerhetsfaktorer, eksempelvis estimering av besparelse, målinger for energiforbruk, værprognoser, endring i energiforbruksmønster, degradering av systemytelsen etc. Disse faktorene resulterer i at investeringen i tiltak er nokså usikre. Det er derfor viktig å gjennomgå en usikkerhetsanalyse for at valgtakerne er kjent med risikoen et eventuelt valg innebærer, og kan ta med dette i betraktning når valgene tas.

Det finnes flere metoder for usikkerhetsanalyse, er sannsynlighetsbaserte evalueringsmetoder de mest brukte metodene [10].

2.2.1.3 Fase 4

Bygninger er i dag mer komplekse enn de var før, og brukernes behov har endret seg over tid. Dette har ført til et større behov for spesialisering i bygningsbransjen, og medfølgende behov for god samhandling mellom de ulike elementene. Utilstrekkelig kommunikasjon mellom deltakerne involvert gjennom byggets levetid (designere, konstruktører, operatører, byggherrer, eiere, osv.) har resultert i at de ikke har oppfylt eiernes forventninger og ikke fungert som tiltenkt, enten på grunn av design eller konstruksjonsmangler [18].

Funksjonskontroll er i så måte en kvalitetsorientert prosess som kan sikre at tekniske installasjoner er prosjektert, installert og funksjonstestet slik at de kan bli drevet og vedlikeholdt i henhold til byggherrens kravspesifikasjoner med hensyn til miljø, energi og ressursbruk gjennom hele livsløpet for bygningen [25]. Denne prosessen, som spenner over design, konstruksjon, og drift av bygget og dets systemer, er en verdifull mekanisme for kvalitetslevering. Det inkluderer aktiviteter som utvikling av dokumenter for prosjektkrav, planlegging og gjennomføring av sjekklister for verifikasjon, funksjonstest, utvikling av komplett systemmanual, opplæringskrav og utførelse av sesongbasert testing. Funksjonskontroll forsikrer at bygningen møter eieren behov og opererer effektivt, og legger grunnlag for opplæring av drift- og opprettholdelsespersonale for å opprettholde systemer over hele levetiden til bygningen. Fordelene vil være redusert livsyklus-kostnader, forbedret komfort og produktivitet for beboere, og kosteffektiv opprettholdelse [26].

Et internasjonalt forskningsprosjekt, Annex 40 i regi av International Energy Agency (IEA) [26] og en arbeidsgruppe sammensatt av representanter fra ulike land, hadde som mål å utvikle verktøy for kontinuerlig funksjonskontroll i bygninger. De utarbeidet et program for at kontinuerlig funksjonskontroll skulle bli en del av hele bygningens livsløp, gjennom fasene pre-design, design, utarbeidelse, konstruksjon og drift og vedlikehold.

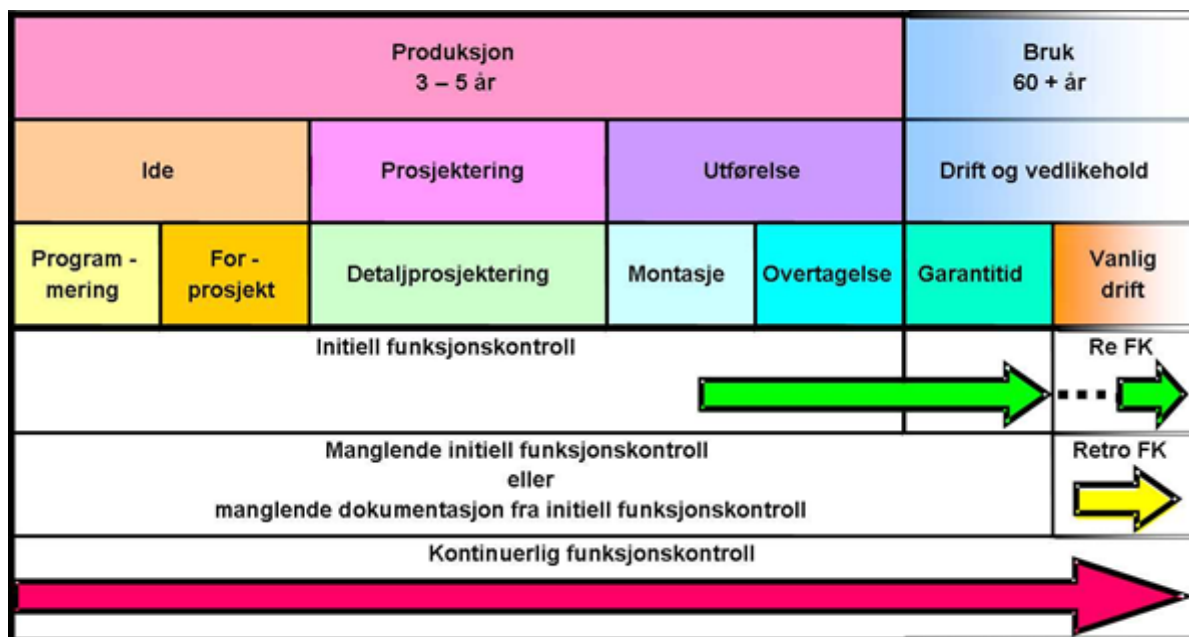
I følge Annex 40 vil funksjonskontroll trolig utvikle seg de kommende årene av tre hovedgrunner:

- **Energi og miljø-hensyn:** Global oppvarming har økt behovet for å redusere energibruken i bygninger.
- **Forretningsmessige hensyn:** Bedrifter utvikler nye tjenester for å diversifisere deres virksomheter i bygg og i energibransjen. Funksjonskontroll blir sett på som en mulighet for å innovere og kapre nye kunder, samt beholde de eksisterende kundene.
- **Teknologiske hensyn:** Automasjonssystemer i bygninger er nå standard i nye bygninger, men det blir også installert i eldre bygninger. Disse systemene samler automatisk bygningsdata og driftsdata for et anlegg og tilbyr muligheter for innovative tjenester innenfor funksjonskontroll.

I praksis kan en skille mellom fire metoder for funksjonskontroll [27]:

- **Initiell funksjonskontroll:** En systematisk prosess som anvendes ved produksjon av nye bygninger og/eller installasjoner, som går fra programmering til avsluttet garantitid. Omfanget av funksjonskontrollprosessen som anvendes er avhengig av byggherrens ønske, og kan bli definert i kontrakten mellom byggherren og de som er ansvarlig for funksjonskontroll.
- **Retro funksjonskontroll:** Denne funksjonskontrolltypen implementeres i en eksisterende bygning hvor det ikke er dokumentert at det er blitt gjennomført funksjonskontroll tidligere.
- **Gjentatt funksjonskontroll:** Denne prosedyren forekommer når en bygning som allerede har gjennomgått funksjonskontroll gjennomgår en ny funksjonskontroll. Siden de fleste bygninger opplever degradering i ytelse, som kan redusere brukernes produktivitet og energiytelsen, implementeres denne prosedyren etter initiell- eller gjentatt funksjonskontroll når eieren ønsker å verifisere, forbedre og dokumentere ytelsen til bygningssystemene.
- **Kontinuerlig funksjonskontroll:** Dette er en kontinuerlig prosess som har som mål å opprettholde, forbedre og optimalisere ytelsen til bygningssystemet etter initiell- eller retro funksjonskontroll. Det skal da sikres at tekniske installasjoner er prosjektert, installert og funksjonstestet slik at de kan bli drevet og vedlikeholdt på en slik måte at de er i stand til å oppfylle byggherrens kravspesifikasjoner med hensyn til miljø, energi og ressursbruk gjennom hele livsløpet for bygningen.

Figur 2-2 viser hvor de ulike funksjonskontrollene kan implementeres gjennom livsløpet til en bygning. Funksjonskontroll bør ideelt sett starte snarlig etter at konseptet rundt en ny fasilitet er utarbeidet og bør fortsette til bygningen er okkupert. I løpet av denne prosessen blir det dannet forventninger angående ytelsen til bygget, og prosedyrer blir gjennomført for å avgjøre om disse forventningene blir møtt.



Figur 2-2: Bygningers livsløp [28]

Av figuren ser en at initiell funksjonskontroll starter ved idé-fasen og avsluttes ved garantiperiodens utløp. Gjentatt funksjonskontroll starter hvor initiell kontroll slutter, og følger driftsfasen. Retro funksjonskontroll starter etter garantiperioden når det mangler initiell funksjonskontroll i prosjektgjennomføringen. En ser også at kontinuerlig funksjonskontroll spenner over hele byggets levetid.

Det finnes flere metoder for overvåking og kontroll av bygninger ved bruk av kontinuerlig funksjonskontroll. Likevel skilles det hovedsakelig mellom tre typer [25].

- **Manuelle metoder:** Baserer seg på manuelle målinger og datalogging over tid. Her kan det for eksempel brukes sjekklister og retningslinjer. Denne metoden er svært arbeidskrevende.
- **Automatiske metoder:** Benytter SD-anlegg til å overvåke og kontrollere. I motsetning til manuelle målinger er målorganet integrert i det tekniske anlegget.
- **Modell metoder:** Her blir også SD-anlegg benyttet for innhenting av informasjon, men det analyseres på en annen måte.

Feilsøking ved hjelp av kontinuerlig funksjonskontroll

Regelmessig svikter utstyr tilknyttet eksempelvis oppvarming, ventilasjon eller luftkondisjonering, slik at de ikke lenger tilfredsstiller forventningene til ytelsen. Dette kan skyldes feilaktig installasjon, utilstrekkelig vedlikehold, eller utstyrsfeil [29], som for eksempel ved at sensorer og styringselementer forfaller og svikter, ventiler og spjeld lekker, spoler og følere tilsmusses m.m. Slike feil kan ofte gå ubemerket over lengre tid, inntil den forverrede ytelsen er så stor at det utløses komfortklager eller grove utstyrsfeil. Dette kan ha negative konsekvenser for innemiljøet, energibruken, levetiden for utstyret, sikkerheten og økonomien. Kontinuerlig funksjonskontroll kan redusere feil eller ugunstige driftsløsninger på et tidlig tidspunkt, slik at blant annet økte energikostnader unngås.

Den kontinuerlige overvåkingen av ulike komponenter og sub-systemer i en bygning er mulig ved hjelp av intelligente strategier for analysering av avvik og deteksjon av feil. Ved feil signaliserer ikke systemet bare *at* det er en feil eller avvik, men også hvor den har oppstått, årsaken og løsning. I følge the National Institute of standard Technology (NIST) [30] har metoder for feilsøking et sparepotensial på 10-40 % av energiforbruket til varme, ventilasjon og luftkondisjonering (avhengig av tilstand og alder på utstyret, praksis for vedlikehold, klima og bygningsbruken). Tilleggsvis er det flere fordeler som ikke direkte er knyttet til energibesparelse. For eksempel kan levetiden på utstyr forlenges og reparasjoner planlegges ved passende tider, som igjen kan redusere nede-tid og overtidsarbeid. I tillegg kan bedre styring av temperatur, fuktighet og ventilasjonen til de brukte arealene forbedre brukernes produktivitet og komfort.

Eksempler på komponenter som det er viktig å følge opp gjennom kontinuerlig funksjonskontroll:

- **Romtemperaturføler:** Dersom romtemperaturføleren har et måleavvik, vil dette føre til at romtemperaturen blir høyere/lavere enn ønsket temperatur og varmeavgiveren vil bruke mer/mindre energi i forhold til hva som behøves. Dette påvirker både energiforbruket og inneklima. I tillegg vil dette påvirke luftmengden fra VAV-anlegget som reagerer på temperaturen i rommet.
- **Ventiler og spjeld:** Feil i ventiler og spjeld, som for eksempel feilposisjon, kan føre til at luft eller vannmengden ikke tilfredsstillende den ønskede verdien.
- **Filter:** Filteret kan bli tett, noe som kan påvirke viftens SFP og dermed energibruken.
- **Varme/kjølebatteri:** Feil ved batterier kan eksempelvis skyldes begroddede batterirør eller skitne ribber. Dette kan medføre redusert varmeoverføring i forhold til det dimensjonerte, noe som igjen kan føre til at utløpsluften og vanntemperaturen avviker fra de dimensjonerende.

Funksjonskontroll ved hjelp av SD-anlegg og energioppfølgingsystem

Sentral driftskontroll er et samlebegrep for sentralisering av bygningsautomatikken basert på digital teknikk og digitalt utstyr, hvor eventuelle endringer i forhold til innstillinger ved byggene gjøres [31]. Dette gir mulighet for rasjonalisering i form av optimal drift, og redusert energibruk og effektbehov.

I tillegg oppnås dette ved hjelp av energioppfølgingssystemet, som bruker bygningsdata hentet fra SD-anlegget for å periodisk registrere, overvåke og analysere energibruken i et bygg samt sørge for at et unormalt energiforbruk raskt blir oppdaget. Energioppfølgingssystemet er til hjelp for å finne årsaken og vurdere hvilke tiltak som bør iverksettes, og er i så måte et verktøy for å identifisere virkningen av ENØK-tiltak. I tillegg til oppdagelse av feil får man med oppfølgingssystemet full oversikt og kontroll med forbruk og hvor energien brukes. Disse systemene kan gjerne være nettbaserte, noe som gjør at informasjonen er lett tilgjengelig. Data fra bygningsmassen kan inkluderes i ett og samme oppfølgingssystem.

Ved hjelp av SD-anlegget og oppfølgingssystemet kan man sammenligne de virkelige tilstandene med de tilstandene som ble definert i planleggingsprosessen. Dette gir en indikasjon på feil ved anlegget, hvor feilen er avviket mellom den forutsatte tilstanden slik den ble bestemt under prosjekteringen og den målte tilstanden i bygget. Den målte tilstanden kan også sees i lys av

tidligere lagrede data for å kunne identifisere en eventuelt uheldig utvikling, som igjen kan gi informasjon om en feilfungerende komponent.

2.2.1.4 Fase 5

Nøkkelen til å fremme det enorme potensialet for energieffektivisering er å sikre økonomisk nytte ved potensielle tiltak [32]. God praksis for måling og verifikasjon er i så måte noen av de viktigste elementene for å sikre at investeringer i energieffektive løsninger resulterer i trygghet og tilstrekkelige besparelser. Det sørger også for at usikkerheten til prosjektet er forstått og tatt hånd om.

Måling og verifikasjon er en prosess som bruker målinger for reelt å determinere de faktiske besparelsene som følge av gjennomføring av tiltak. Dette innebærer å innhente energibruk og kostnadsdata, og analysere dataen for å stadfeste besparelsen. Disse resultatene kan sammenlignes med forbruket før gjennomføring og med etablerte mål for energi- og kostnadsbesparelse for å bestemme suksessen av prosjektet. Det er vanlig at dette gjøres av en tredjepart, for eksempel energirådgivningsbedriften. Det er også vanlig at det er opprettet en energisparekontrakt³, og bedriften må da verifisere at resultatet som ble lovet har blitt oppnådd.

For dette finnes det en protokoll, «International Performance Measurement & Verification Protocol». Dette blir nærmere forklart i kapittel 5.

Måling- og verifikasjon ved hjelp av Energioppfølgingsystem

Energioppfølgingsystemet (EOS) er som nevnt et verktøy for innsamling, registrering og systematisering av energidata. Som for feilsøking ved funksjonskontroll EOS gir driftspersonalet mulighet for å lese av forbruk etter gjennomførte tiltak, og som derav kan brukes for verifisering av besparelser.

³ Se kapittel 3 for beskrivelse av energisparekontrakt.

3. Energisparekontrakt

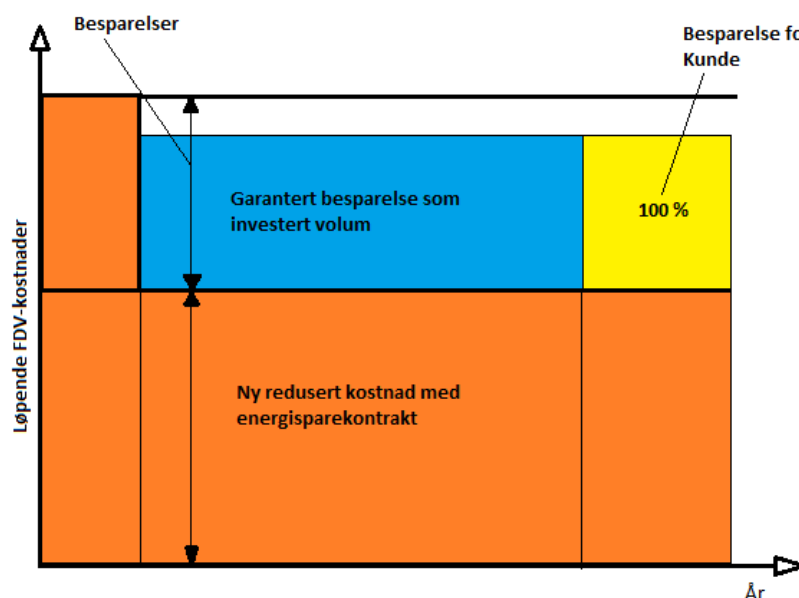
Selv om energisparepotensialet i et bygg kan være stort, er der flere byggeiere som vegrer seg mot å foreta investeringer i energieffektive tiltak. Den største utfordringen er byggeierens oppfatning av risiko. Byggeier har ofte ikke nok teknisk bakgrunn og/eller forståelse til å se den store energibesparelsen som en teknisk entreprenør gjør. Hvis entreprenøren ikke klarer å overbevise byggeier om den realistiske forventningen til besparelse, vil innslaget være krevende.

For å fremme energieffektivisering tilbyr flere bedrifter i dag energikontrakter, kalt *Energy Performance Contracts (EPC)*, som har fått den norske betegnelsen *Energisparekontrakt*. Dette skal garantere for besparelsen entreprenøren anslår for byggeier ved prosjektstart. Dette gjøres for å fremme energieffektivisering samt å være et bidrag for at redusere byggeierens økonomiske risiko.

Energisparekontrakt er et konsept for gjennomføring av energitiltak for å oppnå en vesentlig, langsiktig og kostnadseffektiv reduksjon av energibruk og energikostnader i bygningsmassene.

Først gjennomføres en analyse av nåverdien av potensielle energibesparelser inkludert investering, ved å gjennomføre en gitt investering. Deretter inngår tilbyder en energisparekontrakt med byggeier, der byggeier garanteres en gevinst. Tilbyder tar da høyde for egen fortjeneste og risikoen prosjektet innebærer.

Ettersom byggeier er garantert en besparelse, blir tilbyders fortjeneste redusert dersom de forventede besparelser ikke oppnås. Kontrakten inneholder også en avtale om hvordan eventuelle besparelser utover det analyserte potensialet skal fordeles. Jo større andel av besparelser utover analysen som forbeholdes byggeier, jo større incentiv har byggeier til å si ja til investeringene, se Figur 3-1. Løpende forvaltning-, drift og vedlikeholdskostnader (FDV) er kostnader gjennom hele byggets objektets levetid, fra overtagelse etter nybygging til utrangering eller riving.



Figur 3-1: EPC – Energisparekontrakt (mottatt av samarbeidsbedrift)

I følge samarbeidsbedrift inneholder kontrakten følgende punkter:

- Tilpasset offentlig anskaffelse (Konkurranse med forhandling etter forutgående kunngjøring i henhold til lov om offentlige anskaffelser).
- Det skal gis tilbud på prosess for garantert energisparing, som omfatter utvikling, gjennomføring og oppfølging av en energisparekontrakt.
- Konkurransereformen inviterer til kompetanse og kreativitetstest for å avdekke de beste energientreprenørene.
- Meget god miljøprofil og rask oppgradering.

4. Faktorer som påvirker energiforbruket i bygninger og oppnådd resultat som følge av ENØK-tiltak

En av de mest signifikante barrierene for å forbedre energieffektiviteten til bygninger, er mangel på kunnskap om faktorene som påvirker energiforbruket [33]. Det er ofte et betydelig avvik mellom designet og det virkelige totale energiforbruket i bygninger, der en rekke faktorer spiller en betydelig rolle. For å kunne bestemme den optimale løsningen for tiltak i bygg, er det nødvendig at en kjenner til disse faktorene, og samtidig er de viktig når en skal sammenligne energiforbruk og besparelser for forskjellige bygg.

En vanlig feil når en sammenligner energiforbruk i bygninger lokalisert i forskjellige klima, eller for samme bygning gjennom ett år med ulikt antall grad-dager⁴, er å anta at eksempelvis 10 prosent variasjon i antall grad-dager resulterer i 10 prosent variasjon i energiforbruk [34]. Denne sammenhengen er kun riktig dersom alt energiforbruk er proporsjonalt med antall grad-dager. Siden en stor del av bygningers energiforbruk ikke er relatert til oppvarming, er det mer sannsynlig at en 10 prosent økning i antall grad-dager vil resultere i 1 eller 2 prosent økning i energiforbruk.

I litteraturen finnes det eksempler på studier der bygnings- og brukerparametere har blitt brukt til å lage en modell på energiforbruket for bygninger. I en studie gjort av Sharp [35] er energiforbruk i kontorbygg studert for å avgjøre de mest bestemmende parameterne for «Energy Use Intensity» (EUI). Ved hjelp av lineær regresjon er det funnet at de mest bestemmende parameterne blant annet er gulvareal, antall ansatte, personlige datamaskiner, oppholdstid til brukerne, driftstid og tilstedeværelse og kjølere. I en ferskere studie gjort av Chung *et al.* [23] benyttes en multippel regresjonsmodell for å søke etter forklarende faktorer for EUI for kontorbygg. I denne studien ble de mest signifikante faktorene funnet å være bygningsalder, driftstid, gulvareal, antall forbrukere og en subjektiv kvalitativ beskrivelse av brukernes væremåte og vedlikehold.

I tillegg er det parametere som påvirker hvordan tiltakene gjennomføres, som igjen påvirker energiforbruket og resultatet som oppnås etter gjennomføringen.

For å kunne sørge for en oppnå en meningsfull sammenligning mellom ytelsene til ulike bygg og se på hva som skyldes at besparelsene ikke alltid blir som oppnådd, skal de neste kapitlene ta for seg noen av faktorene som påvirker energiforbruket og oppnådd resultat som følge av gjennomføring av ENØK-tiltak.

4.1 Bygningsrelaterte faktorer

4.1.1 Geografiske forskjeller i kostnader og sparepotensial

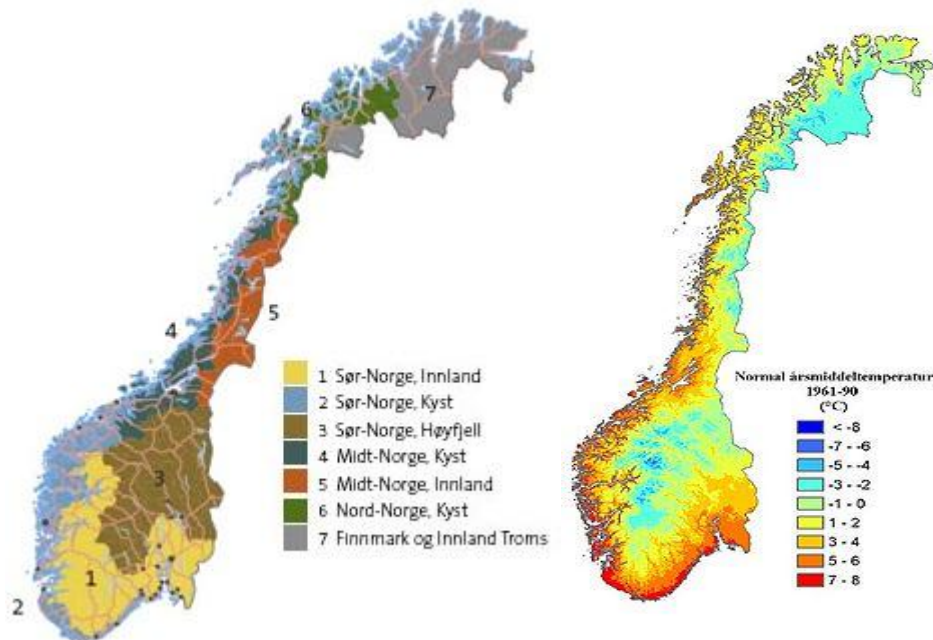
Investeringskostnaden for et gitt tiltak vil variere i stor grad mellom ulike geografiske lokasjoner. Eksempelvis er arbeidskostnader ofte høyere i byer enn de er på mindre steder, grunnet høyere etterspørsel.

Verden og Norge er inndelt i ulike klimasoner med ulik årsmiddeltemperatur, noe som medfører at sparepotensialet for et tiltak vil være avhengig av geografisk plassering. En studie gjort av Hense (2010) ser på sammenhengen mellom predikerte og målte resultater for gjennomførte

⁴ Grad-dager beskrives i kapittel 5.3.1

tiltak i bygg [7]. I dette studiet konkluderer Hense med at man i kalde klima må øke lufttettheten, samt oppgradere ventilasjonssystemet og oppvarmingssystemet, før en går over til fornybare energitiltak som termiske solfangere, som ville være mer lønnsomt i varmere strøk.

I tillegg til sparepotensial, vil energiforbruket til bygg lokalisert i forskjellige soner variere. Som vist i Figur 4-1 er Norge inndelt i 7 klimasoner.



Figur 4-1: De syv klimasonene og normal årsmiddeltemperatur 1961-90 i Norge [36]

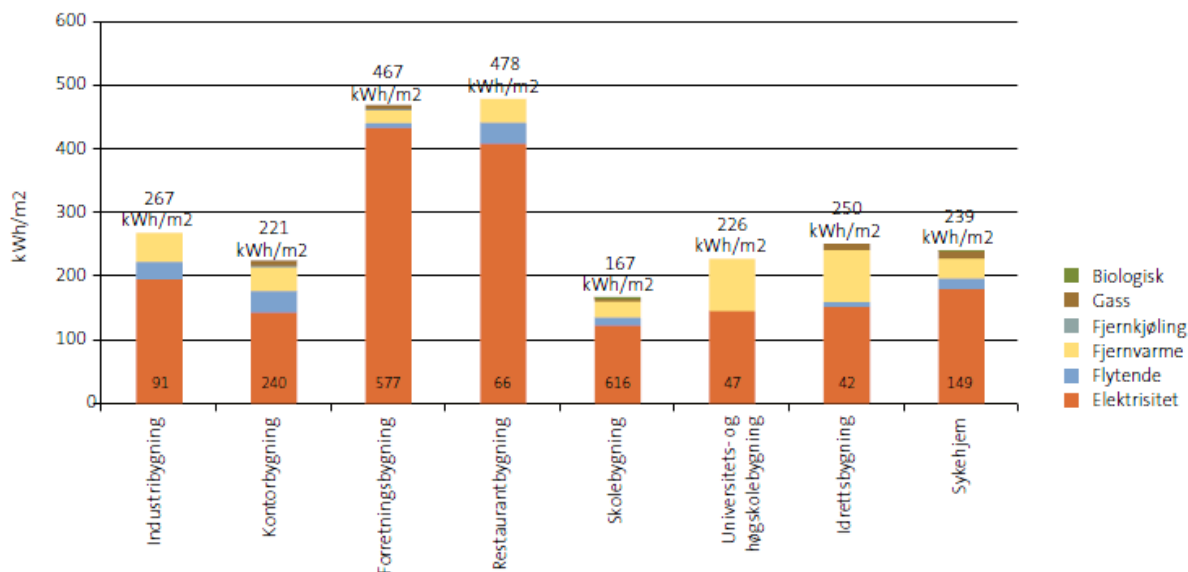
For disse klimasonene er det stor variasjon i temperatur, vind og nedbør, noe som påvirker energiforbruket. Av Figur 4-1 ser en at Norge har en relativt stor spredning i årsmiddeltemperatur.

4.1.2 Bygningskategori

Bygningskategori-faktorer er relatert til de prinsipielle virksomhetene i en bygning. Virksomhetene bestemmer i stor grad bygningens energibruk, både direkte på grunn av aktiviteten og indirekte på grunn av typen operasjon som skjer i bygningen som støtte til aktiviteten. For eksempel, bygninger som i stor grad er utstyrt med datamaskiner har høyt energiforbruk, typisk dobbelt så høyt som de byggene som ikke er utstyrt med datamaskiner [34]. Bygg ment for fysisk aktivitet trenger eksempelvis mer kjøling enn oppvarming.

Figur 4-2 illustrerer gjennomsnittlig tilført energi i 2010 for de største bygningsgruppene. Tall i søylene angir antall bygninger og tall over søylene angir samlet gjennomsnittlig temperatur- og steds-korrigert spesifikk tilført energi angitt i kWh/m². Temperatur- og steds-korrigeringen⁵ fører til at tallene i mindre grad påvirkes av skjev geografisk fordeling.

⁵ Se kapittel 5.3.1.1 for definisjon

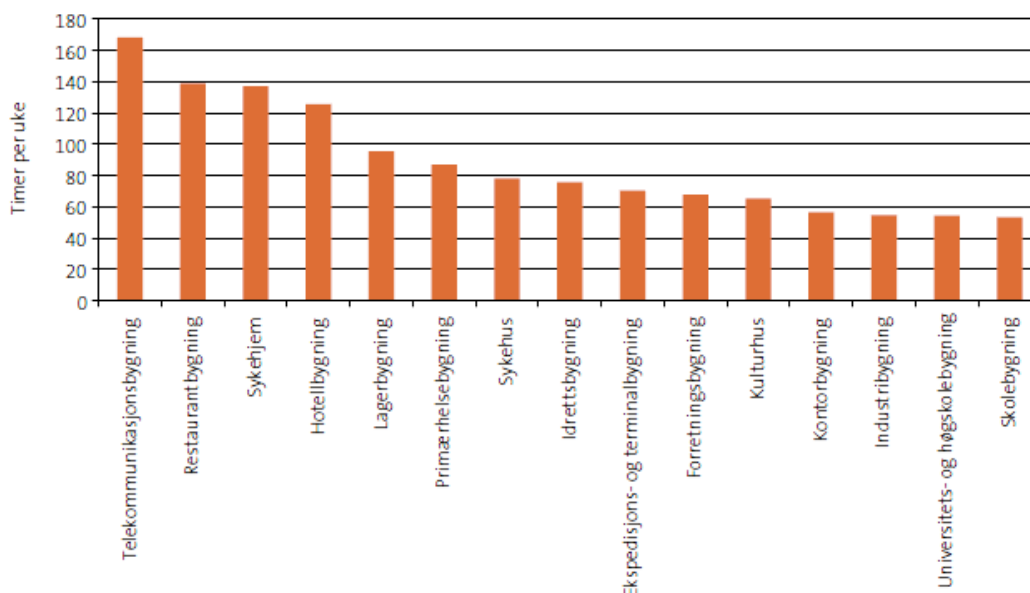


Figur 4-2: Visuell fremstilling av gjennomsnittlig temperatur- og stedskorrigert spesifikk tilført energi i 2010 for de største bygningsgruppene [36].

Av Figur 4-2 ser en at det er en stor variasjon i både energiforbruk og energibærere blant de ulike bygningskategoriene.

4.1.3 Brukstid og antall brukere

Brukstiden til bygget varierer fra bygg til bygg, og kan være mellom et par timer til 24 timer i døgnet. Figur 4-3 viser gjennomsnittlig samlet brukstid i timer per uke for de største bygningstypene. Det er 168 timer i uka.



Figur 4-3: Gjennomsnittlig samlet brukstid i timer per uke for de største bygningstypene [35].

Figuren viser stor spredning brukstid for de ulike byggene. Skoler har eksempelvis normal åpningstid åtte timer daglig, mens hoteller er åpne lengre og driftes store deler av døgnet. Skoler brukes kun på hverdager, mens boliger brukes hele uken. Dette gjør at to bygg som tilsynelatende er identiske, kan ha ulikt energiforbruk.

Antall brukere er også en påvirkende faktor. Få brukere kan føre at rom til tider ikke okkuperes, som igjen mindre behov for energitilførsel. Motsatt tilfelle kan føre til et større behov for ventilasjon og/eller kjøling.

4.1.4 Byggeårfaktor

Egenskaper ved bygninger varierer også med alder. Noen av disse variasjonene er som følge av normal aldringsprosess for systemer som bruker energi. Mens systemene aldres, minker deres operasjonseffektivitet. Begrodde batterirør og skitne ribber i et varmebatteri er eksempler på aldringsprosesser som påvirker energiytelsen til bygget, grunnet redusert varmeoverføring i forhold til det dimensjonerte. Dette kan igjen føre til at utløpsluften og vanntemperaturen avviker fra de dimensjonerende.

Andre aldersrelaterte faktorer som bidrar til variasjoner i energiforbruk er de gjeldende forskriftene bygningen er bygget etter. Nyere bygninger og systemer er bygd etter strammere standarder for energiytelsen. I tillegg krever dagens bygningslover (TEK10) [37] høyere energieffektivitet enn 10-15 år bak i tid. Kravene vil skjerpes ytterligere med kommende TEK15 og TEK20, hvor det er sannsynlig at passivhusstandard blir førende for byggets energiytelse.

4.2 Parametere som påvirker tiltaksgjennomføring

4.2.1 Energirådgiver og ressursbruk

I fase 1 og 2 i prosessen for gjennomføring av energieffektiviseringstiltak i bygg, beskrevet i kapittel 2.2, har energirådgiver(ne) stor innvirkning på hvilke tiltak som gjennomføres og hvordan gjennomføringen skjer. I tillegg er det energirådgiver(ne) som beregner besparelsene for de ulike tiltakene. I følge samarbeidsbedriften varierer det fra ansatt til ansatt hvordan dette gjøres, og fremgangsmåten avhenger av hvor lang erfaring den enkelte har.

Valg av tiltak og fremgangsmåte for å definere hvor stor besparelse de ulike tiltakene kan gi, er i noen tilfeller basert på erfaring. I tillegg er grad av ressursbruk varierende fra prosjekt til prosjekt. I store prosjekter, der en gruppe av rådgivere skal lage et forslag for energieffektiviseringstiltak til en kunde som ønsker å investere betydelig kapital, brukes det nødvendigvis mye mer tid og ressurser til analyse og beregning, enn for bygg med lave budsjetter. I samarbeidsbedriften blir normalt også de mest erfarne personene satt til å gjennomføre store prosjekter. Dette kan føre til at de små prosjektene, hvor mye av besparelsene er gjort mer basert antagelser og grove beregninger, har en større usikkerhet knyttet til beregnet besparelse enn for de store.

Energirådgiverne har også stor innvirkning på hvordan driftsansvarlig og byggeiere stiller seg til ønsket om å oppnå høy besparelse. De kan være med på å påvirke hvordan driftere og byggeiere skal drifte byggene for å opprettholde besparelsen over tid. Opplæringen blir ofte gitt av energirådgiveren som er med på prosjekteringene, som en del av entreprisekontrakten, og kvaliteten av denne kan være utslagsgivende for hvordan resultatet blir.

4.2.2 Forbruk basisår

Basisåret er definert som det året før tiltakene ble gjennomført. Energiforbruket i basisåret defineres ofte som et gjennomsnitt av forbruket for de siste to-tre årene.

I følge samarbeidsbedriften er det en forskjell i størrelsen på antatt besparelse for bygg med lavt forbruk i basisår og for bygg med høyt forbruk. For bygg med et veldig høyt energiforbruk i

forhold til standard for tilsvarende bygg, finnes det normalt et stort utvalg av potensielle sparetiltak og som derav vil føre til en høy antatt besparelse. I slike tilfeller våger de gjerne ikke å ta så mye i når en anslår besparelsen, siden tiltakene uansett vil være lønnsomme for kunden på grunn av det store potensialet. Motsatt kan det i bygg med lavt forbruk være vanskelig å finne lønnsomme tiltak. I slike tilfeller kan energirådgiver måtte ta litt ekstra i når en beregner besparelsene, for at de skal være lønnsomme.

Dette kan da føre til at besparelsen i bygg med høyt før-forbruk underestimeres i forhold reell besparelse, og motsatt, bygg med lavt forbruk kan få en overestimert besparelse i forhold til det reelle.

4.2.3 Enkelttiltak eller tiltakspakke

Tiltak kan gjennomføres alene eller sammen med andre i såkalte tiltakspakker. Tiltakspakker er en gruppe tiltak som gjennomføres samtidig.

Ved planlegging av tiltakspakker sees det ofte på besparelsen for tiltakene hver for seg, uten at det tas hensyn til interaksjonen mellom dem. Eksempelvis har en reduksjon i lys direkte påvirkning på energien som er nødvendig for belysning og en indirekte påvirkning på oppvarming og kjøling som følge av en reduksjon i varmebehov. Dette påvirker igjen energiforbruket til vifter og pumper.

En studie av Chidiac *et al.* [20], der det ses på tre ulike canadiske bygg med ulik størrelse, forbruk, lokasjon, alder, okkupasjonskarakteristikk m.m., viser at besparelsen for en tiltakspakke ikke alltid er lik summen av besparelsen for de individuelle tiltakene. Kunnskap om de interaktive påvirkningene ved implementering av tiltak på hver energikomponent er viktig for å oppnå en helhetlig forståelse av den resulterende endringen i forbruk. De interaktive påvirkningene må det tas hensyn til når det besluttes hvilke tiltak som skal gjennomføres og hva den endelige besparelsen blir.

Den anslåtte besparelsen for en tiltakspakke er også avhengig av rekkefølgen tiltakene gjennomføres. En studie gjort av Lee *et al.* [38] finner en strategi for å prioritere rekkefølgen på tiltak som fører til den største besparelsen basert på regresjon. I artikkelen slås det fast at energibesparelsen ikke kan evalueres på riktig måte før den prioriterte rekkefølgen på tiltakene er bestemt.

4.2.4 Menneskelige faktorer

En av de viktigste faktorene som bestemmer ytelsene til et bygg på er mennesker [34]. Mennesker bestemmer hvordan energien brukes. De kan sette opp og ned termostaten, de kan la lyset stå på når et rom ikke er i bruk eller de kan velge å gjennomgå funksjonskontroll gjennom byggets levetid eller ikke. Selv om mange bygninger i dag har en mer automatisert drift enn tidligere, har driftsansvarlige og de som oppholder seg i bygningen stor innflytelse på bygningens og utstyrets effektivitet og ytelse.

I tillegg er det mange ulike behov og krav som en bygning skal tilfredsstillere. Komfort er til en viss grad en subjektiv vurdering, og kan være avhengig av flere faktorer som alder, kjønn, sinnstilstand, bekledning, aktivitetsnivå, sykdom m.m. Det er en evig diskusjon og problemstilling hvorvidt alles behov skal dekkes, og hvor høye krav en skal stille til en bygnings luftkvalitet.

Det er så mange faktorer knyttet til menneskene som oppholder seg i byggene, at det er umulig å lage en komplett liste. En undersøkelse av Owens og Wilhite [39] viste at 10-20 % av husholdningsforbruk i Nordiske land kan spares ut fra brukernes atferd.

Identifisering av disse faktorene krever en sammenligning av energiprestasjonen under og utenfor byggets okkupasjonstid, samt eksaminasjon av vedlikeholds journaler og aktiviteter [34].

4.2.5 Bygningsdrift

Som nevnt i kapittel 2.2.1 er det nødvendig å gjennomgå kontinuerlig funksjonskontroll for å sørge for at oppnådd resultat som følge av de gjennomførte tiltakene blir som forutsatt. Dette gjelder både generell drift og vedlikehold, men også de tiltakene som gjennomføres som rene driftsrelaterte tiltak der besparelsen er avhengig av riktig drift. For at besparelsen for slike tiltak skal oppnås, er det avgjørende at de implementeres og gjennomføres riktig av driftsansvarlig.

I følge Haasl og Sharp [40] foretrekkes driftsansvarlige som kjenner til bygningens historie, og hvorfor og hvordan systemet driftes og opprettholdes. Energiledelse krever teknisk kunnskap for å forstå om bygningen fungerer som tiltenkt, for å identifisere og implementere muligheter for forbedringer. Eksempelvis når en feil oppstår i et system, er diagnostikken og retting av feilen overlatt til driftsansvarlig. Godt opplærte driftsansvarlige med gode holdninger til energieffektivitet, er viktig for en finansiell suksess for energiledelse. For å få anvendt nyttige data fra oppfølgingssystemet mer fremgangsrikt for opprettholdelse, er det viktig å sørge for nødvendig informasjon om bygningsdriften til driftsansvarlige slik at de faktisk forstår hva som virkelig skjer i en bygning. I tillegg til driftsansvarlig, er det viktig at også øvrige brukere kjenner til systemet, i hvert fall den delen som de manuelt kan styre. De bør ha en forståelse av hvorfor det er viktig med energieffektiv drift av en bygning og hva hver enkelt kan gjøre for å bidra. I tillegg til kjennskap til bygningsdriften, er det viktig at driftsansvarlig kjenner til bruksmønsteret og behovet til brukerne. Brukernes arbeidsoppgaver, rutiner og vaner må kartlegges. Her er det viktig med kommunikasjon mellom samarbeidspartene.

4.2.6 Motivasjonen til byggeier

Som tidligere nevnt finnes det flere grunner til at byggeiere i dag velger energieffektive løsninger, og det er ikke alltid kostnadsbesparelsen som er den største motivasjonsfaktoren.

Motivasjonen for valgene kan være utslagsgivende for hvordan resultatet blir. Hvorvidt byggeier og/eller driftsansvarlig er motivert til å spare energi, kan påvirke hvilke tiltak som velges ut, hvordan drift og vedlikehold utføres, og derav utbytte en oppnår som følge av implementeringen.

De neste delkapitlene nevner noen av de faktorene som er relatert til motivasjon.

4.2.6.1 Kostnadsbesparelse

Kostnadsbesparelse er i de fleste tilfeller den viktigste motivasjonen for å velge energibesparende tiltak. Som nevnt i kapittel 2.2 er tilbakebetalingstiden den viktigste faktoren som påvirker et firmas valg for investering. For opprettholdelsen av besparelsen er det likevel viktig at byggeiere og /eller driftsansvarlig ser pengestrømmen som kommer *etter* at investeringen er nedbetalt.

Rigide regnskapssystemer hos byggeier kan være en barriere for oppnåelse av ønsket besparelsen, eksempelvis i de tilfeller investeringer og driftsutgifter behandles og budsjetteres separat av ulike personer eller avdelinger. Mange utleiere videresender energikostnadene indirekte gjennom

husleien og fokuserer derfor lite på energieffektivitet. Energikostnaden blir da heller ikke synlig for leietaker som dermed mangler incentiv til lav energibruk. I andre tilfeller viderefaktureres alle energikostnader direkte til leietaker. Leietaker har da et incentiv til å effektivisere, mens byggeieren ikke har noen incentiver.

4.2.6.2 Redusere klimapåvirkningen

Bevissthet rundt de negative konsekvensene høyt energiforbruk har på miljøet har ført til at mange ønsker å ta samfunnsansvar og være miljøbevisste. For noen kan dette ene og alene være grunnen til at de ønsker å spare energi.

