

Potensialstudie

Kostnadseffektive energiltak i eksisterende bygninger



Foto: Norsk Varmepumpeforening (NOVAP)

Rapport utført for Lavenergiprogrammet av Gehør strategi og rådgivning AS

Forfattere:

- **Gunnar Grini**
- **Isak Oksvold**
- **Ruth Astrid Sæter**

Forord

Lavenergiprogrammet ble etablert i 2007 for å bidra til å heve kompetansen i byggenæringen innen energieffektivisering og omlegging til fornybar energi. I 2007 ble energi i bygg for alvor satt på dagsorden da energikravene i byggt teknisk forskrift ble strammet inn. De første årene jobbet derfor Lavenergiprogrammet med å utvikle og spre kunnskap om hva de nye energikravene gikk ut på og hva de ville innebære i praksis, både ved tegnebordet og på byggeplassen.

Samtidig jobbet Lavenergiprogrammet med å vise at det er mulig å strekke seg lengre enn kravene i forskriften. Gjennom å delta i, og formidle kunnskap fra, prosjekter som *Framtidens bygg* og *Osloprosjektet* viste vi at det var fullt mulig å bygge passivhus i Norge. I 2012 etablerte Lavenergiprogrammet forskningsprosjektet *Evaluering av boliger med lavt energibehov (EBLE)* med støtte fra Norges forskningsråd. Prosjektet hadde som formål å evaluere hvilke løsninger for passivhus som er robuste nok for norsk klima og som samtidig ivaretar et godt inneklima. Kunnskap fra forbildeprosjekter ble brukt i arbeidet med å utvikle "*Kurs i prosjektering av passivhus*".

De siste fem årene har Lavenergiprogrammet jobbet for å heve kompetansen spesielt blant fagutdannede tømrere og elektrikere i det vi har kalt *Smart oppussing*: energiløsninger det er naturlig og hensiktsmessig for håndverkere å gi råd om samtidig med vanlige vedlikeholdsoppgaver i småhus. Oppgaven er på ingen måte løst, men vi har kommet et stykke på vei i å forstå hva som må til for å utløse det store energisparepotensialet i småhus. Disse erfaringene har vi fått i oppdrag å videreføre i Direktoratet for byggkvalitet før Lavenergiprogrammets tid er ute den 31. desember 2017.

Helt på tampen av Lavenergiprogrammets programperiode har vi ønsket å se nærmere på hvordan vi kan spare 10 TWh i eksisterende bygg slik Stortinget har vedtatt. Hvilke tiltak gir mest energisparing for pengene? Ikke overraskende viser denne potensialstudien at det ligger et stort potensiale for energisparing i den eksisterende bygningsmassen ved å (1) installere varmepumper, (2) ta i bruk ny og mer energieffektiv teknologi (3) gjennomføre energieffektivisering samtidig med annet nødvendig vedlikehold og (4) optimalisere driften av yrkesbygg.

Neste skritt er å peke på hvilken kompetanse som er nødvendig for at yrkesgruppene i byggenæringen skal kunne bidra til å gjennomføre disse tiltakene og dernest få på plass et godt opplæringstilbud. Dét skrittet er det imidlertid ikke Lavenergiprogrammet som kan ta. Vi gir derfor stafettpinnen videre til bransjeorganisasjoner, fagforeninger, offentlige myndigheter og landets politikere og håper denne potensialstudien kan være til hjelp i arbeidet med å nå målene om energieffektivisering i bygg i Norge.

Oslo 14/08-2017

Solveig Irgens – Daglig leder i Lavenergiprogrammet

Sammendrag

Stortinget har fattet et vedtak der regjeringen bes om å legge fram en plan for hvordan et mål om 10 TWh energisparing i eksisterende bygningsmasse kan realiseres innen 2030. For å nå målet mest mulig effektivt, bør man først gjennomføre de mest kostnadseffektive tiltakene, dvs. de tiltakene som gir mest energisparing per investerte krone. I denne rapporten vurderes potensialet av et utvalg tiltak som vil kunne bidra til at målet nås på en kostnadseffektiv måte. Tiltakene er valgt ut med utgangspunkt i en litteraturstudie som ble gjennomført på oppdrag fra Lavenergiprogrammet i 2016/2017, der kostnadseffektive energitiltak i den norske bygningsmassen ble kartlagt. Vi har ikke vurdert om tiltakene er lønnsomme, verken for samfunnet eller den enkelte bygningseier/-forvalter.

Resultatene viser at det ligger et stort potensiale for energisparing ved å (1) installere varmepumper, (2) ta i bruk ny og mer energieffektiv teknologi for tekniske installasjoner og utstyr i bygningsmassen, i takt med at dette blir tilgjengelig, (3) gjennomføre energieffektiviseringstiltak (som etterisolering) samtidig med andre nødvendige bygningsmessige arbeider og (4) optimalisere driften av yrkesbygg.

Potensialet for energieffektivisering er beregnet over en tidshorisont på 20 år. Det er lagt til grunn at alle tiltak på tekniske anlegg er realistiske å få gjennomført innenfor en slik horisont, da dette gjerne samsvarer med den økonomiske levetiden. Når det gjelder tiltak på bygningers klimaskjerm regner vi med at dette vil måtte følge normal rehabiliteringstakt for slike arbeider for å være kostnadseffektivt.

For eksisterende yrkesbygg viser resultatene at følgende energitiltak gir de største energibesparelsene:

- **Installasjon av varmepumper: 1,9 TWh**
- **LED-belysning og lys-styring: 1,8 TWh**
- **Forbedret varmegjenvinning av ventilasjonsluft: 1,7 TWh**
- **Driftoptimalisering, herunder energioppfølgingsystem og bruk av SD-anlegg: 1,1 TWh**

Potensialet for energisparing er størst i bygningskategorier som forretningsbygg, kontorbygg, skole og lett industri/verksted. Dette skyldes at det er slike bygningstyper som utgjør de største bruksarealene.

For eksisterende boliger viser resultatene at følgende energitiltak gir de største energibesparelsene:

- **Installasjon av varmepumper: 3,3 TWh**
- **Etterisolering av yttervegg, når det likevel utføres nødvendig rehabilitering: 0,9 TWh**
- **LED-belysning (og lys-styring): 0,9 TWh**
- **Utbytte til vannbesparende utstyr/armaturer: 0,9 TWh**

Sparepotensialet er størst for eneboliger. Dette skyldes at eneboliger utgjør det største bruksarealet.

Resultatene indikerer energisparepotensialet ved enkelttiltak. Det er ikke mulig å legge sammen de estimerte potensialene for enkelttiltakene for å komme frem til et samlet energisparepotensiale for hele bygningsmassen. Det skyldes at effekten av ett energitiltak kan påvirke effekten av et annet tiltak. For eksempel vil etterisolering gi lavere oppvarmingsbehov, noe som igjen reduserer effekten av å installere varmepumpe. Samtidig kan tiltak virke forsterkende på hverandre. Utskifting til LED belysning vil gi økt behov for oppvarming, og øke effekten av å installere varmepumpe. Vi har ikke

beregnet effekten av dette og heller ikke inkludert evt. "rebound-effekter", dvs. at et energitiltak likevel ikke forventes å gi den energispareeffekten som de teoretiske beregningene skulle tilsi.

Omfanget av studerte tiltak inkluderer ikke tiltak som er avhengig av at brukere av bygg i vesentlig grad endrer adferd eller at komfort reduseres, selv om man isolert sett kunne argumentert godt for at å redusere innetemperaturen vil være svært kostnadseffektivt. Å skape komfort i bygninger bidrar til nytte for samfunnet, og energibruk i forbindelse med dette må påregnes. I denne rapporten har vi lagt vekt på de tiltakene som kan redusere bruken av energi samtidig som komfortnivået opprettholdes.

Vi har heller ikke beregnet effekten av å etterisolere yrkesbygninger når det gjennomføres nødvendige rehabiliteringsarbeider. Dette skyldes blant annet at vi ikke har god informasjon om rehabiliteringsrate og hvor stor andel av rehabiliteringsarbeidene som innbefatter energioppgradering av klimaskjermen. Dette betyr selvsagt ikke at det ikke kan være kostnadseffektivt å energioppdragere bygningsdeler som yttervegg, tak, vindu, etc. i forbindelse med at det gjennomføres nødvendige rehabiliteringsarbeider.