4.2.6.3 Helseperspektiv

Flere av tiltakene som er aktuelle for energieffektivisering, bærer også med seg en helsegevinst. Et eksempel på dette er behovsstyrt ventilasjon med CO₂-sensor. Behovsstyrt ventilasjon søker å minimalisere luftmengder ved å regulere etter luftmengdebehovet, og at systemet skal tilpasse seg dette med så lavt energibruk som mulig samtidig som kravet til godt innemiljø opprettholdes [29]. Ved hjelp av CO₂-sensoren kan en styre ventilasjonen slik at luftmengden tilpasses forurensingen i luften. I ventilerte rom er ikke CO₂ i seg selv årsaken til dårlig luftkvalitet, men den er ofte brukt som en indikator siden den er lett og billig å måle. Dersom CO₂-konsentrasjonen er høy, er konsentrasjonen av andre personrelaterte forurensninger også høy. Disse personrelaterte gassene er ikke ansett som skadelige i seg selv, kan det redusere komforten og luftkvaliteten. Dette kan medføre tretthet, svimmelhet og hodepine.

Et annet eksempel er styring av oppvarming ved hjelp av temperaturmålere. For høy innetemperatur i forhold til optimalt er ikke bare sløsing av energi, men kan også føre til følelsen av tretthet, hodepine og svimmelhet. Ved å ha temperatursensor vil avgitt varme fra radiatorer, gulvvarme o.l. styres etter ønskelig og egnet innetemperatur.

4.2.6.4 Verdiøkning av bygget

En av de viktigste barrierene for implementering av ENØK-tiltak er at kostanden av en potensiell energibesparelse, som typisk vurderes som den eneste økonomiske fordelen, ikke er tilstrekkelig motivasjon til investering. En studie gjort Popescu *et al.* [41] ser på hvorvidt markedsbaserte instrumenter, ved å kapre en økning i økonomisk verdi for energieffektive bygninger, også kan benyttes til å fremme handling for energibesparelse. Ved dette kan tilbakebetalingstiden på investeringen være avhengig av to faktorer: potensielt energibesparelse og tilført verdi til bygget. Studien viser at tiltak som fører til en termisk forbedring av et bygg i Romania øker verdien på gamle boligbygg med 2-3 %. I tillegg ble det sett på villigheten til å betale tilbake for investeringer som er gjort. Studien viser at 60 % av investeringer i termisk forbedring, kan bli dekket gjennom transaksjon av eiendommen. På denne måten kan en se på gjennomføring av energieffektive løsningen på lik linje som en vanlig investering i oppussing av bolig – pusse opp for profitt og videre salg.

4.2.6.5 Status og sosial gevinst

For noen byggeiere er det ikke de direkte følgene av energieffektivisering som betyr mest, men de indirekte virkningene som gjennomføringene får utad. I følge en av rådgiverne i samarbeidsbedriften er ofte status en viktig motivasjon for byggeiere, spesielt for store bygg med høyt energiforbruk. Et eksempel på dette er store flyplasser, der energibudsjettet er lavt i forhold til helheten, er status og bildet de sender ut til kunden av større betydning enn besparelsen de får

i kroner og øre. Dette kan ha spesiell stor påvirkning på hvordan besparelsen opprettholdes over tid da det viktigste i disse tilfellene er det faktumet at de har gjennomført energieffektive tiltak, og ikke at besparelsen oppnås og opprettholdes.

5. Metode

«The International Performance Measurement and Verification Protocol» (IPMVP) [14] beskriver en prosedyre som bør følges for å måle virkningen av et energisparetiltak på en troverdig måte. Utgangspunktet er at metodikken for å verifisere hvorvidt målsetningene nås, bør være en del av utformingen av tiltaket. Målet med denne oppgaven er blant annet å evaluere, verifisere og oppfølge besparelser oppnådd som følge av gjennomførte ENØK-tiltak i bygg, og det er da hensiktsmessig å benytte denne metoden i evalueringen.

Som nevnt i kapittel 2.2.1 er måling og verifikasjon er en prosess som bruker reelle målinger for reelt å definere de faktiske besparelsene som følge av gjennomføring av tiltak. IPMVP, utgitt av U.S. Department of Energy (DOE) i 1994-1995 [14], har laget prosedyren for å gi en generell fremgangsmåte for å sammenligne målt energibruk- eller etterspørsel før og etter gjennomføring av energisparetiltak ved hjelp av ligning (1):

$$\text{Energisparing} = \text{Energibruk basisår} - \text{Energibruk etter gjennomføring} \pm \text{Korrigeringer} \quad (1)$$

Her er forbruk i basisåret definert som forbruket før implementering av energisparetiltak. Begrepet «Korrigeringer» gir energibruken i de to tidsperiodene samme vilkår ved å korrigere for forskjeller i vær, oppholdstid, virkemåten til utstyret, areal osv.

Protokollen har blitt en nasjonal måling- og verifikasjonsstandard i USA og i mange andre land, og har blitt oversatt til over 10 språk. Den praktiseres ikke som standard i Norge, men er benyttet av flere bedrifter som veiledning.

5.1 Protokollens funksjon

IPMVP etablerer en generell ramme for terminologi for å bistå kjøpere og selgere med måling og verifikasjon ved at den;

- Anskaffer kjøpere, selgere og investorer i energieffektive prosjekt et sett av betingelser for å diskutere prosjektrelaterte måling og verifikasjons-problemer og etablere metoder som kan brukes i energiytelseskontrakter.
- Definerer teknologier for å fastsette sparing for både hele fasiliteter og en individuell teknologi.
- Kan anvendes på mange ulike fasiliteter inkludert boligbygg, yrkesbygg, institusjoner, industrielle bygg og industrielle prosesser.
- Gir prosedyrer for fremstilling som; i) kan anvendes på like prosjekter gjennom alle geografiske regioner, og ii) er internasjonalt akseptert, objektiv og pålitelig.
- Presenterer prosedyrer, med varierende nivå for nøyaktighet og kostnader, for måling og/eller verifikasjon: 1) grunnlinje og tilstander til prosjektinstallasjonen, og 2) langtid-energisparring.
- Gir en omfattende fremgangsmåte for å forsikre at inneklimaet i bygg er tatt hensyn til i alle deler av prosessen.
- Frembringer et dokument som inkluderer et sett av metoder og prosedyrer som gjør at dokumentet utvikler seg over tid.

5.2 Fremgangsmåte

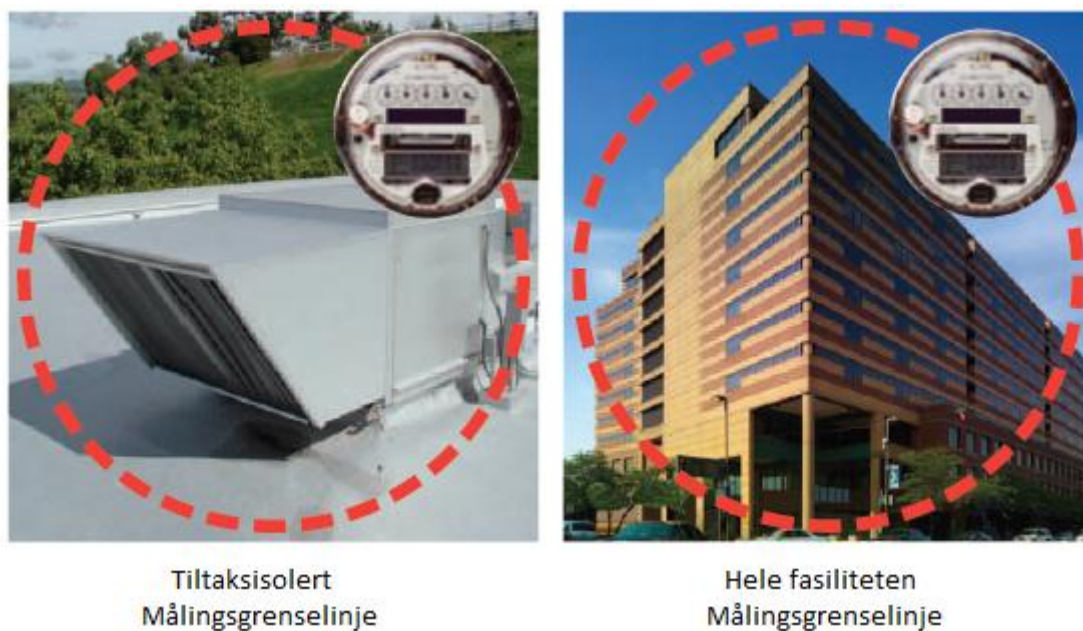
Fire grunnleggende alternativer presenteres for å fastsette energibesparelse i IPMVP, se Figur 5-1:

- **Alternativ A:** Gjelder verifikasjon av ytelsesparametere og innebærer å fastsette langsiktig sparing ved fri bruk av vilkår av brukeren. Den isolerer energibruken til utstyret påvirket av Energy Conservation Measures (EMC) fra energiforbruket til resten av fasiliteten. Bare partielle målinger er brukt under alternativ A, med noen parametere som stipuleres (fastsettes) istedenfor å måles. Målinger kan enten være kortsiktig eller kontinuerlige.
- **Alternativ B:** Identisk som alternativ A, bare at det ikke er lov å stipulere i alternativ B. Med andre ord, alle parametere må måles.
- **Alternativ C:** Energibesparelse er bestemt ved å måle energiforbruket på hele fasilitetsnivået.
- **Alternativ D:** Energibesparelse er bestemt gjennom simulering av energibruket for komponenter eller hele fasiliteten.

M&V Option	How Savings Are Calculated	Typical Applications
<p>A. Partially Measured Retrofit Isolation</p> <p>Savings are determined by partial field measurement of the energy use of the system(s) to which an ECM was applied, separate from the energy use of the rest of the facility. Measurements may be either short-term or continuous.</p> <p>Partial measurement means that some but not all parameter(s) may be stipulated, if the total impact of possible stipulation error(s) is not significant to the resultant savings. Careful review of ECM design and installation will ensure that stipulated values fairly represent the probable actual value. Stipulations should be shown in the M&V Plan along with analysis of the significance of the error they may introduce.</p>	<p>Engineering calculations using short term or continuous post-retrofit measurements and stipulations.</p>	<p>Lighting retrofit where power draw is measured periodically. Operating hours of the lights are assumed to be one half hour per day longer than store open hours.</p>
<p>B. Retrofit Isolation</p> <p>Savings are determined by field measurement of the energy use of the systems to which the ECM was applied, separate from the energy use of the rest of the facility. Short-term or continuous measurements are taken throughout the post-retrofit period.</p>	<p>Engineering calculations using short term or continuous measurements</p>	<p>Application of controls to vary the load on a constant speed pump using a variable speed drive. Electricity use is measured by a kWh meter installed on the electrical supply to the pump motor. In the baseyear this meter is in place for a week to verify constant loading. The meter is in place throughout the post-retrofit period to track variations in energy use.</p>
<p>C. Whole Facility</p> <p>Savings are determined by measuring energy use at the whole facility level. Short-term or continuous measurements are taken throughout the post-retrofit period.</p>	<p>Analysis of whole facility utility meter or sub-meter data using techniques from simple comparison to regression analysis.</p>	<p>Multifaceted energy management program affecting many systems in a building. Energy use is measured by the gas and electric utility meters for a twelve month baseyear period and throughout the post-retrofit period.</p>
<p>D. Calibrated Simulation</p> <p>Savings are determined through simulation of the energy use of components or the whole facility. Simulation routines must be demonstrated to adequately model actual energy performance measured in the facility. This option usually requires considerable skill in calibrated simulation.</p>	<p>Energy use simulation, calibrated with hourly or monthly utility billing data and/or end-use metering.</p>	<p>Multifaceted energy management program affecting many systems in a building but where no baseyear data are available. Post-retrofit period energy use is measured by the gas and electric utility meters. Baseyear energy use is determined by simulation using a model calibrated by the post-retrofit period utility data.</p>

Figur 5-1: Måling- og verifikasjonsalternativer [14]

Disse alternativene er gruppert inn i to generelle kategorier: tiltaksisolert (alternativ A og B) og hele fasiliteten (Alternativ C og D). En av de fundamentale forskjellene mellom disse alternativene, er hvor besparelsesgrenselinjen er (se Figur 5-2). Tiltaksisolerte strategier fokuserer på det individuelle tiltaket og dets påvirkning på en spesifikk del av utstyr og system. Metode for hele fasiliteten er basert på enten å måle energiforbruket for hele fasiliteten eller simulert energiforbruk for hele fasiliteten. Fremgangsmåten for hele fasiliteten er mest hensiktsmessig for mer omfattende oppgraderinger der besparelsen forventes å være mer enn 10 % eller mer av det totale energiforbruket [15].



Figur 5-2: Målingsgrenselinje for Måling- og verifikasjons-alternativ [15]

Når man har valgt et passende alternativ følger man følgende fremgangsmåte:

1. Skaff energidata fra tidligere år.
2. Definer energisparetiltak. Denne skal inkludere dokumentasjon for både designformål og metoder som skal brukes for å demonstrere oppnåelsen av designformålet.
3. Finn måling- og verifikasjons-plan (se kapittel 5.3). Planen definerer meningen med ordet ”besparelse” for hvert prosjekt. Den skal inneholde resultatene i steg 1-2 over og skal definere påfølgende steg 4-7.
4. Prosjekter, installer og test spesielle målinger som behøves under måling- og verifikasjons-planen.
5. Etter programmet for energisparing er implementert, undersøk det installerte utstyret og gjennomgått operasjonsprosedyre for å forsikre designformålet definert i steg 2 (funksjonskontroll).
6. Finn energi- og driftsdata etter tiltaket er implementert, samsvarende med det som var baseåret og som definert i måling- og verifikasjons-planen.
7. Regn ut og rapporter sparingen i følge måling- og verifikasjons-planen.

5.3 Måling -og verifikasjonsplan

Klargjøring av en måling -og verifikasjonsplan i forkant er sentralt for riktig fastsettelse av besparelse og basisen for verifikasjon. Hvert prosjekt bør etablere en egen plan som skisserer alle aktivitetene som skal gjennomføres.

Tilslutning til IPMVP krever forberedelse av et prosjekts spesifikke måling- og verifikasjons-plan som er forenlig med IPMVPs terminologi. Den må navngi IPMVP-alternativ, måling-, overvåking- og analyse-metoder som skal benyttes, kvalitetssikringsprosedyrer som skal følges, og personen(e) som er ansvarlig for måling- og verifikasjon. Nøkkelpunkter i måling- og verifikasjons-planen er skissert i Tabell 5-1:

Tabell 5-1: Nøkkelpkomponenter i en måling- og verifikasjons-plan

Nøkkelpkomponenter i en måling- og verifikasjons-plan	
Prosjektbeskrivelse	<ul style="list-style-type: none"> • Tiltaksgrenser og krav til målinger • Dokumentasjon fra basisåret
Prosjektbesparelse og kostnader	<ul style="list-style-type: none"> • Beskrivelse av tiltakene og forventet resultat • Estimerte besparelser og kostnader
Kartlegging	<ul style="list-style-type: none"> • Plan for innhenting av informasjon for basisåret • Plan for alle måling- og verifikasjons-aktiviteter som skal gjøres
Rapportering	<ul style="list-style-type: none"> • Alle antakelser og kilde for data • Identifisering av avvik fra forventede forhold • Avgrensning av perioden for etter gjennomføring • Dokumentasjon for intensjonen med tiltakene • Definisjon av kalkulasjonsmetode som skal brukes

5.3.1 Kontinuerlig måling og verifikasjon

I tillegg til å verifisere besparelsen rett etter gjennomføring, er det også viktig å se om besparelsen opprettholdes over tid. For å realisere den fulle verdien av tiltakene bør kontinuerlig måling og verifikasjon inkluderes som en del av måling- og verifikasjons-planen, og derav å være en hjelp til å sørge for besparelsen gjennom hele levetiden til utstyret. Det må derfor tidlig avgjøres hva som skal måles, og hvordan data skal samles inn og lagres. Dataene må så lagres på en måte som er hensiktsmessig for framtidig bruk. Det samme gjelder for innsamlingen av dataene etter at programmet er satt i verk. Systematiseringen og lagringen av data har stor betydning for hvilke analyser det er mulig å gjøre i etterkant.

Kontinuerlig måling og verifikasjon kan overlappe med kontinuerlig funksjonskontroll (se kapittel 2.2.1). Ofte kan disse innsatsene kombineres og automatiseres inn i bygningens automatiseringssystem eller feil og – diagnostikkssystem.

I følge samarbeidsbedriften er det tre grunner til at besparelsen ikke oppnås eller at den avviker med tiden:

1. Byggherre driver ikke bygg og anlegg som forutsatt i avtale mellom byggherre og ENØK-bedrift.
2. Feil på utstyr/komponent installert av ENØK-bedriften.
3. ENØK-bedriften har gjort feil vurderinger eller beregninger.

Som nevnt kan også bygget og driften av det endres med tiden, noe som gjør at forbruket vil variere. Med dette er det viktig å gjennomgå funksjonskontroll og jevnlig måling og verifisering for å fange opp disse endringene, slik at de kan korrigeres, for å beregne den faktiske oppnådde besparelsen. Eksempelvis kan et bygg ha en økning i areal året etter gjennomføring, noe som også kan øke energiforbruket. Da er det viktig å korrigere forbruket i basisåret for denne endringen, slik at riktig besparelse kan bergenes.

5.3.1.1 Graddagskorrigering

En av de viktigste faktorene som påvirker energiforbruket til oppvarming, er utetemperaturen [42]. Forventet energiforbruk relateres til et normalår med hensyn på utetemperaturen. Dersom utetemperaturen er lavere enn normalt på vinteren, vil energiforbruk til oppvarming bli høyere enn ved normalt. Dette kan det tas hensyn til ved å korrigere etter graddagstall. Graddagstall er en størrelse som sier noe om oppvarmingsbehovet (fyringsbehovet) på et bestemt geografisk sted. Graddagstallet for et døgn defineres som antall grader døgnetts middeltemperatur ligger under 17 °C. Man antar at det ikke foreligger noe fyringsbehov når døgnmiddeltemperaturen overstiger 17 °C.

Graddagskorrigering gjøres ved å se på hva utetemperaturen faktisk har vært i forhold til et normalår ved hjelp av ligning (2):

$$E_t = E * \frac{GD_{normal}}{GD} * k + (1 - k) * E \quad (2)$$

Der,

E_t : Graddagskorrigert forbruk

E: Energiforbruket for det aktuelle året

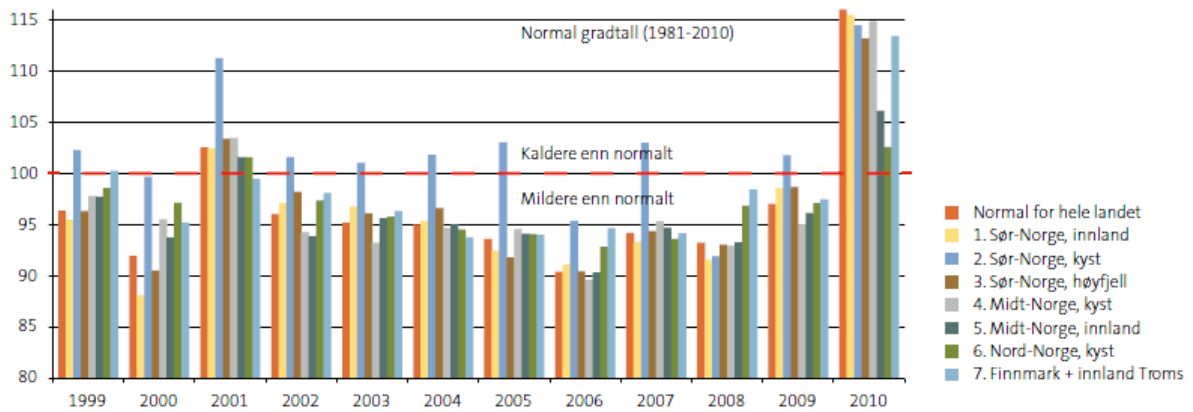
GD_{normal} : Graddagstall for normalår

GD: Graddagstall for det aktuelle året

k : Korreksjonsfaktor, som er andel av forbruket som er temperaturavhengig og derav skal graddagskorrigeres

- **Hvordan defineres normalperioden?**

Den meteorologiske verdensorganisasjonen, WMO, har bestemt offisielle tidsperioder på 30 år, og periodene er 1901-1930, 1931-1960, 1961-1990, 1991-2020, osv. [43]. Nå benyttes normalperioden 1961-1990. Samtidig som oppmerksomheten rundt global oppvarming er blitt store, er det blitt vanlig å operere med såkalte ”nasjonale normalperioder” (30 års tidsintervall som flytter hver 10.år og overlapper). Nå benyttes nasjonale normalperioden 1971-2000 [44]. Figur 5-3 viser utvikling fra 1990 til 2010 i gjennomsnittlig graddagstall i prosent av normal av graddagstall for 1981-2010.



Figur 5-3: Utvikling fra 1999 til 2010 i gjennomsnittlig energigradtall i prosent av normal av energigradtall for 1981-2010 [31]

5.3.1.2 Andre korrigeringer

I tillegg til graddagskorrigeringer, er energiforbruket i denne oppgaven korrigert i forhold til kjente endringer som har blitt gjort underveis i bygget. Dette har vært arealendringer, endring i driftstid, endring i brukstid etc. Slike korrigeringer har blitt gjort ved å endre før-forbruket i forhold til endringer i energiforbruk som følge av hendelsene. Disse korrigeringene har blitt gjort basert på enten tall oppgitt av byggeier eller gjennom egne beregninger.

6. Eksempelbygninger

Målet med denne oppgaven er å verifisere besparelser, oppnådd i bygg som følge av gjennomførte ENØK-tiltak, i henhold til IPMVP. I tillegg er det et mål å etablere et forhold mellom antatte og oppnådde besparelser for å se hva som eventuelt skyldes at besparelsene ikke alltid blir som forutsatt. Det var da nødvendig å samle inn data og informasjon om bygg som har gjennomført ENØK-tiltak og som samtidig har etablert en form for overvåking, eksempelvis EOS. Overvåkingssystemet er nødvendig for å hente ut forbruk for før og etter gjennomføring, slik at besparelsen kan evalueres og verifiseres.

Dette kapittelet presenterer samarbeidsbedriften som prosjekterte og gjennomførte tiltakene i byggene, metoden for datainnsamling og utfordringer rundt dette og beskrivelse av eksempelbygningene og metoden for analysen.

6.1 Samarbeidsbedrift

For å skaffe tilgjengelige data for bygninger som har gjennomført ENØK-tiltak er det i denne oppgaven samarbeidet med en energirådgiving- og entreprenørbedrift. Samarbeidsbedriften leverer energieffektivisering, fornybar energi og energitjeneste for bygg og industri, og leverer energispareprosjekter som totalentrepriser, det vil si at de står for både prosjektering og utførelse.

For hvert bygg som samarbeidsbedriften gjennomfører ENØK-tiltak hos, lages det innledningsvis en ENØK-analyse av bygget. Analysen er et beslutningsgrunnlag for byggeier, og spesifiserer hvilke tiltak som er mest lønnsomme, hvilke investering som kreves og hvilke besparelser tiltaket eller tiltakene vil gi. Samarbeidsbedriften gir gjennom analysen garanti for både investering og besparelse. Analysen inneholder også finansieringsanalyse og beskrivelse av hvilken økonomisk støtte som kan oppnås.

For flere av byggene som samarbeidsbedriften gjennomfører ENØK-tiltak hos, inngås det en energisparekontrakt som beskrevet i kapittel 3. Lengden for garantien varierer, men alle byggene har en garanti på minst ett år etter gjennomføring. Dette betyr at dersom oppnådd besparelse etter første år er lavere enn garantert, må energirådgiver(ne) analysere hva årsaken kan være og gjøre grep for å få ned energiforbruket. I flere tilfeller gjøres dette ved at bedriften går inn i og styrer byggene over en periode.

6.2 Metode for datainnsamling

Den største delen av datainnsamlingen gikk ut på å lete gjennom systemene til samarbeidsbedriften. Det finnes ingen database eller system som inneholder samlet informasjon om byggene som har gjennomført tiltak. Det første steget var å finne bygg som hadde tilgjengelig EOS. Det neste steget var å spore opp ENØK-analyser. Videre var det å finne ut hvilke tiltak som faktisk ble gjennomført og eventuelle endringer som ble gjort underveis. Det viste seg at ikke nødvendigvis alle tiltakene som anbefales i ENØK-analysene som blir gjennomført, og at det kan skje mange endringer underveis i gjennomføringen som kan avvike fra det som var tiltenkt når analysen ble skrevet. I tillegg viser det seg at flere av byggene har gjennomgått store endringer etter gjennomføring av tiltakene (endringer i bruksmønster, areal, åpningstider osv.), som gjør at byggene avviker fra det som ble definert som basisåret i ENØK-analysen. Det siste

steget var å finne ut tilstrekkelig informasjon om bygget. Valget av hvilke bygg som skulle benyttes, er tatt ut i fra tilgjengelighet av tilstrekkelig data, både kvantitativt og kvalitativt.

Gjennomførte tiltak, antatte besparelser, investeringskostnader, før-forbruk og øvrig informasjon om basisåret for byggene er hentet ut fra ENØK-analysene, samt gjennom samtaler med energirådgivere. For å finne forbruket etter gjennomføringen er som nevnt EOS benyttet. Informasjonen om endringer i bygget og utføringen av tiltakene er hentet gjennom samtaler med energirådgivere i bedriften, gjennom rapporter som ble laget av servicepersonalet som følger opp byggene, samt av kontaktpersoner for de analyserte byggene.

Alle data som ble funnet, er samlet og organisert i en database, se oppsett i vedlegg A. Databasen er inspirert av IEAs Annex 47 [45]. Dette dokumentet beskriver de viktigste dataene som kreves for å gjennomføre analysen.

6.2.1 Utfordringer

Både kvaliteten og kvantiteten av dataene som ble funnet, varierer fra bygg til bygg. Årsaken til dette er mange. For det første var det en utfordring og en tidskrevende jobb å lete seg gjennom systemene til samarbeidsbedriften for å finne den nødvendige informasjonen om de ulike byggene. For det andre kan det være en del informasjon som byggeieren ikke ønsker å gi fra seg. For det tredje var det i mange tilfeller vanskelig å finne ut hvilke tiltak som faktisk ble gjennomført og når gjennomføringen skjedde. I tillegg var det krevende å finne ut om det ble gjort endringer i byggene underveis. For å kunne si noe om besparelsen, er det viktig å ha et sammenlignbart før-forbruk. Hvis et bygg for eksempel utvidet arealet sitt i løpet av analyseperioden, ville dette naturligvis gi et høyere energibruk. I slike tilfeller må før-forbruket korrigeres for en slik endring for å få en riktig sammenligning av før- og etter-forbruk. I følge energirådgiver er det nesten uten unntak at bygg endrer seg med tiden så mye at basisåret ikke gjelder lengre enn året etter gjennomføring.

I flere tilfeller kunne det gjennom samtaler med energirådgiverne som kjenner til de ulike byggene, avdekkes endringer som ble gjort underveis. Men i følge samarbeidsbedrift blir ikke alle endringer blir informert om. Mye av kommunikasjonen som foregikk underveis i prosjekteringen, gjennomføringen og i etterkant har skjedd enten muntlig eller per mail, og ligger derfor ikke tilgjengelig for senere bruk. I tillegg er flere av prosjektene såpass gamle at energirådgivere som hadde ansvaret for prosjektene ikke lengre jobber i bedriften, og derfor ikke er tilgjengelig for å svare på henvendelser. Det samme gjelder driftsansvarlige for byggene.

Generelt er systematiseringen og lagringen av data svært mangelfull, noe som har gjort at verifisering i henhold til IPMVP i ettertid har vært krevende. I denne oppgaven ble det gjort korrigeringer i de tilfellene der det var opplyst om endringer. Utover dette ble det antatt at tilstandene ikke endret seg over analyseperioden. Dette gjør at det ligger en usikkerhet tilknyttet resultatene om det har forekommet endringer som ikke er blitt avdekket. De ulike korrigeringene som ble gjort underveis er beskrevet i kapittel 5.3.1.

For alle byggene er det gjennomført flere tiltak, i såkalte «tiltaks pakker». I oppgaven var det i utgangspunktet et mål å kunne finne ut hvilke tiltak som ga de beste resultatene. Imidlertid var det ingen av byggene, som er benyttet i dette arbeidet, utstyrt med detaljert logging, slik at det er mulig å kunne se på besparelser på tiltaksnivå. Samarbeidsbedriften som gjennomførte tiltakene i byggene opererer kun med tiltaks pakker, og totale besparelser. Det var mulig å innhente

informasjon om antatt besparelse per tiltak, men ikke faktisk oppnådd besparelse per tiltak etter gjennomføring. I tillegg var det i flere tilfeller vanskelig å finne ut detaljert informasjon om hvert av tiltakene, slik at det var mulig å avdekke hvor potensialet i besparelsene lå.

I tillegg var det for kun for 14 av de 41 analyserte bygningene mulig å avdekke besparelser fordelt på ulike energibærere (elektrisitet, fjernvarme osv.). De resterende bygningene bruker enten bare elektrisitet, eller så var det ikke mulig å måle av forbruket fordelt på de ulike energibærerne. En nærmere analyse av dette blir gjort i kapittel 7.2.3. Ut over denne analysen, er det i denne oppgaven valgt å se på kun totale besparelser og forbruk.

I følge Nygård [46], ansatt ved Trondheim kommune, er detaljert logging av data kun noe de utførere ved mistanke om feil i anlegget. De har ukentlige rapporter på Energitjeneste (Entro [47]) for å se etter avvik, og ved avvik undersøker de om det for eksempel har forekommet endringer og feil i anlegget. Det er ingen indikasjon på at de bruker kontinuerlig datalogging gjennom SD-anlegget for å registrere, overvåke og analysere energibruken i bygget. For noen bygg legges det inn punkter for kontinuerlig logging ved driftsstart av anlegget, men i følge Nygård [46] er det helt tilfeldig hvilke punkter dette er. Dette er med unntak av helt nye bygg, på grunn av ønske om mer nøye oppfølging av nye «prestisje-bygg».

I tillegg til de overnevnte er det en usikkerhet tilknyttet målefeil og beregningsfeil, både gjort i denne oppgaven og av energirådgiver i samarbeidsbedrift. Nærmere analyse av usikkerhetene blir gjort i kapittel 8.

6.3 Metode for beregning av besparelser

For å verifisere besparelsene er IPMVP benyttet med alternativ C. Besparelsen er beregnet ut i fra likning (1). Basisåret for hvert bygg er definert som året der analysen av bygget fant sted, som normalt er året før gjennomføring. Videre er forbruket for basisåret definert som gjennomsnittet av forbruket for de siste to-tre årene før gjennomføringen. Antatt besparelsene for hvert bygg er hentet ut i fra ENØK-analysene som ble laget av bedriften i forkant av gjennomføringen.

Det er i denne oppgaven valgt å korrigere for følgende: temperaturendring, arealendring og endring bruk av bygget. Informasjon om arealendringer og endringene i bruk av bygget er oppgitt av samarbeidsbedriften og kontaktpersoner for byggene. Hvilke korrigeringer som er gjort er ulikt for de ulike byggene, er avhengig av hvilke tilstandsendringer som har forekommet i forhold til basisåret. Forbruker før og etter gjennomføring er derimot graddagskorrigert for alle byggene. Graddagstallene og korreksjonsfaktorene er også mottatt av samarbeidsbedrift, og er beregnet av Meteo Norge. Grunnlaget for beregningene utført av Meteo Norge er data fra observasjonsstasjonene til Meteorologisk institutt [48].

6.4 Beskrivelse av eksempelbygningene og basisårene

41 bygninger er inkludert i dette arbeidet. Det er god spredning i observasjonene, både når det gjelder antall gjennomførte tiltak, type tiltak, byggeår, før-forbruk, antatt besparelse og bygningstype.

Valget for hvilke bygninger og bygningskategorier som skulle inkluderes i dette arbeidet, er gjort på grunnlag av tilgjengelig informasjon. Som nevnt har jobben for å finne tilstrekkelig

informasjon og data for de ulike byggene har vært en vanskelig og tidskrevende oppgave, og de byggene som er plukket ut er derav valgt på grunnlag av kvaliteten og kvantiteten på tilgjengelig data.

Byggene er delt inn i seks ulike kategorier: Hotell (H), skoler (S), kontorer (K), kjøpesentre (Kj), helsebygg (He) og idrettsbygg (I). I Tabell 6-1 til Tabell 6-6 er det listet opp teknisk informasjon om hvert bygg.

Tabell 6-1: Teknisk data for hotellene

Navn	Klimasone	Oppvarmet areal (m ²)	Antall rom	Byggeår	Antall tiltak	Investeringskostnad (kr)	Forbruk basisår (kWh/m ² år)	Antatt besparelse (kWh/m ² år)
H1	3	8 200	83	-	7	524 702	312	55
H2	1	20 584	480	2001	5	2 850 772	369	111
H3	6	6 600	147	2000	6	993 069	286	89
H4	1	21 326	252	1917	7	3 343 149	368	99
H5	1	3 983	180	1929	2	183 272	220	15
H6	4	5 952	110	1916	7	483 586	254	43
H7	1	4 939	164	1983	6	331 241	289	50
H8	1	5 440	70	1853	8	603 652	269	48
H9	2	2 200	85	1945	6	545 263	373	82
H10	2	7 347	129	1921	5	371 136	252	22
H11	1	13 300	243	1985	4	2 641 820	419	85
H12	1	7 587	151	-	2	248 947	221	34
H13	1	2 725	68	2006	5	303 781	385	97
H14	4	4 814	115	-	5	508 440	279	43
H15	3	5 923	60	2001	8	877 188	246	94
H16	1	12 100	120	-	3	421 976	286	44
H17	3	8 500	183	1876	6	764 911	384	69
H18	3	4 000	64	-	6	304 478	346	59

Tabell 6-2: Teknisk data for skolene

Navn	Klimasone	Oppvarmet areal (m ²)	Antall rom	Byggeår	Antall tiltak	Investeringskostnad (kr)	Forbruk basisår (kWh/m ² år)	Antatt besparelse (kWh/m ² år)
S1	1	4 350	-	1977	6	147 022	211	47
S2	1	2 200	-	1983	7	125 314	185	58
S3	1	650	-	1987	1	62 010	212	26
S4	1	675	-	1972	3	40 778	314	21
S5	1	6 900	-	1965	6	848 937	212	19
S6	1	2 003	-	1975	2	131 643	215	17
S7	1	4 876	-	1976	1	59 098	164	4
S8	1	2 720	-	1982	2	37 982	59	4
S9	1	1 107	-	1976	4	133 209	266	88
S10	1	437	-	1996	3	53 022	566	38

Tabell 6-3: Teknisk data for kontorene

Navn	Klimasone	Oppvarmet areal (m ²)	Antall rom	Byggeår	Antall tiltak	Investeringskostnad (kr)	Forbruk basisår (kWh/m ² år)	Antatt besparelse (kWh/m ² år)
K1	1	6 773	-	1928	6	1 352 639	321	63
K2	1	3 350	-	1930	6	1 584 193	791	197
K3	1	16 000	-	1992	5	2 303 338	360	42
K4	1	6 500	-	1970	9	1 818 258	442	106
K5	1	414	-	1921	2	44 532	251	50

Tabell 6-4: Teknisk data for kjøpesentrene

Navn	Klimasone	Oppvarmet areal (m ²)	Antall rom	Byggeår	Antall tiltak	Investeringskostnad (kr)	Forbruk basisår (kWh/m ² år)	Antatt besparelse (kWh/m ² år)
Kj1	2	32 000	-	1988	5	786 750	134	13
Kj2	1	17 766	-	1998	3	1 667 592	169	40

Tabell 6-5: Teknisk data for helsebyggene

Navn	Klimasone	Oppvarmet areal (m ²)	Antall rom	Byggeår	Antall tiltak	Investeringskostnad (kr)	Forbruk basisår (kWh/m ² år)	Antatt besparelse (kWh/m ² år)
He1	1	1850	-	2003	4	209 975	286	25
He2	1	1907	-	-	8	880 162	538	193
He3	1	534	-	2001	3	250 714	398	117
He4	1	979	-	1972	2	27 963	59	3

Tabell 6-6: Teknisk data for idrettsbyggene

Navn	Klimasone	Oppvarmet areal (m ²)	Antall rom	Byggeår	Antall tiltak	Investeringskostnad (kr)	Forbruk basisår (kWh/m ² år)	Antatt besparelse (kWh/m ² år)
I1	1	2 650	-	2003	4	508 842	231	53
I2	1	1121	-	1967	8	2 001 871	1640	534

Tabellen er ikke helt komplett, der noen felt står tomme. Dette skyldes at noe informasjon var vanskelig å få tak i. I tillegg brukes oppvarmet areal gjennomgående i oppgaven, da dette var det arealet som ble oppgitt av byggeiere og energirådgivere for de fleste byggene.

Investeringskostnadene i Tabell 6-1 til Tabell 6-6 er tilbudskostnad som samarbeidsbedriften ga byggeierne, og innebærer utstyr, prosjektering og kostnad for gjennomføring. Lokasjonene er inndelt etter klimasoner som beskrevet i kapittel 4.1.1.

Alle byggene har gjennomført minst to ENØK-tiltak hver, og de er implementert i tiltakspakker. Ingen av byggene er utstyrt med detaljert logging, slik at det er mulig å se på besparelser på tiltaksnivå. Oversikt over hvilke tiltak som er gjennomført, samt mer detaljert informasjon om tiltakene, er beskrevet i vedlegg C.

Samtlige av byggene opererte etter Energisparekontrakt, som beskrevet i kapittel 3. Garantien gjelder i ett år for alle byggene.

6.5 Metode for analyse

For analysen av resultatene ses det på avvik fra antatt resultat i forhold til bygningsrelaterte faktorer og i forhold til parametere som kan påvirke hvordan tiltakene velges ut og gjennomføres. De analyserte bygningsrelaterte faktorene er bygningskategori, byggeår, forbruk basisår og oppvarmet areal. For parametere som kan påvirke hvordan tiltakene velges ut og gjennomføres, ses det på ressursbruk, antatt besparelse, grad av erfaring ved energirådgiver og valg av type tiltak. I tillegg ses det på hvorvidt besparelsene opprettholdes over til.

Metoden for analysen er inspirert av «Engineering Statistics Handbook» laget av «National Institute of Standards and Technology» [49], som er laget for å hjelpe forskere og ingeniører inkorporere statistiske metoder i deres jobb så effektivt som mulig. I denne oppgaven blir forklarende statistikk benyttet.

Som nevnt i kapittel 4 er det også andre faktorer som påvirker energiforbruket, og som derav kan være utslagsgivende for resultatet for de ulike bygningene. De fleste byggene er som nevnt lokalisert i Oslo-området. Det er kun noen hoteller og det ene kjøpesenterbygget som ligger utenfor klimasone 1. Dette kommer av at samarbeidsbedriften også ligger i dette området, og at de byggene de jobber med oftest er lokalisert i nærområdet. Det er derfor ikke relevant å se på forskjeller i geografisk beliggenhet. Driftstider for de ulike byggene viste seg å være vanskelig å avdekke, da det var svært forskjellig fra dag til dag for flere av byggene.

6.5.1 Fremstilling av oppnådd resultat for byggene

I analysen ses det i hovedsak på oppnådd resultat for kun *første* år etter gjennomføring. Grunnen til dette er, som tidligere nevnt, at byggene endres mye over tid. Det er i denne oppgaven hentet inn informasjon om slike endringer, og korrigert for dette, men det viser seg at det i praksis ikke alltid er like lett å fremskaffe slik informasjon. Dette medfører at usikkerheten knyttet til besparelsen øker med årene etter gjennomføring. Det første år er derfor mest representativt for de virkelige resultatene.

Resultatene oppnådd de ulike byggene er valgt å presenteres ved hjelp av følgende formel (3):

$$p = \left(\frac{E_{\text{antatt}} - E_{\text{oppnådd}}}{E_{\text{antatt}}} \right) \cdot 100 \quad (3)$$

Videre kan (3) omskrives til (4):

$$p = \left(1 - \frac{E_{\text{oppnådd}}}{E_{\text{antatt}}} \right) \cdot 100 \quad (4)$$

Der

p = Avvik fra antatt forbruk, sett i forhold til antatt energiforbruk (%).

E_{antatt} = Antatt totalt energiforbruk etter gjennomføring (kWh/år).

$E_{\text{oppnådd}}$ = Totalt energiforbruk etter gjennomføring (kWh/år).

Hvis en kjenner den antatte og oppnådde besparelsen, samt forbruket før gjennomføringen, kan (3) også skrives som (5):

$$p = \left(\frac{(E_{f\ddot{o}r} - B_{antatt}) - (E_{f\ddot{o}r} - B_{oppn\ddot{a}dd})}{E_{f\ddot{o}r} - B_{antatt}} \right) \cdot 100 \quad (5)$$

Der

$E_{f\ddot{o}r}$ = Total forbruk basisår (kWh/år).

$B_{oppn\ddot{a}dd}$ = Oppn\ddot{a}dd besparelse etter gjennomf\ddot{o}ring (kWh/år).

B_{antatt} = Antatt besparelse (kWh/år).

For og lettere fors\dd{a} resultatene, kan f\dd{o}lgende hjelpe:

- $E_{oppn\ddot{a}dd} = E_{antatt} \rightarrow p = 0$, er oppn\ddot{a}dd besparelse lik den antatte.
- $E_{oppn\ddot{a}dd} > E_{antatt}$, $\rightarrow p < 0$, er oppn\ddot{a}dd besparelse mindre enn antatt.
- $E_{oppn\ddot{a}dd} < E_{antatt}$, $\rightarrow p > 0$, er oppn\ddot{a}dd besparelse st\dd{o}rre enn antatt.

P \dd{o}nsker \dd{a} beskrive avviket mellom oppn\ddot{a}dd og antatt totalt forbruk alts\dd{a} hvorvidt det antatte totalforbruket etter gjennomf\dd{o}ring, og derav besparelsen, ble oppn\ddot{a}dd etter gjennomf\dd{o}ring.

I \dd{o}konomiske analyser vil et positivt avvik fra antatt forbruk ($p > 0$) motsatt kunne bety et h\dd{o}yere oppn\ddot{a}dd forbruk i forhold til antatt, og dermed en lavere besparelse. I denne oppgaven er det i midlertidig \dd{o}nskelig \dd{a} fremstille positive tall i de tilfellene der oppn\ddot{a}dd en h\dd{o}yere besparelse enn antatt. Et positivt avvik betyr derfor at oppn\ddot{a}dd besparelse er h\dd{o}yere enn antatt.

Faktoren p er som nevnt avvik sammenlignet med antatt energiforbruk, som er samme beregningsmetodikk som i samarbeidsbedriften. Videre kan man vurdere alternative sammenligninger, hvor avviket kan sees i forhold til energiforbruket f\dd{o}r implementeringen av tiltaket ($E_{f\ddot{o}r}$, se formel (7)), eller den oppn\ddot{a}dde energiforbruket etter implementeringen av tiltaket. Alle tre metodene er gode, hvor avviket fremstilles p\dd{a} tre noenlunde tilsvarende m\dd{a}ter. Forskjellen mellom dem kan bli vesentlig dersom den antatte eller oppn\ddot{a}dde besparelsen er sv\dd{a}ert stor.