Potensialstudien er basert på flere antagelser og usikkerhetsfaktorer, og resultatene er beheftet med stor usikkerhet. Energisparepotensialet som skisseres for ulike energitiltak, både per m² og aggregert til nasjonale tall, er grove anslag på hva som kan være mulig å effektivisere. Blant de viktigste usikkerhetsfaktorene er i hvor stor grad energitiltakene allerede er gjennomført i bygningsmassen, anslag for bruksarealer, samt når bygningene er oppført og evt. rehabilitert, antatt gjennomsnittlig formålsdelt energibruk og at den reelle energibruken avviker fra det som er mulig å beregne teoretisk. I tillegg vil gjennomføring av noen energitiltak i bygningsmassen påvirke effekten av andre tiltak. Vi anbefaler at evt. videre utredninger tar sikte på å redusere én eller flere av disse usikkerhetsfaktorene.

Innholdsfortegnelse

Forord	2
Sammendrag	3
1. Bakgrunn	7
2. Energibruk i Norge	7
2.1. <i>Energibruk i fastlands-Norge</i>	7
2.2. <i>Energibruk i bygningsmassen</i>	7
2.3. <i>Potensialet for energisparing i bygningsmassen</i>	8
3. Den norske bygningsmassen	8
4. Metode	10
5. Kostnadseffektive energiltak	12
5.1. <i>Litteraturstudie for Lavenergiprogrammet</i>	12
5.2. <i>Erfaringer fra EPC-prosjekter</i>	13
5.3. <i>NVEs kostnadsrapport</i>	15
6. Effekten av teknisk utvikling mht. kostnadseffektivitet	17
6.1. <i>Drivere for teknisk utvikling</i>	17
6.2. <i>Case – vifteutskiftning for ventilasjonsaggregater</i>	18
7. Nøkkeltall – yrkesbygg	21
7.1. <i>Arealer</i>	21
7.2. <i>Formålsdelt energibruk</i>	24
7.3. <i>Gjennomførte energiltak i yrkesbygg</i>	27
8. Nøkkeltall – boliger	28
8.1. <i>Arealer</i>	28
8.2. <i>Formålsdelt energibruk</i>	29
8.3. <i>Gjennomførte energiltak i boliger</i>	33
9. Forutsetninger, antagelser og usikkerhet	34
10. Energisparepotensialet i yrkesbygninger	36
11. Energisparepotensialet i boliger	38
12. Tiltak som ikke er vurdert	40
13. Diskusjon	43
13.1. <i>Sammenligning med tidligere studier</i>	43
13.2. <i>Styrker og svakheter</i>	46
13.3. <i>Rebound-effekter</i>	48
13.4. <i>Endringer i bygningsareal, bo- og bosetningsmønster</i>	49
13.5. <i>Nytteeffekt av å se flere energiltak i sammenheng</i>	51
13.6. <i>Forslag til videre arbeid</i>	51
14. Konklusjon	53

Vedlegg A - Energitiltak i yrkesbygg	54
A.1 Driftsoptimalisering	54
A.2 Installasjon av varmepumpe.....	58
A.3 Forbedret varmegjenvinning av ventilasjonsluft	65
A.4 Behovsstyring av ventilasjonsluft	69
A.5 Skifte av ventilasjonsvifte (direktedrevne EC-vifter).....	71
A.6 LED-belysning og lys-styring	73
A.7 Tiltak på varmtvannsanlegg	78
A.8 Solavskjerming.....	82
A.9 Tiltak på pumper.....	85
A.10 Lokk og dører på kjøøl/frys diskere i butikker	87
Vedlegg B - Energitiltak i boliger	88
B.1 Driftsoptimalisering i boligblokk.....	88
B.2 Installasjon av varmepumper	89
B.3 Forbedret varmegjenvinning av ventilasjonsluft	95
B.4 LED-belysning og lys-styring	97
B.5 Tiltak på varmtvannsanlegg	99
B.6 Tiltak på klimaskjerm, når en bygningsdel uansett skal rehabiliteres/skiftes ut	104
B.7 Tiltak på pumper (boligblokk med sentralvarme)	111
Vedlegg C - Systemvirkningsgrader	113
C.1. Antatte systemvirkningsgrader	113
C.2. Yrkesbygg.....	113
C.3. Boliger.....	114
Vedlegg D - Gode energihistorier	116
D.1 Sofienberg skole – lærer gjennom god drift	116
D.2 Kiwi Hommersåk – Nytt kuldeanlegg – stor effekt	117
D.3 Olav Thon gruppen: Alt henger sammen med EOS.....	118
D.4 Buskerud Storsenter – Tett oppfølging = bedre energistyring.....	119
D.5 Ulsrud videregående skole – Suksessfaktor: En driftig vaktmester	120

1. Bakgrunn

I forbindelse med behandling av St. Meld. 25 (2015-2016) fattet Stortinget et vedtak der regjeringen ble bedt om å fastsette et mål om 10 TWh redusert energibruk i eksisterende bygg sammenlignet med dagens nivå¹. I Innst. 318 S (2016-2017) fattet Stortinget et nytt vedtak der regjeringen om ble bedt om å legge fram en plan for hvordan man kan realisere 10 TWh energisparing i bygg innen 2030, i forslag til Statsbudsjett for 2018. Planen skal inneholde en konkret nedtrappingsplan for energibruken i bygninger, samt en virkemiddelpakke med eksisterende og nye virkemidler for å realisere målet².

For å nå målet mest mulig effektivt, bør man først gjennomføre de mest kostnadseffektive tiltakene, altså de tiltakene som gir mest energisparing per investerte krone. Lavenergiprogrammet ønsker utført en potensialstudie som kartlegger effekt av å gjennomføre et utvalg kostnadseffektive energiltak, herunder et estimat på effekt tiltakene vil ha på den samlede energibruken nasjonalt. Potensialstudien bygger på en tidligere utført litteraturstudie om kostnadseffektive energiltak i eksisterende bygg³.

2. Energibruk i Norge

2.1. Energibruk i fastlands-Norge

Det ble brukt 228,5 TWh energi i Fastlands-Norge i 2015⁴. Dette omfatter energi til lys, apparater og varme i boliger og yrkesbygg, produksjon av varer i industrien, innenlands transport og energi brukt i energisektoren på fastlandet. Energibruken har steget med 40 % siden 1970-årene. Transport, petroleumssektoren og tjenesteytende næringer er de sektorene med størst vekst i energibruken.

På grunn av sterk vekst i antall kjøretøy i Norge har energibruk til transport doblet seg siden midten av 1970-årene og i 2015 var dette sektoren med nest høyest energibruk i Fastlands-Norge. Energibruk i Fastlands-Norge nådde en foreløpig topp i 2010. Nedgangen i energibruk skyldes blant annet lavere energibruk i bygninger, nedgang innen treforedlingsindustrien og nedgang i energibruk til transport⁵.

2.2. Energibruk i bygningsmassen

I følge Statistisk Sentralbyrå utgjorde innenlands energibruk i andre sektorer enn industri og transport (i hovedsak energibruk i husholdninger og tjenesteytende sektor) 87 TWh i 2015, dvs. en økning på ca. 3,5 % fra året før⁶. Økningen i energibruk hadde sammenheng med at det var litt kaldere i 2015 enn i 2014. Forbruket av biobrensel, strøm og fjernvarme økte mens forbruket av fyringsolje og parafin ble redusert. Energibruken i husholdningene og fritidsboliger, utenom bensin og diesel til privatbiler,

¹ Innst. 401 S (2015-2016): <https://www.stortinget.no/no/Saker-og-publikasjoner/Publikasjoner/Innstillinger/Stortinget/2015-2016/inns-201516-401/>

² Innst. 318 S (2016-2017): <https://www.stortinget.no/no/Saker-og-publikasjoner/Publikasjoner/Innstillinger/Stortinget/2016-2017/inns-201617-318s/>

³ Grini, Gunnar og Oksvold, Isak, 2017: *Litteraturstudie – kostnadseffektive energiltak i eksisterende bygg*. Rapport utført av Gehør strategi og rådgivning AS på oppdrag for Lavenergiprogrammet. <http://lavenergiprogrammet.no/wp-content/uploads/2017/03/Litteraturstudie-Kostnadseffektive-energitak.pdf>

⁴ Lien, Synne Krekling og Spilde, Dag, 2017: *Energibruk i Fastlands-Norge*. NVE-rapport 25-2017. http://publikasjoner.nve.no/rapport/2017/rapport2017_25.pdf ISBN 978-82-410-1577-9.

⁵ <https://www.nve.no/energibruk-og-effektivisering/energibruk-i-norge/>

⁶ <https://ssb.no/energi-og-industri/statistikker/energibalanse/aar-enderlige>

utgjorde om lag 47 TWh, dvs. godt over halvparten av totalen på 87 TWh. Foreløpige tall for 2016 viser at energibruken i husholdningene også økte svakt fra 2015 til 2016⁷. Energibruken i privat og offentlig tjenesteyting, inkludert forsvar, utgjorde ca. 29 TWh i 2015⁸. Dette var primært energibruk i yrkesbygg.

Til sammenligning var energiforbruket i husholdninger og fritidsboliger ca. 52 TWh i 2010. Toppnoteringen i 2010 kan forklares med de lave temperaturene dette året⁹. Sammenlignet med 2000 har det vært en økning i energiforbruket i husholdningene på rundt 4 %, noe som er betydelig lavere enn befolkningsveksten og veksten i husholdningenes konsum. Energiforbruket per husholdning har hatt en synkende trend siden 1990-tallet, både totalt per husholdning og per m² boligareal, i følge Statistisk Sentralbyrå var gjennomsnittlig årlig energibruk per husholdning rundt 20 230 kWh i 2012¹⁰.

2.3. Potensialet for energisparing i bygningsmassen

Potensialet for energieffektivisering i bygninger har vært utredet flere ganger. SINTEF Byggforsk anslo i 2009 at det ville være mulig å spare 12 TWh i bygningsmassen innen 2020¹¹. Lavenergiutvalget, som ble oppnevnt av Olje- og energidepartementet, og en arbeidsgruppe for energieffektivisering i bygninger, oppnevnt av Kommunal- og regionaldepartementet, mente at det var mulig å spare 10 TWh i bygningsmassen innen 2020 og 40 TWh innen 2040^{12,13}. I Enovas potensial- og barrierestudie fra 2012 ble det anslått et realistisk potensial for energieffektivisering i eksisterende bygninger på 1,4-3 TWh i boligmassen og 3-4,5 TWh i yrkesbygg. Anslagene er usikre, blant annet på grunn av lite pålitelige grunnlagsdata mht. hvor stor del av bygningsmassen som rehabiliteres årlig og mht. hvilken effekt slik rehabilitering har på energibruken¹⁴. I denne rapporten vil vi se nærmere på hvilket potensiale det vil kunne ha dersom de antatt mest kostnadseffektive tiltakene utføres i eksisterende bygningsmasse. Hvorvidt dette sparepotensialet vil utløses, og når dette vil kunne skje, avhenger av en rekke faktorer som økonomiske forhold, tilgjengelig teknologi, kapasitet i byggenæringen, offentlige virkemidler, osv.

3. Den norske bygningsmassen

Det samlede arealet for bygningsmassen i Norge har stor betydning for samlet energibruk og den potensielle nasjonale effekten av å gjennomføre ulike energisparetiltak. Figur 1 viser en oversikt over bygningsmassen i Norge, slik den ble fremstilt i St. Meld. 28 (2011-2012)¹⁵. Nybygging, rehabilitering og rivning av bygninger siden den gang gjør at bygningsarealet vil ha endret seg noe. Ettersom antallet

⁷ Statistisk Sentralbyrå: *Tabell 11563 i Statistikkbanken*. Tilgjengelig fra <https://ssb.no/energibalanse>

⁸ Statistisk Sentralbyrå: *Tabell 07515 i Statistikkbanken*. Tilgjengelig fra <https://ssb.no/energibalanse>

⁹ Moe, Sigrid Hendriks, 2014: *Energibruken øker – økonomien vokser mer*. Artikkel i Samfunnspeilet 1/2014. <https://www.ssb.no/energi-og-industri/artikler-og-publikasjoner/attachment/212566?ts=14a5c6bdb20>

¹⁰ <https://www.ssb.no/energi-og-industri/statistikker/husenergi>

¹¹ Dokka, Tor Helge et. al., 2009: *Energieffektivisering i bygg – mye miljø for pengene*. SINTEF Byggforsk prosjektrapport 40/2009.

<https://www.sintef.no/globalassets/upload/sb-prrapp-40.pdf> ISBN 978-82-536-1102-0

¹² Lavenergiutvalget, 2009: *Energieffektivisering*. Rapport utført på oppdrag for Olje- og energidepartementet.

https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/oed/rapporter/oed_energieffektivisering_lavopp.pdf

¹³ Kommunal- og regionaldepartementets arbeidsgruppe for energieffektivisering i bygg, 2010: *Energieffektivisering i bygg. En ambisiøs og realistisk plan mot 2040*.

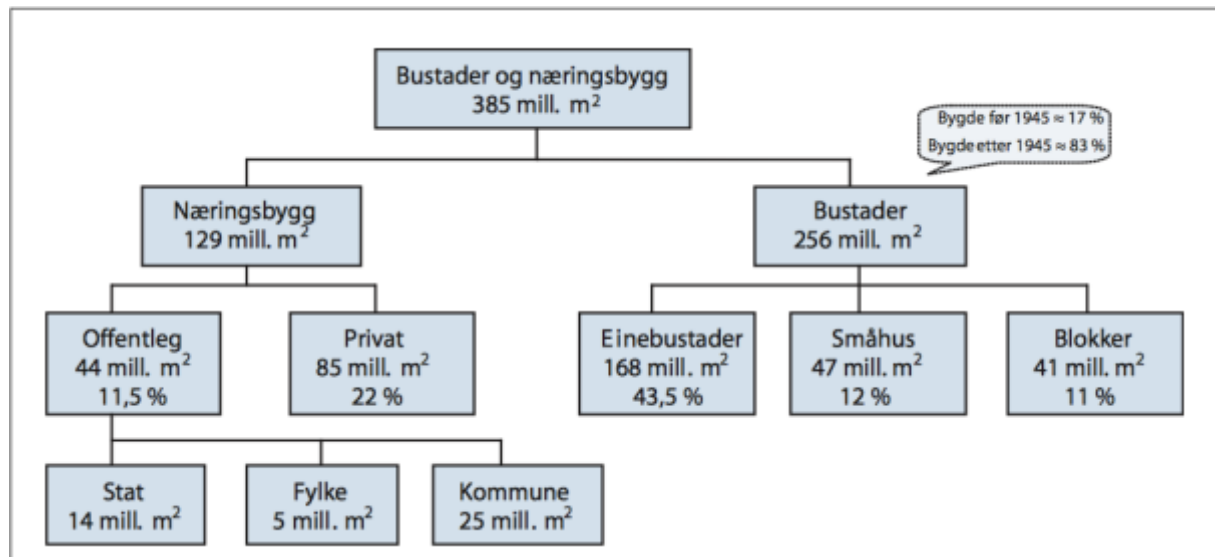
https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/krd/vedlegg/boby/rapporter/energieffektivisering_av_bygg_rapport_2010.pdf

¹⁴ Enova, 2012: *Potensial- og barrierestudie: Energieffektivisering i norske bygg*. Enova-rapport 2012:01

¹⁵ Kommunal- og regionaldepartementet, 2012: *Gode bygg for eit betre samfunn*. Meld. St. 28 (2011-2012)

<https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld-st-28-20112012/id685179/>

innbyggere og antallet privathusholdninger vokser, samtidig som antallet personer per husholdning reduseres¹⁶, vil samlet bolig- og bygningsareal øke. Dette vil også trekke i retning av økt energibruk.



Figur 1: Bygningsmassen i Norge (ikke inkl. fiskeri- og landbruksbygg) [St. Meld. 28 (2011-2012)]

I følge Statistisk Sentralbyrå har antallet bygninger i Norge nå passert 4,1 millioner¹⁷. Av dette er 1,5 millioner boliger, hvorav eneboliger utgjør nesten 1,2 millioner. Deretter følger ca. 327 000 rekkehus, kjedehus, tomannsboliger og andre småhus og om lag 39 000 boligblokker. Bygninger for bofellesskap utgjorde ca. 5 000 bygninger. Små boligbygg, fritidsbygg og garasjer står for den aller største andelen av netto vekst i bygningsmassen. Flere boligtyper vil ha flere boenheter per bygning¹⁸. Det finnes totalt over 2,5 millioner boliger, hvorav nesten 600 000 finnes i leilighetsbygninger (boligblokk). I tillegg vil mange boliger finnes i andre bygninger der hoveddelen av arealet er knyttet til annet enn boligformål, i hovedsak yrkesbygninger. I Enovas potensial- og barrierestudie for boliger ble det anslått at den norske bebodde boligmassen i 2010 samlet bestod av 2,2 millioner boliger som samlet utgjorde 260 millioner m² BRA, fordelt på hhv. 169 mill. m² BRA eneboliger, 49 mill. m² BRA småhus og 42 mill. m² BRA leiligheter. I perioden frem til 2020 var prognosen på samlet tilførsel av nye boliger ca. 290 000 boligenheter. Dette tilsvarte et boligareal på ca. 30 millioner m² BRA¹⁹. I denne rapporten er det tatt utgangspunkt i kartleggingen av boligmassen i 2010 fra Enovas studie, justert for tilvekst frem til 2017.