Essensen er i midlertidig den samme for alle tre metodene, hvor faktoren p s\dd{o}ker \dd{a} gi best mulig sammenligning mellom avvik mellom oppn\ddot{a}dd og antatt besparelse (eller energiforbruk) for bygg med forskjellig energiforbruk. F\dd{o}lgelig er det viktig med korrekt fremstilling av forskjellen p\dd{a} et bygg med x avvik og lavt energiforbruk, og et bygg med x avvik og h\dd{o}yt energiforbruk. Videre b\dd{o}r det tolkes dithen at avviket relativt sett er h\dd{o}yere for det bygget med lavt forbruk (x kWh avvik) sammenlignet med bygget med h\dd{o}yt forbruk (x kWh avvik). Dette er ogs\dd{a} i tr\dd{a}d med det faktum at bygg med h\dd{o}yt energiforbruk har h\dd{o}yere antallet feilkilder og p\dd{a}virkende faktorer for det bygget med h\dd{o}yt forbruk. Faktoren p beregnes derfor med utgangspunkt i energiforbruk og benyttes som sammenligningsgrunnlag for de ulike byggene i oppgaven.

For å belyse dette ytterligere, kunne det tenkes at man sammenlignet avviket med tall på besparelse. Under vises et eksempel på nettopp dette, formel (6) og (7):

$$p_b = \left(\frac{B_{\text{oppnådd}} - B_{\text{antatt}}}{B_{\text{antatt}}} \right) \cdot 100 \quad (6)$$

Der

p_b = Avvik fra antatt besparelse

$$p_f = \left(\frac{E_{\text{antatt}} - E_{\text{oppnådd}}}{E_{\text{før}}} \right) \cdot 100 = \left(\frac{B_{\text{oppnådd}} - B_{\text{antatt}}}{E_{\text{før}}} \right) \cdot 100 \quad (7)$$

Der

p_f = Avvik i antatt besparelse av før-forbruk

Problemet med å bruke formel (6) hvor man ser på avvik i forhold til besparelse, er at den ikke er like egnet til å sammenligne oppnådde resultater i bygg med ulikt energiforbruk. Dette kan igjen vises med et eksempel; to bygg har begge oppnådd 500 kWh besparelse ved innføring av et tiltak, der antatt besparelse for begge var 1000 kWh. Dette vil da gi $p_b = 50\%$ for begge byggene, altså begge har oppnådd 50 % mer besparelse i forhold til antatt. Dersom man i midlertidig ser på avviket i forhold til energiforbruk er det vesentlig forskjell. Denne forskjellen bør også komme frem i resultatene, da det er et større antall påvirkende faktorer for bygget med høyt forbruk.

Likevel betyr dette at tiltaket har fungert bedre for bygget med lavt energiforbruk, da denne besparelsen utgjør en større andel av det totale forbruket for bygget med lavt forbruk enn det gjør for bygget med høyt forbruk. Faktoren p belyser dette ved at den er mye høyere for det bygget med lavt forbruk.

Formel (7) gir det samme bildet av det oppnådde resultatet som formel (2). Samarbeidsbedriften opererer med formel (3) når de skal fremstille oppnådde resultater i byggene, og det er derfor valgt å bruke formel (3) for analysen i denne oppgaven.

Ideelt sett burde en her ha sett på besparelser og energiforbruk fordelt på energibærere. Som nevnt var ikke slik informasjon mulig å frembringe for alle byggene, der alle besparelser er oppgitt til å være av *totalt* forbruk og det var kun for 14 bygg mulig å måle energiforbruk per energibærer. Av de resterende byggene, bruker 20 av dem kun elektrisitet. Det er derfor valgt å bruke totale besparelser og totalt forbruk gjennom oppgaven. En nærmere analyse av fordelingen for de 14 byggene gjøres i kapittel 7.2.3, og en oversikt over energibærere for de ulike byggene kan finnes i vedlegg D.

6.5.2 Kategoriseringer

I tillegg til kategorisering av byggene etter bygningstype, er også følgende parametere kategorisert for fremstillingen og analysen av resultatene: energibærere, tiltak, grad av opprettholdelse av besparelse og energirådgiver som var prosjektleder for de analyserte byggene.

6.5.2.1 Energibærere

For de 15 byggene det var mulig å skille mellom energibruk før og etter gjennomføring fordelt på energibærerne, er det sett på hvor stor feil det ligger i kun å se på totale besparelser. I tillegg

brukes en fremstilling av dette for å se på om den kan vise hva som gjør at besparelsene ikke blir som oppnådd.

Energibærerne er delt inn i to kategorier: forbruk av elektrisitet og forbruk av fjernvarme, kjeler (olje-kjel, el-kjel og gass-kjel) og varmtvann. Denne fordelingen er gjort for å skille mellom elektrisitet brukt til utstyr, og forbruk til oppvarming. Noen bygg har imidlertid både elektrisk oppvarming og oppvarming ved fjernvarme eller kjeler. Dette er det ikke mulig å skille mellom.

Som nevnt har det vært et mål å hente ut forbruksdata for totalt fire år etter gjennomføring for alle byggene. For noen av byggene har imidlertid det ikke vært mulig å måle energiforbruk fordelt på energibærere for alle de fire årene. For hotellene var det kun for ett av byggene mulig å måle energiforbruk fordelt på energibærere første år etter gjennomføring. I tillegg var det for flere andre bygg manglede målinger for noen år.

6.5.2.2 Tiltak

Det er for alle byggene innhentet mest mulig informasjon om hvert enkelt tiltak, og det er gjennom dette forsøkt å finne ut hva intensjonen med tiltakene var og grunnlag for valg av tiltak.

Uavhengig av forhåndsmål, hender det som nevnt at tiltakene ikke blir gjennomført nøyaktig som planlagt. Endringer kan skje underveis, og tiltakene kan justeres og tilpasses før, etter eller under prosjektering etter hvert som det oppstår behov. Denne typen informasjon var, i likhet med endringer fra basisår, vanskelig å frembringe, da mye av denne planleggingen skjer muntlig eller per e-post. Det ble derfor i denne oppgaven, om ingenting annet var oppgitt, antatt at alle tiltakene ble gjennomført som først planlagt.

Som nevnt har samtlige bygg gjennomført flere tiltak, der kun noen av byggene har gjennomført de samme. På grunn av den store variasjonen i gjennomførte tiltak og at det ikke er installert noen form for detaljert datalogging i noen av byggene, er det vanskelig å se hvordan de enkelte tiltakene isolert sett har påvirket de oppnådde resultatene.

For likevel å kunne skille mellom de ulike tiltakene, deles de inn i tre tiltaksgrupper:

- **Dr:** Drift (Dr), styring, overvåking og adferd (SD-anlegg, endring i driftstid, temperaturer og luftmengder, driftsinstrukser fra rådgiver, EOS, styringsautomatikk osv.).
- **Ut:** Forbedring/utskiftning av utstyr (Ut) (nye kjeler, vannreducerende tiltak, sparepærer, nye vifter, installasjon av varmepumpe, varmegjenvinnere osv.).
- **Iso:** Isolering (tetting av vindu, isolering av rør og komponenter).
- **Ieb:** Ikke energibesparende tiltak (tiltak som ikke gir energibesparelser, men som for eksempel gir besparelse i effekt).

Denne oppdelingen er laget for å kunne skille mellom besparelser som i større eller mindre grad er avhengig av driftspersonalet, brukerne og rådgiver. Tiltak som er under kategorien Dr krever, i ulik grad, at de driftes, installeres og oppfølges på riktig måte. Disse tiltakene er i hovedsak effektive måter å drifte byggene på, slik at det ikke brukes unødvendig mye energi. Eksempelvis kan dette være tiltak for å unngå oppvarming i rom eller tidsrom som ikke er i bruk. Utbytte av slike tiltak kan endres ved at driftspersonalet eller brukerne endrer på parameterne, for eksempel skrur opp varmen manuelt eller skrur av innstilt senkning av varmen for rom eller tidsrom som ikke er i bruk.

Det er ikke her skilt mellom om de ulike tiltakene kun er anbefalinger og råd fra rådgiver, eller om de er gjennomført og fulgt opp av en med teknisk bakgrunn. Dette er på grunn av manglende kjennskap til hvordan gjennomføringen faktisk fant sted. Fremgangsmåten for dette kan gi utslag på resultatene, da det kan være noen driftsansvarlige som verken har forståelse eller interesse av det tekniske anlegget.

For å undersøke hvor avhengig en er av riktig drift og oppfølging for å oppnå de antatte besparelsene, er det for hvert bygg beregnet hvor stor andel av besparelsen som ligger under kategori Dr. Imidlertid er der noen av tiltakene som inngår både kategori Dr og under Ut. Eksempelvis krever innføring av SD-anlegg installasjon av en del utstyr, eksempelvis datamaskiner og sensorer. Hovedpoenget med å ha et SD-anlegg er for øvrig å styre, overvåke og rapportere byggets ytelse ved hjelp av datamaskinbaserte «styrestasjoner» som kontrollerer energiforbruket og utstyret i bygget. Det essensielle er at riktig anvendelse av SD-anlegget og oppfølgingssystemet kan føre til energibesparelser. Det er derfor i slike tilfeller valgt å anta at hele besparelsen for disse tiltakene er avhengig av riktig drift og oppfølging.

6.5.2.3 Opprettholdelse av besparelse

Det er i tillegg til besparelse første år etter gjennomføring viktig at besparelsen opprettholdes over tid. Årstallene for gjennomføring av tiltakene i byggene er i perioden 2000-2011. Det har for alle byggene vært et mål å skaffe forbruk for fire år etter gjennomføring. Det har imidlertid ikke vært mulig for å hente ut forbruk for totalt fire år for byggene, noe som skyldes at tiltakene for noen av byggene har blitt gjennomført relativt nylig, og derfor ikke eksisterer forbrukstall for flere enn et par år. I tillegg er tiltakene for noen av byggene gjennomført for et knapt år siden. Antall år med tilgjengelig etter-forbruk varierer derfor fra ett til fire år.

Grad av opprettholdelse av besparelse er delt inn i følgende kategorier:

- **PN:** *Stigende besparelse* (oppnådd besparelse og p øker med tiden).
- **NB:** *Synkende besparelse* (oppnådd besparelse og p synker med tiden).
- **VB:** *Varierende besparelse* (oppnådd besparelse og p varierer fra år til år).
- **KB:** *Tilnærmet konstant besparelse* (oppnådd besparelse og p er konstant over alle årene)
- **-;** Har kun forbruksdata for første år etter gjennomføring, og opprettholdelsen kan derfor ikke vises.

6.5.2.4 Energirådgiver

Som nevnt er beregningsmetodene nokså personavhengig, og valg av tiltak kan variere fra energirådgiver til energirådgiver. I tillegg er det avgjørende for oppnåelsen av besparelsene hvordan rådgiverne opplærer, oppfordrer og motiverer driftsansvarlig og/eller byggeier til å drifte bygget på en god måte. Det skal derfor sees på om hvorvidt besparelsen oppnås er avhengig av personene som er rådgivere for de ulike byggene.

På grunn av ønske om anonymitet er energirådgiverne, som laget ENØK-analysene for de ulike byggene og som var med i gjennomføringen av tiltakene, kategorisert med bokstaver. I alt er det 14 ulike energirådgivere fordelt på de 41 byggene, og de er kategorisert med bokstaver fra a til n. For hotell H1 og H14 er det ukjent hvilken energirådgiver som gjennomførte tiltakene, og disse er derfor ikke med i denne analysen.

7. Resultater

I dette kapittelet presenteres oppnådd energiforbruk første år etter gjennomføring i forhold til antatt og hvorvidt besparelsen opprettholdes over tid. Avslutningsvis ses det på hvilke parametere som er mest bestemmende for hvordan resultatet blir og hva som gjør at resultatet ikke alltid blir som antatt. Inndelingen er som følger:

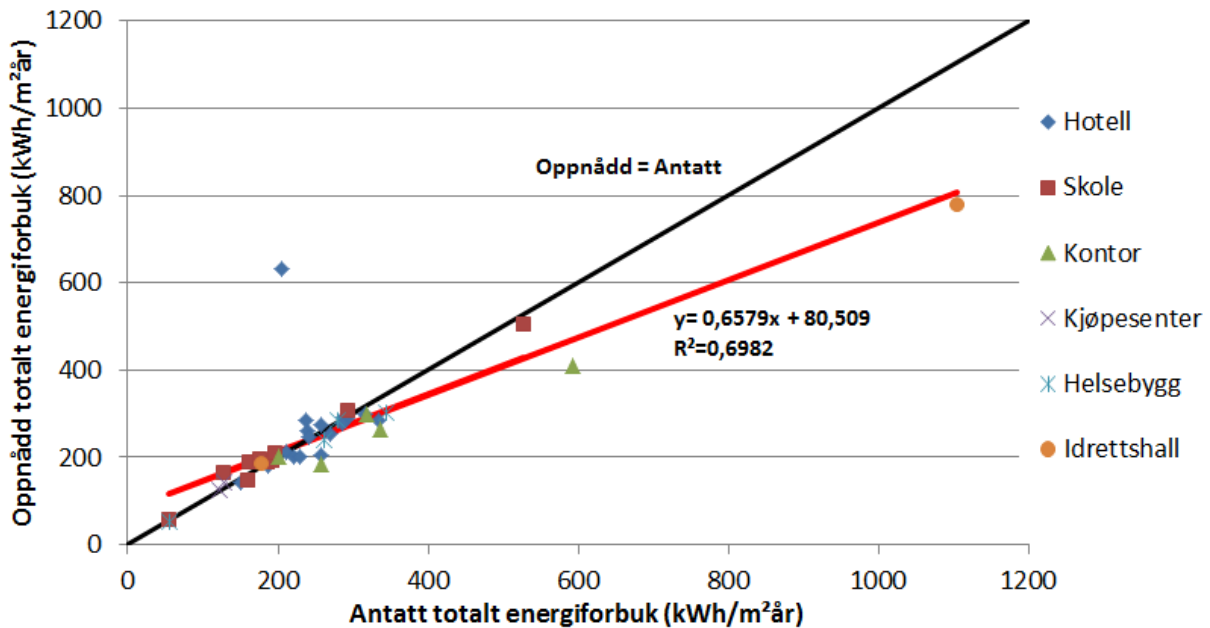
Påvirkende parametere	7.1 Oppnådd energiforbruk i forhold til antatt første år etter gjennomføring
	7.2 Opprettholdelse av besparelse over tid
	7.3 Bygningskategori
	7.4 Byggeår
	7.5 Forbruk basisår
	7.6 Ressursbruk
	7.7 Oppvarmet areal
	7.8 Antatt besparelse
	7.9 Energirådgiver
	7.10 Type tiltak

Alt forbruk er graddagskorrigert og korrigert i forhold til endringer som har oppstått i bygget, som forklart i kapittel 5.3.1.

Som nevnt er det manglende data fra noen av byggene, noe som gjør at ikke alle bygg er representert i fremstillingene.

7.1 Oppnådd energiforbruk i forhold til antatt første år etter gjennomføring

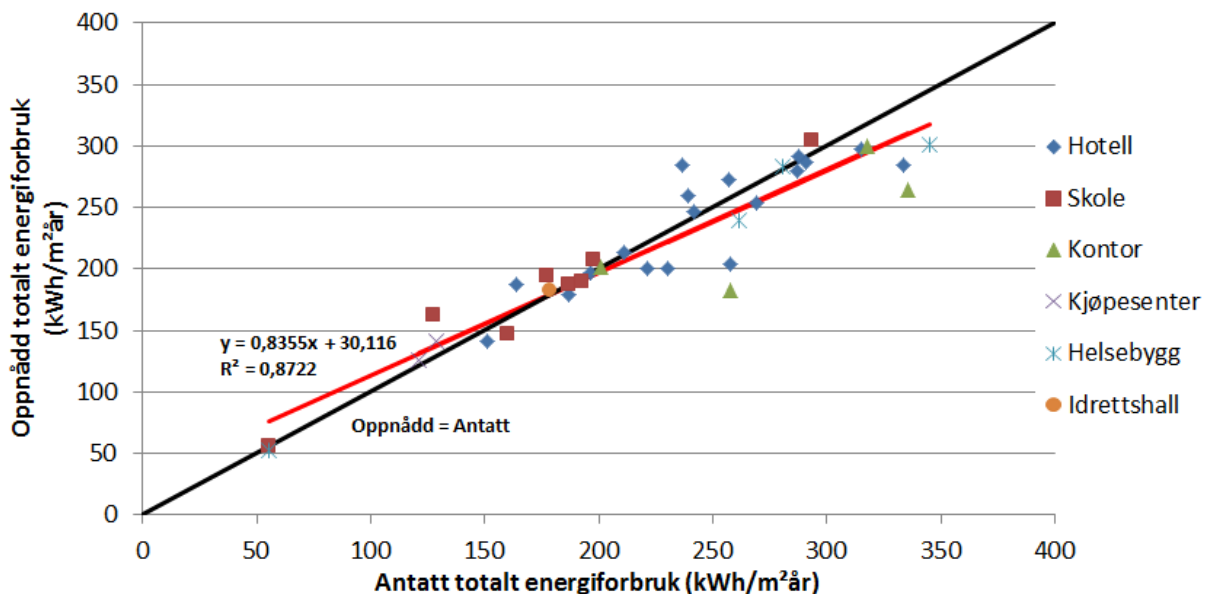
Figur 7-1 viser antatt og oppnådd totalt energiforbruk første år etter gjennomføring for de ulike bygningskategoriene. Den svarte trendlinjen viser hvor punktene teoretisk sett burde ligge, altså når oppnådd energiforbruk er lik antatt. Den røde linjen viser hvordan fordelingen faktisk er, ut i fra en lineær matematisk funksjon ut ifra måledataene.



Figur 7-1: Antatt og oppnådd totalt energiforbruk for bygningskategoriene

R^2 i figuren er et mål på hvor god modellen er, hvor verdiene for R^2 varierer mellom 0 og 1 avhengig av hvor god tilpassingen er mellom dataene og hjelpelinjen. Dersom R^2 er nær 0 er tilpassingen dårlig, og betyr at forholdet mellom antatt og oppnådd energiforbruk ikke er lineært. Desto nærmer 1 R^2 -verdien kommer, desto bedre tilpassing. R^2 -verdien for dataene er 0,6982, og er en brukbar tilpassning.

En forbedret tilpassning oppnås ved å luke ut de byggene med det høyeste forbruket, vist i Figur 7-2 (kun inkludert bygg som oppnådde mindre enn 400 kWh/m²år).



Figur 7-2: Antatt og oppnådd totalt energiforbruk for bygningskategoriene for bygg med mindre enn 400 kWh/m²år antatt energiforbruk

Av Figur 7-2 ser en at det er en mye bedre tilpassing (med $R^2=0,8722$). Regresjonslinjen (rød) viser også et skille mellom oppnådd energiforbruk i forhold til antatt ved ca. 200 kWh/m²år.

Dette illustrerer at byggene med lavere enn 200 kWh/m²år antatt forbruk, oppnår totalt sett et høyere energiforbruk i forhold til antatt. Motsatt oppnår byggene med antatt totalt energiforbruk høyere enn 200 kWh/m²år totalt sett et lavere energiforbruk i forhold til antatt.

Generelt er det stor variasjon i hvorvidt oppnådd forbruk, og derav besparelsen, blir som antatt. Totalt er oppnådd besparelsen lavere enn antatt for 18 av de 41 byggene. Oppnådd avvik fra antatt totalt energiforbruk for de ulike byggene varierer mellom 29 % og - 20,5 %, der 14 av byggene har oppnådd mer enn 5 % avvik fra antatt forbruk og fem av byggene har mindre enn -5 % avvik fra antatt forbruk.

7.2 Opprettholdelse av besparelse over tid

Analysen av hvorvidt besparelsen opprettholdes over tid belyses ved å del inn byggene i to kategorier:

- 1) bygg som oppnådde større besparelse enn antatt første år etter gjennomføring og,
- 2) bygg som oppnådde lavere besparelse enn antatt første år etter gjennomføring.

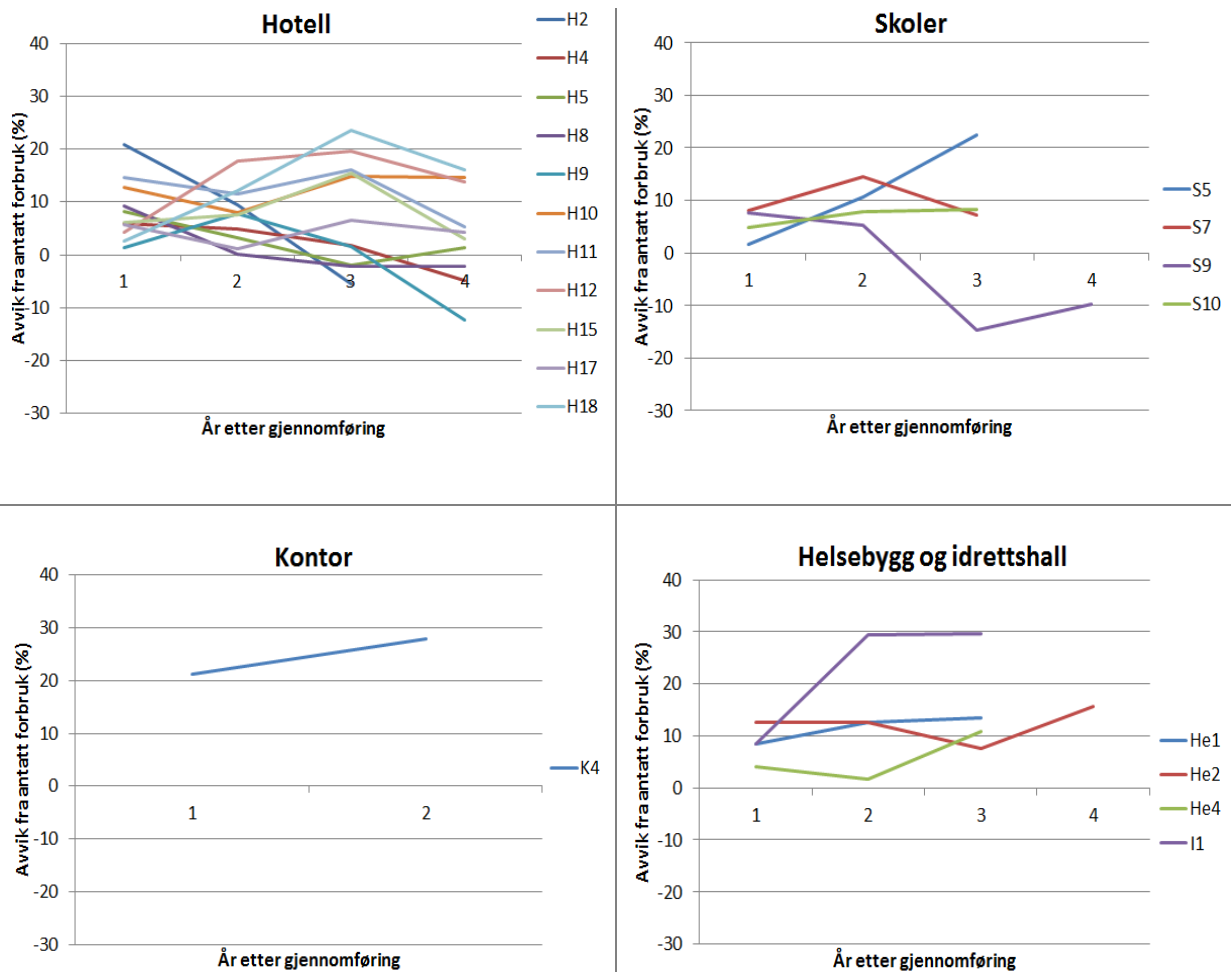
Dette er gjort av estetiske årsaker for fremstillingen, samt for å se om det er noen forskjeller i opprettholdelsen for de byggene som oppnådde bedre resultat enn antatt i forhold til de som oppnådde dårligere.

7.2.1 *Bygg som oppnådde større besparelse enn antatt første år etter gjennomføring*

Figur 7-3 viser avvik fra antatt forbruk fra første til fjerde år etter gjennomføring for de byggene som første år oppnådde en større besparelse enn antatt. Det er for noen av byggene vist resultat for kun tre år, og for ett bygg er det kun vist for to.

Kjøpesentrene er ikke inkludert i tabellen, da alle kjøpesentrene oppnådde en lavere besparelse enn antatt første år etter gjennomføring. Figurene for helsebygg og idrettshall er derfor slått sammen.

Som belyst i kapittel 6.5.1 betyr et positivt avvik fra antatt forbruk at oppnådd forbruk etter gjennomføring er lavere enn antatt, og at besparelsen derav er høyere enn antatt ($p > 0$).

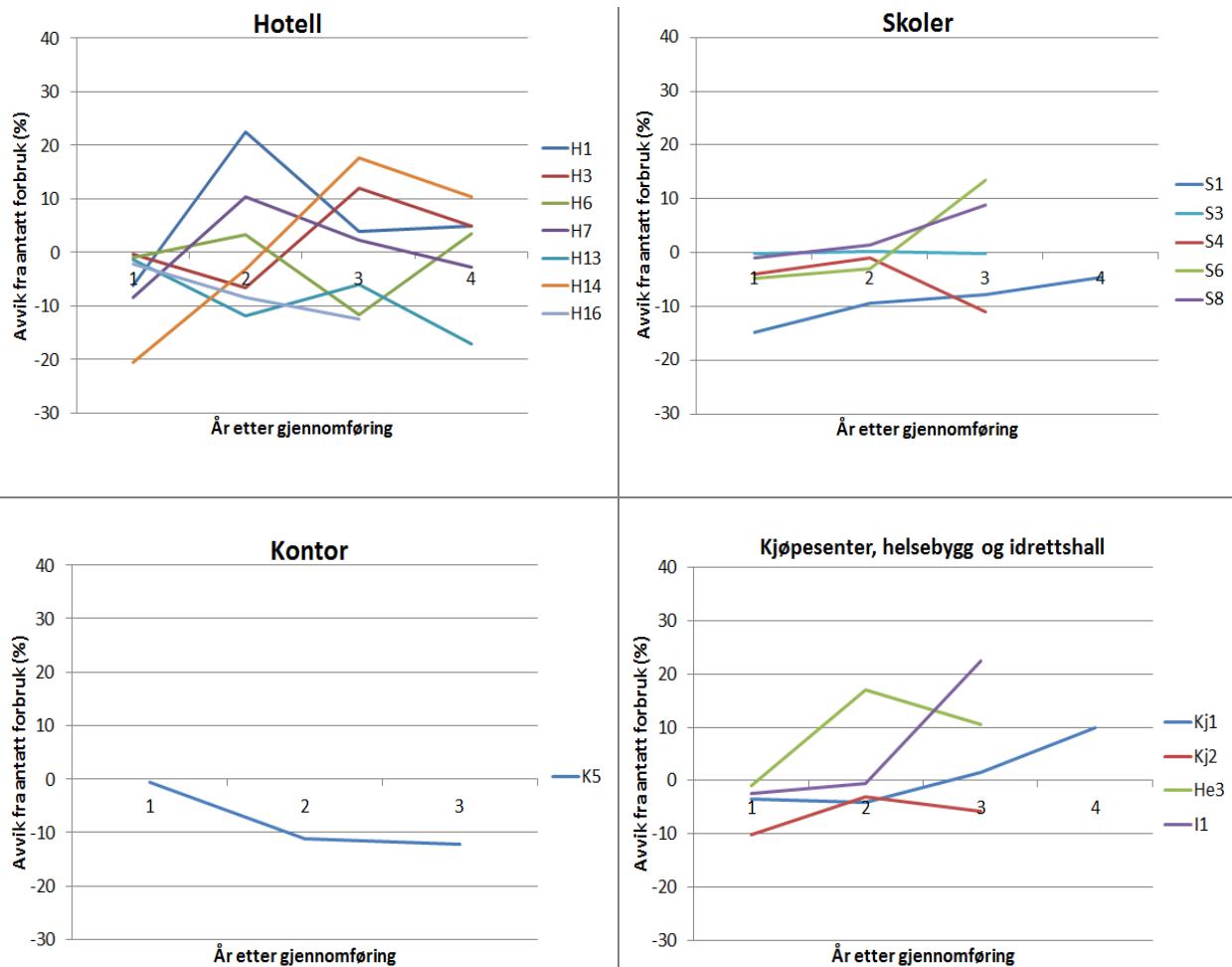


Figur 7-3: Avvik fra antatt forbruk over fire år etter gjennomføring for bygg som hadde større besparelse enn antatt første år etter gjennomføring

Av Figur 7-3 ser en at det er veldig få av byggene som har en stabil og varig besparelse. Som en ser av Figur 7-3 oppnår 5 av de 20 byggene lavere besparelse enn antatt fjerde år. For hotellene ser en at de som første år har det største avviket, oppnår en lavere besparelse året etter. De fleste byggene med lavest besparelse i forhold til antatt forbruk første år oppnår en betydelig høyere besparelse etter andre år.

7.2.2 Bygg som oppnådde lavere besparelse enn antatt første år etter gjennomføring

Figur 7-4 viser avvik fra antatt forbruk fra første til fjerde år etter gjennomføring for bygg som oppnådde lavere besparelse enn antatt første år etter gjennomføring.



Figur 7-4: Avvik fra antatt forbruk over fire år etter gjennomføring for bygg som hadde lavere besparelse enn antatt første år etter gjennomføring

7 av de 17 byggene oppnår fortsatt en lavere besparelse enn antatt etter fire år, som vist i Figur 7-4. Av disse er det fire av byggene (H16, H13, S4 og K5) som i år fire har en lavere besparelse enn de hadde første året, resten viser en forbedring fra første år. Totalt viser 12 av de 17 byggene en forbedring fra første til fjerde år etter gjennomføring, derav fem hotell, tre skoler, begge kjøpesentrene, helsebygget og ett idrettsbygget.

Av de byggene som fra første til andre år har en økning i besparelse, er dette stort sett de byggene som startet med det største avviket fra antatt forbruk. For samtlige bygg som første år oppnådde en betydelig lavere besparelse enn antatt, øker besparelsen i år to. Dette kan tyde på virkningen av garantien. Garantien sier at hvis besparelsen etter første år er lavere enn antatt, må samarbeidsbedriften finne årsaker til de dårlige resultatene og gjøre handling for å få ned forbruket til garantert nivå. Denne garantien gjelder i de fleste tilfellene kun ett år etter gjennomføring, noe som en kan se spor av i resultatene. Det fleste av byggene som har en økning i besparelse fra år en til år to, oppnår en lavere besparelse i år tre i forhold til år to.

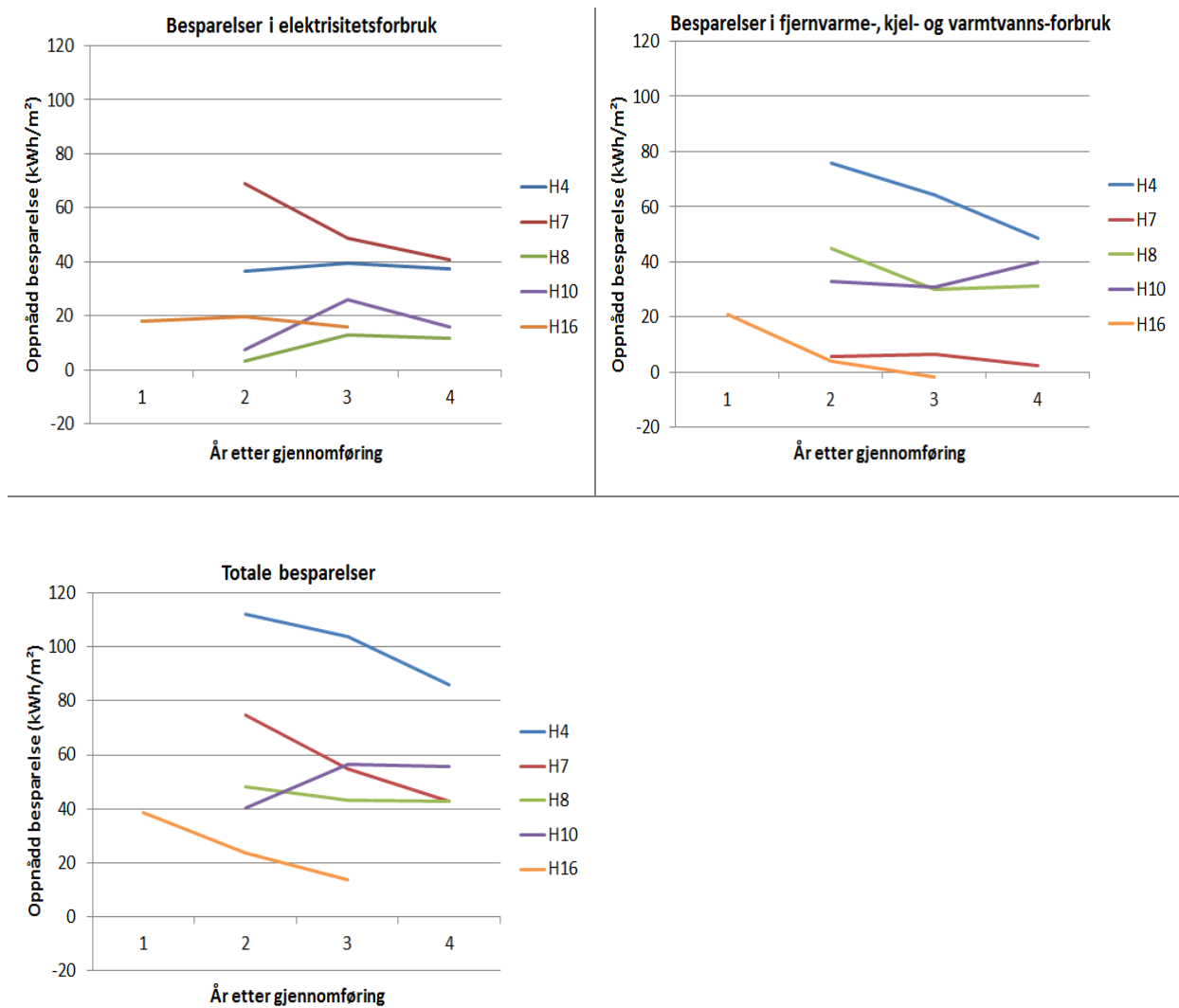
7.2.3 Oppnådd besparelse over tid fordelt på energibærere

Som nevnt var det kun mulig for 14 av byggene å måle energiforbruk fordelt på energibærerne. De to øverste grafene i Figur 7-5 viser besparelsene fordelt på energibærere for hotellene, og den nederste viser de totale besparelsene. Figur 7-6 viser det samme som for hotellene, bare her for de resterende bygningskategoriene. Bortsett fra hotellene er det få av de resterende bygningskategoriene det er mulig å skille mellom besparelser for de ulike energibærere, og disse

vises derfor i samme figur. På grunn av at flere av byggene har oppnådd de samme besparelsene, er det for noen bygg lagt inn markerte punkter for bedre å kunne skille de fra hverandre.

Som nevnt i kapittel 6.5.2 var det for noen av byggene ikke mulig å frembringe besparelser fordelt på energibærere for alle årene etter gjennomføring.

I figuren betyr forkortelsene «Fj» fjernvarme, «kj» kjel og «vv» betyr varmtvann. En oversikt over typer energibærere for de ulike byggene kan finnes i vedlegg D.



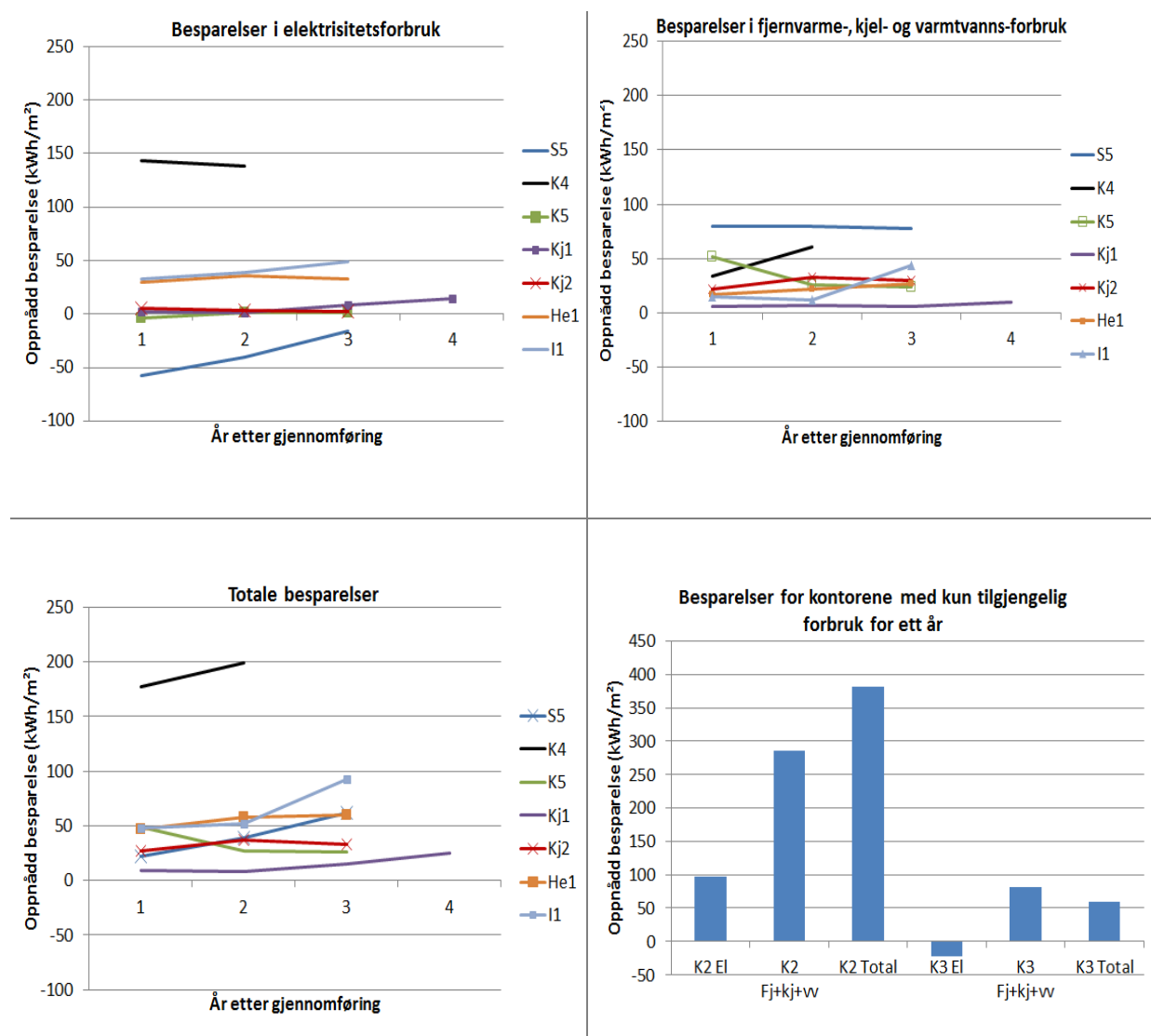
Figur 7-5: Totale besparelser og besparelser fordelt på energibærere for hotellene.

Av Figur 7-5 ser en at forløpet er nokså ulikt for de ulike energibærerne. For tre av byggene (H4, H8 og H16) gir forløpet til den totale besparelsen tilnærmet likt bilde av endringen i besparelsen for fjernvarme-, kjel og varmtvanns-forbruk, der besparelsen i elektrisitet for disse byggene endrer seg lite over årene. H4 bruker fjernvarme som oppvarming, og det har blitt gjennomført tiltak i bygget som var antatt å gi en besparelse i både elektrisitet og i fjernvarme. Dette gjør at den totale besparelsen vil gi et feilaktig bilde av besparelsen, og besparelsen burde ha blitt delt opp. Det samme gjelder H16, som bruker både elektrisitet og fjernvarme til oppvarming. Mye av besparelsen til H16 burde i følge beskrivelsen av tiltakene ha vært i elektrisitet. Hotell H8, som bruker både olje-, gass- og el-kjel til oppvarming, er det gjennomført tiltak som i stor grad burde

ha redusert oppvarmingen ved fjernvarme og kjelene, men likevel er det også her en del tiltak som skulle ha redusert elektrisitetsforbruket.

For hotell H10 ser en at den totale besparelsen indikerer en konstant besparelse fra år tre til fire, men når en ser på fordelingen mellom energibærerne ser en at besparelsen i elektrisitet går ned, mens besparelsen i oljeforbruket går opp.

Bygg H7 varmes opp rent elektrisk ved hjelp av panelovner, og bruker en el-kjel til oppvarming av varmtvann. Av beskrivelsen av tiltakene ser det ut til at de antatte besparelsene er antatt å være for elektrisitet, og en ser da av Figur 7-5 at den totale besparelsen i dette tilfelle kan brukes for å gi et riktig bilde av den oppnådde besparelsen.



Figur 7-6: Totale besparelser og besparelser fordelt på energibærere for skolene, kontorene, kjøpesentrene, helsebyggene og idrettsbyggene.

Figur 7-6 viser stor variasjon i om bruk av den totale gir et riktig bilde av opprettholdelsen av besparelsen over tid også for skolene, kjøpesentrene, helsebyggene og idrettsbyggene

For noen av byggene gir forløpet av den totale besparelsen er riktig bilde av opprettholdelsen, eksempelvis for Kj1 der besparelsen øker gradvis fra år to, noe som gjelder både elektrisitetsforbruket og fjernvarmebruket for dette bygget. For andre bygg ser en at endringen i

den totale besparelsen kun viser en endring i besparelse for en av energibærerene, eksempelvis S5. For S5 er det for de tre første årene brukt mer strøm enn før gjennomføring, og en ser av Figur 7-6 at besparelsen ligger i fjernvarme- og oljeforbruket som brukes til oppvarming i dette bygget. Flere av de gjennomførte tiltakene er ment for også å redusere elektrisitetsforbruket, og den totale besparelsen gir da et feil bilde av besparelsene.

For bygg K3 ser en at elektrisitetsforbruket er høyere året etter gjennomføring i forhold til før gjennomføring, og bygget har kun oppnådd en besparelse i oppvarming. Det har blitt gjennomført flere tiltak i bygget som burde ha vist en besparelse i elektrisitetsforbruket, eksempelvis SD-anlegg og behovsstyrt ventilasjon.

Generelt ser en at bruk av totale besparelser kan gi ukorrekte bilder av de oppnådde besparelsene.

7.2.4 Mulige årsaker til avvik og variasjon i besparelsene

7.2.4.1 Bygg som oppnådde større besparelse enn antatt første år etter gjennomføring

<p>H2</p>	<p>For H2 er det oppgitt av samarbeidsbedrift at det er mistanke om at varmpumpen ikke blir benyttet optimalt, og kan derav være en årsak til at besparelsen synker kraftig med årene, som vist i Figur 7-3. Det er for H2, i tillegg til de tre første årene, funnet forbruksdata for fem og seks år etter gjennomføring. Disse tallene viser at forbruket går oppover, og at bygget hadde et avvik på -17,2 % i forhold til antatt for år seks. Det er av samarbeidsbedrift opplyst at det ble ansatt ny driftsansvarlig rett etter gjennomføringen av tiltakene, noe som kan tyde på at den dårlige utnyttelsen av varmpumpa og derav den lave besparelsen kan komme av dårlig drift. På grunn av den lave besparelsen ble driftsansvarlig for bygget tilbydd en forlenget driftsavtale med samarbeidsbedriften, uten at det er kjent om dette ble gjennomført.</p>
<p>H4</p>	<p>Som vist i Figur 7-3 ble besparelsen for hotell H4 lavere for hvert år som gikk etter gjennomføring. Det er i følge energirådgiver gjort en gransking av dette uten at det er funnet noen spesielle grunner som pekte seg ut. Ett av de gjennomførte tiltakene er varmpumpe, der besparelsen utgjør en stor del av den totale besparelsen. Av Figur 7-5 ser en at den største endringen i besparelse ligger i fjernvarmeforbruket til bygget, der det er nesten ingen endring i besparelse i elektrisitet. Dette kan tyde på at varmpumpen ikke har fungert optimalt dersom tanken var at den skulle erstatte deler av oppvarmingen ved fjernvarme.</p>
<p>H5</p>	<p>Hotell H5 ble utvidet i år tre, og i år fire ble 139 rom renovert. Disse endringene er det i denne oppgaven korrigert for, men det kan likevel være en sammenheng med denne endringen og den synkende besparelsen som vist i Figur 7-3. I tillegg tyder det på at driften ikke har fungert optimalt. Etter år fire ble det av energirådgiver foreslått nye tiltak, da forbruket hadde fortsatt å øke etter år fire.</p>

H8	Driftspersonale til hotell H8 har i følge energirådgiver et svært godt samarbeid, og den store besparelsen for første år vist i Figur 7-3 kan delvis knyttes til dette. Hotellet hadde en økning i areal på 16 % i år fire, og førforbruket ble korrigert med samme prosent-økning.
H9	For H9 er det kun gjennomført tiltak som går på styring og drift. I følge energirådgiver er den oppnådde energibesparelsen ikke et resultat av gjennomførte ENØK-tiltak, men er et resultat av en meget dyktig driftsansvarlig.
I1	Som en ser av Figur 7-3 hadde I1 en enorm økning i besparelsen tredje år etter gjennomføring, som i følge energirådgiver skyldes at det ene tiltaket, driftsoptimalisering, ikke ble skikkelig gjennomført før da.

7.2.4.2 Bygg som oppnådde større besparelse enn antatt første år etter gjennomføring

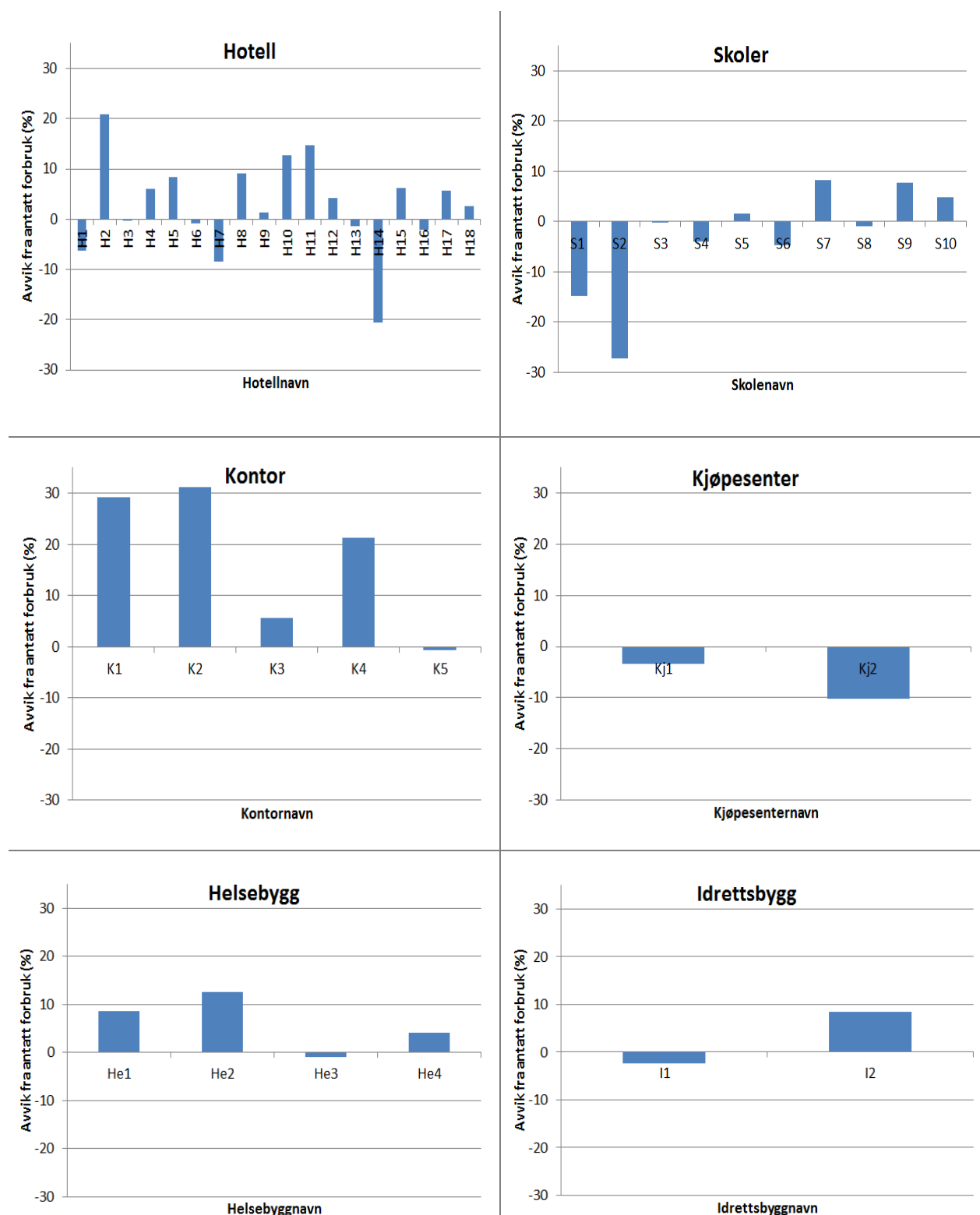
H3	Hotell H3 hadde en økning i areal i år tre, og førforbruket er korrigert med tilsvarende økning i prosent som for arealet. Av Figur 7-4 ser en at det er en stor økning i besparelse fra år to til tre, og deler av dette kan skyldes at førforbruket kan ha blitt korrigert for mye.
H6	Hotell H6 fikk 55 nye rom i år fire, og førforbruket for år fire er korrigert for dette. Imidlertid startet deler av byggingen i år tre, noe som allerede da viser seg på forbrukskurven til hotellet. Av Figur 7-4 ser en at det er en et dårlig resultat for dette året, noe som kan skyldes byggingen.
H7	I hotell H7 har ikke styringen og drift fungert optimalt etter gjennomføring. Det er oppgitt av energirådgiver i samarbeidsbedrift at byggets driftsansvarlig er lite involvert i byggets energioppfølging. Samtlige tiltak som ble gjennomført i dette bygget går på styring og drift (kategori Dr), og energirådgivere har sett ved befaring at drift- og styringsautomatikken ikke har fungert som tiltenkt. I tillegg har det over noen år vært problemer med byggets to ventilasjonsanlegg, noe som kan ha påvirket energibesparelsen. Dette kan en se spor av i Figur 7-5, der besparelsen for elektrisitet går kraftig ned etter år to, samtidig som besparelsen for fjernvarme som brukes til oppvarming i bygget holder seg tilnærmet konstant. Ett av tiltakene som ble gjennomført i dette bygget var nye driftstider til ventilasjon, og utgjorde en stor del av den totale besparelsen, se vedlegg C.
H13	H13 har rapportert om høy omsetning (belegg, restaurant, julebord, osv.) i årene etter gjennomføring, og kan relateres til noe av den økte energibruken, som vist i Figur 7-4. Det har vært ekstern kontroll av det energikrevende anlegget på hotellet grunnet mistanke om manglende energioptimal drift, dette uten at graverende avvik ble funnet.

H14	I hotell H14 foregikk det en del ombygning rundt gjennomføringstidspunktet. Dette er det korrigert for, men likevel ser en av at resultatet blir betydelig dårligere enn antatt. Det er uvisst når denne ombyggingen ble ferdig, men en ser at det er en stor økning i besparelse fra år 1 til år 3, noe som kan tyde på at ombyggingen ble ferdig rundt år 2-3.
H16	Hotell H16 oppnådde tilnærmet lik besparelse i forhold til antatt første år etter gjennomføring, men av Figur 7-4 ser en at forbruket øker kraftig fra år to. Det er en mistanke om at økningen i energiforbruket kan skyldes beleggsøkning, som har foregått over alle tre årene. Det er stor usikkerhet rundt omfanget av dette, og det er derfor ikke valgt å gjøre noen korrigeringer i forhold til dette.
S4	Skole S4 har i følge energirådgiver hatt noen problemer med driften og optimaliseringen. Det gjennomført tre tiltak; EOS, driftsoptimalisering og sparepærer, der forbedret drift utgjør den største delen av besparelsen. Ved befaring er det blant annet avdekket at varmtvannsberederen står unødvendig my på og at turtemperaturen var unødvendig høy, og det tyder på at dårlig drift er årsaken til den lave besparelsen som vist i Figur 7-4.
S6	For S6 er det oppgitt at det har vært problemer med ventilasjonen de to første årene etter gjennomføring, og at det antas derfor at den lave besparelsen for disse årene skyldes dårlig oppfølging.
K5	For K5 er det gjennom befaring av energirådgiver avdekket problemet med driftsoptimaliseringen, der det blant annet ble avdekket at ventilasjonen sto på 24 timer i døgnet, høy til-lufttemperatur og at varmeanlegget sto på utenom fyringssesongen. De eneste tiltakene som er gjennomført for dette bygget, er EOS og driftsoptimalisering. Her tyder det på at de dårlige resultatene for år to og tre, som vist i Figur 7-4, kan skyldes enten manglende opplæring eller liten vilje fra driftspersonellet.

Ut over denne informasjonen, og for de byggene som ikke her er nevnt, er det avdekket lite informasjon om hva som kan være årsaker til det store avviket fra antatt forbruk og den store variasjonen i årene etter gjennomføring.

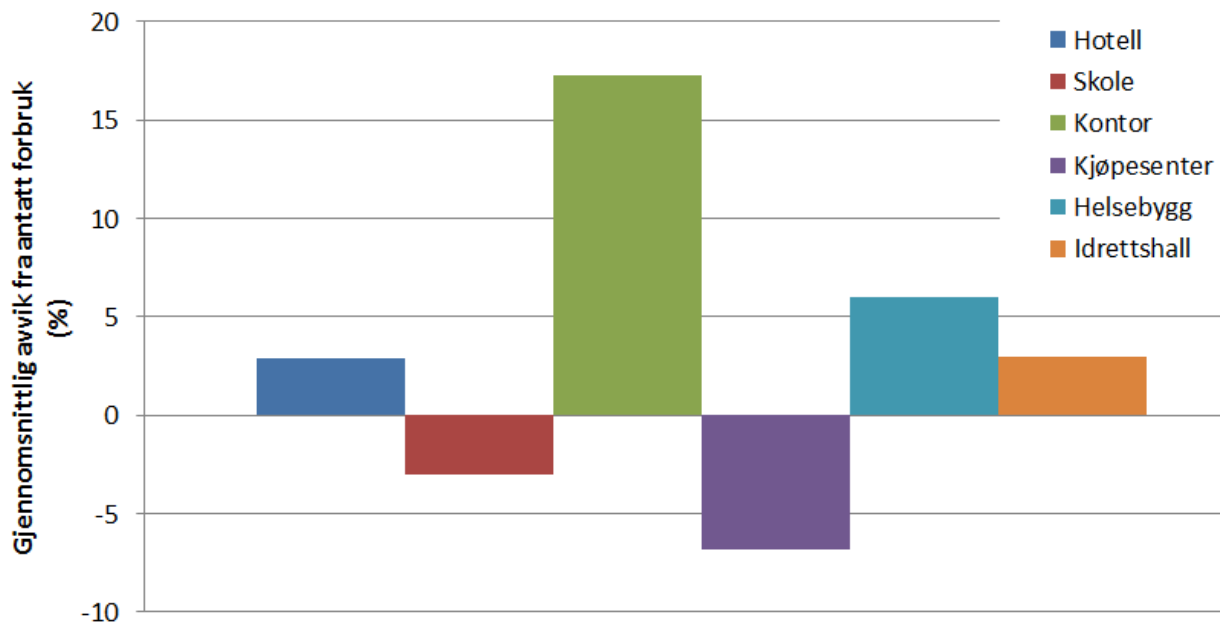
7.3 Bygningskategori

Bygningskategori er en av åtte utvalgte parametere som kan påvirke avviket. Figur 7-7 viser en måte å fremstille dette på, hvor det er tatt utgangspunkt i antatt forbruk første år etter gjennomføring for de ulike bygningskategoriene.



Figur 7-7: Avvik fra antatt forbruk for de ulike bygningskategoriene

Figur 7-7 viser et negativt avvik, og derav en lavere besparelse enn antatt, for 18 av de 41 byggene.



Figur 7-8: Gjennomsnittlig avvik fra antatt forbruk for de ulike bygningskategoriene (%)

Figur 7-8 viser gjennomsnittlig avvik fra antatt forbruk for de ulike bygningskategoriene, og viser at kjøpesenter og skole er de kategoriene som gjennomsnittlig oppnår det største negative avviket fra antatt forbruk. Hotell, kontor, idrettshall og helsebygg oppnår gjennomsnittlig positivt avvik.

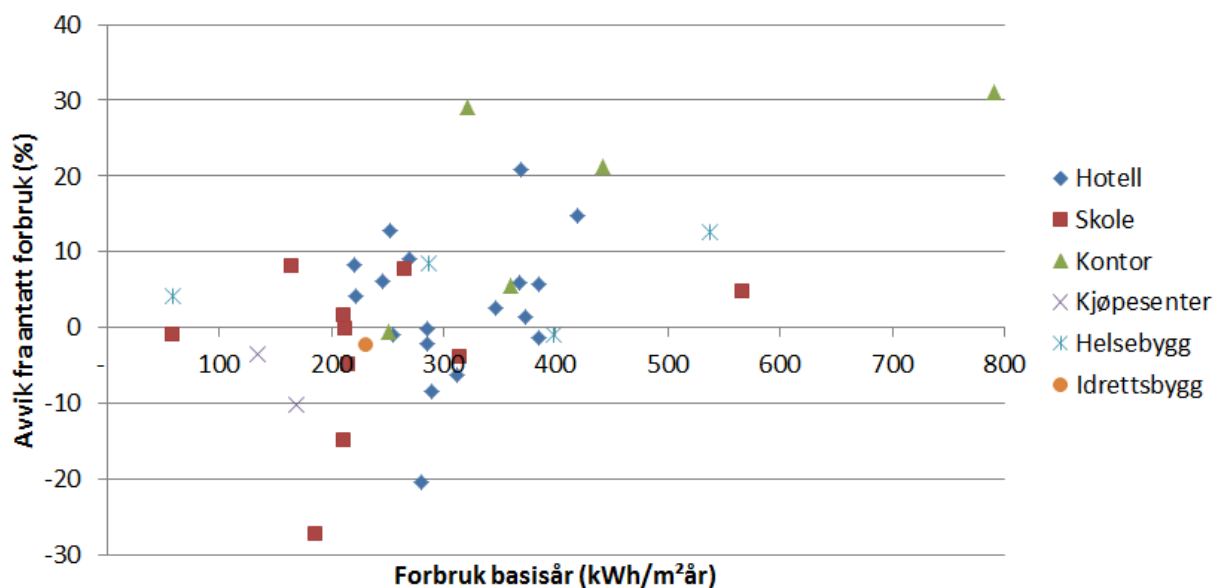
Kontorbyggene er de som har det største avviket i forhold til antatt. Av Figur 7-7 ser en at besparelsen er betydelig underestimert for tre av kontorene, der ett av dem har et avvik på hele 31 % fra antatt resultat. Bortsett fra et lite avvik på -0,7 % for det ene bygget har alle kontorene oppnådd en høyere besparelse enn antatt.

I likhet med kontorbyggene oppnår helsebyggene også jevnt over et bedre resultat enn antatt. Her er det det største avviket på 12,6 %, mens det laveste er -1,0 %.

Bortsett fra kjøpesentrene, der begge byggene oppnådde en lavere besparelse enn antatt for begge byggene, har de resterende bygningskategoriene en god spredning på resultatene. Som en ser av Figur 7-7 er det jevnt over store avvik mellom beregnet og oppnådd besparelse. Skolene er de som har det største negative avviket, mens etter kontorer er det hotellene som har det største avviket i positiv retning.

7.4 Forbruk basisår

Figur 7-9 viser avvik fra antatt resultat i forhold til forbruket byggene hadde før gjennomføring. Bygg I2 er ikke med på grafen da dette bygget hadde et veldig høy forbruk i basisåret (1640 kWh/m²år), noe som påvirker fremstillingen i figuren.

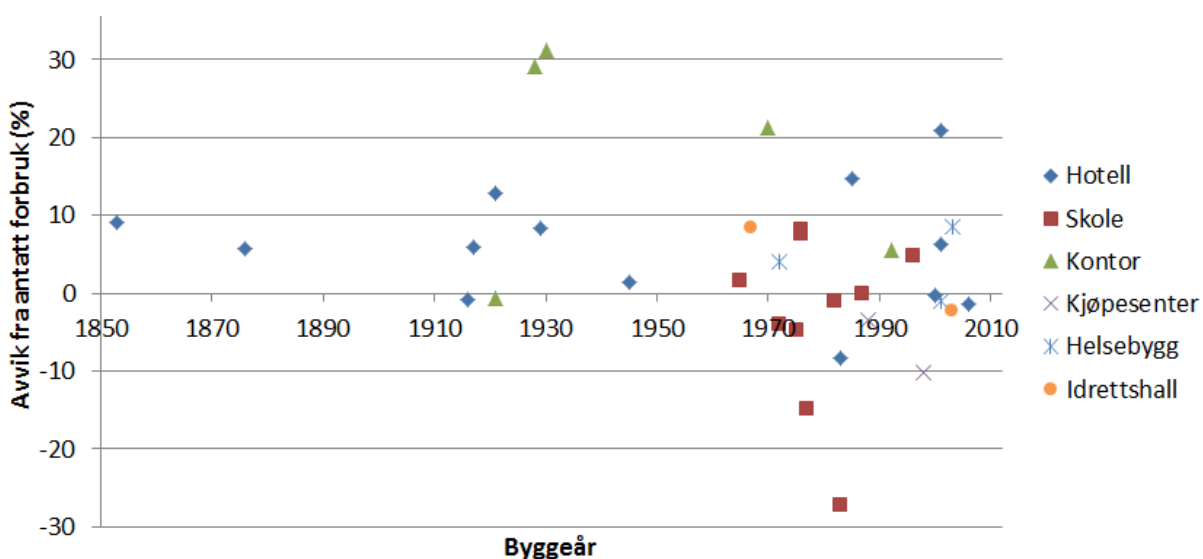


Figur 7-9: Avvik fra antatt forbruk og forbruket for basisår

Av Figur 7-9 kan en se et klart skille mellom bygg med lavere og høyere før-forbruk enn 314 kWh/m²år. Bygg med høyere før-forbruk enn 314 kWh/m²år oppnådde en besparelse som enten var relativt lik den antatte eller høyere. Omvendt ser en at det er de byggene som hadde lavest før forbruk (<314 kWh/m²år), som oppnår det største negative avviket i forbruk i forhold til antatt. Dette kan tyde på bygg med lavt førforbruk ofte blir overestimert på grunn av problemer med å finne lønnsomme tiltak. Omvendt kan det tyde på at bygg med høyt førforbruk ofte blir underestimert da energirådgiver ikke behøver å garantere så høy besparelse for at tiltakene skal bli lønnsomme.

7.5 Byggeår

Figur 7-10 viser avvik fra antatt forbruk og byggeårene for byggene.



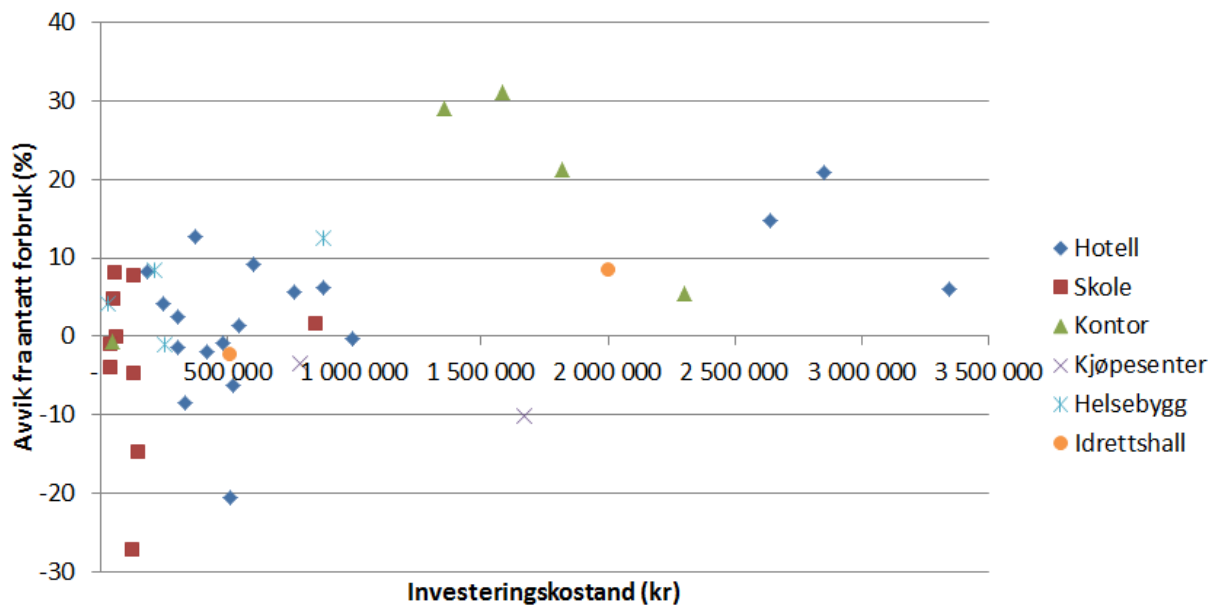
Figur 7-10: Avvik fra antatt forbruk og byggeår for byggene

Av Figur 7-10 ser en at de nyere byggene, som er bygd mellom 1970 og 1990, oppnår det største negative avviket i antatt forbruk, og derav en betydelig lavere oppnådd besparelse enn antatt. Alle

bygg bygd før 1970 har enten tilnærmet lik besparelse i forhold til antatt eller mer. Likevel er det en overvekt av bygg i dataene med byggeår etter 1970, slik at det er mer sannsynlig at et bygg med ekstremverdier befinner seg her.

7.6 Ressursbruk

Figur 7-11 viser avvik fra antatt forbruk mot totale investeringskostnader for de ulike bygningskategoriene.

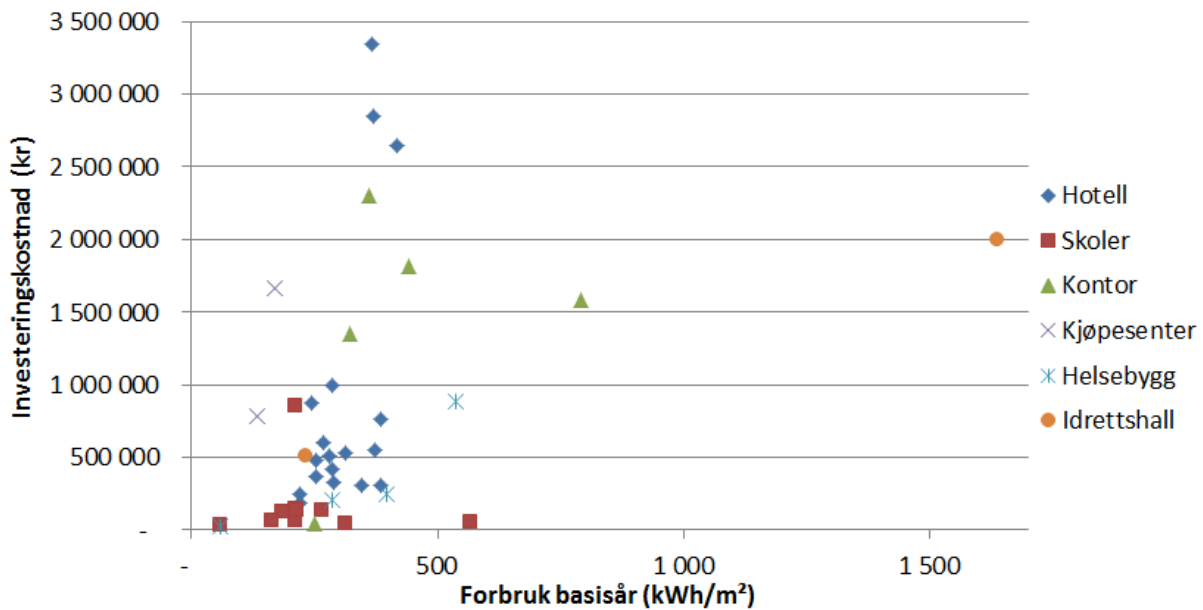


Figur 7-11: Avvik fra antatt forbruk og total investeringskostnad for gjennomførte tiltak

Av Figur 7-11 ser en at alle bygg (med unntak av de to kjøpesentrene) som har gjennomført tiltak med total investeringskostnad over 524 000 kr, har enten oppnådd likt eller lavere forbruk, og følgelig lik eller høyere besparelse i forhold til antatt. Dette gjelder særlig kontorene og hotellene. For kontorene viser resultatene at for de fire byggene som gjennomførte tiltak med høy investeringskostnad, ble besparelsen i stor grad underestimert, mens det ene bygget som hadde lav investeringskostnad oppnådde tilsvarende forbruk som antatt (avvik på $p = -0,66\%$).

Av Figur 7-11 ser en altså en mulig trend til at besparelsen for små prosjekter, og nødvendigvis lav investeringskostnad, blir mest overestimert, mens besparelsen for de store prosjektene gjerne blir underestimert.

Sammenheng mellom investeringskostnad og forbruket i basisåret er vist i figuren under (Figur 7-12).

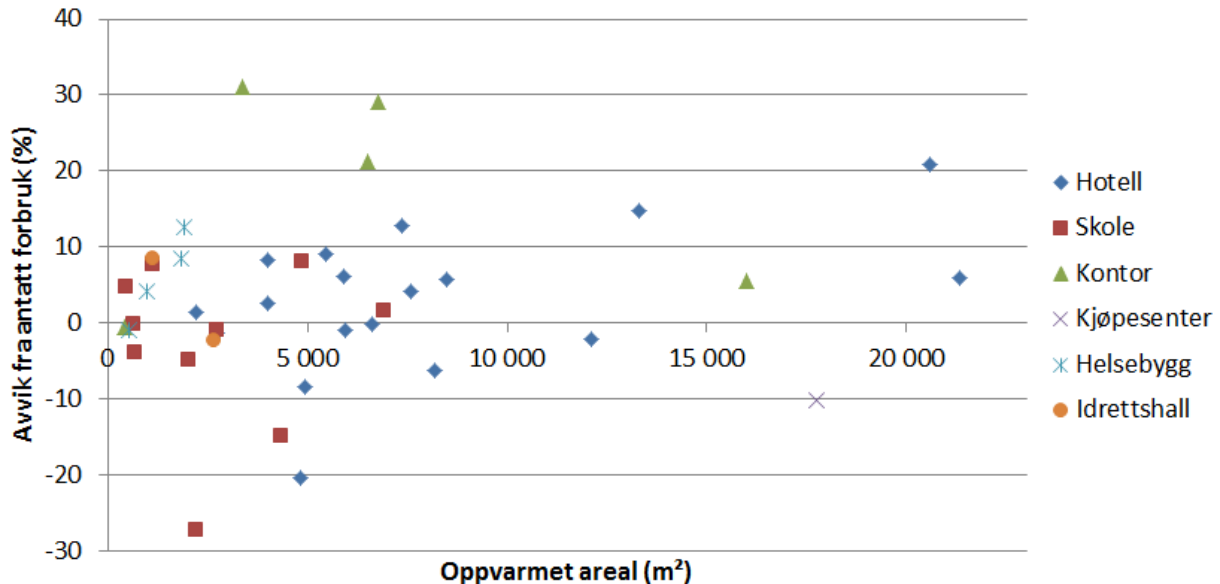


Figur 7-12: Investeringskostnad og forbruk basisår

Denne figuren viser at investeringsgraden ikke nødvendigvis er avhengig av før-forbruket, noe som videre kan tyde på at oppnådd besparelse er avhengig av ressursbruk.

7.7 Oppvarmet areal

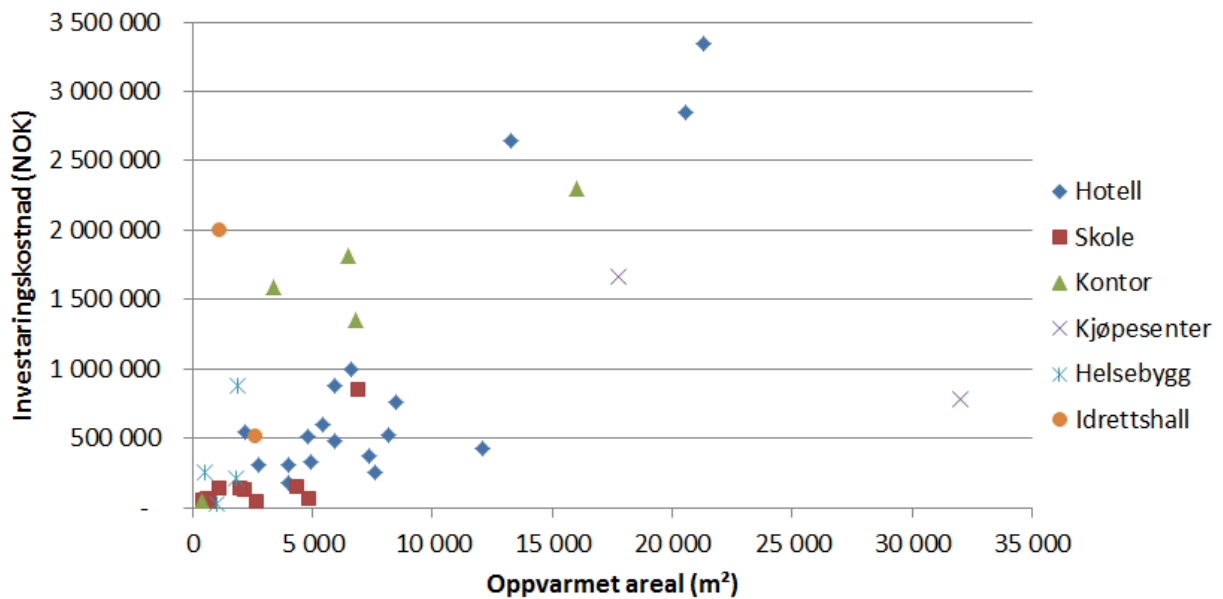
Figur 7-13 viser avvik fra antatt forbruk og oppvarmet areal for byggene.



Figur 7-13: Avvik fra antatt forbruk og oppvarmet areal

Av Figur 7-13 ser en at det er god spredning i størrelsene på byggene og at det er flest store bygg som oppnår et høyere forbruk enn antatt. For de små og mellomstore byggene er det varierende hvorvidt besparelsen blir oppnådd eller ikke, det er altså ingen klare trender.

Figur 7-14 viser at resultatet i forhold til oppvarmet areal kan sees i sammenheng med ressursbruk.

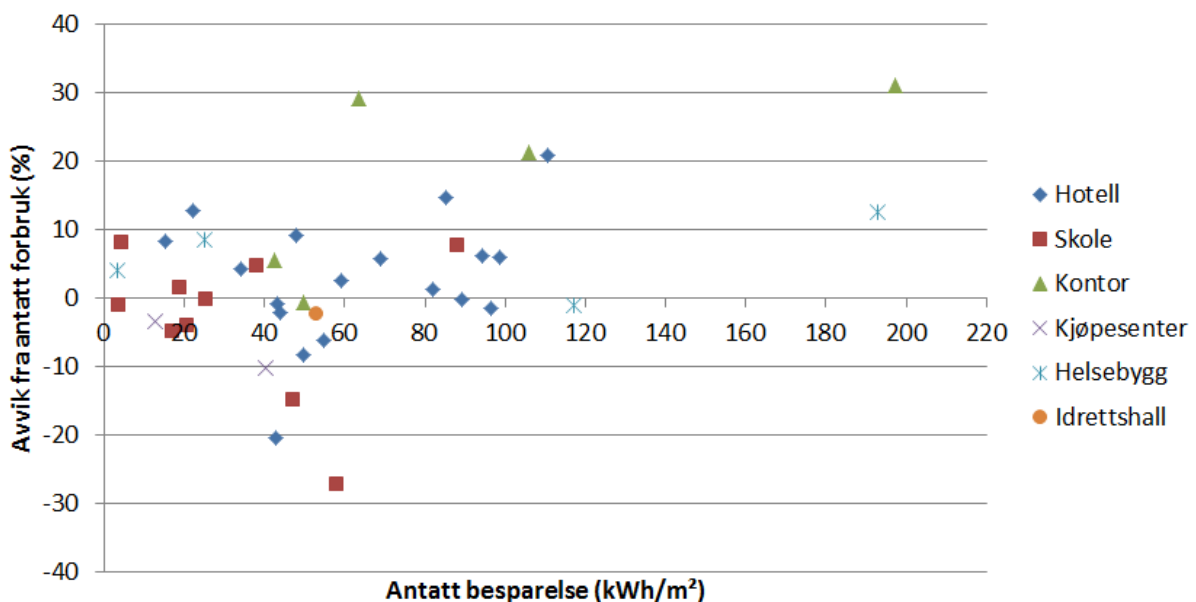


Figur 7-14: Oppvarmet areal og total investeringskostnad for gjennomførte tiltak

Av Figur 7-14 ser en at det, åpenbart nok, gjøres store investeringer på store bygg. Som vist i Figur 7-11 er det disse byggene som oftest oppnår høyere besparelse i forhold til antatt.

7.8 Antatt besparelse

Figur 7-15 viser avvik fra antatt resultat og antatt besparelse for de ulike bygningskategoriene. Bygg I2 er ikke med på grafen, da dette bygget hadde en høy antatt besparelse (534 kWh/m²). Dette punktet påvirker derfor fremstillingen.

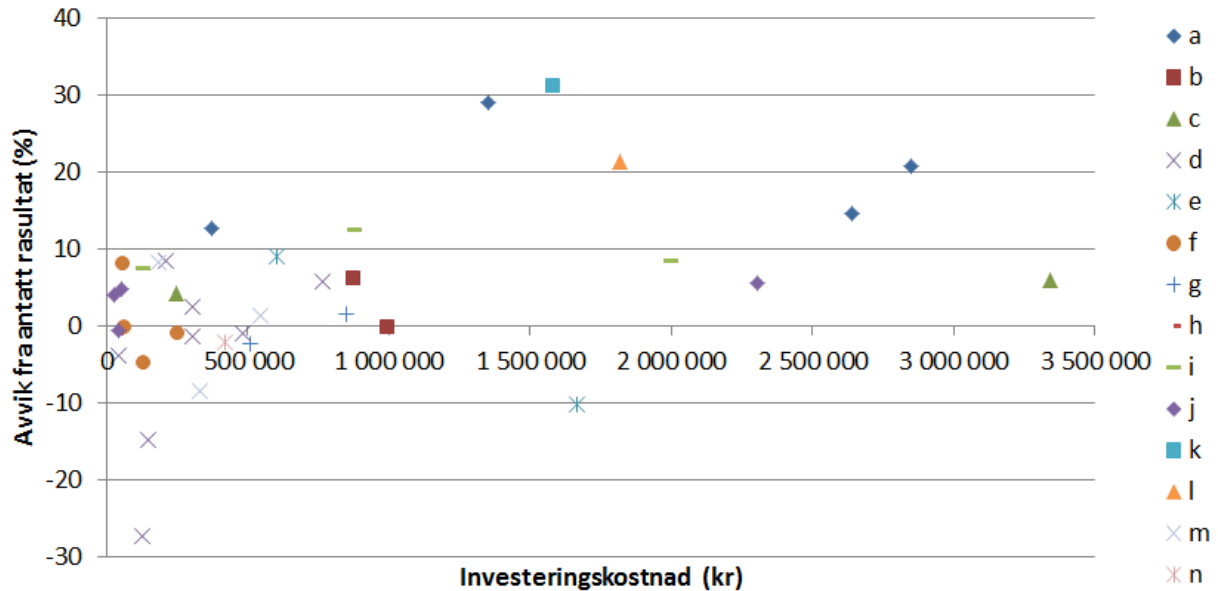


Figur 7-15: Avvik fra antatt forbruk og antatt besparelse for bygningskategoriene

Av Figur 7-15 ser en at det er oppnådd bedre resultat for de byggene med høyest antatt besparelse. Alle bygg som har en antatt besparelse på over 55 kWh/m² oppnår enten relativt likt forbruk i forhold til antatt (avvik på $\pm 1\%$), eller lavere.

7.9 Energirådgiver

Figur 7-16 viser det samme som Figur 7-11, bare her er byggene kategorisert i forhold til hvilken energirådgiver som har laget ENØK-analysene og som har vært med på gjennomføringen av tiltakene.



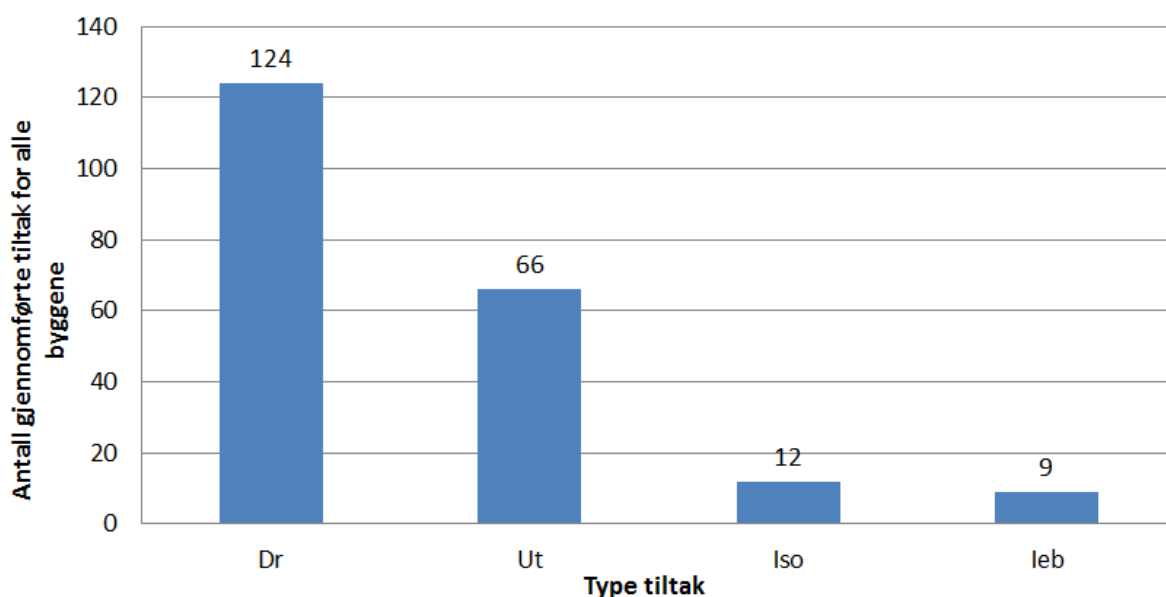
Figur 7-16: Avvik fra antatt forbruk og energirådgiver som planla og gjennomførte tiltakene

Av Figur 7-16 ser en at det er svært mange energirådgivere fordelt på de ulike byggene, noe som gjør at det er vanskelig å si noe fast om hvorvidt oppnådd resultat er avhengig av hvilke energirådgiver som hadde ansvaret for prosjektene. Det en likevel kan se er at de byggene som har gjennomført tiltak med store investeringskostnader, er tiltakene gjennomført av energirådgivere med stor erfaring (energirådgiver «a», «b», «c», «g», «i», «j», «k», «l»). Energirådgiver «e» er oppgitt til å være en uerfaren rådgiver, og en ser at flere av vedkommende sine bygg oppnår et høyere forbruk i forhold til antatt.

En ser også av figuren at det er noen av energirådgiverne som alltid overpresterer, mens det er andre som har veldig varierte resultater.

7.10 Type tiltak

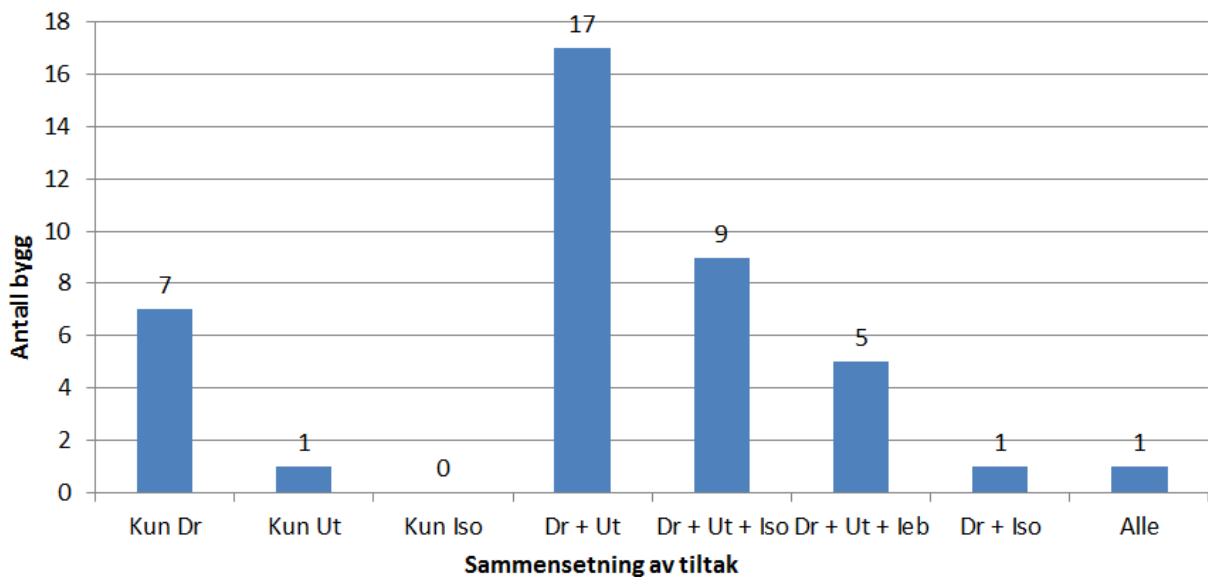
Totalt er det gjennomført 211 tiltak fordelt på de 41 byggene. Figur 7-17 viser hvor mange av disse som er av de ulike tiltakstypene.