Det finnes ingen fullstendig statistikk over utbygd areal innen eksisterende yrkesbygg. I forbindelse med utarbeidelse av Enovas potensial- og barrierestudie for norske næringsbygg gjorde Multiconsult anslag for dette²⁰. Disse anslagene ble gjort for året 2010. I en rapport utført for Norges Vassdrags og

¹⁶ <https://www.ssb.no/befolkning/statistikker/familie>

¹⁷ <https://www.ssb.no/bygg-bolig-og-eiendom/statistikker/bygningsmasse>

¹⁸ <https://www.ssb.no/bygg-bolig-og-eiendom/statistikker/boligstat/aar>

¹⁹ Haarberg, Karl Johan et. al., 2012: *Potensial- og barrierestudie - Energieffektivisering av norske boliger. Bakgrunnsrapport*. Rapport utført av Prognosesenteret i samarbeid med Entelligens på oppdrag for Enova. Enova rapport 2012:01.1

²⁰ Bøhn, Trond Ivar et. al., 2012: *Potensial- og barrierestudie - Energieffektivisering i norske næringsbygg. Bakgrunnsrapport*. Rapport utført av Multiconsult i samarbeid med Analyse og Strategi på oppdrag for Enova. Enova rapport 2012:01.2.
<http://www.multiconsult.no/assets/EnergieffektiviseringI NorskeNæringsbygg.pdf>

Energidirektorat (NVE) med resultater for formålsdelt energibruk i ulike typer yrkesbygg ble det tatt utgangspunkt i Enova-rapporten og justert for tilvekst og riving for å estimere bygningsarealet i 2015²¹.

Anslag for årlig nybygging og riving av yrkesbygg varierer i ulike rapporter. I Enovas ovennevnte potensial og barrierestudie fra 2012 ble det lagt til en riverate på 0,5 % og en nybyggerate på 1,5 % for yrkesbygg, slik at netto tilvekst i areal kunne anslås til om lag 1 %. Utvikling i areal vil imidlertid avhenge av bygningsmassens alderssammensetning, befolkningsutviklingen og bygningskategori. For eksempel viste en rapport fra Statistisk Sentralbyrå en økning i antall bygg for tjenesteytende virksomhet på 12 % fra 2001 til 2013, mens det i samme periode hadde vært en liten nedgang for industri- og lagerbygg²².

Fiskeri- og landbruksbygninger er sjelden omfattet av rapporter om energibruk i yrkesbygninger og energisparepotensialer, til tross for at disse utgjør en høy andel av yrkesbygningene i Norge. I følge Statistisk Sentralbyrå finnes det over 500 000 fiskeri- og landbruksbygninger. Dette er imidlertid også den eneste større gruppen av bygningstyper som nå har netto nedgang på landsbasis. Det er særlig antall hus for dyr/landbrukslager/silo og våningshus som har hatt (og har) nedgang²³. Det ble 600 færre landbruksbygninger i løpet av 2016. Bruken av elektrisitet og fjernvarme innen fiskeri- og landbruk var på ca. 2 TWh i 2015²⁴. Det må antas at dette i det vesentlige gikk til oppvarming og drift av bygninger.

4. Metode

Kostnadseffektive energiltak

Som tidligere nevnt har Stortinget vedtatt et mål om 10 TWh energisparing i eksisterende bygninger. For å nå målet mest mulig effektivt, bør man først gjennomføre de mest kostnadseffektive tiltakene, dvs. de tiltakene som gir mest energisparing per krone. I denne rapporten vil vi vurdere effekten av et utvalg tiltak som vi forventer at vil kunne bidra til at målet for energisparing nås mest mulig effektivt. Vi har ikke vurdert om tiltakene er lønnsomme, verken for samfunnet eller den enkelte bygningseier/-forvalter.

Tiltakene er i hovedsak valgt ut med utgangspunkt i en litteraturstudie som ble utført på oppdrag fra Lavenergiprogrammet, der kostnadseffektive energiltak i den norske bygningsmassen ble kartlagt. Det innebærer at vi ikke har innhentet egne tall for kostander ved å gjennomføre de ulike tiltakene.

Tiltakene som ble identifisert i litteraturstudien vil sammenholdes med erfaringer med energiltak i såkalte "EPC-prosjekter" som er gjennomført med støtte fra Enova, samt NVEs kostnadsrapporter. I tillegg vil vi skjele til NVEs kartlegginger av formålsdelt energibruk, da hvilke energiltak som er mest kostnadseffektive vil kunne avhenge av hvilke energiposter som er størst i ulike bygningskategorier. Mht. tekniske anlegg og belysning vil vi se hen til for hvilke installasjoner, armaturer, etc. det har skjedd vesentlig teknisk utvikling de siste årene, da dette gir muligheter for kostnadseffektive oppgraderinger.

²¹ Langseth, Benedicte et. al., 2016: *Analyse av energibruk i yrkesbygg. Formålsdeling, trender og drivere*. NVE-Rapport nr. 24/2016. http://publikasjoner.nve.no/rapport/2016/rapport2016_24.pdf. ISBN 978-82-410-1215-0

²² Abrahamsen A.S., Bergh M. og Fedoryshyn N, 2013: *Energibruk i bygninger for tjenesteytende virksomhet 2011*, SSB Rapport 62/2013, <https://www.ssb.no/energi-og-industri/artikler-og-publikasjoner/attachment/154307?ts=142fa6ff6d8> ISBN 978-82-537-8829-6

²³ <https://www.ssb.no/bygg-bolig-og-eiendom/statistikker/bygningsmasse>

²⁴ Statistisk Sentralbyrå: *Tabell 07515 i Statistikkbanken*. Tilgjengelig fra <https://ssb.no/energibalanse>

Energisparepotensial i å gjennomføre de mest kostnadseffektive energiltakene

Videre vil vi estimere potensialet i å gjennomføre et utvalg antatt kostnadseffektive energiltak i bygningsmassen. Dette vil gi en indikasjon på hvordan målet om 10 TWh redusert energibruk i eksisterende bygg vil kunne nås. For utvalgte energiltak, med antatt stort energisparepotensial, vil vi variere inndataene i beregningene, for å vise hvordan resultatene endres med ulike forutsetninger.

Sammenligning med tidligere studier

Vi vil gjøre en enkel sammenligning av resultatene i denne rapporten med tidligere studier. Usikkerhet og årsaker til variasjon i våre resultater sammenlignet med tidligere studier vil også kort diskuteres.

Datakvalitet og usikkerheter

Datagrunnlaget som er nødvendig for å utføre en potensialstudie av energisparing i eksisterende bygninger er beheftet med stor usikkerhet. Eksempler på usikkerhetsfaktorer kan være bygningsareal, energisparing ved gjennomføring av ulike energiltak og ikke minst hvor stor andel av bygningene som allerede har gjennomført de ulike tiltakene. Usikkerheten knyttet til datagrunnlaget er gjennomgående kommentert i rapporten. Vi har forsøkt å redusere usikkerhetsfaktorene ved å basere oss på flere kilder og studier, samt holde resultater fra tidligere undersøkelser opp mot erfaringer fra bransjen. Likevel vil usikkerheten når det gjelder energieffekten av å gjennomføre de ulike enkelttiltakene være høy.