Figur 7-17: Antall av de ulike tiltakstypene som er gjennomført i byggene totalt

Det er gjennomført flest tiltak av type Dr, som går på styring, drift, oppfølging og adferd. Etter disse kommer tiltak av type Ut, som går på utskifting eller forbedring av utstyr. Tiltak for isolering og tiltak som ikke er energibesparende, henholdsvis gruppe Iso og Ieb, er det gjennomført færrest av.

Som nevnt har de fleste byggene gjennomført tiltakene i såkalte tiltakspakker, der kun noen få bygg har gjennomført kun ett tiltak. Figur 7-18 viser sammensetningen av tiltak som er gjennomført i de ulike byggene, og hvor mange av byggene som har gjennomført de ulike sammensetningene.

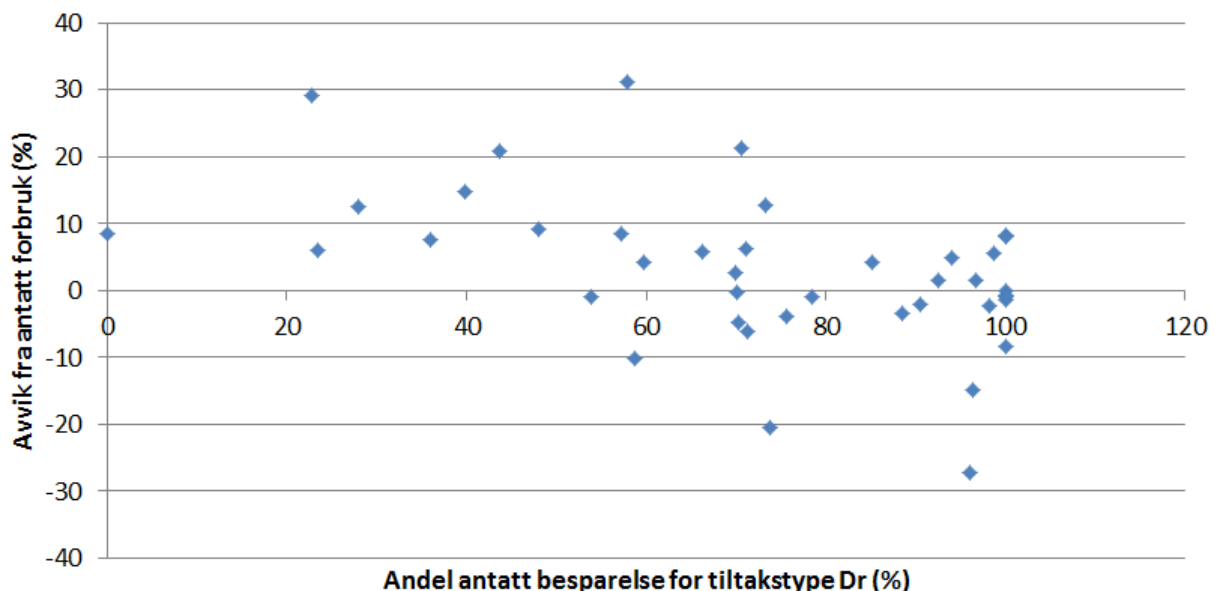


Figur 7-18: Sammensetning av type tiltak og hvor mange av de 41 byggene som har gjennomført de ulike sammensetningene

I Figur 7-18 er det flest bygg som har gjennomført sammensetningen av tiltaksgruppe Dr og Ut. 7 av byggene har kun gjennomført tiltak av type Dr, der de fleste av dem har gjennomført flere enn ett tiltak av denne typen. Generelt har de fleste byggene gjennomført flere av tiltakstypene i samme tiltakspakke, og som sett i Figur 7-18 er det flest tiltak av type Dr.

7.10.1 Oppnådd resultat

Figur 7-19 viser avvik fra antatt forbruk og hvor stor andel av besparelsen som er av tiltakstype Dr.



Figur 7-19: Avvik fra antatt forbruk og andel besparelse for tiltakstype Dr

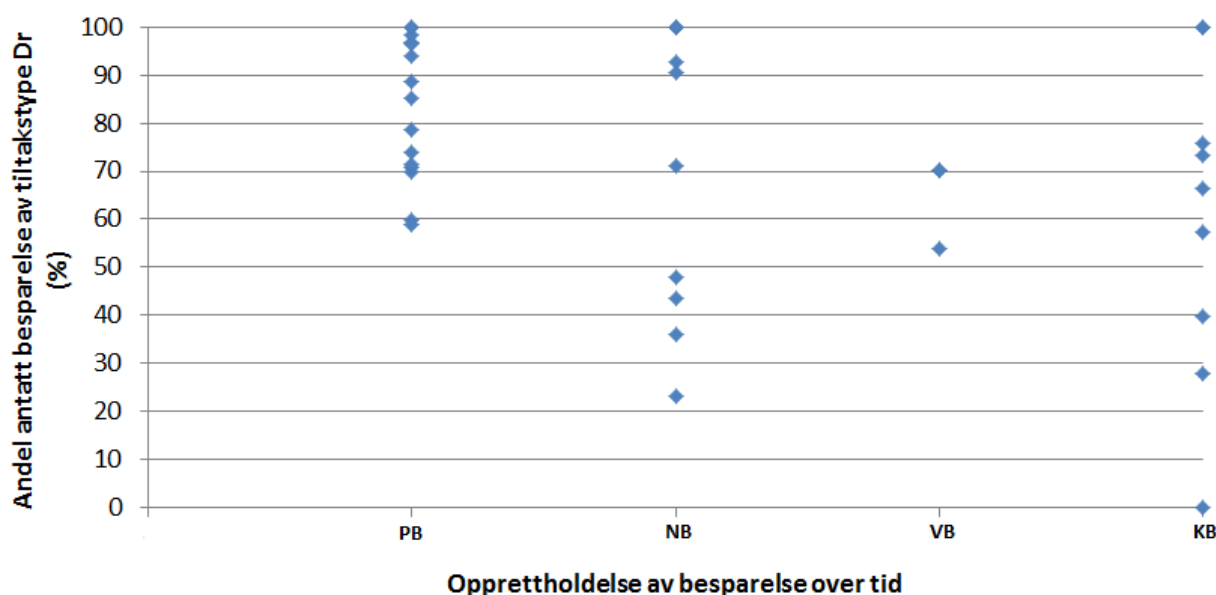
Figur 7-19 viser så videre at de byggene som oppnår det største negative avviket fra antatt forbruk, har i stor grad en besparelse som avhenger av riktig drift og oppfølging. For disse byggene utgjør tiltakstype Dr med andre ord en stor andel av besparelsen. Motsatt ser en at byggene som oppnår de største positive avvikene fra antatt forbruk, og som følgelig har oppnådd

et mye lavere forbruk i forhold til antatt, er besparelsen i mindre grad avhengig av drift og oppfølging. For disse tiltakene utgjør tiltakstype Ut og Iso en større del av den antatte besparelsen.

7.10.2 Opprettholdelse av besparelse

I kapittel 7.2.4 er det beskrevet mulige årsaker til den varierende besparelsen over tid, og det skal her ses på om det er noen spesielle tiltak som peker seg ut til å være avgjørende for opprettholdelsen.

Figur 7-20 viser hvordan besparelsen opprettholdes over tid for de ulike byggene, avhengig av hvor stor andel av den antatte besparelsen som er av type Dr.



Figur 7-20: Opprettholdelse av besparelse over tid og andel antatt besparelse av tiltakstype Dr

Av Figur 7-20 ser en at de byggene som har en besparelse som øker med årene (PB), har gjennomført tiltak som i stor grad er avhengig av drift. En ser også at noen av byggene som har veldig høy antatt besparelse av type Dr også går i negativ retning. Det er oppgitt at disse byggene ikke driftes riktig, og at det kan være årsaken til lave og synkende besparelser.

7.10.3 Bygg som har gjennomført de samme tiltakene

I de fleste byggene er det gjennomført flere tiltak, mens noen av byggene har bare noen få. For de byggene som har gjennomført få tiltak, er det noen som har gjennomført samme type tiltak. For disse byggene er det en spredning i oppnådd besparelse. Det skal derfor her sees på de byggene som har gjennomført de samme tiltakene for å se hva spredningen skyldes. Dette gjelder bygg H5, S3, S7, K5 og He4. Alle disse byggene har gjennomført EOS og driftsoptimalisering som eneste tiltak. Dette er med unntak av bygg He4, som også har varmtvannsreducerende tiltak. H4 er likevel inkludert i denne analysen, da den største delen av besparelsen ligger i tiltak for EOS og driftsoptimalisering (85,2 %).

Av Tabell 7-1 ser en resultatene for de fem byggene som har gjennomført de samme tiltakene

Tabell 7-1: Resultat for bygg som har gjennomført samme tiltak

Bygg	Avvik fra antatt forbruk første år etter gjennomføring (%)	Tiltak	Antatt besparelse for tiltakstype Dr i forhold til total (%)	Opprettholdelse
H5	8,3	1) EOS 2) Driftsinstrukser	100	NB
S3	-0,15	1) EOS 2) Driftsoptimalisering	100	KB
S7	8,1	1) EOS 2) Driftsoptimalisering	100	KB
K5	0,7	1) EOS 2) Driftsoptimalisering	100	NB
He4	4,1	1) EOS 2) Driftsoptimalisering 3) Varmtvannsreducerende tiltak	85,2	PB

De fleste byggene oppnår enten samme forbruk som antatt eller lavere. Tiltakene EOS og driftsoptimalisering er tiltak som går på overvåking og forbedring av drift, der opplæring gitt av energirådgiver og vilje hos driftsansvarlig er avgjørende for å oppnå den antatte besparelsen.

Begge byggene som har konstant besparelse over tid har hatt samme energirådgiver til å planlegge tiltakene og til å være med på gjennomføring av tiltakene, noe som kan tyde på god opplæring. For K5 og H5, der besparelsen synker med årene etter gjennomføring, er det påvist flere feil ved drift. For He4, som har en forbedring i besparelse med årene, er det oppgitt av energirådgiver at driften gått meget bra.

Om årsakene til varierte resultatene og opprettholdelsene skyldes vilje og motivasjon hos driftsansvarlig eller kvalitet av opplæring av energirådgiver, er vanskelig å avdekke. Uansett ser en her viktigheten av kontinuerlig oppfølging og funksjonskontroll for å forsikre den antatte besparelsen over flere år.

8. Usikkerhetsanalyse

Dette arbeidet er forbundet med flere usikkerhetsmomenter, noe som kan påvirke resultatene. De viktigste usikkerhetene er:

- Beregningsfeil, både i beregninger som er gjort i denne oppgaven og beregninger av energirådgiverne i samarbeidsbedriften.
- Endringer i byggene som ikke er avdekket og som det derav ikke er blitt korrigert for.
- Endringer i gjennomføring av tiltakene i forhold til planlagt.
- Feil i målere.

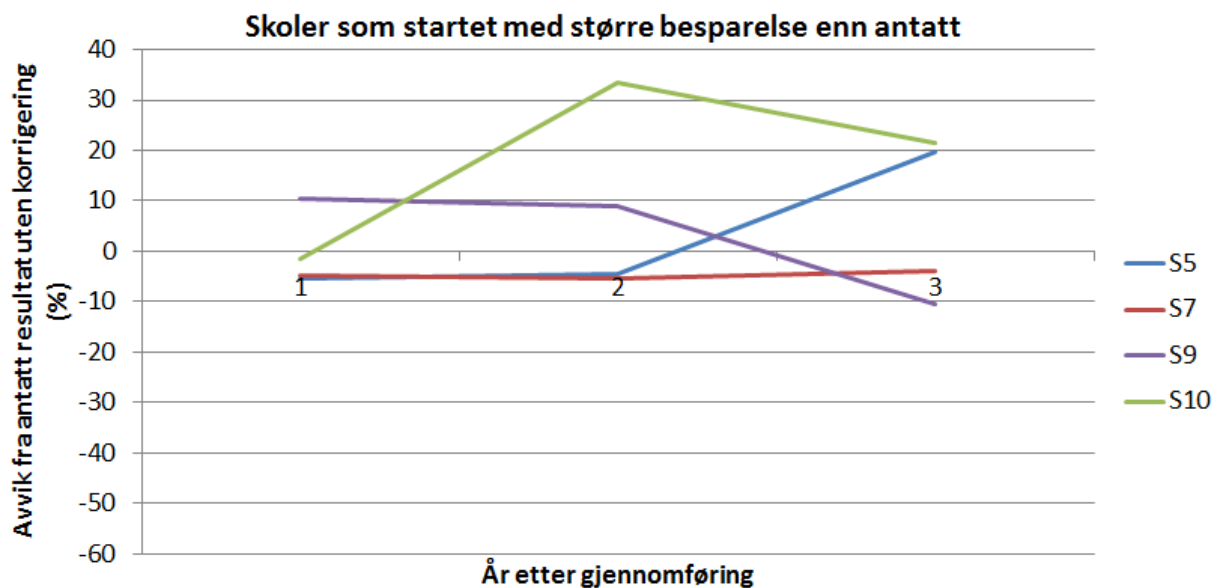
Erfaringer som har blitt opparbeidet gjennom dette arbeidet, tilsier at den største usikkerheten ligger i endringer som ikke blir avdekket. Dette er også blitt bekreftet av energirådgiverne i samarbeidsbedriften, da de opplever at oppfølgingen og verifiseringen av oppnådde resultater er krevende på grunn av at byggeiere og driftsansvarlige ikke opplyser om endringer som forekommer i byggene. I de tilfellene slik informasjonen blir videreformidlet, skjer kommunikasjonen ofte per e-mail eller telefon, og er derfor vanskelig å spore opp for verifisering av resultatene i etterkant.

I dette kapittelet skal det derfor i hovedsak ses på de korrigeringene som er gjort i denne oppgaven, og analysere hvordan disse korrigeringene påvirker de oppnådde resultatene. For dette er skolene brukt som illustrasjon. I tillegg skal det gjøres en kort usikkerhetsanalyse på de resterende usikkerhetene og se hvordan de påvirker det oppnådde resultatet.

8.1 Korrigeringer i forhold til endringer i definert basisår

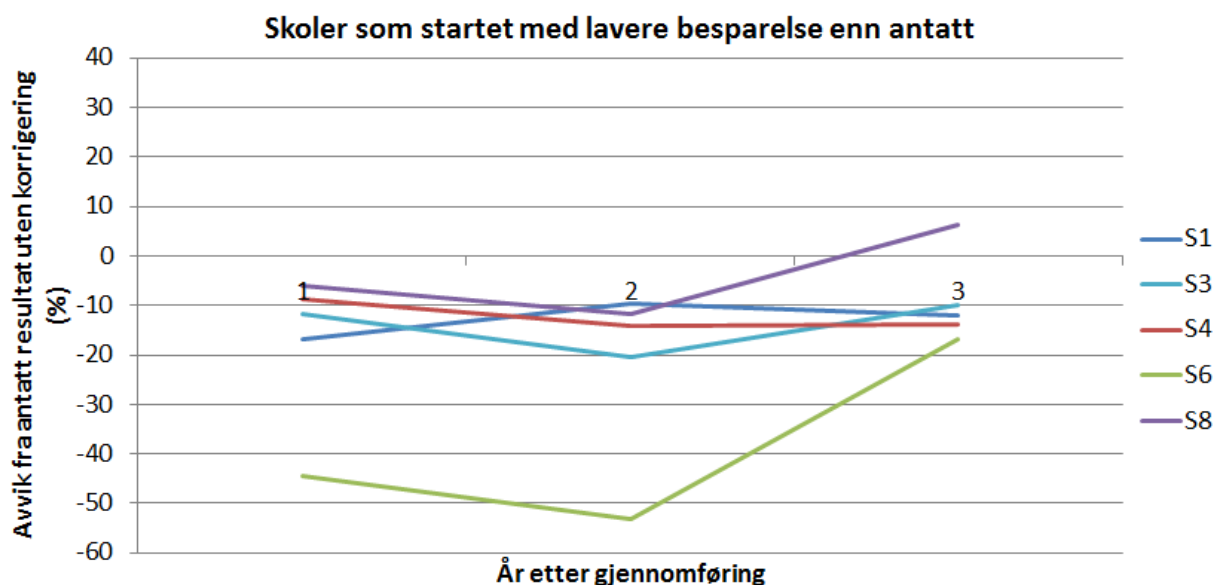
8.1.1 *Oppnådde resultater over tid for skolene uten korrigeringer*

Figur 8-1 viser avvik fra antatt forbruk, der forbruket før og etter gjennomføringen verken er korrigert i forhold til temperatur eller endringer som har forekommet i byggene. Figuren gjelder for skolene som ved korrigering oppnådde større besparelser enn antatt første år etter gjennomføring. Resultatet er vist for kun tre år etter gjennomføring grunnet manglede data for siste år.



Figur 8-1: Avvik fra antatt forbruk over tre år, der forbruket før og etter gjennomføringen ikke er korrigert.

Figur 8-2 viser det samme som for Figur 8-1, bare for skolene som ved korrigering hadde lavere besparelse enn antatt første år.



Figur 8-2: Avvik fra antatt forbruk over tre år, der forbruket før og etter gjennomføringen ikke er korrigert.

Ved å sammenligne Figur 8-1 og Figur 8-2 med resultatene for skoler med korrigert forbruk i Figur 7-3 og Figur 7-4, ser en at resultatet er nokså forskjellig. For første år etter gjennomføring viser resultatene uten korrigering et negativt avvik fra antatt forbruk, og derav en lavere besparelse enn antatt, for åtte av de ni byggene. I motsetning gjaldt dette for fire av skolene ved korrigering. Totalt viser resultatene for åtte av de ni byggene et høyere forbruk første år uten korrigering enn resultatene viste med korrigering.

Resultatene blir nokså ulikt uten korrigering også for de påløpende årene etter gjennomføringen. For fjerde år viser resultatene uten korrigering en lavere besparelse for syv av byggene i forhold til resultatene med korrigering.

Avviket mellom forbruket for S1 kan delvis forklares ved at arealet ble økt tredje år, noe som ga en antatt økning i forbruket på 4,4 %. Hadde ikke denne korrigeringen blitt gjort, hadde resultatet vist en mindre besparelse enn den reelle.

For S6 er før-forbruket korrigert grunnet av økt bruk av bygget og oppføring av nye deler av bygget. Dette ga en anslått økning i forbruket på 24 %, og uten denne korrigeringen ville resultatet vist en mye mindre besparelse. Ut over dette er det oppgitt at det i år to har vært problemer med ventilasjonen. Omfanget er ikke kjent og dette er det dermed ikke korrigert for.

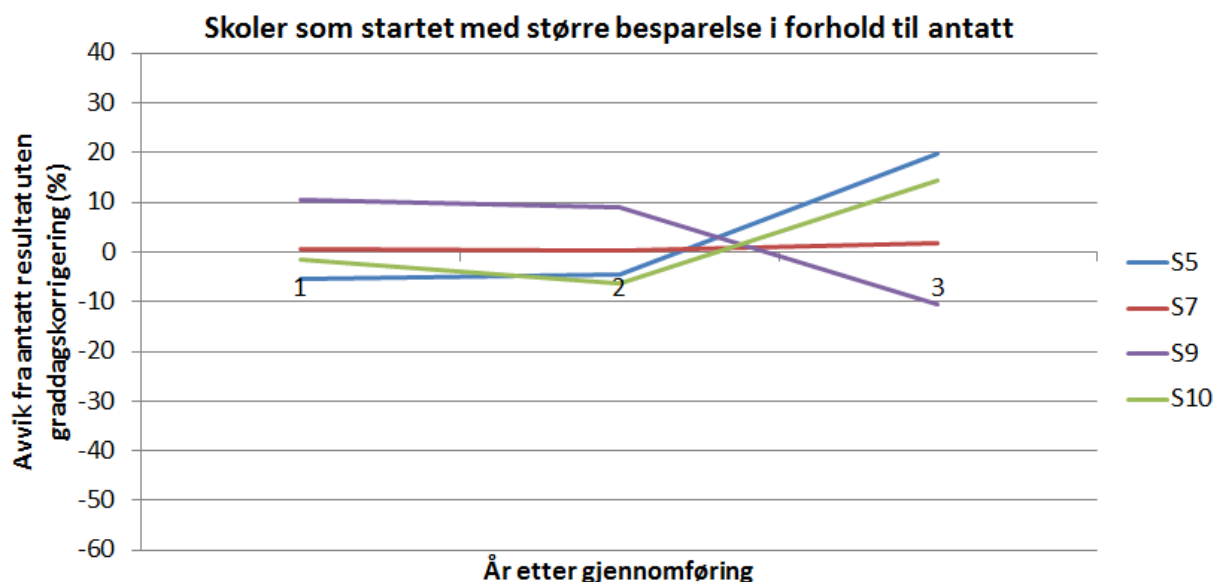
Skole S7 hadde rett før gjennomføring en økning i bruk av ventilasjon. Dette ga en økning i forbruket på 5,4 % som før-forbruket ble korrigert for.

Før-forbruket for S10 er justert både i år to og tre på grunn av endret areal og endret bruk av areal. Det ble oppgitt at denne skolen har et svært variert bruk. Før-forbruket ble da endret med henholdsvis 28 % og 7,7 % i forhold til basisåret.

Ut over de overnevnte korrigeringene er det ingen andre endringer som er kjente, og det er da antatt at byggene er i samsvar med det som er oppgitt i basisåret. Alle byggene er imidlertid graddagskorrigert, noe som også er utslagsgivende for avvikene. Forbruket for skole S3, S4, S5, S8 og S9 er ikke korrigert i forhold til endringer som har oppstått i bygget, og avviket i Figur 7-3 og Figur 7-4 i forhold til figurene med korrigering skyldes graddagskorrigering.

8.1.2 Oppnådd resultat over tid for skolene uten graddagskorrigering

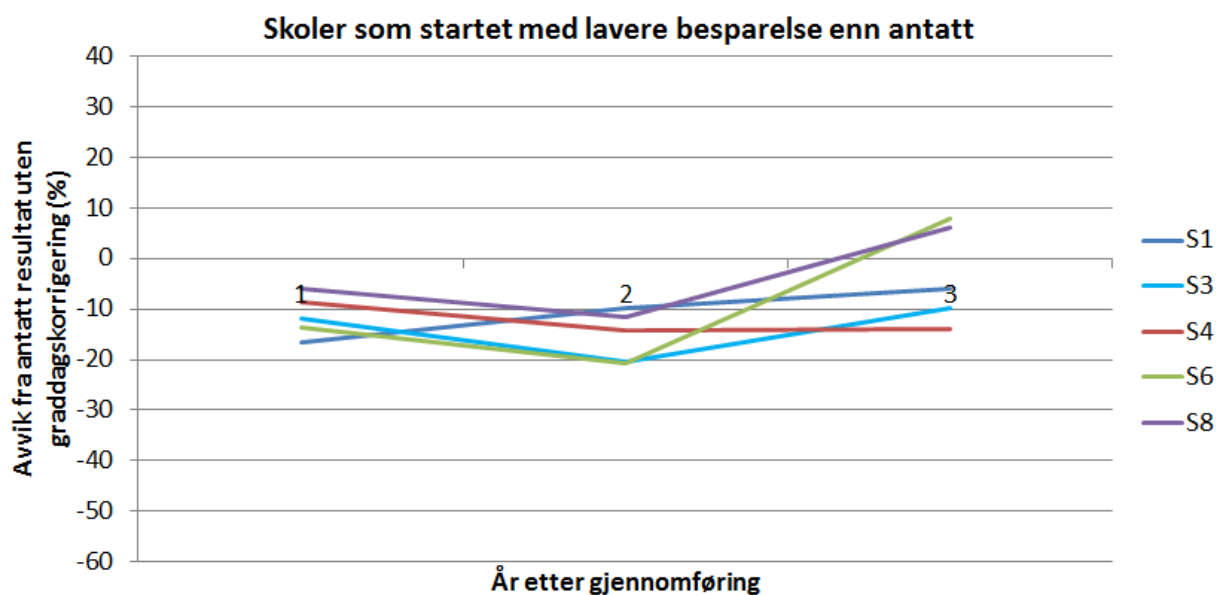
Figur 8-3 og Figur 8-4 viser hva resultatet for skolene hadde vist dersom forbruket ikke ble graddagskorrigert, henholdsvis for skoler som ved korrigering oppnådde større besparelse enn antatt første år og for de som oppnådde lavere. Her er det korrigert etter endringer som har forekommet i forhold til basisår.



Figur 8-3: Avvik fra antatt forbruk over tre år, der forbruket før og etter gjennomføringen ikke er graddagskorrigert

For skolene som første år oppnådde en større besparelse enn antatt med graddagskorrigert forbruk, viser resultatet uten korrigering en lavere besparelse første år for tre av de fire byggene i forhold til resultatet med korrigering. Hvis en sammenligner Figur 8-3 med Figur 7-3, ser en at

resultatene med og uten graddagskorrigering for de påløpende årene etter gjennomføring også er noe ulikt. For år fire viser resultatene uten graddagskorrigering et høyere forbruk for tre av fire bygg, i forholdt til resultatene med korrigering.



Figur 8-4: Avvik fra antatt forbruk over tre år, der forbruket før og etter gjennomføringen for skolene ikke er graddagskorrigert

Resultatet med og uten korrigering er også ganske forskjellig for bygg som første år oppnådde lavere besparelse enn antatt. Hvis en sammenligner Figur 8-4 med Figur 7-4, ser en at resultatet viser en lavere besparelse for samtlige bygg første år etter gjennomføring uten korrigering enn det gjorde med korrigering. For de andre årene ser en også at resultatet ville ha blitt noe annerledes uten graddagskorrigering, både i positiv og i negativ retning.

8.2 Endringer i gjennomføring av tiltak, målefeil og beregningsfeil

Som nevnt kan det oppstå endringer underveis i prosjekteringen som gjør at tiltakene ikke blir gjennomført nøyaktig som tiltenkt ved planleggingen. Informasjon om slike endringer blir ikke alltid dokumentert, og denne typen informasjon har derfor i denne oppgaven vært vanskelig å avdekke.

Bygg I2 var ett av få bygg der det ble avdekket at ikke tiltakene ble gjennomført som planlagt. Ett av byggets åtte tiltak ble ikke gjennomført som beskrevet i ENØK-analysen. Energirådgiveren som var ansvarlig for dette bygget var en av få som fortsatt jobbet i samarbeidsbedriften og som derav kunne si noe om hvorvidt tiltakene ble gjennomført etter planen eller ei.

I følge ENØK-analysen skulle det gjennomføres et tiltak som går ut på å bytte varmeproducent, ny el-kjel, ny oljekjel og installasjon av kjelvelgersentral. Dette skulle gi en betydelig bedre virkningsgrad, og den beregnede besparelsen var på 214 401 kWh/år. Av energirådgiver er det imidlertid informert om at tiltaket ikke ble gjennomført helt som tiltenkt, noe som blant annet førte til at virkningsgradene ikke ble like høy som forutsatt. Dette førte til at den antatte besparelsen ble justert ned til 127 707 kWh/år. Dette tiltaket hadde en stor vekt i den totale

antatte besparelsen⁶, noe som da gjorde utsalg på det oppnådde resultatet. Dette kan vises av likning (3) og (5) beskrevet i kapittel 6.5.1:

$$p = \left(\frac{E_{antatt} - E_{oppn\ddot{a}dd}}{E_{antatt}} \right) \cdot 100 \quad (3)$$

$$p = \left(\frac{(E_{f\ddot{o}r} - B_{antatt}) - (E_{f\ddot{o}r} - B_{oppn\ddot{a}dd})}{E_{f\ddot{o}r} - B_{antatt}} \right) \cdot 100 \quad (5)$$

Der

p = Avvik fra antatt forbruk, sett i forhold til antatt energiforbruk (%).

$E_{f\ddot{o}r}$ = Total forbruk basisår (kWh/år).

B_{antatt} = Antatt besparelse (kWh/år).

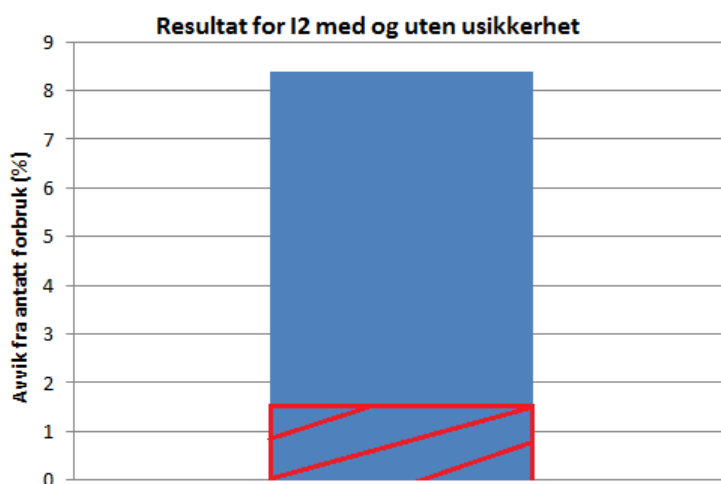
$B_{oppn\ddot{a}dd}$ = Oppnådd besparelse etter gjennomføring (kWh/år).

E_{antatt} = Antatt totalt energiforbruk etter gjennomføring (kWh/år).

$E_{oppn\ddot{a}dd}$ = Totalt energiforbruk etter gjennomføring (kWh/år).

Hvis antatt besparelse (B_{antatt}) hadde vært 214 401 kWh/år istedenfor 127 707 kWh/år, hadde antatt totalforbruket etter gjennomføring (E_{antatt}) blitt mindre. En ser av likning (3) at avviket fra antatt forbruk, p , da hadde blitt mindre.

Figur 8-5 viser hvordan avvik fra antatt resultat for bygg I2 hadde blitt med og uten endring i besparelse for tiltaket. Den blå søylen viser avviket fra antatt forbruk med endringen, mens det skraverte røde området viser avviket uten endringen.



Figur 8-5: Avvik fra antatt forbruk for I2 med og uten endringer i besparelse for tiltak

Som en ser av Figur 8-5, er denne informasjonen avgjørende for å få et riktig bilde av det oppnådde resultatet, da resultatet uten denne endringen viser avvik fra antatt forbruk på 1,5 %, istedenfor 8,4 % med endringen.

⁶ Se vedlegg C for informasjon om de gjennomførte tiltakene

Det samme gjelder for de resterende byggene. På lik linje med informasjon om korrigeringer, er informasjon om eventuelle endringer som gjøres i gjennomføring av tiltakene ikke dokumentert. I denne oppgaven er det, med mindre annet var oppgitt, antatt at tiltakene ble gjennomført i henhold til ENØK-analysen laget av energirådgiver. På grunn av usikkerhet rundt gjennomføringen, kan de andre bygge ha en tilsvarende usikkerhet som den vist i Figur 8-5.

Beregningsfeil og målefeil kan også forekomme, men i samarbeidsbedriften er det flere, både interne og eksterne, som nøye går igjennom vurderingene og beregningene gjort i analysene, noe som fører til at disse feilene i de aller fleste tilfellene avdekkes på et tidlig stadium. I tillegg til beregningen av og målingene gjort av energirådgiver, er det også en usikkerhet knyttet til beregninger og målefeil gjort i denne oppgaven, og kan føre til tilsvarende feil i resultatene som den vist i Figur 8-5.

9. Diskusjon av resultatene

9.1 Opprettholdelse over tid

I tillegg til oppnådd besparelse rett etter gjennomføring, er det også viktig at besparelsen også opprettholdes over tid. Samtlige av de analyserte byggene har endret besparelse med tiden etter gjennomføring av ENØK-tiltak. De fleste av byggene, da spesielt hotellbyggene, som første år hadde et veldig mye lavere forbruk enn antatt, og følgelig oppnådde høyere besparelse enn antatt, oppnådde en reduksjon besparelse året etter. Omvendt oppnådde samtlige bygg som første år hadde et betydelig lavere forbruk i forhold til antatt, en økning i besparelse året etter. Årsaken til dette kan være garantien. Garantien innebærer at hvis besparelsen er lavere enn antatt første år etter gjennomføring, må samarbeidsbedriften gjøre grep for at besparelsen skal oppnås. Dette har blant annet blitt gjort ved at samarbeidsbedriften har gått inn og driftet byggene for kort en periode.

Av de 15 byggene det er funnet varierte besparelser over en periode på 4 år, er drift årsaken for ni av byggene, ombygging er årsaken for fem og ett av byggene har både drift og ombygging som antatt årsak. For de byggene med drift som årsak, har driften sørget for både høyere og lavere besparelser enn antatt. For to av de ni byggene er de oppnådde besparelsene delvis knyttet til god drift. For de resterende er det avdekket flere feil i driften som har forårsaket lave og synkende besparelser. I de tilfellene med ombygging som årsak, er dette kun antagelser som ikke har blitt stadfestet, og derav ikke blitt korrigert for. Likevel ser en at avdekking av endringer i byggene er viktig for å gi et riktig bilde av besparelsen.

Samarbeidsbedriften oppfordrer ofte byggeiere til å forlenge garantien i de tilfeller hvor besparelsen ikke har blitt oppnådd, noe som byggeiere som regel takker nei til. Årsaken til dette kan være mange, men i de fleste tilfellene er det et kostnadsspørsmål. I noen tilfeller kan det nok også skyldes at de ønsker å følge opp forbruket selv, uten hjelp fra eksterne. Resultatene viser imidlertid trender til at forbruket går opp etter endt garantitid. Her kan motivasjonen og intensjonene til byggeier og/eller driftsansvarlig spille en stor rolle. Om intensjonen med tiltakene var status eller økt verdi på byggene, er det ikke sikkert at fokuset rundt drift og opprettholdelse var like stort som der reduserte kostnader var den viktigste motivasjonen ved implementering av tiltak. Her er det viktig med avklaringer rundt dette under utvelgelsen av tiltakene. Enten må energirådgiver motivere driftsansvarlige nok til at bygget blir driftet på en tilfredsstillende måte, eller velge tiltak som ikke er like avhengig av drift i de tilfellene motivasjonen ikke er tilstrekkelig for å kunne oppnå besparelsen. Resultatene viser også behovet for garanti over lengre perioder i de tilfellene driftsansvarlig ikke er i stand til å gjennomføre tiltakene og oppnå besparelsene selv.

For de byggene som oppnådde høy besparelse i forhold til antatt første år, men som har en synkende besparelse året etter, kan årsaken til dette være at driftene nådde de målene som var satt før implementeringen, og som ikke så noen grunn til videre oppfølging etter det gode resultatet første år. Selv om tiltakene er implementert på riktig måte ved gjennomføring, er det nødvendig at drifter likevel følger opp forbruket og ser til at driften opprettholdes som forutsatt.

Hvorvidt den dårlige driften fra driftsansvarlig sin side skyldes dårlig opplæring eller manglende vilje, motivasjon eller kunnskap hos byggeier og/eller driftsansvarlig, er et spørsmål det er vanskelig, og vil sannsynligvis variere fra bygg til bygg. Overordnet kan det tyde på

opprettholdelse av besparelse kan være personavhengig, og dette kan både gjelde energirådgiver og byggeier/driftsansvarlig.

Det er i denne oppgaven sett på totale besparelser og totale forbruk. 20 av byggene bruker kun elektrisitet og de resterende 21 byggene bruker fjernvarme, gasskjele, oljekjel og /eller el-kjel til oppvarming. Det var for 14 av byggene mulig å måle forbruk fordelt på energibærere. De fleste av byggene som bruker fjernvarme eller kjeler til oppvarming, har gjennomført tiltak med den hensikt å redusere både elektrisitetsforbruket og forbruket til oppvarming. Det har i denne oppgaven ikke vært mulig å skille på besparelser fordelt på energibærere for de enkelte tiltakene, da kun *totale* besparelser er oppgitt av samarbeidsbedriften. Ut i fra beskrivelsene av tiltakene kunne det imidlertid delvis skilles mellom tiltakene som var ment til å redusere kun elektrisitet, de som var ment til å redusere oppvarming ved annen energibærer, eller de som var ment til å redusere begge deler. I disse tilfellene er det sett at en burde dele opp forbruket etter energibærere for å kunne gi et riktig bilde av besparelsen.

9.2 Bygningskategori

Det er i denne oppgaven sett på totalt seks ulike bygningskategorier, og det er en stor spredning i antall bygg per kategori. Dette gjør at det er vanskelig å dra noen slutninger om hvorvidt oppnådd besparelse er avhengig av bygningskategori. Resultatene viser at kontorene og helsebyggene gjennomsnittlig oppnår de beste resultatene, mens kjøpesentrene oppnår de dårligste.

Noe som kan være årsaken til de varierte resultatene for de ulike bygningskategoriene er hvordan energiforbruket og besparelsen defineres. Hotell og kjøpesentrene kan det være vanskelig å beregne for, da disse bygningstypene ofte har varierte bruk. For begge bygningskategoriene er antall brukere svært forskjellig fra dag til dag, noe som også påvirker energiforbruket. Dette kan føre til at det er krevende å definere et basisår, samt å beregne de virkelige konsekvensene av gjennomføring av tiltak. Skoler, kontorer, helsebygg og idrettsbygg er mer forutsigbare når det gjelder driftstider og antatt brukere, og er derfor enklere å definere basisår og besparelser for.

Hvordan de ulike byggene i de respektive bygningskategoriene driftes, kan også være utslagsgivende for den oppnådde besparelsene. Skoler har flest barn som brukere, og kan gjerne være mer hensynsløse når det kommer til manuell drift som slukking av lys, justering på termostater og åpning av vinduer. Det samme gjelder hoteller, der majoriteten av brukerne er gjester som ikke har noen eierskap til bygget og, på samme måte som for barn i skoler, ikke tar hensyn til energiforbruk.

9.3 Forbruk basisår og antatt besparelse

Resultatene viste at byggene med høyt før-forbruk oftest oppnår et lavere forbruk enn antatt, og motsatt viser det seg at byggene som oppnår de høyeste forbrukene i forhold til antatt har lavt før-forbruk. Dette kan skyldes at det for bygg med lavt før-forbruk er vanskelig å finne lønnsomme tiltak, og for at tiltakene da skal bli lønnsomme må rådgiverne ofte legge på litt ekstra når de beregner besparelsene. Motsatt skal det ikke mye til å finne lønnsomme tiltak i bygg med høyt før-forbruk, og rådgiver trenger ikke å legge lista veldig høyt når antatt besparelse beregnes – tiltaket vil sannsynligvis være lønnsomt uansett.

Dette kan sees i sammenheng med antatt besparelse. Resultatene viser at bygg med høy antatt besparelse oppnår lik eller en større besparelse i forhold til antatt forbruk. I tråd med den ovennevnte argumentasjonen vil et bygg med høy antatt besparelse oftest ha et høyt før-forbruk, og derfor også et høyt avvik. For de byggene som har lave antatte besparelser er det svært varierende hvorvidt besparelsene blir som antatt. Det er likevel byggene med lave antatte besparelser som har det største negative avvik fra antatt forbruk.

9.4 Byggeår

Resultatet viser at alle byggene som er bygget før 1970, oppnår enten omtrentlig samme resultat som antatt eller bedre. Bygg som er bygget etter 1970 har en spredning i resultatene, der det er omtrentlig like mange som har underestimert besparelse som overestimert. De byggene som har det største negative avviket, er bygg som er bygd mellom 1970 og 1990.

Dette kan komme av at de eldre byggene ofte har et høyere forbruk enn nye bygg. Årsaken til dette er at nyere bygg er bygd etter strammere standarder, samt at egenskaper ved bygninger varierer med alderen. Mens systemene aldres, minker deres operasjonseffektivitet.

9.5 Oppvarmet areal og ressursbruk

Som vist i resultatene kan oppvarmet areal og ressursbruk ses i sammenheng, da det viser seg at de byggene som oppnår det beste resultatene er de som har høyest investeringskostnad og er de som også har størst oppvarmet areal. I samarbeidsbedriften blir det for slike bygg plukket ut de beste rådgiverne til å gjøre analysene og til å gjennomføre prosjektet, samt at det brukes mye mer tid og interne ressurser på dem i forhold til små prosjekter med lave investeringskostnader. Dette kan føre til at beregningene og valg av tiltak blir mye mer gjennomtenkt og riktig utført for store prosjekter. Prosjekt med store investeringer har også større økonomisk risiko i forhold til at lav lønnsomhet kan gi store utslag. Derfor er det sannsynlig at det er konservative anslag på besparelse, og derfor lettere å oppnå positive avvik eller avvik nær null. I tillegg legges det et mye mer fokus på oppfølging og opplæring.

Det kan også leses ut av resultatene at grad av investering ikke er avhengig av før-forbruket, men kun av størrelsen på bygget. Dette bekrefter at oppnådd resultat i stor grad er avhengig av ressursbruk til planlegging og gjennomføringen av tiltakene, beskrevet i kapittel 2.2.

9.6 Energirådgiver

Resultatene bekrefter at de store prosjektene, med høy investeringskostnad, gjennomføres av erfarne energirådgivere. De fleste av disse prosjektene oppnår en betydelig større besparelse i forhold til antatt. Hvordan de ulike energirådgiverne går frem når de velger ut og anbefaler tiltak, samt metoden de bruker for å beregne besparelsene, er svært personavhengig. Ofte er dette basert på erfaring. Med dette skulle en egentlig forvente at resultatet for de erfarne energirådgiverne skulle bli det samme som forutsatt. Samtidig har de mer erfarne energirådgiverne til en viss grad mer kunnskap om hvordan å formidle viktigheten av driften til driftsoperatøren, og de har mer erfaring med hva som skal til driftsmessig for at besparelsene skal oppnås. I tillegg er det ofte andre tips til god drift som erfarne energirådgiver gir driftsoperatørene for at besparelsen skal bli enda større. I følge samarbeidsbedrift er de mindre erfarne energirådgiverne mer fokusert på tiltakene isolert sett. I tillegg er det flere av

energirådgivere som inkluderer «råd til riktig drift» som egne tiltak og inkluderer dette som en del av den totale antatte besparelsen. Dette betyr at de byggene som ikke har dette inkludert som et eget tiltak, kan oppnå en høyere besparelse i forhold til antatt enn de som har inkludert disse rådene i den total besparelsen.

9.7 Type tiltak

Totalt er det gjennomført 211 tiltak fordelt på de 41 byggene. Av disse er 124 tiltak som knyttet til drift, styring, overvåking og adferd (Dr), 66 går på forbedring eller utskifting av utstyr (Ut), 12 går på Isolering av komponenter (Iso) og 9 er ikke-energibesparende tiltak (Ieb). Alle tiltakene er gjennomført i såkalte tiltakspakker, der det i flest bygg er gjennomført en sammensetning av tiltaksgruppe Dr og Ut. Av de byggene som har gjennomført tiltak i kun en kategori, gjelder dette oftest kategori Dr.

Av resultatene vedlegg B, ser en at i de byggene der det oppnås mye lavere besparelse i forhold til antatt forbruk, er størstedelen av besparelsen avhengig av riktig implementering og drift (kategori Dr). Av tabellene i vedlegg B ser en at disse byggene har gjennomført en majoritet av såkalte «myke» tiltak, der oppnådd besparelse er avhengig av at de implementeres, driftes og oppfølges riktig. Dette viser til viktigheten ved opplæring, bevisstgjøring og motivering av driftsoperatører når det gjennomføres tiltak der besparelsen er avhengig av at bygget driftes på riktig måte. Innføring av tiltak under kategori Ut, som går på nytt utstyr eller forbedring av utstyr, krever også til en viss grad oppfølging. Men hvorvidt besparelsen oppnås er ikke like avhengig av driften som det er for tiltak under kategori Dr, i hvert fall de første årene etter gjennomføring.

Resultatene viser også at byggene som har en besparelse som øker med årene (PB), har gjennomført tiltak som i stor grad er avhengig av drift. Dette gjelder både byggene som etter første år oppnådde en lavere og de som oppnådde en høyere besparelse i forhold til antatt. Dette viser til viktigheten av EOS og god oppfølging fra energirådgivers sin side, som tidligere nevnt iverksetter handling hvis store avvik avdekkes. Samtidig kan dette resultatet vise at driftsoperatøren selv engasjerer seg i det dårlige resultatet, og derav gjør en større innsats for å få ned forbruket. Uavhengig av oppfølgingsavtale er det enklere å gjøre handling for å få ned energiforbruket til antatt mål hvis årsakene til lave besparelser er dårlig drift, enn det er for tiltak under kategori Dr eller Iso.

9.8 Usikkerhetsanalyse

9.8.1 Korrigeringer

For å kunne beregne besparelser, er det i denne oppgaven gjort flere korrigeringer i forhold til endringer i byggene som avviker fra deres definerte basisår, eksempelvis arealendring og endring i driftstid, samt at det er korrigert for utetemperatur. I følge energirådgiver er det nesten uten unntak at bygg endrer seg med tiden så mye at basisåret ikke gjelder lengre enn året etter gjennomføring. Imidlertid er informasjonsflyten mellom driftsansvarlig og samarbeidsbedrift angående slike endringer ikke alltid like god. Det er ikke alltid driftsansvarlig opplyser om endringer, og de gangene dette faktisk skjer, foregår denne kommunikasjonen per e-mail eller telefon. Dette har ført til at det i denne oppgaven har vært krevende å avdekke slik informasjon. Samtidig er flere av prosjektene det er sett på i denne oppgaven noe gamle, slik at denne type informasjon har gått i glemmeboken hos både energirådgiver og driftsansvarlig, samt at flere

energirådgivere og driftsansvarlige som jobbet med prosjektene har sluttet i jobben og ikke lenger er tilgjengelige for å svare på henvendelser. Det er derfor i denne oppgaven antatt, hvis ikke noe annet er opplyst, at bygget etter gjennomføring ikke avviker fra definert basisår.

Det er vist at resultatene hadde blitt nokså forskjellige om de kjente endringene ikke hadde blitt korrigert for. Besparelsene hadde da blitt fremstilt som både høyere og lavere enn de reelle, avhengig av hvilke endringer som har forekommet.

Resultatene uten korrigering viser at åtte av de ni skolene oppnådde en lavere besparelse enn antatt året etter gjennomføring. Med korrigering viste resultatene dette for kun fire av skolene. Resultatene viser også at forløpet over årene etter gjennomføring også er svært annerledes om korrigeringen ikke hadde blitt gjort, der resultatet uten korrigering viser en lavere oppnådd besparelse for syv av byggene i forhold til resultatet med.

I likhet med korrigeringer i forhold til endringer i bygget, er det i resultatene vist at korrigering for endring i utetemperatur påvirker den verifiserte besparelsen. For skolene som etter første år oppnådde en større besparelse enn antatt ved graddagskorrigering, ville resultatene uten graddagskorrigering vise en lavere besparelse første år for tre av de fire byggene. Det samme gjelder for bygg som ved korrigering startet med en større besparelse enn antatt. Resultatet viser en lavere besparelse for samtlige bygg første år etter gjennomføring uten korrigering enn det gjorde med korrigering..

Med dette ser en nødvendigheten av å kjenne til bygget og dets endrede omstendigheter når en skal verifisere besparelsene. Endringer i areal, driftstid og liknende viser seg å forekomme svært hyppig for de fleste analyserte byggene, noe som derav påvirker den beregnede besparelsen. Det er med dette knyttet en stor usikkerhet til hvorvidt alle endringer er avdekket. Som vist i resultatene er slike korrigeringer svært utslagsgivende for den verifiserte besparelsen.

9.8.2 Endringer i gjennomføring av tiltak som ikke er avdekket, målefeil og beregningsfeil

På lik linje med mangel på informasjon angående endringer som har oppstått i bygget, er det en stor usikkerhet knyttet til endringer i gjennomføring av tiltakene i forhold til hva som er definert i ENØK-analysen. I følge energirådgivere i samarbeidsbedriften blir ikke alle tiltakene gjennomført nøyaktig som tiltenkt, da en underveis i prosjekteringen kan komme over tilfeller hvor tiltakene må justeres for at de skal kunne gjennomføres. Dette kan påvirke potensiell besparelse.

Informasjon om slike endringer var i denne oppgaven vanskelig å avdekke da slike endringer ikke alltid blir dokumentert slik at det var mulig å finne spesifikasjoner om det. Samtidig er flere av prosjektene gamle, noe som har betydd at noen av prosjektlederne som gjennomførte tiltakene ikke lengre jobber i bedriften, og ikke er tilgjengelig for å svare på henvendelser. For de som fortsatt jobber der, er prosjektene så gamle at mye har gått i glemmeboka.

På grunn av dette er det knyttet en usikkerhet til de antatte besparelsene og utformingene av tiltakene. For bygg I2 ble det gjennom samtale med energirådgiver avdekket at ett av tiltakene ikke ble gjennomført som først tiltenkt når ENØK-analysen ble laget. Tiltaket gjaldt ny varmeproducent, ny el-kjele og ny olje-kjele. Først ble det antatt at besparelsen skulle være 214 401 kWh, som tilsvarte 30 % av den totale besparelsen, men på grunn av endringer i tiltaket under gjennomføring ble den antatte besparelsen justert ned til 127 107 kWh. Om denne

endringen ikke hadde blitt avdekket, hadde resultatet for første år etter gjennomføring vist et avvik fra antatt forbruk på 1,5 %, istedenfor 8,4 % som ble resultatet av endringen. På grunn av manglende informasjon angående gjennomføringen av tiltakene for de andre byggene, viser dette at det er en relativ stor usikkerhet knyttet til de oppnådde resultatene. Dette kan både gjøre at den oppnådde besparelsen er lavere eller større enn det som er beregnet i denne oppgaven.

I tillegg er det knyttet en usikkerhet til målefeil og beregningsfeil, både de som er gjort i denne oppgaven og de som er gjort av energirådgiverne som beregnet besparelsene for byggene. Dette kan, på lik linje for med manglende informasjon angående endringer i gjennomføring av tiltak, gjøre at resultatene både kan være større eller mindre enn det som er beregnet i denne oppgave.

9.9 Verifisering i henhold til IPMVP

Det har i denne oppgaven vært krevende å verifisere besparelsene i henhold til IPMVP. Årsaken til dette, er først og fremst mangel på nødvendig data. For å kunne verifisere på en god måte er det en del som må gjøres av energirådgiver og byggeier og/eller driftsansvarlig for å legge til rette for dette.

Det viktig at det bestemmes tidlig i planleggingsfasen av prosjektene om måling og verifisering skal være en del av prosjektet. Hvis besparelser skal verifiseres, er det nødvendig med en spesiell planlegging som kan innebære overvåking- og målingsaktiviteter for å etablere en basistilstand før en implementerer noen endringer i bygget. Gjennom hele prosessen er det nødvendig at all informasjon dokumenteres og lagres, det vil si alt som planlegges og endringer som gjøres underveis. Denne dokumentasjonen er verdifull for verifiseringen i senere tid, da dette skal gi et riktig bilde av gjennomføringen. I forbindelse med denne oppgaven er det avdekket mange hull i denne dokumenteringen

Det største problemet knyttet til verifisering i denne oppgaven, er usikkerheten rundt endringer som kan ha oppstått i etterkant av gjennomføringer, eller endringer i tiltak i forhold til planlagt, da disse ikke alltid blir avdekket eller oppgitt. I tillegg var det et problem at det ikke eksisterte dokumentasjon og oversikt over hvilke tiltak som ble gjennomført og eventuelt hvilke endringer som ble gjort underveis. For å kunne verifisere besparelsen, er det essensielt å vite hva som faktisk ble gjennomført og hvilke besparelser som var antatt.

For å kunne verifisere besparelsen per tiltak, i henhold til alternativ A eller B i IPMVP, er det nødvendig å ha mer detaljert datalogging enn det finnes i de fleste bygg i dag. I denne oppgaven var det kun tilgjengelig data for å kunne verifisere de totale besparelsene, og ikke per tiltak. Verifisering av besparelser per tiltaksnivå er viktig for å kunne avdekke hvilke tiltak som fungerer best, og hvilke som eventuelt fungerer bedre eller dårligere enn forventet. I tillegg kunne dette ført til en erfaring på hvilke tiltak som fungerer best ved ulike betingelser, eksempelvis per bygningskategori, før-forbruk, areal og ressursbruk. For å kunne gjennomføre dette, trengs det da å sette opp loggepunkter før gjennomføring, slik at basisåret kan defineres. Disse loggingene bør da også skje over hele levetiden til komponentene for at besparelsen også kan verifiseres over tid. Dette er også gunstig med tanke på kontinuerlig funksjonskontroll, der en ved hjelp av loggingen ikke bare verifiserer besparelsen, men også kan bruke det som et feilsøkingsverktøy for å avdekke eventuelle feil eller avvik som skulle oppstå. På denne måten kan justeringene underveis avdekkes, slik at en lettere kan se hva det skal korrigeres for.

Bygg i dag har en lang vei å gå for å kunne oppnå dette. Per dags dato er det få bygg som har detaljert logging, i hovedsak på grunn av kostanden. For å kunne oppnå dette kreves det mer dokumentering fra bygg som har innført slik logging, slik at en kan se gevinsten dette bærer med seg.

I tillegg til detaljert datalogging, var det ikke mulig å måle energiforbruk fordelt på energibærere for alle byggene. Det er sett at en oppdeling av forbruker ikke i alle tilfeller er nødvendig, da det i noen tilfeller det er gjennomført tiltak som for eksempel kun skal redusere elektrisitetsforbruket. I de fleste byggene som er benyttet i denne oppgaven der det imidlertid gjennomførte tiltak som er antatt å redusere forbruket for alle typene energibærere benyttet i byggene, og en oppdeling av forbruket er da nødvendig.

Konklusjon

Målet med denne oppgaven er å etablere et forhold mellom antatte og faktisk oppnådde besparelser som følge av gjennomføring av ENØK-tiltak i bygg, og følgelig identifisere hva som kan være årsaken til at antatt besparelse ikke blir oppnådd.

Sammenlignet med hva samarbeidsbedriften har beregnet som antatt besparelse i forkant av gjennomføringen, er det en stor spredning i oppnådd resultat for de ulike byggene. Avvik fra antatt forbruk første år etter gjennomføring varierer mellom 29 % og -20,5 %, der 18 av de 41 analyserte byggene oppnådde en lavere besparelse enn antatt. 14 av byggene har oppnådd mer enn 5 % lavere forbruk enn antatt og fem av byggene har oppnådd mer enn 5 % høyere forbruk enn antatt.

Av de analyserte parameterne som ble brukt til å finne årsaker til de varierte besparelsene, er det funnet at før-forbruk, ressursbruk og typen tiltak som gjennomføres er de mest bestemmende. Resultatene viser at bygg med høyt førforbruk ofte oppnår større besparelser i forhold til antatt enn bygg med lavt før-forbruk. Det samme gjelder ressursbruk, der det i bygg hvor det har blitt gjort store investeringer i tiltak, og hvor samarbeidsbedriften bruker større ressurser på å planlegge og på å gjennomføre tiltakene, oppnår oftere en mye større besparelse enn antatt i forhold til bygg med lave investeringskostnader. Dette henger i stor grad sammen med hvordan tiltakene planlegges og implementeres. I tillegg viser resultatene at av de byggene som har oppnådd lavere besparelser i forhold til antatt, har de fleste gjennomført tiltak der besparelsene i stor grad er avhengig av riktig oppfølging og drift. Motsatt viser resultatene at byggene som har oppnådd høyere besparelser i forhold til antatt, har i større grad gjennomført tiltak som går på utskifting eller forbedring av utstyr og isolering av komponenter, der besparelsene ikke er like avhengig av god drift.

I tillegg viser det seg at besparelsene varierer med årene etter gjennomføring, og det tyder på at måten byggene driftes og styres også er årsaken til dette. Hvordan driften har fungert i etterkant av gjennomføring har for noen bygg vært årsak til gode og forbedrede besparelser, men i de fleste tilfellene har driften vært årsak til lave og synkende besparelser. Her er det også sett virkningen av garantien til besparelsene. Garantien innebærer at hvis besparelsen er lavere enn antatt, skal samarbeidsbedriften, som har planlagt og gjennomført tiltakene, finne årsaken til det dårlige resultatet og gjøre forbedringer for å få forbruket ned til planlagt nivå. Virkningen av garantiens lengde vises også av resultatene, der besparelsen etter garantiens slutt, som er etter ett år, går ned.

Generelt viser resultatene viktigheten ved oppfølging, riktig drift og motivasjon hos driftsansvarlig for tilfredsstillende oppnåelse av besparelse. For at tiltak som i stor grad er avhengig av drift skal bli vellykket, er følgelig avhengig av godt motiverte driftsansvarlige og god opplæring fra energirådgiver.

Resultatene viser at endringer i areal og bruksmønster som det ikke korrigeres for, også har en stor betydning for at besparelsene ikke blir som antatt. I denne oppgaven er før-forbruket korrigert for slike endringer, men denne typen informasjon var for flere bygg vanskelig å avdekke da den ikke er dokumentert og lagt tilgjengelig for analyser i senere tid. I tillegg er det ikke alltid driftsansvarlig eller byggeier informerer om endringer som gjøres i byggene. Med bakgrunn i dette ble det gjennomgått en usikkerhetsanalyse og det er gjennom denne avdekket at endringene har en stor betydning på de verifiserte resultatene. I tillegg ble det sett på følgene av at

informasjon om endringer i gjennomføring av tiltak ikke blir dokumentert. For ett av byggene er det avdekket at ett av tiltakene ikke for ble gjennomført som planlagt. Usikkerhetsanalysen viste at uten denne informasjonen ville resultatet ha vist et avvik fra antatt forbruk på 1,5 %, istedenfor 8,5 % ved korrigerings.

Det har i denne oppgaven vært krevende å verifisere besparelsene i henhold til IPMVP. Årsaken til dette har først og fremst vært mangel på nødvendig data. Måling og verifisering av besparelser er et viktig steg for å kunne se virkningen av tiltak som blir gjennomført i bygg og for å nå antatte mål. For å kunne verifisere i henhold til IPMVP er det nødvendig at prosjekteringsteamet tidlig i planleggingsfasen avklarer om måling og verifikasjon skal være en del av prosjektet. Hvis besparelsene skal verifiseres, er det nødvendig med en spesiell planlegging som kan innebære overvåking- og målingsaktiviteter for å etablere en basistilstand før en implementerer noen endringer i bygget. Gjennom hele prosessen er det nødvendig at all informasjon dokumenteres og lagres, det vil si alt som planlegges og endringer som gjøres underveis. Denne dokumentasjonen er verdifull for verifisering i senere tid, da dette skal gi et riktig bilde av gjennomføringen. For å kunne verifisere besparelser på tiltaksnivå er det nødvendig med mer detaljert datalogging enn det er i de fleste bygg i dag.

Viktigheten av økt kunnskap på avvik mellom beregnet og faktisk energibruk vil øke, som følge av en sannsynligvis stor utskifting av bygningsmassen de kommende årene. Dette skyldes hovedsakelig EUs reviderte bygningsdirektiv som slår fast at alle nye bygg skal være nesten nullenergibygge i 2020. Norge har foreløpig ikke slått fast hvordan nesten nullenergibygge vil være for norske forhold, men sannsynligvis vil det være passivhusnivå eller bedre. Denne utskiftningen vil kreve betydelig kunnskap knyttet til hvorfor faktisk energiforbruk ikke er som antatt, og oppgaven vil i så måte være et bidrag til økt forståelse på dette området selv om oppgaven hovedsakelig har fokusert på eksisterende bygningsmasse.

Forslag til videre arbeid

Basert på arbeidet og konklusjonen, kan det gjøres følgende anbefalinger til videre arbeid:

- Som tidligere nevnt er det nødvendig med oppfølging gjennom hele byggets livsløp for å forsikre at krav til ytelse er tilfredsstillende. I dag praktiseres ofte feilsøking kun etter mistanke om feil. Resultatene viser at uoppnådde besparelser ofte skyldes at bygget ikke følges opp og driftes på riktig måte. I slike tilfeller kan det være nyttig å utarbeide prosedyrer og regler for feilsøking og deteksjon, som kan brukes som veiledning for manuell feilsøking og detektering. Et annet alternativ er å utarbeide regler slik at for eksempel et SD-anlegget selv kan detektere og diagnostisere feil. For eksempel finne et uvanlig høyt energiforbruk og finne årsaken til feilen. Anlegget kan da sjekke selv under driften om funksjonsleveransen er ivaretatt.
- Utarbeide algoritmer for regulering og optimalisert styring
- Som nevnt i kapittel 6.2 er det svært varierende hvordan og hvorvidt datalogging gjennomføres. Det kan derfor studeres hvordan dette fungerer ved ulike bygg, og se på fordelene. I tillegg kan dette brukes for å se virkningene av enkelttiltak, og derav hvilke tiltak som eventuelt ikke oppnår antatt besparelse.
- Etablere nødvendige prosedyrer og dokumentasjon for kontinuerlig funksjonskontroll for et bygg for oppfølging av energi- og innneklimaytelsen fra byggherrens kravspesifikasjon, over prosjektering, utførelse og daglig drift. Gjennom dette kan det vurderes hvordan byggherrens intensjon for ytelse realiseres i praksis, og lages prosedyrer for at det skal kunne oppnås.
- Som det er sett på i oppgaven, er det avgjørende for de verifiserte besparelsene at forbruket korrigeres for endringer som forekommer i byggene med årene etter gjennomføring. I denne oppgaven er det kun korrigert i forhold til utetemperatur og for endringer som har oppstått i byggene. I dag finnes det mange måter å korrigere forbruket på. Det kan være nyttig å analysere hvordan forbruket bør korrigeres for å gi et riktig bilde av besparelsen. I denne oppgaven er det for eksempel ikke korrigert for kjølebehov, som kan variere fra år til år, avhengig av hvor varmt det er om sommeren.
- Studier viser at rekkefølgen tiltakene blir gjennomført i kan være avgjørende for hvordan besparelsen blir. Praktisk forskning på dette hadde vært nyttig for å kunne se den faktiske betydningen av rekkefølgen.

Referanser

1. International Energy Agency (IEA), *World Energy Outlook 2012*. Executive Summary, 2012.
2. Point Carbon. Available from: <http://www.pointcarbon.com/>.
3. International Energy Agency (IEA), *World Energy Outlook 2008*.
4. McKinsey & Company, *A cost curve for greenhouse gas reductions*. The McKinsey Quarterly 2008.
5. Norsk Teknologi, *Energibruk i bygg– rammer, krav og muligheter*. En serie med faktahefter fra Norsk Teknologi, hefte nr 8, 2008.
6. Lavenergiutvalget, *Energieffektivisering*. Del 1 Hovedrapport, 2009.
7. Hens, H., *Energy efficient retrofit of an end of the row house: Confronting predictions with long-term measurements*. Energy and Buildings 42 (2010) 1939–1947.
8. Hirst, E., *Actual energy savings after retrofit: Electrically heated homes in the Pacific Northwest*. March 1986, Pages 299–308. **Volume 11, Issue 3**.
9. Goldman, C.A., K.M. Greely, and J.P. Harris, *Retrofit experience in U.S. multifamily buildings: Energy savings, costs, and economics*. November 1988, Pages 797–811. **Volume 13, Issue 11**.
10. Zhenjun, M., et al., *Existing Building Retrofits: Methodology and State-of-the-Art*. 2012.
11. Ibenholt, K. and K. Fiksen, *Energieffektiviseringi eksisterende bygg*. Vista Analyse AS Rapport 2011/31.
12. Lindberg, K.B. and I.H. Magnussen, *Tiltak og virkemidler for redusert utslipp av klimagasser fra norske bygninger*. . Utgitt av Norges vassdrags- og energidirektorat, 2010.
13. Hawken, P., A. Lovins, and L.H. Lovins, *Natural capitalism: Tunneling through the cost barrier*. Boston: Little Brown and Company, 1999.
14. *International Performance Measurement & Verification Protocol (IPMVP)*. Concepts and Options for Determining Energy and Water Savings Volume I, 2002.
15. U.S. Department of Energy, *Advanced Energy Retrofit Guide - Practical Ways to Improve Energy Performance*.
16. Harris, J., J. Anderson, and W. Shafron, *Investment in energy efficiency: a survey of Australian firms*. Energy Policy 28 (2000) 867-876.
17. Fluhrer, C., E. Maurer, and A. Deshmukh, *Achieving Radically Energy Efficient: The Empire State Building Example*. 2010.
18. ASHRAE Handbook—HVAC Applications, *HVAC Commissioning*. 2007.
19. Alajmi, A., *Energy audit of an educational building in a hot summer climate*. Energy and Buildings 47 (2012) 122–130.
20. Chidiac, S.E., et al., *Effectiveness of single and multiple energy retrofit measures on energy consumption of office buildings*. Energy 36 (2011) 5037-5052.
21. Doukas, H., C. Nychtis, and J. Psarras, *Assessing energy-saving measures in buildings through an intelligent decision supportmodel*. 2008.
22. Flourentzou, F., J.L. Genre, and C.A. Roulet, *TOBUS software - an interactive decision aid tool for building retrofit studies*. Energy and Buildings 34 (2002) 193-202.
23. Chung, W., Y.V. Hui, and Y.M. Lam, *Benchmarking the energy efficiency of commercial buildings*. Applied Energy 83 (2006) 1–14.
24. Asadi, E., et al., *Multi-objective optimization for building retrofit strategies: A model and an application*. Energy and Buildings 44 (2012) 81–87.
25. IEA - ECBCS ANNEX 47. *Cost-effective Commissioning for Existing and Low Energy Buildings*. 2010; Available from: <http://www.iea-annex47.org/>.
26. International Energy Agency (IEA), *Commissioning tools for improved energy performance*. Results of IEA ECBCS Annex 40, 2004.
27. Akashi, Y., et al., *THE IEA/ECBCS/ANNEX 40 Glossary on commissioning*.

28. Sintef. *Funksjonskontroll*. 2012; Available from: <http://www.sintef.no/SINTEF-Energi-AS/Prosjektarbeid/Funksjonskontroll-for-effektiv-drift-av-bygninger/Funksjonskontroll/>.
29. Nilsson, P.E., *Achieving the desired indoor climate* 2007: The Commtech Group.
30. Schein, J., et al., *A rule-based fault detection method for air handling units*. 2006.
31. NTNU and SINTEF, *ENØK i bygninger, Energieffektivt energibruk*. Vol. 3. 2007: Gyldendal Norsk Forlag AS.
32. *International Performance Measurement & Verification Protocol*. Concepts and Options for Determining Energy and Water Savings Volume I, 2002.
33. IEA Energy Conservation in Buildings & Community System. Available from: <http://www.ecbcs.org/annexes/annex53.htm>.
34. Piper, J.E., *Operations and maintenance manual for energy management*. 1999.
35. Sharp, T., *Energy Benchmarking In Commercial Office Buildings*, in: *Proceedings of the 1996 ACEEE Summer Study of Energy Efficiency in Buildings, vol. 4, American Council*
36. *Enovas Byggstatistikk 2010*. [cited 2012 10-08]; Available from: <http://www2.enova.no/publikasjonsoversikt/publicationdetails.aspx?publicationID=594>.
37. Kommunal- og regionaldepartementet. *Byggteknisk forskrift – TEK 10*. 2010 [14-09-2012]; Available from: <http://www.lovdata.no/cgi-wift/ldles?doc=/sf/sf/sf-20100326-0489.html>.
38. Lee, W.L., F.W.H. Yik, and P. Jones, *A strategy for prioritising interactive measures for enhancing energy efficiency of air-conditioned buildings*. *Energy* 28 (2003) 877–893.
39. Owens, J. and H. Wilhite, *Household energy behaviour in Nordic countries - an unrealized energy saving potential*. *Energy* 13 (1988) 853-859.
40. Haasl, T. and T. Sharp, *A practical guide For Commissioning Existing Buildings*. 1999.
41. Popescu, D., et al., *Impact of energy efficiency measures on the economic value of buildings*. *Applied Energy* 89 (2012) 454–463.
42. Xrgia, *Energibruk i lavenergi og passivbygg*. 2011.
43. Enova. *Graddagstall 2011*. Available from: <http://www.enova.no/radgivning/naring/praktiske-ressurser/bygningsnettverket/graddagstall/290/0>.
44. Grini, C., et al., *LECO – Energibruk i fem kontorbygg i Norge*. Prosjektrapport 48, Sintef Byggforsk, 2009.
45. International Energy Agency (IEA), *Commissioning Cost-Benefit and Persistence of Savings*. Annex 47, Report 3, 2010.
46. Nygård, B.M., *Datalogging*, 2012: Ansatt ved Trondheim kommune.
47. Energitjeneste. Available from: <http://entro.no/no/hovedside.aspx>.
48. Meteorologisk institutt. Available from: <http://met.no/>.
49. National Institute of Standards and Technology, *Engineering Statistics Handbook*. 2012.

Vedlegg

A. Oppsett for database

Figurene nedenfor viser malen for databasen som er bruk til innsamling av data og beregninger. Mye av den ønskede informasjonen som står i disse figurene var vanskelig å skaffe. Dette gjelder særlig data om forbruk fordelt på energibærere, bygningsfunksjoner og besparelser fordelt på energibærere for tiltakene.

Data om byggene			
Generell data	Enhet		
Bygningsnavn			
Bygningslokasjon			
Design utetemperatur	°C		
Type bygning			
Antall bygninger			
Antall brukere			
Driftstimer	timer/uke		
Antall etasjer			
Byggeår			
År start energieffektiviserings-prosjekt			
Prosjektvarighet			
Oppvarmet areal	m ²		
Totalt areal	m ²		
Ventilert areal i bruk	m ²		
Netto total areal (NTA)	m ²		
Brutto totalt areal (BTA)	m ²		
Ventilert areal i rapport	m ²		
Teknisk informasjon		Før ENØK	Etter ENØK
Antall ventilasjonssystem			
Kjeler (ja/nei)			
Elektrisk oppvarming (ja/nei)			
Fjernvarme (ja/nei)			
Varmepumpe (ja/nei)			
Kjølere (ja/nei)			
BEMS (ja/nei)			
Lysstyring (ja/nei)			

Bygningsfunksjoner

Bygningskonstruksjon	Enhet	Standard	Før ENØK	Etter ENØK
U-verdi for vegger	W/m ² K			
U-verdi for vinduer	W/m ² K			
U-verdi for tak	W/m ² K			
U-verdi for gulv	W/m ² K			
Ventilasjonssystem				
Operasjonstid per uke	h			
Luftmengde per m ²	m ³ /hm ²			
Lufttemperatur inntak	°C			
Virkningsgrad varmegjenvinner	%			
Oppvarmingssystem				
Turtemperatur	°C			
Returtemperatur	°C			
Oppvarmingsforbruk	kW			
Varmtvann				
Forbruk/etterspørsel oppvarming	kW			
Varmtvannsforbruk	l/m ²			
Pumper for oppvarming og ventilasjon				
Operasjonstid per uke	h			
Effekt	kW/m ²			
Vifter for ventilasjon				
Operasjonstid per uke	h			
Effekt	kW/m ²			
SFP	kW/m ³ /s			
Vifter og pumper for kjøling				
Operasjonstid per uke	h			
Effekt	kW/m ²			
Lys				
Operasjonstid per uke	h			
Effekt	kW/m ²			
Ytterligere el.last				
Operasjonstid per uke	h			
Effekt	kW/m ²			

Energiforbruk

Spesifikk energietterspørsel	kWh/m ²	Før ENØK	Standard	Mål				
Forbruk før ENØK-tiltak		El. Energi	Fjernvarme	Olje	Gass	Annet	Annet	Total
1.år	kWh/år							
2.år	kWh/år							
3.år	kWh/år							
4.år	kWh/år							
5.år	kWh/år							
Gjennomsnitt/før-forbruk	kWh/år							
Korrigert før forbruk år	kWh/år							
Korrigert før forbruk år	kWh/år							
Korrigert før forbruk år	kWh/år							
Korrigert før forbruk år	kWh/år							

Graddagskorrigert forbruk før ENØK-tiltak		El. Energi	Fjernvarme	Olje	Gass	Annet	Annet	Total (GD-korrigert)
1.år	kWh/år							
2.år	kWh/år							
3.år	kWh/år							
4.år	kWh/år							
5.år	kWh/år							
Gjennomsnitt/før-forbruk	kWh/år							
Korrigert før forbruk år	kWh/år							
Korrigert før forbruk år	kWh/år							
Korrigert før forbruk år	kWh/år							

Antatt besparelse og totalforbruk etter ENØK		El. Energi	Fjernvarme	Olje	Gass	Annet	Annet	Total besparelse
1.år	kWh/år							
2.år	kWh/år							
3.år	kWh/år							
4.år	kWh/år							
5.år	kWh/år							
6.år	kWh/år							

Antatt totalforbruk	Antatt beparelse (%)

Målt energiforbruk etter ENØK		El. Energi	Fjernvarme	Olje	Gass	Annet	Annet	Total
1.år	kWh							
2.år	kWh							
3.år	kWh							
4.år	kWh							
5.år	kWh							
6.år	kWh							

Målt graddagskorrigert energiforbruk etter ENØK		El. Energi	Fjernvarme	Olje	Gass	Annet	Annet	Total
1.år	kWh/år							
2.år	kWh/år							
3.år	kWh/år							
4.år	kWh/år							
5.år	kWh/år							
6.år	kWh/år							

Oppnådd besparelse (%)	Avvik fra antatt resultat (%)	Oppnådd besparelse (kWh)

Endringer	Ja/nei	Årstall	Hvor mye	Hvor mye (%)	Kommentar
Graddagskorrigert					
Endring i areal					
Endring i driftsmønster					
Endring i gjennomførte tiltak					
Andre					
Andre					

Tiltak

Beskrivelse	Nivå	Investering (kr)	Antatt årlig besparelse (kr)	Antatt årlig besparelse (kWh)

Antatt besparelse El (kWh/år)	Antatt besparelse fjernvarme (kWh/år)	Antatt besparelse Olje (kWh/år)	Antatt besparelse Gass (kWh/år)	Antatt besparelse Annet (kWh/år)

B. Resultat for de ulike byggene

For å kunne se på betydningen typen av tiltak som ble gjort er byggene her delt inn i grupper. Gruppene består av bygg som har at avvik fra antatt forbruk på 1) + 0-5 %, 2) + 6-10 %, 3) + 11-40 % 4) - 0-5 % 5) - 6-10 % og 6) - 11-40 %).

1)

Bygg	Avvik fra antatt forbruk (%)	Tiltak, tiltaksgruppe	Tiltaksgrupper	Antatt besparelse for Dr i forhold til total (%)	Opprett- holdelse
H9	1,4	1) EOS og optimal drift, Dr 2) Driftsinstrukser, Dr 3) Varmtvannsreduserende tiltak, Ut 4) Styringsautomatikk på varmekabler, Dr 5) Behovsstyrt ventilasjon, Dr 6) Styringssystem for elektrisk oppvarming, Dr	Dr: 5 Ut: 1	92,6	NB
H12	4,2	1) EOS, Dr 2) Varmtvannsreduserende tiltak, Ut	Dr: 1 Ut: 1	59,7	PB
H17	5,7	1) EOS og optimal drift, Dr 2) Rehabilitering fyr og gass- kjel, Ut 3) Styringsautomatikk for varmekabler takrenner, Dr 4) Driftsinstrukser, Dr 5) Isolering av rør, ventiler og pumper fyrsentral, Iso 6) Varmtvannsreduserende tiltak, Ut	Dr: 3 Ut: 2 Iso: 1	66,3	KB
H18	2,6	1) EOS og optimal drift, Dr 2) Automatikk for regulering av shuntet kurs, Dr 3) Isolering av rør i fyrrom, Iso 4) Varmtvannsreduserende tiltak, Ut 5) Tetting av rør i fyrrom, Ut 6) Nattsinking av varmekurser for spisesal, Ut	Dr: 3 Ut: 2 Iso: 1	70,0	PB
S5	1,6	1) EOS, Dr 2) Varmtvannsreduserende tiltak, Ut 3) Ur-styring av sirkulasjonspumpe, Dr 4) Behovsstyrt ventilasjon, Dr 5) Kjelvelgersentral, Ieb	Dr: 4 Ut: 2 Ieb: 1	96,8	PB

		6) Driftoptimalisering, Dr			
S10	4,8	1) EOS og optimal drift, Dr 2) Varmtvannsreducerende tiltak, Ut 3) Styringsautomatikk på utvendige varmekabler, Dr	Dr: 2 Ut: 1	94	PB
K3	5,5	1) EOS og optimal drift, Dr 2) Behovsstyrt ventilasjon, Dr 3) SD-anlegg, Dr 4) Ur-styring av sirkulasjonspumpe basseng, Dr 5) Varmtvannsreducerende tiltak, Ut	Dr: 4 Ut: 1	98,8	-
He4	4,1	1) EOS og optimal drift, Dr 2) Varmtvannsreducerende tiltak, Ut	Dr: 1 Ut: 1	85,2	PB

2)

Bygg	Avvik fra antatt forbruk (%)	Tiltak	Tiltaksgrupper	Antatt besparelse for drift i forhold til total (%)	Opprettholdelse
H4	6,0	1) EOS og driftoptimalisering, Dr 2) Installasjon av CO2-følere i selskapslokaler, Ut 3) Installasjon av frekvensomformer i lobby, Ut 4) Varmepumpe, Ut 5) Installasjon av frekvensomformer i garasje, Ut 6) Driftsavtale, Dr	Dr: 2 Ut: 4	23,37	NB
H5	8,3	1) EOS, Dr 2) Driftsinstrukser, Dr	Dr: 2	100	SB
H8	9,1	1) EOS og driftoptimalisering, Dr 2) Nattsinking av konferanserom, Dr 3) Varmepumpe, Ut 4) Sammenslåing av målere, Ieb 5) Gjennomgang av effektbegrenser, Ieb 6) Frekvensstyring på kjøkkenventilasjon, Dr 7) Isolering av rør og ventiler i fyrrom og VVB, Iso 8) Ny oljekjel, Ut	Dr: 3 Ut: 2 Iso: 1 Ieb: 2	48,1	NB
H15	6,2	1) EOS og driftoptimalisering, Dr 2) Nattsinking av romtemperatur, Dr 3) Behovsstyrt ventilasjon, Dr	Dr: 4 Ut: 3 Iso: 1	71,1	NB

		4) Varmepumpe, tappevann og basseng, Ut 5) Tildekking av bassengvann, Iso 6) Termostat, tak-nedløp, Ut 7) Sparelyspærer, Ut 8) Driftsinstruks og opplæring, Dr			
S7	8,1	1) EOS og driftsoptimalisering, Dr	Dr: 1	100	KB
S9	7,6	1) Rehabilitering av roterende varmegjenvinner, Ut 2) Utvidet nettsenkning, Dr 3) Ny varmtvannsbereder, Ut 4) Rehabilitering av gasskupper, Ut	Dr: 1 Ut: 3	36	NB
He1	8,5	1) EOS, Dr 2) Kjølvelgersentral, Ut 3) Isolering av rørkomponenter, Iso 4) Utbedring av varmtvannsnett, B	Dr: 1 Ut: 2 Iso: 1	57,2	KB
I2	8,4	1) Svømmehall vent. med platevarmegjenvinner, Ut 2) Nytt berederanlegg, Ut 3) Installasjon av VVX for utslipp av oppvarming bassengvann, Ut 4) Svømmehall: avfukter med vannkjølt kondensator for oppvarming bassengvarmer, Ut 5) Omkledning ventilasjon med platevarmegjenvinner, Ut 6) Ny varmeproducent, Ut 7) Ny dør, Ut 8) Ny belysningsarmatur, Ut	Ut: 8	0	PB

3)

Bygg	Avvik fra antatt forbruk (%)	Tiltak	Tiltaksgrupper	Antatt besparelse for A i forhold til total (%)	Opprettholdelse
H2	20,9	1) EOS og driftsoptimalisering, Dr 2) Varmepumpe for produksjon av kjøling, varme og tappevann, Ut 3) Installasjon av roterende varmegjenvinner, Ut 4) Effektstyring av varmekrevende laster, Ieb 5) Ytterligere optimalisering av teknisk drift, Dr	Dr: 2 Ut: 2 Ieb: 1	43,7	NB
H10	12,8	1) EOS og driftsoptimalisering, Dr 2) Sammenslåing av el-abonnement, Ieb 3) Utbedring av automatikk til	Dr: 2 Ut: 1 Ieb: 2	73,3	KB

		ventilasjon og vannbåren varme, Dr 4) Utbedring av systemet for oljebasert tappevannsoppvarming, Ieb 5) Isolering av komponenter i vannbårent anlegg, Iso			
H11	14,7	1) Varmepumpe til produksjon av tappevann, Ut 2) Oppgradering av eksisterende SD-anleggets Software, Dr 4) EOS, Dr 3) Innkopling av oljekjeler i fyrsentral, Ieb	Dr: 2 Ut: 1 Ieb: 1	39,9	NB
K1	29,1	1) EOS og optimal drift, Dr 2) Nye shuntventiler, Ut 3) Isolering av rørkomponenter, Iso 4) SD-anlegg, Dr 5) Varmepumpe, Ut 6) Montere luft-port, Iso	Dr: 2 Ut: 2 Iso: 2	22,7	-
K2	31,1	1) EOS og optimal drift, Dr 2) Utredning/optimalisering av ventilasjonsanlegg, Dr 3) Isolering av rørkomponenter, Iso 4) SD-anlegg, Dr 5) Utskifting av varmtvannsberedere, Ut 6) Ny oljekjel, Ut	Dr: 3 Ut: 2 Iso: 1	57,9	-
K4	21,3	1) EOS og optimal drift, Dr 2) Driftsinstruksjoner, Dr 3) Varmtvannsreducerende tiltak, Ut 4) Isolering av rørkomponenter, Iso 5) Vannrenseanlegg for varmeanlegget, Ut 6) Kjelveggersentral, Ut 7) Bytte kjøkken ventilasjonsanlegg, Ut 8) SD-anlegg, Dr 9) Utbedring av stengespjeld, Ut	Dr: 3 Ut: 5 Iso: 1	70,7	PB
He2	12,6	1) Installasjon av avfuktings-aggregat med vannkjølt rørkjele, Ut 2) Nytt ventilasjonsaggregat med roterende varmegjenvinner, Ut 3) Nattsinking med optimering av ventilasjon og takvarme, Dr 4) Installasjon av ur-styring for sirkulasjonspumpe, Dr 5) EOS/service med instrumentering, Dr 6) Nattsinking nybygg, Dr 7) Nattsinking gammelbygg, Dr 8) Installasjon av sparedusjer, Ut	Dr: 5 Ut: 3	28	KB

4)

Bygg	Avvik fra antatt forbruk (%)	Tiltak	Tiltaksgrupper	Antatt besparelse for drift i forhold til total (%)	Opprett-holdelse
H3	-0,3	1) EOS og driftsoptimalisering, Dr 2) Speredusjer og sparedyser, Ut 3) Behovsstyrt ventilasjon, Dr 4) Effektregulering, Ieb 5) Varmepumpe til tappevann, Ut 6) Driftsinstruks og opplæring, Dr	Dr: 3 Ut: 2 Ieb: 1	70,1	VB/PB
H6	-0,9	1) EOS og optimal drift, Dr 2) Oppgradering av shuntautomatikk, Ut 3) Varmtvannsreducerende tiltak, Ut 4) Driftsinstrukser, Dr 5) Ur-styring av ventilasjonen, Dr 6) Isolering av rør og ventiler i firsentral, Iso 7) Styringsautomatikk for varmekabler i takrenner, Ut	Dr: 3 Ut: 3 Iso: 1	53,9	VB
H13	-1,4	1) EOS og optimal drift, Dr 2) Nye driftstider på ventilasjonsanlegget, Dr 3) Nattsinking i restaurant, Dr 4) Ny automatikk utendørs smelteanlegg, Dr 5) Driftsinstrukser, Dr	Dr: 5	100	NB
H16	-2,1	1) EOS, Dr 2) Varmtvannsreducerende, Ut 3) Ny styring av varmekabler, Dr	Dr: 2 Ut: 1	90,5	NB
S3	-0,15	1) Energoovervåking og optimal drift, Dr	Dr: 1	100	KB
S4	-4,0	1) EOS, Dr 3) Driftsoptimalisering, Dr 2) Sparepærer, Ut	Dr: 2 Ut: 1	75,7	KB
S6	-4,8	1) Energoovervåking og optimal drift, Dr 2) Avfukting svømmehall, Ut	Dr: 1 Ut: 1	70,33	VB/KB
S8	-1,04	1) EOS og optimal drift, Dr 2) Isolering av rørkomponenter, Iso	Dr: 1 Iso: 1	78,5	PB
K5	-0,7	1) EOS, Dr 2) Optimal drift, Dr	Dr: 2	100	NB

Kj1	-3,4	1) EOS, Dr 2) Optimalisere frostsikring av ventilasjonsaggregat, Ut 3) Behovsstyring av ventilasjonssystem, Dr 4) Balansering av luftmengder, Dr 5) Oppgradering av SD-anleggets overvåkningsfunksjonalitet, Dr	Dr: 4 Ut: 1	88,6	PB
He3	-1,05	1) EOS og optimal drift, Dr 2) Behovsstyrt ventilasjon, Dr 3) Nattsinking panelovner og varmekabler, Dr	Dr: 3	100	PB
I1	-2,4	1) EOS, Dr 2) Varmtvannsreducerende tiltak, Ut 3) Behovsstyrt ventilasjon, Dr 4) Driftoptimalisering, Dr	Dr: 3 Ut: 1	98,2	PB

5)

Bygg	Avvik fra antatt forbruk (%)	Tiltak	Tiltaksgrupper	Antatt besparelse for drift i forhold til total (%)	Opprett- holdelse
H1	-6,2	1) EOS og optimal drift, Dr 2) Varmtvannsreducerende tiltak, Ut 3) Oppgradering av regulatorer for shunting av varmen, Ut 4) Driftsinstrukser, Dr 5) Termostyring av varmekabler i Skistall, Dr 6) Nattsinking av varme for spisesalen, Dr 7) Ur-styring av badstue, Dr 8) Etter-isolering av yttervegger, Iso	Dr: 5 Ut: 2 Iso: 1	71,32	VB/PB
H7	-8,3	1) EOS, Dr 2) Nattsinking av oppvarming, Dr 3) Styringsautomatikk på takrenner, Dr 4) Montere maksimal-vokter, Ieb 5) Driftsinstrukser, Dr 6) Ny driftstid ventilasjonsanlegg, Dr	Dr: 5 Ieb: 1	100	VB/PB
Kj2	-10,2	1) EOS og driftsoptimalisering, Dr 2) Varmepumpe, Ut 3) Ombygging ventilasjon til kontorene, Dr	Dr: 2 Ut: 1	58,8	PB