Avgrensning av omfang

Utgangspunktet for å bruke energi i bygninger er at dette skaper komfort og/eller nytte for samfunnet. I denne rapporten avgrensner vi derfor omfanget til å kun omfatte de tiltakene som ikke bidrar til å redusere komfortnivået eller i nevneverdig grad forringe andre bo-/bygningkvaliteter. For eksempel vurderer vi ikke energiltak som å senke innetemperatur eller å redusere antallet elektriske produkter. Videre er potensialet for energieffektivisering beregnet over en horisont på 20 år. Det er lagt til grunn at alle tiltak på tekniske anlegg er realistiske å få gjennomført innenfor en slik horisont, ettersom dette gjerne gjenspeiler anleggenes normale økonomiske levetid. For tiltak på bygningers klimaskjerm har vi lagt til grunn at omfanget vil følge normal rehabiliteringstakt for slike arbeider, da dette er tiltak som først og fremst er kostnadseffektive dersom de sees i sammenheng med nødvendig vedlikehold/rehabilitering. Dersom rehabiliteringstakten øker vil potensialet for energisparing realiseres raskere.

Systemgrenser

I denne rapporten har vi forsøkt å i størst mulig grad knytte effekten av energiltakene opp mot den faktiske energibruken i eksisterende bygninger. Flere av tiltakene er derfor knyttet opp mot Statistisk Sentralbyrås tall for energibruk i husholdningene og NVEs rapporter om formålsdelt energibruk i yrkesbygninger. For enkelte tiltak har vi vurdert det slik at potensialet for energibesparelser bør beregnes iht. NS 3031. Dette gjelder særlig energiltak som handler om å redusere bygningers behov for romoppvarming (f.eks. bedre varmegjenvinning av ventilasjonsluft, behovsstyring av ventilasjon, etterisolering og utskifte til tre-lagsvinduer med lav U-verdi). For disse tiltakene vil det være relevant å justere for oppvarmingssystemenes systemvirkningsgrad for å kunne gi et best mulig estimat for potensialet for energisparing. Vi har derfor gjort et enkelt overslag for slik samlet systemvirkningsgrad for eksisterende boliger og yrkesbygg på nasjonalt nivå (vedlegg C). Slike systemvirkningsgrader er også forsøkt anslått i enkelte tidligere rapporter, for eksempel bakgrunnsrapportene til Enovas potensial-

og barrierestudier. Men, ettersom veiledende verdier for oppvarmingssystemers virkningsgrader i NS 3031 ble revidert i 2014, med relativt store endringer fra tidligere versjoner, har vi gjort nye overslag i forbindelse med denne utredningen. Antatte systemvirkningsgrader, både i denne utredningen og tidligere studier, er usikre og svært følsomme for andelen bygninger som har tatt i bruk varmpumper.

Endelig har vi etterstrebet å beregne potensialet av å gjennomføre energitiltak i bygninger og energianlegg som bygningseiere selv har råderett over. Dette innebærer at vi har vurdert tiltak som strekker seg til og med en lokal varmesentral som en bygningseier har råderett over, men ikke energiproduksjon i anlegg som eies og driftes av en tredjepart, for eksempel fjernvarmesentraler.

5. Kostnadseffektive energitiltak

5.1. Litteraturstudie for Lavenergiprogrammet

5.1.1. Generelt om litteraturstudien

Gehör strategi og rådgivning har tidligere utført en litteraturstudie om kostnadseffektive energitiltak i eksisterende bygg på oppdrag fra Lavenergiprogrammet. Arbeidet ble utført i desember 2016 - januar 2017²⁵. Bakgrunnen for studien var at Lavenergiprogrammet ønsket å forbedre kunnskapsgrunnlaget om kostnadseffektive tiltak, spesielt mht. "lavhengende frukter" innen energieffektivisering. Studien gjennomgikk litteratur på energieffektiviseringstiltak i boliger og yrkesbygg. I tillegg til å oppsummere hovedtrekk i litteraturen ble det pekt på kunnskapshull som bør dekkes og hvordan dette kan gjøres.

5.1.2. Boliger

For boliger er litteraturen relativt entydig på at det er vanskelig å få lønnsomhet i tiltak på klimaskjerm (yttervegg, vinduer og gulv) for å redusere energibruken. Unntaket kan være etterisolering mot tak/loft i eldre boliger med dårlig isolasjonsstandard. Tiltakskostnadene reduseres dersom energitiltak på klimaskjermen kan gjennomføres i forbindelse med andre relaterte rehabiliteringsarbeider. Ett eksempel kan være at en boligeier etterisolerer og reduserer lekkasjetallet når det uansett skal utføres andre arbeider på ytterveggene i en bolig (skifte av kledning), der forholdene ligger til rette for dette.

Når det gjelder tekniske tiltak er installasjon av luft-luft varmpumpe et tiltak som kan gi relativt store energibesparelser til lav kostnad i eksisterende boliger. Oppgradering av eksisterende vannbårent anlegg fra for eksempel oljekjel til varmpumpe (energibrønn) kan også være kostnadseffektivt, men tiltaket er kapitalkrevende, slik at investeringen må sees over en lengre periode. Det samme gjelder bedre varmegjenvinning av ventilasjonsluften der forholdene ligger til rette for det. Dette vil først og fremst være aktuelt i boliger der det allerede er installert balansert ventilasjon med varmegjenvinning.

ENØK-analyser som er utarbeidet viser at flere tekniske effektiviseringstiltak i boliger kan være lønnsomme. Eksempler på slike tiltak er isolering av rørkomponenter, installasjon av automatikk som gir mulighet for sentral styring av innetemperatur (nattsinking), vannbesparende utstyr og forbedring av eksisterende tekniske anlegg, gjerne der boligen uansett har behov for vedlikehold eller utskifting.

²⁵ Grini, Gunnar og Oksvold, Isak, 2017: *Litteraturstudie – kostnadseffektive energitiltak i eksisterende bygg*. Rapport utført av Gehør strategi og rådgivning AS på oppdrag for Lavenergiprogrammet. <http://lavenergiprogrammet.no/wp-content/uploads/2017/03/Litteraturstudie-Kostnadseffektive-energitiltak.pdf>

Utarbeidelse av drifts- og vedlikeholdsinstruks, energioppfølgingsystem, og installasjon av individuell måling mht. romoppvarming eller tappevann er andre eksempler på tiltak med kort tilbakebetalingstid.

5.1.3. Yrkesbygg

I litteraturstudien som ble utført for Lavenergiprogrammet var konklusjonen at tekniske tiltak som regel var de som ga de største energibesparelsene per krone investert i yrkesbygninger. Det vil normalt være særlig energieffektivt å foreta forbedringer og oppgraderinger av eksisterende tekniske anlegg og bygningskomponenter i yrkesbygninger der det uansett forventes fremtidig vedlikeholdsbehov.

Blant kostnadseffektive energitiltak som går igjen i litteraturen er:

- Implementering av energioppfølgingsystem.
- Installering av sentralt driftsanlegg (varme og ventilasjon).
- Optimalisering av driftstid mht. belysning og ventilasjon.
- Forbedret varmegjenvinning av ventilasjonsluften.
- Installering av behovsstyrt ventilasjon.
- Utskifting til energieffektive EC-vifter (lavere SFP-faktor).
- Nytt LED belysningsutstyr.
- Automatikk for styring av belysning.
- Installasjon av varmpumpe.
- Bedre innregulering av varmesystemet og utbytte av termostatventiler.
- Justering av temperaturkrav til oppvarming og kjøling.
- Nattsinking av innetemperatur.

5.2. Erfaringer fra EPC-prosjekter

EPC er en forkortelse for “Energy Performance Contracting” og er en modell for garantert, kostnadseffektiv og tallfestet reduksjon av energikostnader i bygninger. En EPC kontrakt består av et sett av energieffektiviseringstiltak, eksempelvis utskifting av varme- og kjøleanlegg, økt isolasjon, nytt belysningsopplegg, automatisk styring av temperatur og energibruk, osv. Et energitjenesteforetak garanterer en viss energireduksjon sammenlignet med energibruken ved oppstart, og påtar seg ansvaret for gjennomføring av prosjektet, fra innledende tilstandsanalyser, lokalisering og detaljering av tiltak, kostnadsanalyser, installering, styring, gjennomføring, effektmåling, kontroll og godkjenning. Foretaket påtar seg risikoen for manglende måloppnåelse gjennom en langsiktig finansieringsgaranti som sikrer at kontraktfestede besparelser i energikostnader er oppnådd ved prosjektslutt. Dersom de kontraktfestede besparelsene ikke oppnås, må energitjenesteforetaket betale differansen til kunden. God energiledelse og energioppfølgingsystem vil sikre kvalitet i gjennomføringen av ulike energitiltak.