6)

Bygg	Avvik fra antatt forbruk (%)	Tiltak	Tiltaksgruppe	Antatt besparelse for drift i forhold til total (%)	Opprett- holdelse
H14	-20,5	1) EOS og optimal drift, Dr 2) Varmtvannsreducerende tiltak, Ut 3) Automatikk for styring av fortaus-varme, Ut 4) Driftsinstrukser, Dr 5) Ny SD-Software, Dr	Dr: 4 Ut: 1	73,8	PB
S1	-14,9	1) EOS og optimal drift, Dr 2) Sparepærer, Ut 3) Nattsenking varmekurser, Dr 4) Spareperlatorer, Ut 5) Ny driftstid ventilasjon, Dr 6) Ny driftstid nattsenking 2. etasje, Dr	Dr: 4 Ut: 2	96,4	PB
S2	-27,3	1) EOS og optimal drift, Dr 2) Nye driftstider ventilasjon, Dr 3) Ur-styring av ventilasjon, Dr 4) Sirkulasjon av varme gymsal, Dr 5) Spareperlatorer, Ut 6) Ny innstilling nattsenking i hovedbygg, Dr 7) Ur-styring av varmekabler vannrør, Dr	Dr: 6 Ut: 1	96	-

C. Tiltaksbeskrivelser, antatte besparelser og investeringskostnader

C.1 Hotellene

Tiltak H1			
Beskrivelse	Investering (kr)	Antatt årlig besparelse (kr)	Antatt årlig besparelse (kWh)
EOS og optimal drift	155 157	166 075	255 500
Varmtvannsreducerende tiltak	69 874	68 745	66 300
Oppgradering av regulatorer for shunting av varmen	72 044	17 745	27 300
Driftsinstruks/driftsplansje	105 400	33 215	51 100
Termostyring av varmekabler i Skistall	3 658	1 170	1 800
Nattsenkning av varme for spisesalen	15 029	5 460	8 400
Urstyring av badstue	4 340	1 950	3 000
Etterisolering av yttervegger	99 200	22 750	35 000
TOTAL	524 702	317 110	448 400

Tiltak H2			
Beskrivelse	Investering (kr)	Antatt årlig besparelse (kr)	Antatt årlig besparelse (kWh)
EOS + driftspotimalisering	193 852	459 026	834 592
Varmepumpe for produksjon av kjøling, varme og tappevann	1 748 000	558 680	930 000
Installasjon av roterende varmegjenvinner	587 760	192 360	352 800
Effektstyring av varmekrevende laster	197 780	232 848	-
Ytterligere optimalisering av teknisk drift	123 380	88 998	161 814
TOTAL	2 850 772	1 531 912	2 279 206

Tiltak H3			
Beskrivelse	Investering (kr)	Antatt årlig besparelse (kr)	Antatt årlig besparelse (kWh)
EOS og driftsoptimalisering	183 597	167 050	257 000
Sparedusjer og sparedyser	96 100	74 500	48 000
Behovsstyrt ventilasjon	351 912	109 269	168 106
Effektregulering	47 740	21 200	-
Varmepumpe, tappevann	264 120	77 750	87 000
Driftsinstruks og opplæring	49 600	18 460	28 400
TOTAL	993 069	468 229	588 506

Tiltak H4			
Beskrivelse	Investering (kr)	Antatt årlig besparelse (kr)	Antatt årlig besparelse (kWh)
Energiøverbåking og driftsoptimalisering	248 729	654 500	966 000
Installasjon av CO2-følere i selskapslokaler	87 916	46 100	68 000
Installasjon av frekvensomformer lobby	80 600	29 120	44 800
Installasjon av varmpumpe	2 693 280	869 512	826 000
Installasjon av frekvensomformer garasje	102 424	56 700	83 000
Driftsavtale	130 200	74 750	115 000
TOTAL	3 343 149	1 730 682	2 102 800

Tiltak H5			
Beskrivelse	Investering (kr)	Antatt årlig besparelse (kr)	Antatt årlig besparelse (kWh)
Energiøverbåking	147 560	28 535	43 900
Driftsinstruks	35 712	10 725	16 500
TOTAL	183 272	39 260	60 400

Tiltak H6			
Beskrivelse	Investering (kr)	Antatt årlig besparelse (kr)	Antatt årlig besparelse (kWh)
Energiøverbåking og optimal drift	151 018	49 205	75 700
Oppgradering av shuntautomatikk	44 962	15 470	23 800
Varmtvannsreducerende tiltak	66 836	53 300	53 300
Driftsinstruks/driftsplansje	47 120	11 180	17 200
Urstyring av ventilasjonen	9 449	8 580	13 200
Isolering av rør og ventiler i fyrsentral	83 898	26 650	41 000
Styringsautomatikk for varmekabler i takrenner	80 303	20 800	32 000
TOTAL	483 586	187 185	256 200

Tiltak H7

Beskrivelse	Investering (kr)	Antatt årlig besparelse (kr)	Antatt årlig besparelse (kWh)
EOS	150 784	46 410	71 400
Nattsenking av oppvarming	41 515	23 400	36 000
Styringsautomatikk på varmekabler takrenner	21 502	8 320	12 800
Montere maksimalvokter	43 846	12 000	-
Driftsinstruks/driftplassje	46 252	18 720	28 800
Ny driftstid ventilasjonsanlegg	27 342	62 790	96 600
TOTAL	331 241	171 640	245 600

Tiltak H8

Beskrivelse	Investering (kr)	Antatt årlig besparelse (kr)	Antatt årlig besparelse (kWh)
Energiovervåking og driftsoptimalisering	190 812	60 000	100 000
Nattsenking av konferanserom	104 160	31 000	25 000
Varmepumpe til konferanserom	86 800	26 000	40 000
Sammenslåing av målere	31 000	22 900	
Gjennomgang av effektbegrenser	39 680	11 800	
Frekvensstyring på kjøkkenventilasjon	130 200	41 250	75 000
Isolering av rør og ventiler i fyrrom og vannbåren varme	21 000	10 000	20 000
Ny oljekjel	207 080	10 000	20 000
TOTAL	603 652	202 950	260 000

Tiltak H9

Beskrivelse	Investering (kr)	Antatt årlig besparelse (kr)	Antatt årlig besparelse (kWh)
Energiovervåking og optimal drift	115 750	46 000	57 500
Driftsinstruks/driftplassje ventilasjon	35 000	10 104	12 630
Varmtvannsreducerende tiltak	4 781	16 010	13 600
Styringsautomatikk på utvendige varmekabler	53 813	8 400	10 500
Behovsstyrt ventilasjon	245 231	47 280	59 100
Styringssystem for elektrisk oppvarming	90 688	21 600	27 000
TOTAL	545 263	149 394	180 330

Tiltak H10

Beskrivelse	Investering (kr)	Antatt årlig besparelse (kr)	Antatt årlig besparelse (kWh)
EOS med driftsoptimalisering	168 148	58 363	92 640
Sammenslåing av el-abonnement	20 088	49 352	
Utbedring av automatikk til ventilasjon og vannbåren varme	92 380	30 450	52 500
Utbedring av systemet for oljebasert tappevannsoppvarming	64 480	20 880	
Isolering av komponenter i vannbårent anlegg	26 040	8 500	17 000
TOTAL	371 136	167 545	162 140

Tiltak H11

Beskrivelse	Investering (kr)	Antatt årlig besparelse (kr)	Antatt årlig besparelse (kWh)
Varmepumpe til produksjon av tappevann	1 959 200	417 340	680 000
Oppgradering av eksisterende SD-anleggets software + EOS	646 660	240 100	453 000
Innkopling av oljekjeler i fyrsentral	35 960	94 900	
TOTAL	2 641 820	752 340	1 133 000

Tiltak H12

Beskrivelse	Investering (kr)	Antatt årlig besparelse (kr)	Antatt årlig besparelse (kWh)
Energiovervåking og driftsoptimalisering	155 327	104 985	155 300
Varmtvannsreducerende tiltak	93 620	106 779	105 000
TOTAL	248 947	211 764	260 300

Tiltak H13

Beskrivelse	Investering (kr)	Antatt årlig besparelse (kr)	Antatt årlig besparelse (kWh)
EOS og optimal drift	136 133	68 120	104 800
Nye driftstider på ventilasjonsanlegget	110 484	72 000	120 000
Nattsenking i restaurant	4 340	1 950	3 000
Ny automatikk utendørs smelteanlegg	10 664	6 045	9 300
Driftsinstruks/driftplassje	42 160	17 037	26 210
TOTAL	303 781	165 152	263 310

Tiltak H14			
Beskrivelse	Investering (kr)	Antatt årlig besparelse (kr)	Antatt årlig besparelse (kWh)
EOS og optimal drift	152 783	50 895	78 300
Varmtvannsreducerende tiltak	82 634	68 350	65 900
Automatikk for styring av fortausvarme	144 088	42 900	66 000
Driftsinstrukser/driftsplansje	47 120	9 360	14 400
Ny SD-software	81 815	17 680	27 200
TOTAL	508 440	189 185	251 800

Tiltak H15			
Beskrivelse	Investering (kr)	Antatt årlig besparelse (kr)	Antatt årlig besparelse (kWh)
EOS og driftsoptimalisering	144 100	133 250	205 000
Nattsenkning av romtemperatur	167 400	57 200	88 000
Behovsstyrt ventilasjon	194 928	60 206	92 625
Varmepumpe, tappevann og basseng	288 920	83 150	123 000
Tildekking av bassengvann	27 652	10 600	14 000
Termostat, taknedløp	21 452	8 125	12 500
Sparelyspærer	15 376	8 300	12 000
Driftsinstrukser og opplæring	17 360	7 800	12 000
TOTAL	877 188	368 631	559 125

Tiltak H16			
Beskrivelse	Investering (kr)	Antatt årlig besparelse (kr)	Antatt årlig besparelse (kWh)
EOS	199 392	273 130	420 200
Varmtvannsreducerende	98 084	52 335	50 400
Ny styring av varmekabler	124 500	39 000	60 000
TOTAL	421 976	364 465	530 600

Tiltak H17			
Beskrivelse	Investering (kr)	Antatt årlig besparelse (kr)	Antatt årlig besparelse (kWh)
EOS og optimal drift	158 451	198 380	305 200
Rehabilitering fyrsentral og gasskjel	353 400	102 050	157 000
Styringsautomatikk for varmekabler takrenner.	51 138	14 560	22 400
Driftsinstrukser/driftsplansje	111 600	39 650	61 000
Isolering av rør, ventiler og pumper i fyrsentral	13 764	3 120	4 800
Varmtvannsreducerende tiltak	76 558	37 305	36 000
TOTAL	764 911	395 065	586 400

Tiltak H18			
Beskrivelse	Investering (kr)	Antatt årlig besparelse (kr)	Antatt årlig besparelse (kWh)
EOS og optimal drift	137 574	89 895	138 300
Automatikk for regulering av shuntet kurs	58 751	14 300	22 000
Isolering av rør i fyrrom	31 000	6 500	10 000
Varmtvannsreducerende tiltak	47 393	56 220	54 300
Tetting av rør i fyrrom	12 400	3 510	5 400
Nattsenkning av varmekurser for spisesal	17 360	3 900	6 000
TOTAL	304 478	174 325	236 000

C.2. Skolene

Tiltak S1			
Beskrivelse	Investering (kr)	Antatt årlig besparelse (kr)	Antatt årlig besparelse (kWh)
Energioppfølging og optimal drift	20 249	45 960	76 600
Sparepærer	4 836	1 500	2 500
Nattsenkning varmekurser	115 141	42 720	71 200
Spareperlatorer (reduert vannforbruk)	4 836	2 880	4 800
Ny driftstid ventilasjon	1 959	29 220	48 700
Ny driftstid nattsenkning	-	900	1 500
TOTAL	147 022	123 180	205 300

Tiltak S2			
Beskrivelse	Investering (kr)	Antatt årlig besparelse (kr)	Antatt årlig besparelse (kWh)
Energioppfølging og optimal drift	20 249	10 920	18 200
Nye driftstider for ventilasjon	2 691	21 840	36 400
Ur styring av ventilasjon paviljong	16 628	11 200	18 600
Sirkulasjon av varme gymsal	52 551	7 920	13 200
Spareperlatorer (reduerer vannforbruk)	8 717	3 060	5 100
Ny innstilling nattsenkning	2 691	8 700	14 500
Urstyring av varmekabler vannrør	21 787	12 840	21 400
TOTAL	125 314	76 480	127 400

Tiltak S3			
Beskrivelse	Investering (kr)	Antatt årlig besparelse (kr)	Antatt årlig besparelse (kWh)
Energiovervåking og optimal drift	62 010	11 546	16 600
TOTAL	62 010	11 546	16 600

Tiltak S4			
Beskrivelse	Investering (kr)	Antatt årlig besparelse (kr)	Antatt årlig besparelse (kWh)
EOS og optimal drift	37 778	8 580	10 500
Sparepærer	3 000	2 744	3 430
TOTAL	40 778	11 324	13 930

Tiltak S5			
Beskrivelse	Investering (kr)	Antatt årlig besparelse (kr)	Antatt årlig besparelse (kWh)
Automatisk energiovervåking	87 218	25 497	38 000
Varmtvannsreducerende tiltak	31 570	5 530	4 100
Urstyring av sirkulasjonspumpe	6 209	1 145	1 431
Behovsstyrt ventilasjon	282 240	48 902	61 127
Kjelvelgersentral	328 300	89 805	
Driftsoptimalisering	113 400	20 000	25 000
TOTAL	848 937	190 879	129 658

Tiltak S6			
Beskrivelse	Investering (kr)	Antatt årlig besparelse (kr)	Antatt årlig besparelse (kWh)
Energiovervåking og optimal drift	42 603	8 002	13 900
Avfukting svømmehall	89 040	16 225	20 281
TOTAL	131 643	24 227	34 181

Tiltak S7			
Beskrivelse	Investering (kr)	Antatt årlig besparelse (kr)	Antatt årlig besparelse (kWh)
EOS og driftsoptimalisering	59 098	14 626	21 700
TOTAL	59 098	14 626	21 700

Tiltak S8			
Beskrivelse	Investering (kr)	Antatt årlig besparelse (kr)	Antatt årlig besparelse (kWh)
Energiovervåking og optimal drift	22 232	3 666	8 000
Isolering av rørkomponenter	15 750	1 755	2 193
TOTAL	37 982	5 421	10 193

Tiltak S9			
Beskrivelse	Investering (kr)	Antatt årlig besparelse (kr)	Antatt årlig besparelse (kWh)
Rehabilitering av roterende varmegjenvinner	50 430	14 317	40 907
Utvidet nattsenkning	38 130	12 296	35 130
Ny varmtvannsbereder	36 039		19 231
Rehabilitering av gasskupper	8 610		2 408
TOTAL	133 209	26 613	97 676

Tiltak S10			
Beskrivelse	Investering (kr)	Antatt årlig besparelse (kr)	Antatt årlig besparelse (kWh)
Energiovervåking og optimal drift	24 105	5 002	8 900
Varmtvannsreducerende tiltak	5 397	1 363	1 000
Styringsautomatikk på utvendige varmekabler	23 520	5 376	6 720
TOTAL	53 022	11 741	16 620

C.3. Kontorene

Tiltak K1			
Beskrivelse	Investering (kr)	Antatt årlig besparelse (kr)	Antatt årlig besparelse (kWh)
Energiovervåking og optimal drift	66 086	24 580	43 500
Nye shuntventiler	93 000	21 409	31 484
Isolering av rørkomponenter	58 766	10 076	14 818
SD-anlegg	178 200	36 748	54 041
Varmepumpe	925 238	187 400	280 000
Montere luftport	31 350	3 129	6 072
TOTAL	1 352 639	283 342	429 915

Tiltak K2			
Beskrivelse	Investering (kr)	Antatt årlig besparelse (kr)	Antatt årlig besparelse (kWh)
Energiovervåking og optimal drift	75 613	46 461	79 400
Utredning/optimalisering av ventilasjonsanlegg	119 200	84 644	132 257
Isolering av rørkomponenter	24 480	6 177	9 652
SD-anlegg	489 200	104 761	171 502
Utskifting av varmtvannsberedere	133 200	1 131	1 767
Ny oljekjel	742 500	186 667	266 667
TOTAL	1 584 193	429 841	661 244

Tiltak K3			
Beskrivelse	Investering (kr)	Antatt årlig besparelse (kr)	Antatt årlig besparelse (kWh)
Energiovervåking og optimal drift	124 750	97 835	115 100
Behovsstyrt ventilasjon	1 135 913	225 996	265 878
SD-anlegg	986 300	236 977	278 797
Urstyring av sirkulasjonspumpe basseng	31 325	7 535	8 864
Varmtvannsreducerende tiltak	25 050	9 990	8 100
TOTAL	2 303 338	578 333	676 739

Tiltak K4			
Beskrivelse	Investering (kr)	Antatt årlig besparelse (kr)	Antatt årlig besparelse (kWh)
Energiovervåking og optimal drift	136 338	114 880	143 600
Driftsinstrukser/driftsplansje	89 250	78 280	97 850
Varmtvannsreducerende tiltak	3 347	5 355	4 500
Isolering av rørkomponenter	89 000	25 837	32 297
Vannrenseanlegg for varmeanlegget	110 888	47 740	63 425
Kjelvelgersentral	172 575	41 129	18 504
Bytte kjøkken ventilasjonsanlegg	257 813	62 314	77 893
SD-anlegg	946 549	196 120	245 150
Utbedring av stengesjøl	12 500	3 844	4 805
TOTAL	1 818 258	575 499	688 023

Tiltak K5			
Beskrivelse	Investering (kr)	Antatt årlig besparelse (kr)	Antatt årlig besparelse (kWh)
Energiovervåking	21 094	5 628	11 412
Driftsoptimalisering 1 år	23 438	4 715	9 233
TOTAL	44 532	10 343	20 645

C.4. Kjøpesentrene

Tiltak Kj1			
Beskrivelse	Investering (kr)	Antatt årlig besparelse (kr)	Antatt årlig besparelse (kWh)
Automatisk energiovervåking - EOS	210 875	119 585	171 780
Optimalisere frostsikring av ventilasjonsaggregat	129 375	41 600	47 000
Behovsstyring av ventilasjonssystem	198 750	65 850	93 000
Balansering av luftmengder	116 500	36 336	39 405
Oppgradering av SD-anleggets overvåkningsfunksjonalitet	131 250	41 100	60 000
TOTAL	786 750	304 471	411 185

Tiltak Kj2			
Beskrivelse	Investering (kr)	Antatt årlig besparelse (kr)	Antatt årlig besparelse (kWh)
EOS og driftsoptimalisering	249 360	116 000	145 000
Varmepumpe	778 300	240 000	300 000
Ombygging ventilasjon til kontorene	639 932	217 600	272 000
TOTAL	1 667 592	573 600	717 000

C.5. Helsebyggene

Tiltak He1			
Beskrivelse	Investering (kr)	Antatt årlig besparelse (kr)	Antatt årlig besparelse (kWh)
EOS	73 093	15 962	26 500
Kjelvelgersentral	103 600	19 200	9 750
Isolering av rørkomponenter	15 469	2 856	3 570
Utbedring av varmtvannsanlegg	17 813	5 200	6 500
TOTAL	209 975	43 218	46 320

Tiltak He2			
Beskrivelse	Investering (kr)	Antatt årlig besparelse (kr)	Antatt årlig besparelse (kWh)
Installasjon av avfuktings-aggregat med vannkjølt rørkjele for utnyttelse av kondensvarme til bassengvann	417 954		170 839
Nytt ventilasjonsaggregat med roterende varmegjenvinner	255 200		89 606
Nattsinking med optimering av ventilasjon og takvarme	49 544		39 080
Installasjon av urstyring for sirkulasjonspumpe	9 963		10 144
EOS/service med instrumentering	23 801		14 745
Nattsinking nybygg	49 913		17 890
Nattsinking gammelbygg	62 582		20 804
Installasjon av sparedusjer	11 205		4 685
TOTAL	880 162	-	367 793

Tiltak He3			
Beskrivelse	Investering (kr)	Antatt årlig besparelse (kr)	Antatt årlig besparelse (kWh)
Energiovervåking og optimal drift	32 554	5 482	9 500
Behovsstyrt ventilasjon	170 616	34 493	43 116
Nattsinking panelovner og varmekabler	47 544	8 000	10 000
TOTAL	250 714	47 975	62 616

Tiltak He4			
Beskrivelse	Investering (kr)	Antatt årlig besparelse (kr)	Antatt årlig besparelse (kWh)
Energiovervåking og optimal drift	24 658	182	2 875
Varmtvannsreducerende tiltak	3 305	588	500
TOTAL	27 963	770	3 375

C.6. Idrettsbyggene

Tiltak I1			
Beskrivelse	Investering (kr)	Antatt årlig besparelse (kr)	Antatt årlig besparelse (kWh)
Automatisk energiovervåking	97 356	24 560	30 700
Varmtvannsreducerende tiltak	18 506	3 233	2 400
Behovsstyrt ventilasjon	287 980	61 512	76 890
Driftsoptimalisering	105 000	24 000	30 000
TOTAL	508 842	113 305	139 990

Tiltak I2			
Beskrivelse	Investering (kr)	Antatt årlig besparelse (kr)	Antatt årlig besparelse (kWh)
Svømmehall ventilasjon med plate varmegjenvinner	312 000		228 758
Nytt berederanlegg	96 720		68 711
Installering av vvx før utslipp av oppv bassengvann	59 520		36 929
Svømmehall , avfukter med vannkjølt kondensator for oppv. bassengvarmer	227 466		56 640
Omkleddning ventilasjon med platevarmegjenvinner	225 680		60 191
Ny varmeproducent	986 245		127 107
Ny dør	7 440		2 286
Nye belysn. armaturer	86 800		18 339
TOTAL	2 001 871	-	598 961

D. Oppvarmingstyper for byggene

D.1 Hotellene

Bygg	Oppvarmingstype
H1	Olje- og el-kjel
H2	Fjernvarme
H3	Elektrisitet
H4	Fjernvarme
H5	Elektriske panelovner og el-kjel (varmtvann)
H6	Fjernvarme og elektriske varmekabler
H7	Elektriske panelovner og el-kjel (varmtvann)
H8	El- og oljekjel og elektriske varmebatteri
H9	Elektriske panelovner og varmekabler
H10	Elektriske panelovner til romoppvarming og olje-kjel til ventilasjon
H11	Fjernvarme
H12	Elektrisitet
H13	Elektrisitet
H14	Fjernvarme
H15	Elektrisitet
H16	Fjernvarme og elektriske panelovner
H17	Olje- og gass-kjel
H18	Elektrisitet

D.2 Skolene

Bygg	Oppvarmingstype
S1	Elektrisitet
S2	Elektrisitet
S3	Elektrisitet
S4	Elektrisitet
S5	Elektrisk gulvvarme, fjernvarme og oljekjel
S6	Elektrisitet
S7	Elektrisitet
S8	Elektrisitet
S9	Elektrisitet
S10	Elektrisitet

D.3 Kontorene

Bygg	Oppvarmingstype
K1	Uvisst
K2	Elektriske panelovner og olje-kjel
K3	Olje- og el-kjel
K4	Olje- og el-kjel
K5	Elektriske panelover og olje- og el-kjel

D.4 Kjøpesentrene

Bygg	Oppvarmingstype
Kj1	Elektrisk oppvarming og fjernvarme
Kj2	Fjernvarme

D.5 Helsebyggene

Bygg	Oppvarmingstype
He1	Olje- og el-kjel
He2	Elektrisitet
He3	Elektrisitet
He4	Elektrisitet

D.6 Idrettsbyggene

Bygg	Oppvarmingstype
I1	El-kje og oljekjel
I2	Uvisst

Evaluering, verifisering og energioppfølging av
energieffektiviseringstiltak i bygninger

Stine Fjærli Sjøthun

Trondheim, desember 2012

Sammendrag

Målet med denne oppgaven har vært å evaluere, verifisere og følge opp besparelser som følge av gjennomførte ENØK-tiltak i bygg, og derav se på hva som er årsaken til at besparelser ikke blir som antatt.

For å skaffe data for bygg som har gjennomført ENØK-tiltak, ble det i denne oppgaven samarbeidet med en energirådgiving- og entreprenørbedrift. 41 bygninger ble studert, derav 18 hotell, 10 skoler, fem kontorer, to kjøpesentre, fire helsebygg og to idrettsbygg.

For verifisering av energibesparelsene ble «International Performance Measurement and Verification Protocol» benyttet, som gir en generell fremgangsmåte for å sammenligne målt energibruk eller etterspørsel før og etter gjennomføring av energisparetiltak.

Det viser seg at det er stor variasjon i hvorvidt besparelsene blir som antatt, der 18 av de 41 byggene oppnådde en lavere besparelse enn antatt første år etter gjennomføring. Det ble funnet at før-forbruk, ressursbruk og hvilke type tiltak som gjennomføres er bestemmende for det oppnådde resultatet. Dette henger i stor grad sammen med hvordan tiltakene planlegges, implementeres, og hvordan bygget driftes i etterkant av gjennomføringen. Resultatene viser også viktigheten av oppfølging og riktig drift har for opprettholdelsen av besparelsene over tid.

I tillegg viser det seg at endringer i areal og bruksmønster som det ikke korrigeres for, har en stor innvirkning på at besparelsen ikke blir som oppnådd. For mange av de analyserte byggene har informasjon om slike endringer vært vanskelig å avdekke, da dette ofte ikke blir dokumentert og lagt tilgjengelig for analyse i senere tid.

Det har i denne oppgaven vært krevende å verifisere besparelsene i henhold til IPMVP. Årsaken til dette, har først og fremst vært mangel på nødvendig data. Måling og verifisering av besparelser er nødvendig for å realisere forventet energibesparelser. Systematiseringen og lagringen av data gjennom hele tiltakenes livsløp, fra planleggingsfasen til implementeringsfasen og gjennom hele levetiden til tiltakene, er av stor betydning for å kunne verifisere besparelsene på korrekt måte. I tillegg kreves det mer detaljert datalogging enn det finnes i de fleste bygg i dag for å kunne verifisere besparelser på tiltaksnivå.

Innledning

6. april 2009 ble det vedtatt et fornybardirektiv med formål at EU skal ha 20 % fornybarandel i 2020. Direktivet er EØS-relevant og må derfor implementeres i Norge. For å nå dette målet har alle land fått et krav om hvor stor fornybar andel de skal ha i 2020. Direktivet sier at alle land må øke denne andelen med 5,5 prosentpoeng fra 2005-nivå, og de rikeste landene skal i tillegg til dette gjøre mest. Norge hadde i 2005 et innenlands forbruk på 227 TWh, og en fornybarandel på 59,8 %. Point Carbon [1] har gjennomført beregninger som viser at ut fra EUs beregningsmetode, vil Norge måtte øke andelen fornybar energi med 14,5 prosentpoeng innen 2020. Det vil bety at fornybarandelen i Norge må være på 74,3 %. For å oppfylle fornybardirektivet er det avgjørende å holde energibruken nede samtidig som man øker produksjonen av fornybar energi.

FNs klimapanel (IPCC) og det internasjonale energibyrådet (IEA) har slått fast at energieffektivisering er det tiltaket som vil gi de største og raskeste klimagassreduksjonene. IEA angir i sitt scenario fram mot 2030 at 54 % av klimagassreduksjonene må skje innenfor energieffektivisering [2]. Videre har konsulentselskapet McKinsey & Company gjort en stor studie der de har sett på tiltakskostnader for ulike klimagass tiltak [3], der veldig mange av energitiltakene både for boliger og yrkesbygg er vurdert å være de billigste og mest lønnsomme tiltakene.

Energibruk i bygg utgjør om lag 40 % av Europas totale energiforbruk [4]. I Norge sto bygg for 36 % av det totale energiforbruket og 53 % av det stasjonære energiforbruket i 2008. Sammenliknet med andre land har Norge et høyt forbruk av elektrisitet. Dette skyldes blant annet vår rike tilgang på vannkraft. Redusert energibruk i bygg er avgjørende for at Norge skal kunne klare å oppfylle fornybardirektivet.

Det har det vært stor satsning på energieffektivisering i bygninger de siste årene, og det er blitt opprettet stor forretning for energieffektivisering. Noen bedrifter har startet å jobbe etter energikontrakt, hvor det gis garanti for besparelse. I en rapport fra Lavenergiutvalget er energieffektiviseringspotensialet for byggsektoren fram mot 2020 beregnet å være ca. 10 TWh [5]. Det viser seg imidlertid at oppnådd besparelse som følge av gjennomførte tiltak i bygg ikke alltid blir som antatt.

Hense [6] har gjort en studie på et bolighus som har gjennomgått en ombygging med innføring av PV-panel, solkoker, bedre isolering, mer energieffektive vinduer, bedre lufttetthet og oppgradering av ventilasjon- og oppvarmingsanlegg. I studiet sammenlignes beregnet totalt energiforbruk med målt energiforbruk for flere år etter gjennomføringen av tiltakene, og det kommer frem at det er oppnådd 28 % mer besparelse enn antatt. På den andre siden viser en annen studie, som analyserer resultater for 500 bygninger som har gjennomført energieffektiviseringstiltak, at det var det stor spredning i oppnådd besparelse, der en signifikant andel av byggene faktisk hadde et større energiforbruk *etter* gjennomføringen [7]. Det samme viser en studie av Goldman, C.A, et al. [8]. Her ble 25 000 bygninger analysert, og det ble funnet at besparelsen varierte mellom 10-30 % for 60 % av byggene. Her ble det i tillegg funnet at de parameterne som avgjorde de store forskjellene var før-forbruk, størrelse på investeringen og valg av gjennomføringsstrategi.

I den siste rapporten til International Energy Agency (IEA) fra 2012 [9], pekes det på at måling og verifikasjon av besparelser er nødvendig for å realisere forventet energibesparelser. I tillegg poengteres det at stegene for måling og verifikasjon må styrkes med en større investering av energiledelse og administrativ kapasitet på alle nivå.

Med bakgrunn i dette er målet med denne oppgaven å evaluere, verifisere og oppfølge besparelser oppnådd i bygg som følge av gjennomførte ENØK-tiltak, og derav etablere forhold mellom foreslått tiltak og oppnådde resultater. Det skal med dette identifiseres hva som påvirker at antatt besparelse ikke blir oppnådd.

1. Eksempelbygninger

For analysen var det nødvendig å samle inn data og informasjon om bygninger som hadde gjennomført ENØK-tiltak og som samtidig hadde etablert en form for overvåking, eksempelvis EOS. Overvåkingssystemet er nødvendig for å hente ut forbruk for før og etter gjennomføring, slik at besparelsen kan evalueres og verifiseres.

Dette kapittelet presenterer samarbeidsbedriften som prosjekterte og gjennomførte tiltakene i byggene, metoden for datainnsamling og beregning av besparelse, beskrivelse av eksempelbygningene og metode for analysen.

1.1. Samarbeidsbedrift

For å skaffe tilgjengelige data for bygninger som har gjennomført ENØK-tiltak er det i denne oppgaven samarbeidet med en energirådgiving- og entreprenørbedrift. Bedriften ønsker å være anonym, og blir gjennom oppgaven referert til under navnet «samarbeidsbedrift».

Samarbeidsbedriften leverer energieffektivisering, fornybar energi og energitjeneste for bygg og industri, og leverer energispareprosjekter som totalentrepriser.

For hver bygning som samarbeidsbedriften gjennomfører ENØK-tiltak hos lages det innledningsvis en ENØK-analyse av bygningen. Analysen er et beslutningsgrunnlag for byggeier, og spesifiserer hvilke tiltak som er mest lønnsomme, hvilke investering som kreves og hvilke besparelser tiltaket vil gi.

Samarbeidsbedriften gir gjennom analysen garanti for både investering og besparelse.

1.2. Metode for datainnsamling

Den største delen av datainnsamlingen gikk ut på å lete gjennom systemene til samarbeidsbedriften. Det finnes ingen database eller system som samlet inneholder informasjon om byggene som har gjennomført tiltak. Det første steget var å finne bygg som hadde tilgjengelig energioppfølgingssystem (EOS). Det neste steget var å spore opp ENØK-analyser. Videre var det å finne ut hvilke tiltak som faktisk ble gjennomført og eventuelle endringer som ble gjort underveis. Det viste seg at ikke nødvendigvis alle tiltakene som anbefales i ENØK-analysene som blir gjennomført, og det kan skje mange endringer underveis i gjennomføringen som kan avvike fra det som var tiltenkt når analysen ble skrevet. I tillegg viser det seg at flere av byggene har gjennomgått store endringer etter gjennomføring av tiltakene (endringer i brukstid, areal,

åpningstider etc.), som gjør at byggene avviker fra det som ble definert som basisåret i ENØK-analysen. Det siste steget var å finne ut tilstrekkelig informasjon om bygget. Valget av hvilke bygg som skulle benyttes, er tatt ut i fra tilgjengelighet av tilstrekkelig data, både kvantitativt og kvalitativt.

Gjennomførte tiltak, antatte besparelser, investeringskostnader, før-forbruk og øvrig informasjon om basisåret for byggene er hentet ut fra ENØK-analysene, samt gjennom samtaler med energirådgivere. For å finne forbruket etter gjennomføringen er byggenes energioppfølgingssystem (EOS) benyttet. Informasjonen om endringer i bygget og utføringen av tiltakene er hentet gjennom samtaler med energirådgivere i bedriften, rapporter som ble laget av servicepersonalet som følger opp byggene, samt med kontaktpersoner for de analyserte byggene.

Alle data som ble funnet, er samlet og organisert i en database. Databasen er inspirert av IEAs Annex 47 [10]. Dette dokumentet beskriver de viktigste dataene som kreves for å gjennomføre analysen.

1.3. Metode for beregning av besparelser

«The International Performance Measurement and Verification Protocol» (IPMVP) har satt opp en prosedyre som bør følges for å måle virkningen av et energisparetiltak på en troverdig måte. Utgangspunktet er at metodikken for å verifisere hvorvidt målsetningene nås, bør være en del av utformingen av tiltaket. Målet med denne oppgaven er blant annet å evaluere, verifisere og oppfølge besparelser oppnådd som følge av gjennomførte ENØK-tiltak i bygg, og det er da hensiktsmessig å benytte denne metoden i evalueringen.

IPMVP, utgitt av U.S. Department of Energy (DOE) [11] i 1994-1995, har laget prosedyren for å gi en generell fremgangsmåte for å sammenligne målt energibruk- eller etterspørsel før og etter gjennomføring av energisparetiltak ved hjelp av ligning (1):

$$\text{Energisparing} = \text{Energibruk basisår} - \text{Energibruk etter gjennomføring} \pm \text{Korrigeringer} \quad (1)$$

Her er forbruk i basisåret definert som forbruket før implementering av energisparetiltak. Begrepet «Korrigeringer» gir energibruken i de to tidsperiodene samme vilkår ved å korrigere for forskjeller i vær, oppholdstid, virkemåten til utstyret, areal osv.

Basisåret for hvert bygg er i denne oppgaven definert som året der ENØK-analysen av bygget fant sted, som ofte er året før gjennomføring. Videre er forbruket for basisåret definert som gjennomsnittet av forbruket for de siste to-tre årene før gjennomføringen, og er hentet ut fra byggenes energioppfølgingssystem (EOS). Antatt besparelsene for hvert bygg er hentet ut i fra ENØK-analysene. Som nevnt er besparelsene i analysene kun oppgitt til å være av *totalt* forbruk.

Det er i denne oppgaven valgt å korrigere for følgende: temperatur, arealendring og endring i bruk av bygget.

Forbruket for alle byggene er temperaturkorrigert til normalår slik at års-variasjonene elimineres. Graddagstallene og korreksjonsfaktorene som er benyttet er oppgitt av samarbeidsbedrift, og er beregnet av Meteo Norge. Grunnlaget for beregningene utført av Meteo Norge er data fra observasjonsstasjonene til Meteorologisk institutt [12].

Ikke alle byggene er korrigert i forhold til endringer i areal og bruk av bygget. I følge energirådgiver er det nesten uten unntak at bygg endrer seg med tiden så mye at basisåret ikke gjelder lengre enn året etter gjennomføring. Mye av denne informasjonen er imidlertid ikke dokumentert, og har i denne oppgaven vært vanskelig å avdekke. For de byggene der slike endringer har blitt informert om, er før-forbruket korrigert for å få en riktig sammenligning av før- og etter-forbruk.

1.4. Beskrivelse av eksempelbyggene

41 bygninger er inkludert i dette arbeidet. Byggene er delt inn i seks ulike kategorier: Hotell (H), skoler (S), kontorer (K), kjøpesentre (Kj), helsebygg (He) og idrettsbygg (I). I Tabell 1 til Tabell 6 er det listet opp tabeller med teknisk informasjon om hvert bygg i de ulike kategoriene

Tabell 1: Teknisk data for hotellene

Navn	Klimasone	Oppvarmet areal (m ²)	Antall rom	Byggeår	Antall tiltak	Investeringskostnad (kr)	Forbruk basisår (kWh/m ² år)	Antatt besparelse (kWh/m ² år)
H1	3	8 200	83	-	7	524 702	312	55
H2	1	20 584	480	2001	5	2 850 772	369	111
H3	6	6 600	147	2000	6	993 069	286	89
H4	1	21 326	252	1917	7	3 343 149	368	99
H5	1	3 983	180	1929	2	183 272	220	15
H6	4	5 952	110	1916	7	483 586	254	43
H7	1	4 939	164	1983	6	331 241	289	50
H8	1	5 440	70	1853	8	603 652	269	48
H9	2	2 200	85	1945	6	545 263	373	82
H10	2	7 347	129	1921	5	371 136	252	22
H11	1	13 300	243	1985	4	2 641 820	419	85
H12	1	7 587	151	-	2	248 947	221	34
H13	1	2 725	68	2006	5	303 781	385	97
H14	4	4 814	115	-	5	508 440	279	43
H15	3	5 923	60	2001	8	877 188	246	94
H16	1	12 100	120	-	3	421 976	286	44
H17	3	8 500	183	1876	6	764 911	384	69
H18	3	4 000	64	-	6	304 478	346	59

Tabell 2: Teknisk data for skolene

Navn	Klimasone	Oppvarmet areal (m ²)	Antall rom	Byggeår	Antall tiltak	Investeringskostnad (kr)	Forbruk basisår (kWh/m ² år)	Antatt besparelse (kWh/m ² år)
S1	1	4 350	-	1977	6	147 022	211	47
S2	1	2 200	-	1983	7	125 314	185	58
S3	1	650	-	1987	1	62 010	212	26
S4	1	675	-	1972	3	40 778	314	21
S5	1	6 900	-	1965	6	848 937	212	19
S6	1	2 003	-	1975	2	131 643	215	17
S7	1	4 876	-	1976	1	59 098	164	4
S8	1	2 720	-	1982	2	37 982	59	4
S9	1	1 107	-	1976	4	133 209	266	88
S10	1	437	-	1996	3	53 022	566	38

Tabell 3: Teknisk data for kontorene

Navn	Klimasone	Oppvarmet areal (m ²)	Antall rom	Byggeår	Antall tiltak	Investeringskostnad (kr)	Forbruk basisår (kWh/m ² år)	Antatt besparelse (kWh/m ² år)
K1	1	6 773	-	1928	6	1 352 639	321	63
K2	1	3 350	-	1930	6	1 584 193	791	197
K3	1	16 000	-	1992	5	2 303 338	360	42
K4	1	6 500	-	1970	9	1 818 258	442	106
K5	1	414	-	1921	2	44 532	251	50

Tabell 4: Teknisk data for kjøpesentrene

Navn	Klimasone	Oppvarmet areal (m ²)	Antall rom	Byggeår	Antall tiltak	Investeringskostnad (kr)	Forbruk basisår (kWh/m ² år)	Antatt besparelse (kWh/m ² år)
Kj1	2	32 000	-	1988	5	786 750	134	13
Kj2	1	17 766	-	1998	3	1 667 592	169	40

Tabell 5: Teknisk data for helsebyggene

Navn	Klimasone	Oppvarmet areal (m ²)	Antall rom	Byggeår	Antall tiltak	Investeringskostnad (kr)	Forbruk basisår (kWh/m ² år)	Antatt besparelse (kWh/m ² år)
He1	1	1850	-	2003	4	209 975	286	25
He2	1	1907	-	-	8	880 162	538	193
He3	1	534	-	2001	3	250 714	398	117
He4	1	979	-	1972	2	27 963	59	3

Tabell 6: Teknisk data for idrettsbyggene

Navn	Klimasone	Oppvarmet areal (m ²)	Antall rom	Byggeår	Antall tiltak	Investeringskostnad (kr)	Forbruk basisår (kWh/m ² år)	Antatt besparelse (kWh/m ² år)
I1	1	2 650	-	2003	4	508 842	231	53
I2	1	1121	-	1967	8	2 001 871	1640	534

Tabellen er ikke helt komplett, der noen felt står tomme. Dette skyldes at noe informasjon var vanskelig å få tak i. I tillegg brukes oppvarmet areal gjennomgående i oppgaven, da dette var det arealet som ble oppgitt av byggeiere og energirådgivere for de fleste byggene.

Investeringskostnadene i tabell 1 til tabell 6 en tilbudskostnad som samarbeidsbedriften ga byggeierne, og innebærer utstyr, prosjektering og kostnad for gjennomføring. Lokasjonene er inndelt etter klimasoner.

Alle byggene har gjennomført minst to ENØK-tiltak hver, og de er implementert i tiltakspakker. Ingen av byggene er utstyrt med detaljert logging, slik at det er mulig å se på besparelser på tiltaksnivå.

Samarbeidsbedriften garanterer for besparelsene i samtlige av byggene. Dette betyr at dersom oppnådd besparelse etter første år er lavere enn garantert, må energirådgiver(ne) analysere hva årsaken kan være, og må så gjøre grep for å få ned energiforbruket. Garantien gjelder i ett år for alle byggene.

2. Metode for analyse

For analysen av resultatene, ses det på avvik fra antatt resultat i forhold til bygningsrelaterte faktorer og i forhold til parametere som kan påvirke hvordan tiltakene velges ut og gjennomføres. De analyserte bygningsrelaterte faktorene er forbruk i basisår og oppvarmet areal. For parametere som kan påvirke hvordan tiltakene velges ut og gjennomføres, ses det på ressursbruk og type tiltak som gjennomføres. I tillegg ses det på hvorvidt besparelsene opprettholdes over til.

Det er også andre parametere som kan påvirke energiforbruket og oppnådd resultat, eksempelvis klimasone, rekkefølgen på gjennomføring av tiltak, driftstid, motivasjon til byggeiere o.l. Disse er ikke inkludert i analysen grunnet manglende informasjon. Når det gjelder ulike klimasoner er de fleste av byggene lokalisert i området, og en analyse av dette er da ikke relevant.

Metoden for analysen er inspirert av «Engineering Statistics Handbook» laget av «National Institute of Standards and Technology» [13], som er laget for å hjelpe forskere og ingeniører inkorporere statistiske metoder i deres jobb så effektivt som mulig. I denne oppgaven blir forklarende statistikk benyttet.

2.1. Fremstilling av oppnådd resultat for byggene

I analysen ses det i hovedsak på oppnådd resultat for kun *første* år etter gjennomføring. Grunnen til dette er, som tidligere nevnt, at byggene endres mye over tid. Det er i denne oppgaven hentet inn informasjon om slike endringer, og korrigert for dette, men det viser seg at det i praksis ikke alltid er like lett å fremskaffe slik informasjon. Dette medfører at usikkerheten knyttet til besparelsen øker med årene etter gjennomføring. Det første år er derfor mest representativt for de virkelige resultatene.

Resultatene oppnådd de ulike byggene er valgt å presenteres ved hjelp av følgende formel (2):

$$p = \left(\frac{E_{\text{antatt}} - E_{\text{oppnådd}}}{E_{\text{antatt}}} \right) \cdot 100 \quad (2)$$

Videre kan (2) omskrives til (3):

$$p = \left(1 - \frac{E_{\text{oppnådd}}}{E_{\text{antatt}}} \right) \cdot 100 \quad (3)$$

Der

p = Avvik fra antatt forbruk, sett i forhold til antatt energiforbruk (%).

E_{antatt} = Antatt totalt energiforbruk etter gjennomføring (kWh/år).

$E_{\text{oppnådd}}$ = Totalt energiforbruk etter gjennomføring (kWh/år).

Hvis en kjenner den antatte og oppnådde besparelsen, samt forbruket før gjennomføringen, kan (2) også skrives som (4):

$$p = \left(\frac{(E_{\text{før}} - B_{\text{antatt}}) - (E_{\text{før}} - B_{\text{oppnådd}})}{E_{\text{før}} - B_{\text{antatt}}} \right) \cdot 100 \quad (4)$$

Der

$E_{\text{før}}$ = Total forbruk basisår (kWh/år).

$B_{\text{oppnådd}}$ = Oppnådd besparelse etter gjennomføring (kWh/år).

B_{antatt} = Antatt besparelse (kWh/år).

For og lettere forstå resultatene, kan følgende hjelpe:

- $E_{\text{oppnådd}} = E_{\text{antatt}} \rightarrow p = 0$, er oppnådd besparelse lik den antatte.
- $E_{\text{oppnådd}} > E_{\text{antatt}} \rightarrow p < 0$, er oppnådd besparelse mindre enn antatt.
- $E_{\text{oppnådd}} < E_{\text{antatt}} \rightarrow p > 0$, er oppnådd besparelse større enn antatt.

P ønsker å beskrive avviket mellom oppnådd og antatt totalt forbruk altså hvorvidt det antatte totalforbruket etter gjennomføring, og derav besparelsen, ble oppnådd etter gjennomføring.

I eksempelvis økonomiske analyser vil et positivt avvik fra antatt forbruk ($p > 0$) motsatt kunne bety et høyere oppnådd forbruk i forhold til antatt, og dermed en lavere besparelse. I denne oppgaven er det i midlertidig ønskelig å fremstille positive tall i de tilfellene det er oppnådd en høyere besparelse enn antatt. Et positivt avvik betyr derfor at oppnådd besparelse er høyere enn antatt.

Ideelt sett burde en her ha sett på besparelser og energiforbruk fordelt på energibærere. Imidlertid var ikke slik informasjon mulig å frembringe for alle byggene, der alle besparelser er oppgitt til å være av *totalt* forbruk, og det var kun for 14 bygg mulig å måle energiforbruk per energibærer. Av de resterende byggene, bruker 20 av dem kun elektrisitet. Det er derfor valgt å bruke totale besparelser og totalt forbruk gjennom oppgaven.

2.2. Opprettholdelse av besparelse over tid

Det er i tillegg til besparelse første år etter gjennomføring viktig at besparelsen opprettholdes over tid. Årstallene for gjennomføring av tiltakene i byggene er i perioden 2003-2011. Det har for alle byggene vært et mål å skaffe forbruk for fire år etter gjennomføring. Det har imidlertid ikke vært mulig for å hente ut forbruk for totalt fire år for byggene, noe som skyldes at tiltakene for noen av byggene har blitt gjennomført relativt nylig, og derfor ikke eksisterer forbrukstall for flere enn et par år. I tillegg er tiltakene for noen av byggene gjennomført for et knapt år siden. Antall år med tilgjengelig etter-forbruk varierer derfor fra ett til fire år.

2.3. Kategorisering av tiltak

Det er for alle byggene innhentet mest mulig informasjon om hvert enkelt tiltak, og det er gjennom dette forsøkt å finne ut hva intensjonen med tiltakene var og grunnlag for valg av tiltak.

Som nevnt har samtlige bygg gjennomført flere tiltak, der kun noen av byggene har gjennomført de samme. På grunn av den store variasjonen i gjennomførte tiltak og at det ikke er installert noen form for detaljert datalogging i noen av byggene, er det vanskelig å se hvordan de enkelte tiltakene isolert sett har påvirket de oppnådde resultatene.

For likevel å kunne skille mellom de ulike tiltakene, deles de inn i tre tiltaksgrupper:

- **Dr:** Drift (Dr), styring, overvåking og adferd (SD-anlegg, endring i driftstid, temperaturer og luftmengder, driftsinstrukser fra rådgiver, EOS, styringsautomatikk osv.).
- **Ut:** Forbedring/utskiftning av utstyr (Ut) (nye kjeler, vannreducerende tiltak, sparepærer, nye vifter, installasjon av varmepumpe, varmegjenvinnere osv.).
- **Iso:** Isolering (tetting av vindu, isolering av rør og komponenter).
- **Ieb:** Ikke energibesparende tiltak (tiltak som ikke gir energibesparelser, men som for eksempel gir besparelse i effekt).

Denne oppdelingen er laget for å kunne skille mellom besparelser som i større eller mindre grad er avhengig av driftspersonalet, brukerne og rådgiver. Tiltak som er under kategorien Dr krever, i ulik grad, at de driftes, installeres og oppfølges på riktig måte. Disse tiltakene er i hovedsak effektive måter å drifte byggene på, slik at det ikke brukes unødvendig mye energi. Eksempelvis kan dette være tiltak for å unngå oppvarming i rom eller tidsrom som ikke er i bruk. Utbytte av slike tiltak kan endres ved at driftspersonalet eller brukerne endrer på parameterne, for eksempel skrur opp varmen manuelt eller skrur av innstilt senkning av varmen for rom eller tidsrom som ikke er i bruk.

For å undersøke hvor avhengig en er av riktig drift og oppfølging for å oppnå de antatte besparelsene, er det for hvert bygg beregnet hvor stor andel av besparelsen som ligger under kategori Dr. Imidlertid er der noen av tiltakene som inngår både kategori Dr og under Ut. Eksempelvis krever innføring av SD-anlegg installasjon av en del utstyr, eksempelvis datamaskiner og sensorer. Hovedpoenget med å ha et SD-anlegg er for øvrig å styre, overvåke og rapportere byggets ytelse ved hjelp av datamaskinbaserte «styrestasjoner» som kontrollerer energiforbruket og utstyret i bygget. Det essensielle er at riktig anvendelse av SD-anlegget og oppfølgingssystemet kan føre til energibesparelser. Det er derfor i slike tilfeller valgt å anta at hele besparelsen for disse tiltakene er avhengig av riktig drift og oppfølging.

3. Resultater

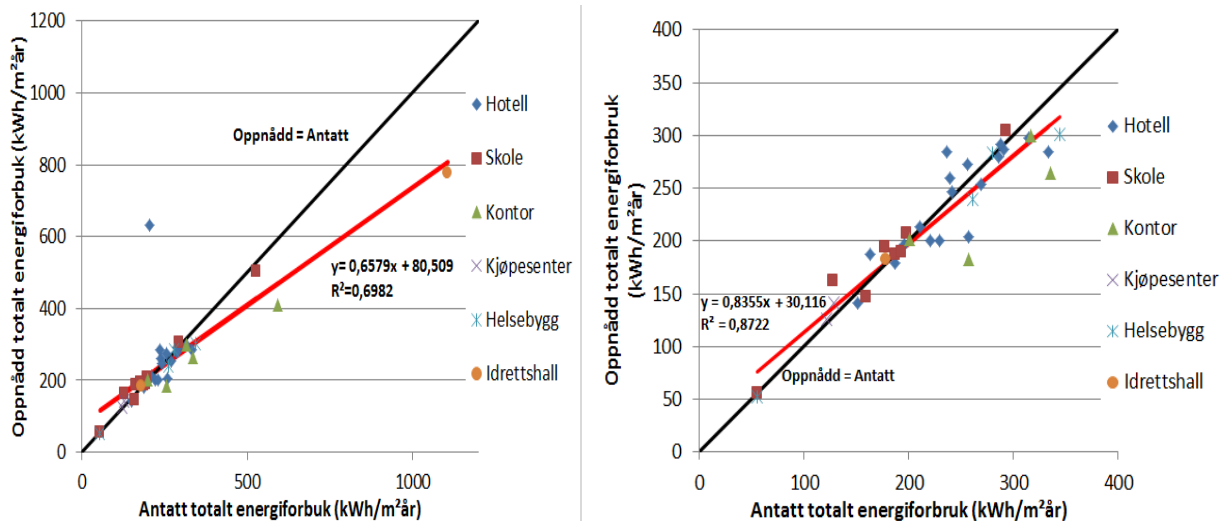
I dette kapittelet presenteres oppnådd energiforbruk første år etter gjennomføring i forhold til antatt og hvorvidt besparelsen opprettholdes over tid. Avslutningsvis ses det på hvilke parametere som er mest bestemmende for hvordan resultatet blir og hva som gjør at resultatet ikke alltid blir som antatt. Alt forbruk er graddagskorrigert og korrigert i forhold til kjente endringer som har oppstått i bygget.

Som nevnt er det manglende data fra noen av byggene, noe som gjør at ikke alle bygg er representert i fremstillingene.

3.1. Oppnådd energiforbruk i forhold til antatt første år etter gjennomføring

Figur 3-1 viser antatt og oppnådd totalt energiforbruk første år etter gjennomføring for de ulike bygningskategoriene. Den første grafen viser resultatet for alle byggene, og den andre er fire av byggene med størst oppnådd energiforbruk fjernet for å se om dette gir en bedre tilpassing.

Den svarte trendlinjen viser hvor punktene teoretisk sett burde ligge, altså når oppnådd energiforbruk er lik antatt. Den røde linjen viser hvordan fordelingen faktisk er, ut ifra en lineær matematisk funksjon ut ifra måledataene.



Figur 3-1: Antatt og oppnådd totalt energiforbruk

R^2 i figuren er et mål på hvor god modellen er, hvor verdiene for R^2 varierer mellom 0 og 1 avhengig av hvor god tilpassingen er mellom dataene og hjelpelinjen. Dersom R^2 er nær 0 er tilpassingen dårlig, og betyr at forholdet mellom antatt og oppnådd energiforbruk ikke er lineært. Desto nærmer 1 R^2 -verdien kommer, desto bedre tilpassing. R^2 -verdien for alle byggene er 0,6982, og er en brukbar tilpassing. Dataene i grafen til høyre har en mye bedre tilpassing, med $R^2 = 0,8722$.

Regresjonslinjen (rød) viser også et skille mellom oppnådd energiforbruk i forhold til antatt ved ca. 200 kWh/m²år. Dette illustrerer at byggene med lavere enn 200 kWh/m²år antatt forbruk, oppnår totalt sett et høyere energiforbruk i forhold til antatt. Motsatt oppnår byggene med antatt totalt energiforbruk høyere enn 200 kWh/m²år totalt sett et lavere energiforbruk i forhold til antatt.

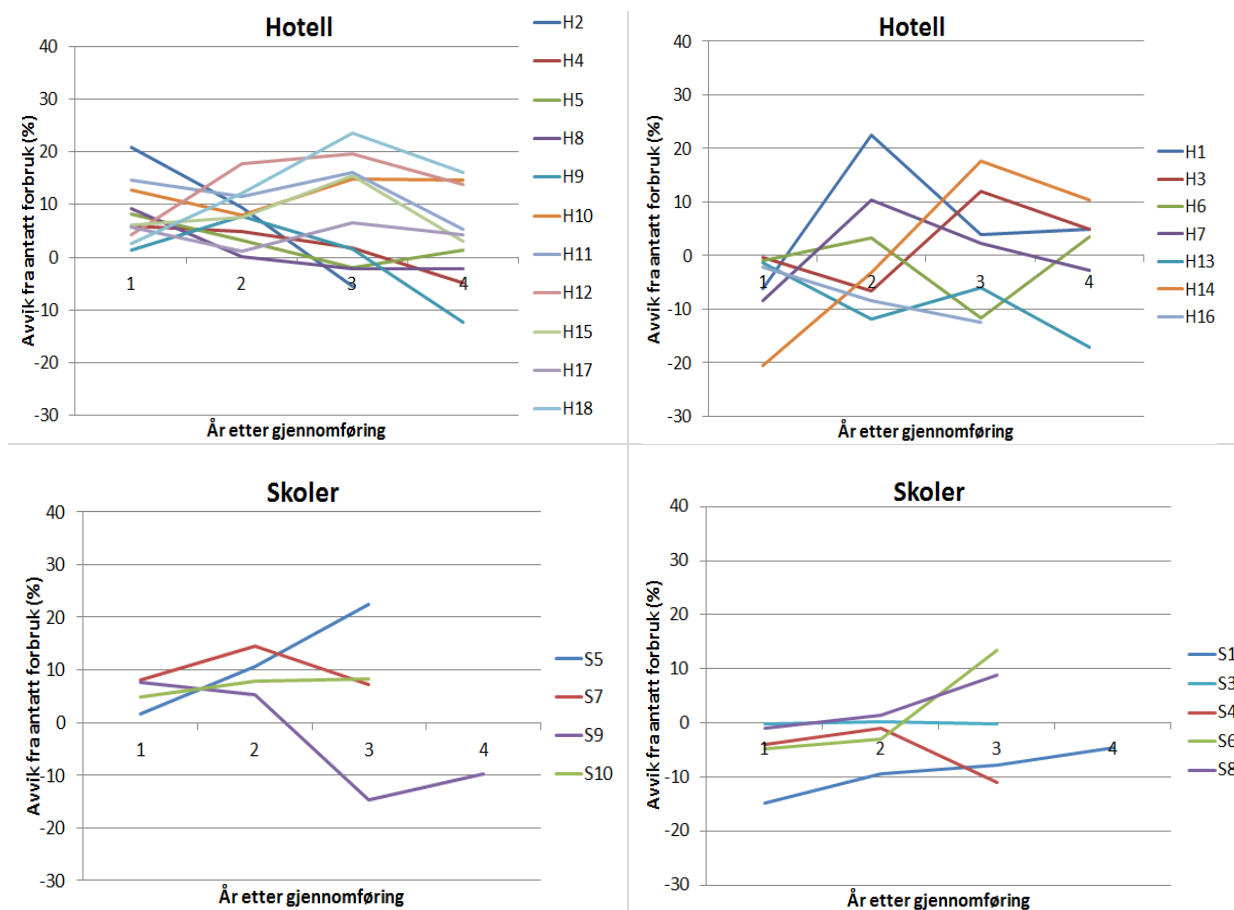
Generelt er det stor variasjon i hvorvidt oppnådd forbruk, og derav besparelsen, blir som antatt. Totalt er oppnådd besparelsen lavere enn antatt for 18 av de 41 byggene. Oppnådd avvik fra antatt totalt energiforbruk for de ulike byggene varierer mellom 29 % og -20,5 %, der 14 av byggene har oppnådd mer enn 5 % avvik fra antatt forbruk (p) og fem av byggene har mindre enn -5 % avvik fra antatt forbruk.

3.2. Opprettholdelse av besparelse over tid

Figur 3-2 viser avvik fra antatt forbruk fra første til fjerde år etter gjennomføring for hotellene og skolene. Grafene til venstre i figuren er for byggene som første år etter gjennomføring oppnådde

en høyere besparelse enn antatt, mens de til høyre viser for byggene som første år oppnådde en lavere besparelse enn antatt.

Som nevnt betyr et positivt avvik fra antatt forbruk at oppnådd forbruk etter gjennomføring er lavere enn antatt og at besparelsen derav er høyere enn antatt.



Figur 3-2: Opprettholdelse av besparelse over tid for hotellene og skolene

Av Figur 3-2 ser en at det er veldig få av byggene som har en stabil og varig besparelse. Figur 3-2 viser at de fleste byggene som første år hadde et mye lavere forbruk enn antatt, og derav oppnådde høyere besparelse, fikk en reduksjon i besparelse året etter. Omvendt oppnådde samtlige bygg som første år hadde en betydelig lavere besparelse enn antatt, en økning i besparelse året etter. Årsaken til dette kan være at samarbeidsbedriften garanterer for besparelse første år. Denne garantien innebærer som nevnt at hvis besparelsen er lavere enn antatt første år etter gjennomføring, må samarbeidsbedriften gjøre grep for at besparelsen skal oppnås. Samarbeidsbedriften tilbyr ofte driftsansvarlig en forlengelse i garanti på flere år, noe de ofte takker nei til. Dette kan en se konsekvensene av i Figur 3-2, der flere av byggene, da spesielt hotellene, som oppnådde en økning i besparelse fra år en til to, har en reduksjon i besparelse etter år to.

3.2.1. Mulige årsaker til variasjonene

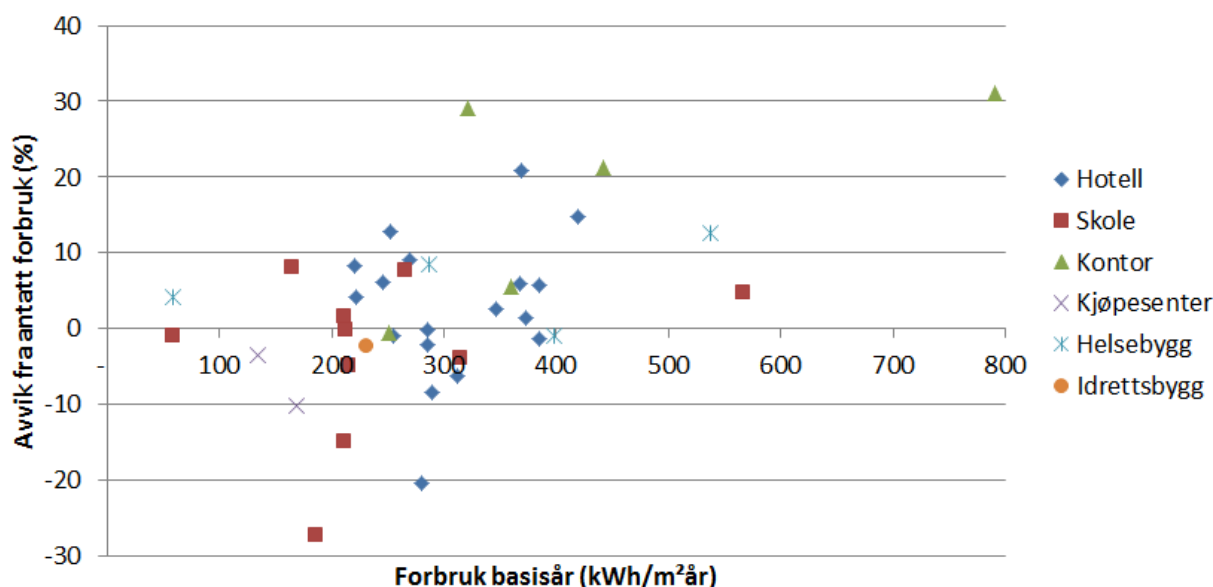
Det er for 13 av disse 27 byggene funnet antatte årsaker til de varierte besparelsene, dette gjennom samtaler med energirådgivere og kontaktpersoner for byggene. For syv av byggene var årsaken drift, ombygging var årsaken for fem av byggene, og ett av byggene hadde begge deler som antatt årsak. For de syv byggene der drift var årsaken til de varierte besparelsene, gjaldt dette

for fem av byggene dårlig oppfølging og feil i drift av driftsansvarlig. Besparelsen til flere av de gjennomførte tiltakene er i stor grad avhengig av at de implementeres og driftes på riktig måte. For to av byggene var det oppgitt at de høye besparelsene var oppnådd som følge av meget dyktige driftsansvarlige. Av de byggene som hadde ombygging som antatt årsak, er omfanget av dette ukjent, og forbruket er derfor ikke korrigert for dette.

3.3. Påvirkende faktorer for oppnåelse av besparelsene

3.3.1. Forbruk basisår

Figur 3-3 viser avvik fra antatt resultat i forhold til forbruket byggene hadde før gjennomføring. Bygg I2 er ikke med på grafen da dette bygget hadde et veldig høy forbruk i basisåret (1640 kWh/m²år), noe som påvirker fremstillingen i figuren.

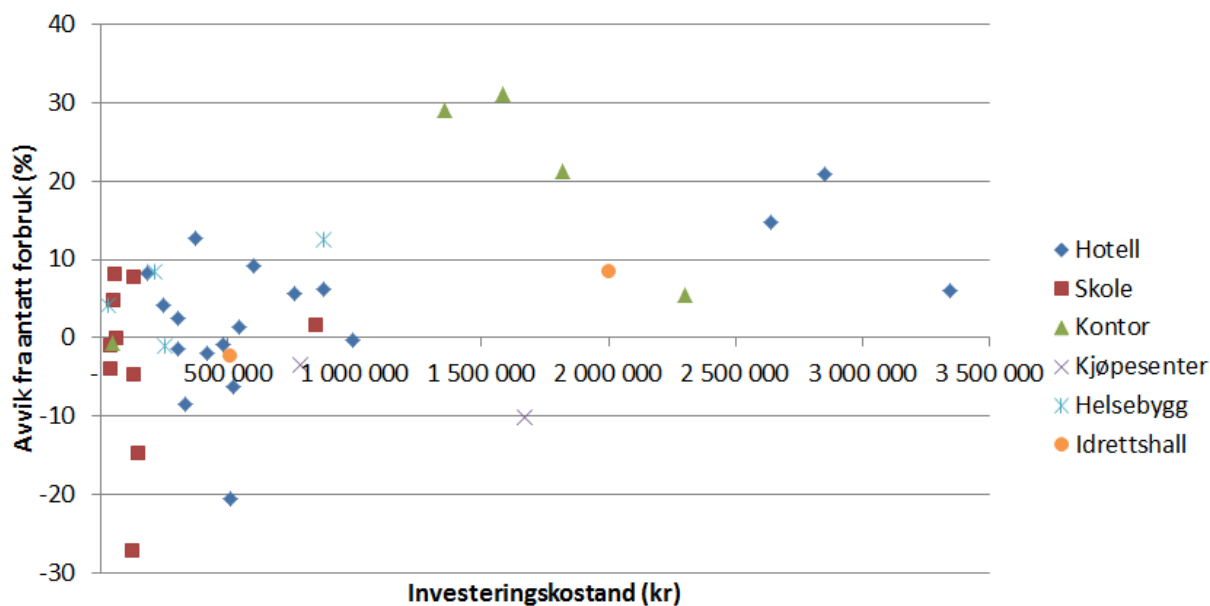


Figur 3-3: Avvik fra antatt forbruk og forbruket for basisår

Av figur 3-3 kan en se et klart skille mellom bygg med lavere og høyere før-forbruk enn 314 kWh/m²år. Bygg med lavere før-forbruk enn 314 kWh/m²år oppnådde en besparelse som enten var relativt lik den antatte eller høyere. Omvendt ser en at det er de byggene som hadde lavest før forbruk (<314 kWh/m²år), som oppnår det største negative avviket i forbruk i forhold til antatt. Dette kan tyde på bygg med lavt førforbruk ofte blir overestimert på grunn av problemer med å finne lønnsomme tiltak. Omvendt kan det tyde på at bygg med høyt førforbruk ofte blir underestimert da energirådgiver ikke behøver å garantere så høy besparelse for at tiltakene skal bli lønnsomme.

3.3.2. Ressursbruk

Figur 3-4 viser avvik fra antatt forbruk mot totale investeringskostnader for de ulike bygningskategoriene.



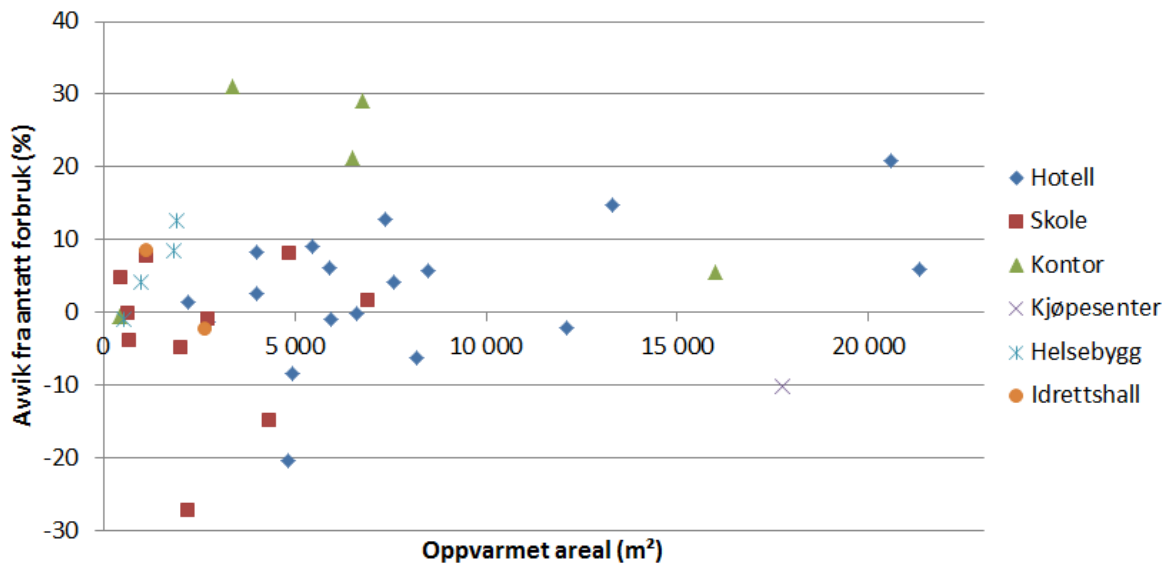
Figur 3-4: Avvik fra antatt forbruk og total investeringskostnad for gjennomførte tiltak

Av Figur 3-4 ser en at alle bygg (med unntak av de to kjøpesentrene) som har gjennomført tiltak med total investeringskostnad over 524 000 kr, har enten oppnådd likt eller lavere forbruk, og følgelig lik eller høyere besparelse, i forhold til antatt. Dette gjelder særlig kontorene og hotellene. For kontorene viser resultatene at for de fire byggene som gjennomførte tiltak med høy investeringskostnad, ble besparelsen i stor grad underestimert, mens det ene bygget som hadde lav investeringskostnad oppnådde tilsvarende forbruk som antatt (avvik på $p=-0,66\%$).

Av Figur 3-4 ser en altså en mulig trend til at besparelsen for små prosjekter, med lav investeringskostnad, blir mest overestimert, mens besparelsen for de store prosjektene blir gjerne underestimert. Det er av energirådgivere i samarbeidsbedrift oppgitt at det for slike bygg plukket ut de beste rådgiverne til å gjøre analysene og til å gjennomføre prosjektet, samt at det brukes mye mer tid og interne ressurser på de største prosjektene. Dette kan føre til at beregningene blir mer korrekte og valg av tiltak blir mye mer gjennomtenkt og riktig utført. I tillegg legges det mye mer fokus på oppfølging og opplæring. Med dette skulle en egentlig forvente at resultatet for de erfarne energirådgiverne skulle bli det samme som forutsatt. Samtidig har de mer erfarne energirådgiverne til en viss grad mer kunnskap om hvordan å formidle viktigheten av driften til driftsoperatøren, og de har mer erfaring med hva som skal til driftsmessig for at besparelsene skal oppnås. I tillegg er det ofte andre tips til god drift som erfarne energirådgiver gir driftsoperatørene for at besparelsen skal bli enda større. I følge samarbeidsbedrift er de mindre erfarne energirådgiverne mer fokusert på tiltakene isolert sett. I tillegg er det flere av energirådgiverne som inkluderer «råd til riktig drift» som egne tiltak og inkluderer dette som en del av den totale antatte besparelsen. Dette betyr at de byggene som ikke har dette inkludert som et eget tiltak, kan få en høyere besparelse i forhold til antatt enn de som har inkludert disse rådene i den total besparelsen.

3.3.3. Oppvarmet areal

Figur 3-5 viser avvik fra antatt forbruk og oppvarmet areal for byggene.



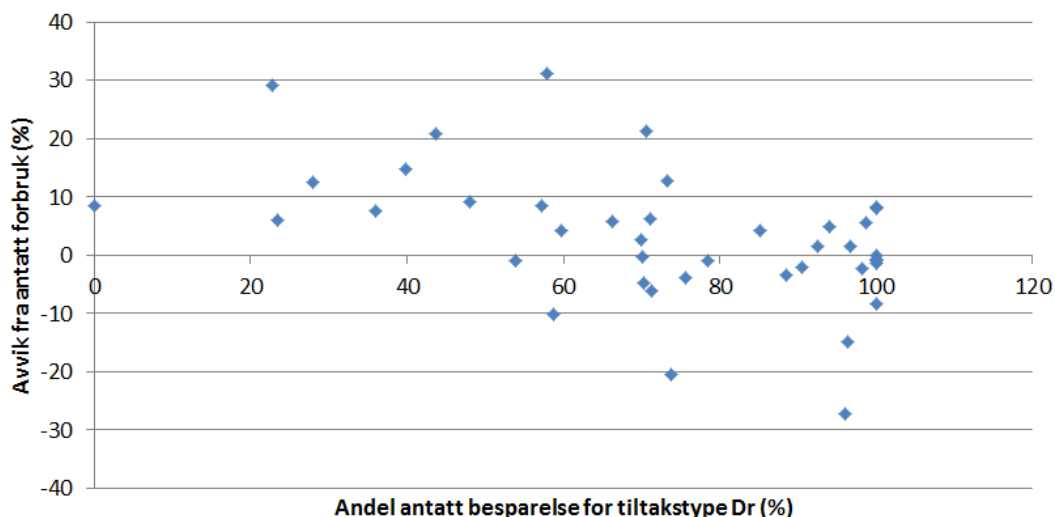
Figur 3-5: Avvik fra antatt forbruk og oppvarmet areal for byggene

Av Figur 3-5 ser en at det er god spredning i størrelsene på byggene og at det er flest store bygg som oppnår et høyere forbruk enn antatt. For de små og mellomstore byggene er det varierende hvorvidt besparelsen blir oppnådd eller ikke, altså det er ingen klare trender. Av Tabell 1 til Tabell 6 ser en at dette henger sammen med investeringskostnad. Det er altså de store byggene med høy investeringskostnad som oppnår de største positive avvikene fra antatt forbruk, og derav større besparelse enn antatt.

3.3.4. Type tiltak

Totalt er det gjennomført 211 tiltak fordelt på de 41 byggene, der 124 er tiltak som går på drift, styring, overvåking og adferd (Dr), 66 går på forbedring eller utskifting av utstyr (Ut), 12 går på Isolering av komponenter (Iso) og 9 av den er ikke-energibesparende tiltak (Ieb). Alle tiltakene er gjennomført i såkalte tiltakspakker, der det i flest bygg er gjennomført tiltak med sammensetningen av tiltaksgruppe Dr og Ut. Av de byggene som har gjennomført tiltak i kun en kategori, gjelder dette oftest kategori Dr.

Figur 3-6 viser avvik fra antatt forbruk og hvor stor andel av besparelsen som er av tiltakstype Dr.



Figur 3-6: Avvik fra antatt forbruk og andel besparelse for tiltakstype Dr

I Figur 3-6 ser en så videre at de byggene som oppnår det største negative avviket fra antatt forbruk, har i stor grad en besparelse som avhenger av riktig drift og oppfølging. For disse byggene utgjør tiltakstype Dr med andre ord en stor andel av besparelsen. Motsatt ser en at byggene som oppnår de største positive avvikene fra antatt forbruk, og som følgelig har oppnådd et mye lavere forbruk i forhold til antatt, er besparelsen i mindre grad avhengig av drift og oppfølging. For disse tiltakene utgjør tiltakstype Ut og Iso en større del av den antatte besparelsen.

4. Usikkerhetsanalyse

Dette arbeidet er forbundet med flere usikkerhetsmomenter, noe som kan påvirke resultatene. De viktigste usikkerhetene er:

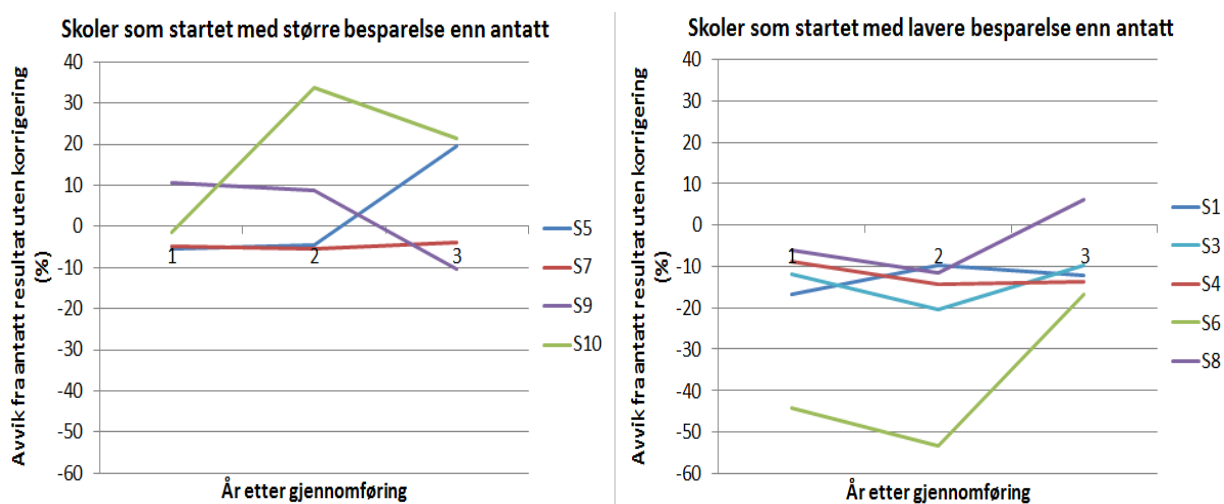
- Beregningsfeil, både i beregninger som er gjort i denne oppgaven og beregninger av energirådgiverne i samarbeidsbedriften
- Endringer i byggene som ikke er avdekket og som det derav ikke er blitt korrigert for.
- Endringer i gjennomføring av tiltakene i forhold til planlagt.
- Feil i målere.

Erfaringer som har blitt opparbeidet gjennom dette arbeidet, tilsier at den største usikkerheten ligger i endringer som ikke blir avdekket. Dette er også blitt bekreftet av energirådgiverne i samarbeidsbedriften, da de opplever at oppfølgingen og verifiseringen av oppnådde resultater er krevende på grunn av at byggeiere og driftsansvarlige ikke opplyser om endringer som forekommer i byggene. I de tilfellene slik informasjonen blir videreformidlet, skjer kommunikasjonen ofte per e-mail eller telefon, og er derfor vanskelig å spore opp for verifisering av resultatene i etterkant.

Figur 4-1 viser avvik fra antatt forbruk, der forbruket før og etter gjennomføringen verken er korrigert i forhold til temperatur eller endringer som har forekommet i byggene. Figuren til venstre gjelder for skolene som ved korrigering oppnådde større besparelser enn antatt første år etter gjennomføring, og den til høyre vises for skolene som første år oppnådde en lavere

besparelse enn antatt. Resultatet er vist for kun tre år etter gjennomføring grunnet manglede data for siste år.

Forbruket er korrigert i forhold til endringer for bygg S1, S6, S7 og S8, der årsakene har vært arealendringer og endret bruk av bygget. Dette har ført til at forbruket for disse byggene har blitt korrigert. For de resterende byggene er det antatt at byggene er i samsvar med det som er oppgitt i basisåret. Alle byggene er imidlertid graddagskorrigert, noe som også er utslagsgivende for avvikene. Avvikene for skole S3, S4, S5, S8 og S9 er derfor på grunn av graddagskorrigerings.



Figur 4-1: Avvik fra antatt forbruk over tre år der forbruket før og etter gjennomføringen for skolene ikke er korrigert

Ved å sammenligne Figur 4-1 med Figur 3-2 ser en at resultatet er nokså forskjellig. Ved ikke å korrigere viser resultatene et negativt avvik fra antatt forbruk, og derav en lavere besparelse enn antatt, første år etter gjennomføring for åtte av de ni byggene. I motsetning gjaldt dette for fire av skolene ved korrigerings. Totalt viser resultatene et høyere forbruk første år etter gjennomføring for åtte av de ni byggene uten korrigerings enn resultatene viser med korrigerings.

Resultatene blir også nokså ulikt uten korrigerings i forhold til med de påløpende årene etter gjennomføringen. For fjerde år oppnår syv av byggene et dårligere resultat uten korrigerings enn med.

Konklusjon

Målet med denne oppgaven var å verifisere oppnådde resultater som følge av gjennomførte ENØK-tiltak i bygg, og finne årsaker til at oppnådd besparelse ikke alltid blir som antatt. Fra resultatene kan følgende konklusjoner dras:

- Det er stor variasjon i hvorvidt oppnådde besparelser som følge av gjennomføring i bygg blir som antatt. Totalt er oppnådd besparelsen lavere enn antatt for 18 av de 41 analyserte byggene. Oppnådd avvik fra antatt totalt energiforbruk for de ulike byggene varierer mellom 29 % og - 20,5 %, der. Av de 41 byggene har 14 av dem oppnådd mer enn 5 % lavere forbruk enn antatt og fem av dem har oppnådd mer enn 5 % høyere forbruk enn antatt. I tillegg er det stor endring i besparelse med årene etter gjennomføring.
- Det er også funnet at før-forbruk, ressursbruk og hvilke type tiltak som gjennomføres er bestemmende for det oppnådde resultatet. Dette henger i stor grad sammen med hvordan tiltakene planlegges, implementeres, og hvordan bygget driftes i etterkant av gjennomføringen.
- Resultatene viser at besparelsene varierer med årene etter gjennomføring, og det tyder på at hvordan byggene driftes og styres, også er årsaken til dette. Hvordan driften har fungert i etterkant av gjennomføring har for noen bygg vært årsak til gode og forbedrede besparelser, men i de fleste tilfellene har driften vært årsak til lave og synkende besparelser. I resultatene for årene etter gjennomføring er det også sett virkningen av garantien til besparelsene. Garantien innebærer at hvis besparelsen er lavere enn antatt, skal samarbeidsbedriften, som har planlagt og gjennomført tiltakene, finne årsaken til det dårlige resultatet og gjøre forbedringer for å få forbruket ned til planlagt nivå. Virkningen av garantiens lengde vises også av resultatene, der besparelsen etter garantiens slutt, som er etter ett år, går ned.
- Generelt viser resultatene viktigheten ved oppfølging, riktig drift og motivasjon hos driftsansvarlig har på oppnåelsen av besparelsene. For at tiltak som i stor grad er avhengig av drift skal bli vellykket, er en avhengig av godt motiverte driftsansvarlige og god opplæring fra energirådgiver
- Resultatene viser at endringer i areal og bruksmønster som det ikke korrigeres for, også har en stor betydning for at besparelsene ikke blir som antatt. Dette ble også bekreftet av samarbeidsbedrift, som hevder at bygg nesten uten unntak avviker fra definert basisår med årene etter gjennomføring. I tillegg er det ikke alltid tiltakene blir gjennomført som først planlagt. I denne oppgaven er før-forbruket korrigert for slike endringer, men denne typen informasjon var for flere bygg vanskelig å avdekke da den ikke er dokumentert og lagt tilgjengelig for analyser i senere tid. I tillegg er det ikke alltid driftsansvarlig eller byggeier informerer om endringer som gjøres i byggene. Med bakgrunn i dette ble det gjennomgått en usikkerhetsanalyse og det er gjennom denne avdekket at endringene har en stor betydning på de verifiserte resultatene.
- Det har i denne oppgaven vært krevende å verifisere besparelsene i henhold til IPMVP. Årsaken til dette har først og fremst mangel på nødvendig data. Måling og verifisering av besparelser er et viktig steg for å kunne se virkningen av tiltak som blir gjennomført i bygg og for å nå antatte mål. For å kunne verifisere i henhold til IPMVP er det nødvendig at prosjekteringsteamet tidlig i planleggingsfasen avklarer om måling og verifikasjon skal

være en del av prosjektet. Hvis besparelsene skal verifiseres, er det nødvendig med en spesiell planlegging som kan innebære overvåking- og målingsaktiviteter for å etablere en basistilstand før en implementerer noen endringer i bygget. Gjennom hele prosessen er det nødvendig at all informasjon dokumenteres og lagres, det vil si alt som planlegges og endringer som gjøres underveis. Denne dokumentasjonen er verdifull for verifisering i senere tid, da dette skal gi et riktig bilde av gjennomføringen. For å kunne verifisere besparelser på tiltaksnivå er det nødvendig med mer detaljert datalogging.

Referanser

1. Point Carbon. Available from: <http://www.pointcarbon.com/>.
2. International Energy Agency (IEA), *World Energy Outlook 2008*.
3. McKinsey & Company, *A cost curve for greenhouse gas reductions*. The McKinsey Quarterly 2008.
4. Norsk Teknologi, *Energibruk i bygg- rammer, krav og muligheter*. En serie med faktahefter fra Norsk Teknologi, hefte nr 8, 2008.
5. Lavenergiutvalget, *Energieffektivisering*. Del 1 Hovedrapport, 2009.
6. Hens, H., *Energy efficient retrofit of an end of the row house: Confronting predictions with long-term measurements*. Energy and Buildings 42 (2010) 1939–1947.
7. Hirst, E., *Actual energy savings after retrofit: Electrically heated homes in the Pacific Northwest*. March 1986, Pages 299–308. **Volume 11, Issue 3**.
8. Goldman, C.A., K.M. Greely, and J.P. Harris, *Retrofit experience in U.S. multifamily buildings: Energy savings, costs, and economics*. November 1988, Pages 797–811. **Volume 13, Issue 11**
9. International Energy Agency (IEA), *World Energy Outlook 2012*. Executive Summary, 2012.
10. International Energy Agency (IEA), *Commissioning Cost-Benefit and Persistence of Savings*. Annex 47, Report 3, 2010.
11. *International Performance Measurement & Verification Protocol (IPMVP)*. Concepts and Options for Determining Energy and Water Savings Volume I, 2002.
12. Meteorologisk institutt. Available from: <http://met.no/>.
13. National Institute of Standards and Technology, *Engineering Statistics Handbook*. 2012.