Enova har nylig foretatt en enkel kartlegging av tiltak som skal gjennomføres i EPC-prosjekter med tildelt støtte. Tabell 1 viser mål for energisparing (totalt og per m²) og investeringskostnad for Enovas predefinerte tiltak som skal gjennomføres i EPC-prosjektene (yrkesbygg). Tabellen viser at det er tiltak som energioppfølgingsystem (EOS), forbedret varmegjenvinningsgrad av ventilasjonsluft og termisk isolering av rør og deler i energisentraler som gir mest energibesparelser per krone investert. Det er imidlertid installasjon av varmpumper (luft-vann/væske-vann) som gir de største energibesparelsene.

Tabell 1: Sammenstilling av energimål for predefinerte tiltak i EPC-prosjekter med Enova støtte

Energiltak	Energimål	Tiltakskostnad	m ² /m/kW	kWh/kr	kWh/m ²
EOS	22,4 GWh	79,2 mill. kr.	1 676 630 m ²	3,5 kWh/kr	13,4 kWh/m ²
Sentral driftskontroll	16,4 GWh	81,4 mill. kr.	1 292 846 m ²	5,0 kWh/kr	12,7 kWh/m ²
Nedbørs-styring smøsmelteanlegg	0,4 GWh	1,1 mill. kr.	5 993 m ²	2,8 kWh/kr	66,7 kWh/m ²
Etterisolering tak	3,6 GWh	32,5 mill. kr.	112 041 m ²	9,0 kWh/kr	3,2 kWh/m ²
Etterisolering yttervegg	1,1 GWh	7,2 mill. kr.	11 884 m ²	6,5 kWh/kr	93,5 kWh/m ²
Skifte vindu	0,5 GWh	4,7 mill. kr.	14 613 m ²	9,4 kWh/kr	37,2 kWh/m ²
Vannrensing varmeanlegg	1,5 GWh	3,6 mill. kr.	249 899 m ²	2,4 kWh/kr	6,0 kWh/m ²
Termisk isolering av rør og deler	4,0 GWh	4,0 mill. kr.	18 273 m	1,0 kWh/kr	N/A
Ny shuntautomatikk	0,6 GWh	5,8 mill. kr.	107 548 m ²	9,7 kWh/kr	6,0 kWh/m ²
Vannbesparende dusjarmaturer	0,3 GWh	0,2 mill. kr.	161 395 m ²	0,7 kWh/kr	2,1 kWh/m ²
Forbedring varmegjenvinning	18,2 GWh	37,9 mill. kr.	435 685 m ²	2,1 kWh/kr	41,7 kWh/m ²
Forbedring SFP	8,5 GWh	33,1 mill. kr.	1 036 604 m ²	3,9 kWh/kr	8,2 kWh/m ²
Behovsstyring av ventilasjon (VAV)	5,0 GWh	51,0 mill. kr.	407 715 m ²	10,2 kWh/kr	12,4 kWh/m ²
Lys-styring	1,4 GWh	15,1 mill. kr.	291 032 m ²	10,8 kWh/kr	4,9 kWh/m ²
Energieffektiv belysning (LED)	4,2 GWh	51,6 mill. kr.	314 422 m ²	12,3 kWh/kr	13,5 kWh/m ²
Varmepumpe (luft-vann)	14,8 GWh	64,8 mill. kr.	8 557 kW	4,4 kWh/kr	N/A
Varmepumpe (væske-vann)	11,8 GWh	64,1 mill. kr.	4 970 kW	5,4 kWh/kr	N/A

Det mest overraskende i tabell 1, er at etterisolering av yttervegg har såpass lav tiltakskostnad. Her kan det imidlertid synes som om det er noe galt med tallgrunnlaget, da det neppe er realistisk med en energieffektiviseringsgevinst på hele 93,5 kWh/m² ved å kun etterisolere yttervegger i ulike yrkesbygg. Kostnadsbildet avhenger også av om tiltakskostnadene er beregnet som tilleggskostnadene ved å etterisolere eller om alle tiltakskostnadene ved å gjennomføre rehabilitering av ytterveggene tas med.

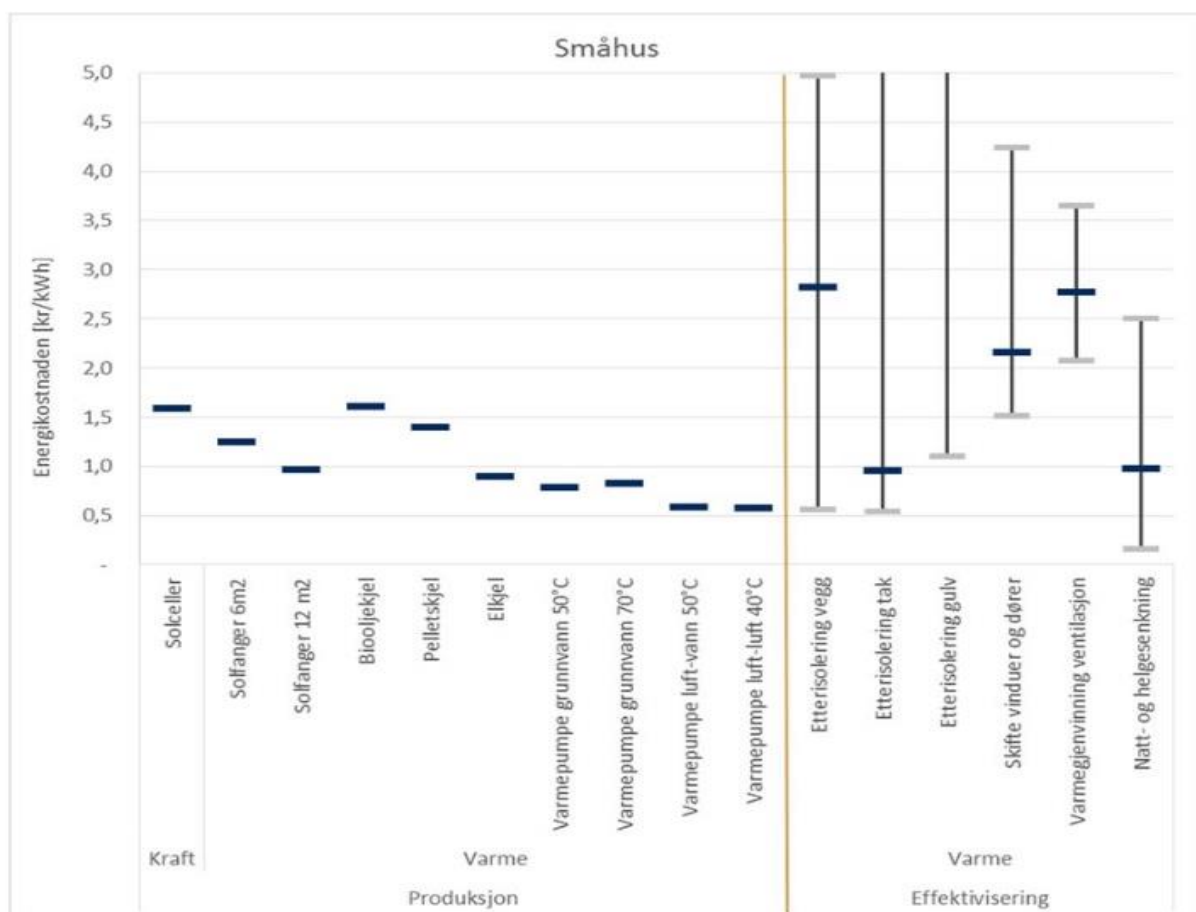
Det er også overraskende at tiltak som skifte til energieffektiv belysning, installasjon av lys-styring og behovsstyring av ventilasjon har relativt høye tiltakskostnader. I tidligere studier og litteratur pekes slike tiltak ut som relativt lønnsomme. Høye kostnader kan muligens forklares ved påløpende utgifter knyttet til installasjon av nye armaturer, da dette kan være relativt dyrt sammenlignet med å bare skifte ut lyskildene. Tilsvarende betraktninger kan være gjeldende for andre tiltak på tekniske anlegg.

5.3. NVEs kostnadsrapport

I NVEs rapport *Kostnader i energisektoren* beskrives energikostnader ved ulike produksjonsteknologier for kraft- og varmeproduksjon, samt energieffektiviseringstiltak på bygg, som vurderes som aktuelle i det norske energisystemet i årene som kommer. Energifkostnaden beregnet over levetiden (LCOE) er brukt for å sammenligne konkurranseforholdet mellom ulike teknologier i et kostnadsperspektiv. Denne energikostnaden representerer nåverdien av den totale kostnaden per produsert eller spart kilowattime for et tiltak over en antatt økonomisk levetid²⁶.

For småhus er luft-luft varmepumpe er det rimeligste tiltaket for å redusere energikostnadene. Andre varmepumper har også forholdsvis lav energikostnad. Energieffektiviseringstiltak som eksempelvis natt- og helgesenking av innetemperatur, etterisolering av yttervegg og etterisolering av tak kan måle seg med varmepumpene når det gjelder økonomi dersom boligen har høyt oppvarmingsbehov fra før.

Figur 2 viser energikostnaden for småhus for energieffektiviseringstiltak med lokal energiproduksjon på eller i bygget, slik dette er fremstilt i NVEs kostnadsrapport. Formålet med en slik sammenligning er å vise ulike tiltak som er aktuelle for en boligeier, og som til dels konkurrerer med hverandre.

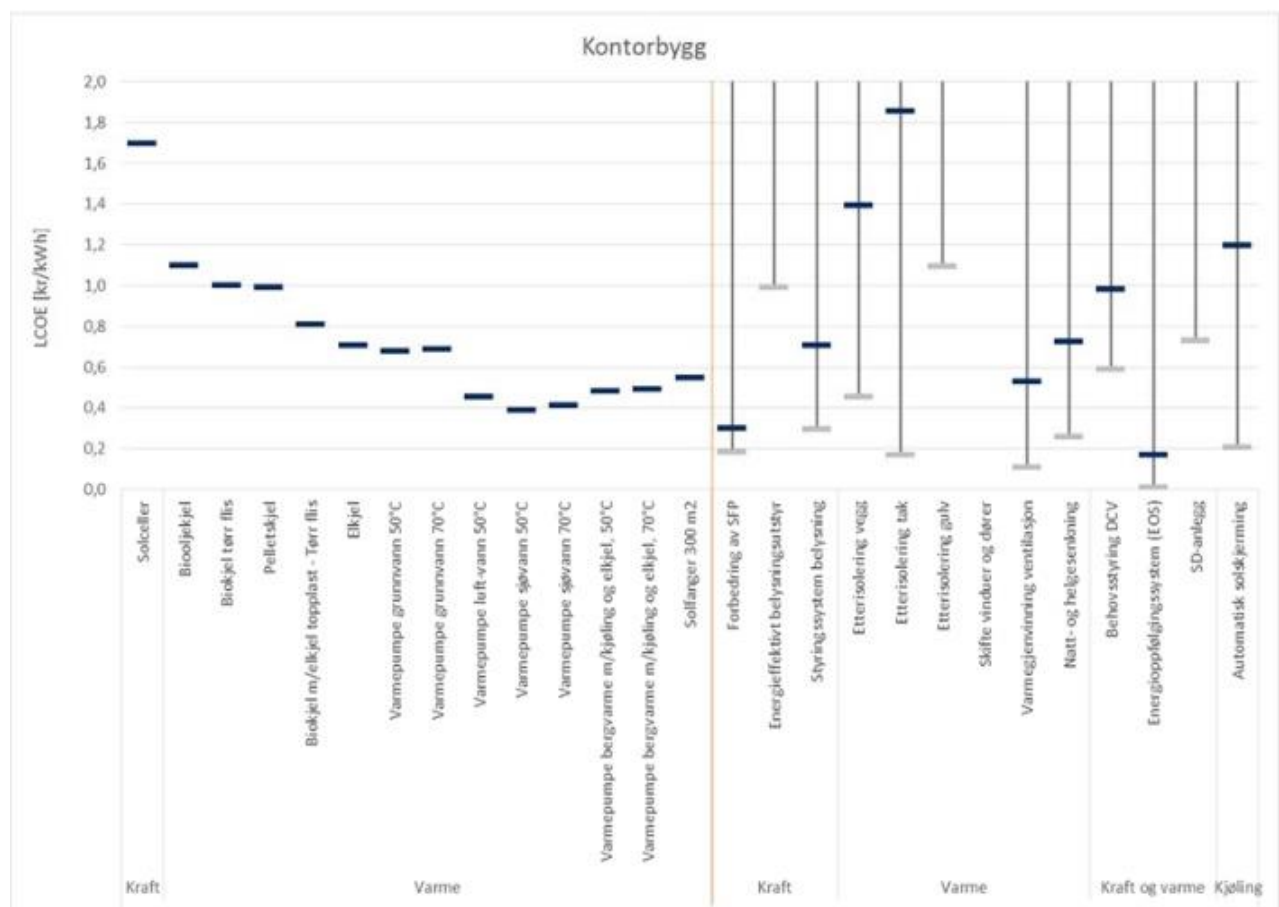


Figur 2: Energifkostnad for lokal produksjon og effektiviseringstiltak på småhus [NVE-rapport 2-2015]

²⁶ Nybakke, Karen, et. al., 2015: *Kostnader i energisektoren*. NVE-rapport 2/2015. http://publikasjoner.nve.no/rapport/2015/rapport2015_02a.pdf ISBN 978-82-410-1046-0

I NVEs rapport understrekes det at denne figuren bare viser en del av bildet byggeier har foran seg. Energieffektiviseringstiltak gjennomføres ofte samtidig med andre utbedringer, som ikke er motivert av energieffektivisering. I slike tilfeller vil kostnadene for energieffektiviseringstiltaket ofte ligge i den lave delen av intervallet som er vist i figur 2. I tillegg vil de fleste tiltakene for lokal energiproduksjon kreve et system for varmedistribusjon, som oftest vannbåren varme. Kostnadene ved å installere et slikt system er ikke inkludert. De angitte kostnadene forutsetter at boligen allerede har et slikt system. Kostnadene ved å installere et slikt system i et eksisterende bygg er høye og varierer kraftig. Når det gjelder tiltaket som handler om varmegjenvinning av ventilasjonsluft er det forutsatt i NVE-rapporten at boligen har mekanisk avtrekk fra før. Energikostnaden ved å bytte ut et ventilasjonsaggregat med høy varmegjenvinningsgrad i boliger som har balansert ventilasjon fra før er et langt rimeligere tiltak.

For kontorbygg ligger energikostnadene jevnt over lavere enn for småhus i følge NVE (figur 3). Dette skyldes at kontorbyggene er større slik at investeringene blir mer lønnsomme. Som for småhus er det bare selve teknologien som er inkludert, og ikke annet utstyr som kan være nødvendig for å benytte teknologien. For bygg som ikke har vannbårent varmesystem fra før vil det medføre ekstra kostnader. For en del effektiviseringstiltak er den laveste energikostnaden lavere enn for produksjonstiltakene. Dette gjelder spesielt kontorbygg som har dårlig isolert klimaskjerm før effektiviseringen. NVEs rapport viser for øvrig relativt store forskjeller i energikostnad for ulike tiltak avhengig av bygningskategori.



Figur 3: Energikostnad lokal produksjon og effektiviseringstiltak på kontorbygg [NVE-rapport 2-2015]

6. Effekten av teknisk utvikling mht. kostnadseffektivitet

6.1. Drivere for teknisk utvikling

Ny teknologi som blir tilgjengelig gjør det mulig å hente ut flere effektiviseringsgevinster enn tidligere. Kostnadseffektivitet er en premisse for denne rapporten, og i det følgende vil vi eksemplifisere hvordan nye teknologier vil påvirke kostnadsbildet for gjennomføring av energiltak i eksisterende bygninger.

De siste 20 årene er energireglene i byggteknisk forskrift skjerpet i 1997, 2007, 2010 og senest i 2015. Parallelt med dette har en rekke EU-direktiver stilt nye krav til energiytelsen til energirelaterte produkter. Eksempler på dette er europeisk regelverk knyttet til utfasing av glødepærer og andre mindre energieffektive belysningsprodukter²⁷, samt økodesignkrav til vifter²⁸ og ventilasjonsenheter²⁹.

Det har skjedd betydelig teknisk utvikling i form av komponenters energiytelse innenfor:

- Varmegjenvinning av ventilasjonsluft
- Energibruk til drift av vifter i ventilasjonsenheter
- Energibruk til belysning (LED)
- Energibruk til pumpedrift

Skjerpede energikrav i byggteknisk forskrift og Enovas støtteordninger har bidratt til at teknologi har blitt mer tilgjengelig, og samtidig bidratt til å drive frem utprøving av nye løsninger som for eksempel:

- Utstyr for luftmengeregulering av ventilasjonsaggregater
- Sentralt driftsanlegg og automasjon
- Automatikk for styring av lys basert på tilstedeværelse og dagslys

Andre bygningsdeler slik som vinduer med lav U-verdi (3-lags glass) har også blitt mer tilgjengelig og rimeligere som følge av en gradvis skjerping av energikrav til bygningene. Men, teknologisk utvikling for ulike bygningskomponenter har i større grad vært knyttet til tekniske anlegg og elektrisk utstyr. Dermed er det ofte grunnlag for å gjennomføre kostnadseffektive tiltak på denne type komponenter.

Teknologisk utvikling kan føre til at det er kostnadseffektivt å skifte ut komponenter i relativt nye tekniske anlegg dersom det tas hensyn til fremtidig behov for utskifting. For å illustrere dette vil vi beskrive et case med vifteutskifting i et eksisterende ventilasjonsanlegg, hvor rimelig nye vifter basert på motor med remdrift skiftes ut med direktdrevne EC-vifter. Tiltaket er også beskrevet i rapportens vedlegg A-5.

²⁷ <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012R1194&from=EN>

<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32015R1428&from=EN>

²⁸ <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:090:0008:0021:en:PDF>

²⁹ <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014R1253&from=EN>

6.2. Case – vifteutskifting for ventilasjonsaggregater

Tiltak og forutsetninger

I dette caset ser vi på gjennomføring av vifteutskifting i et balansert ventilasjonsanlegg som er 10 år gammelt. Vi antar en teknisk levetid for viften på 20 år. Det er altså behov for vifteutskifting (vifte og motor) innen 10 år. Byggeier er lokalisert i bygningen og får fordelene av reduserte energikostnader.

- Referansescenariet er å skifte ut til samme type vifte.
- Moderniseringsscenarioet er å skifte ut til mer energieffektiv direkte-dreven EC-vifte.

Tiltak og forutsetning for beregningen er oppsummert i tabellen under:

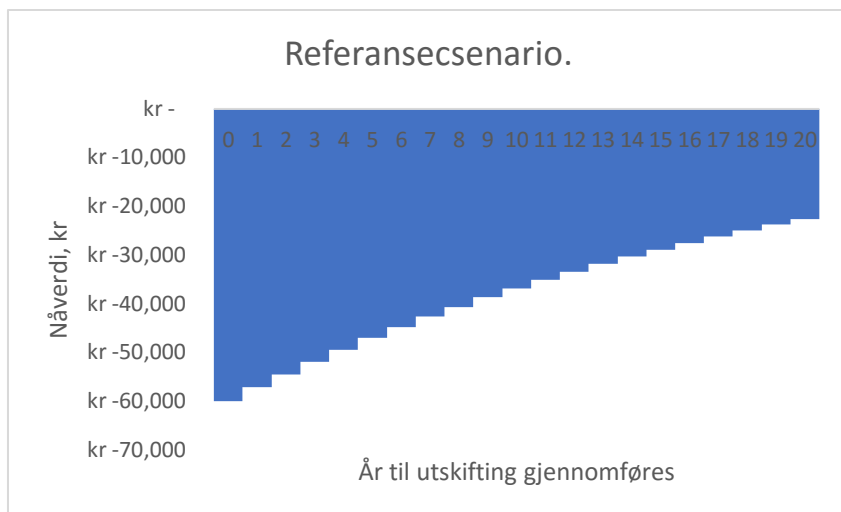
Tabell 2: Forutsetninger – case vifteutskifting i eksisterende ventilasjonsanlegg

Vifteeffekt eksisterende aggregat (tilluft og avtrekk)	2,7 kW
Vifteeffekt ny type vifte (tilluft og avtrekk)	2,2 kW
Driftstid (t/år)	4380
Investering	kr 60 000
Energipris	0,8 NOK/kWh
Årlig energibesparelse	kr 3 504
Tilbakebetalingstid	17 år
Kalkulasjonsrente	5 %

Tekniske ytelser for vifteeffekt tilsvarer SFP-faktorer på 2,4 kW/m³/s og 2,0 kW/m³/s ved luftmengder på 8000 m³/h, for henholdsvis referansescenarioet og moderniseringsscenarioet. I det følgende vil vi presentere økonomiske beregninger for nåverdi ved utskifting til samme type vifte og til ny EC-vifte, og synliggjøre hvordan behovet for fremtidig utskifting av viften påvirker tiltakets kostnadseffektivitet.

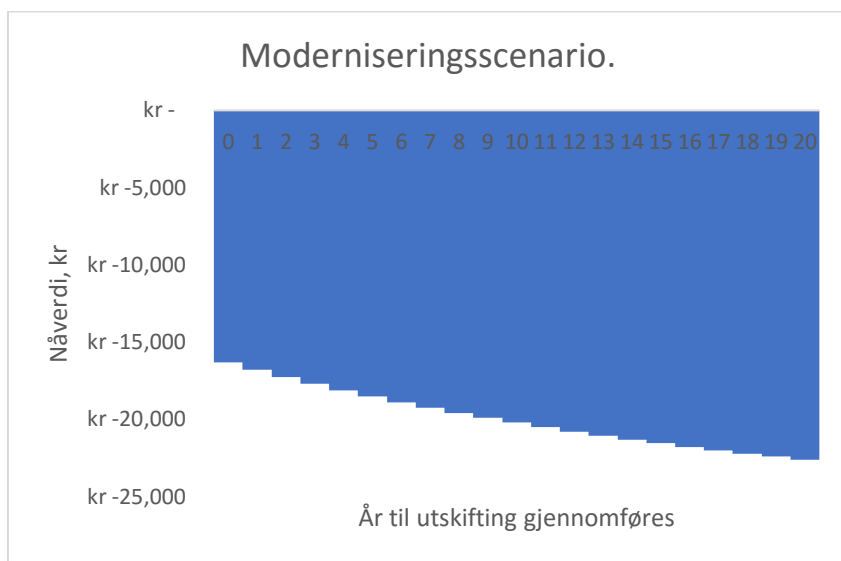
Beregninger – uten hensyn til fremtidig utskiftingsbehov

Figur 4 viser nåverdien ved å gjennomføre tiltaket i år x. Resultatene viser at det lønner seg for byggeier å utsette investeringen i ny vifte så lenge som mulig, fordi nåverdien øker hvis tiltaket skyves ut i tid.



Figur 4: Referansescenario – utskifte til samme type vifte

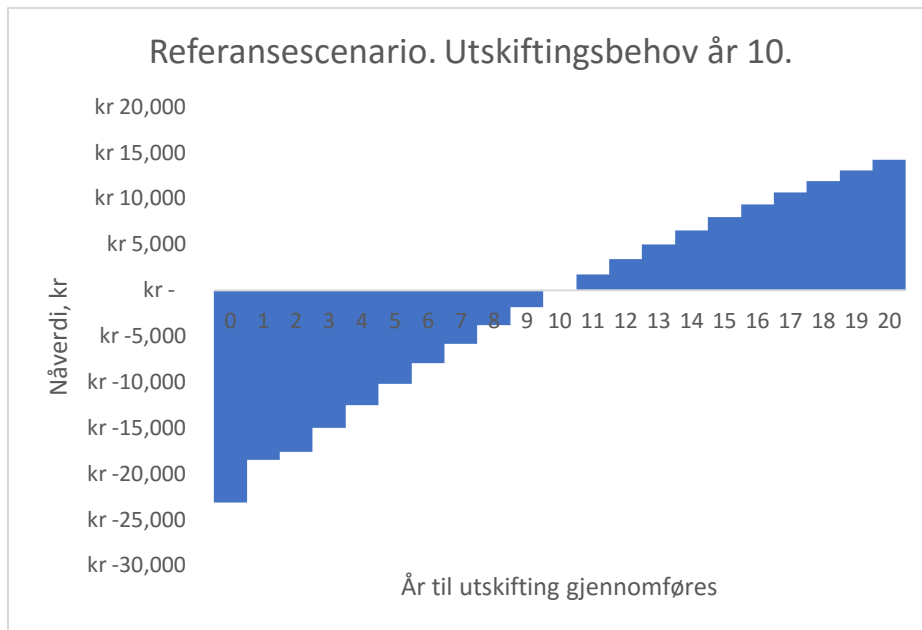
Beregningen for moderniseringsscenarioet viser den motsatte effekten. Ved mulighet til utskifting til mer effektiv teknologi er nåverdien høyest ved å gjennomføre tiltaket så raskt som mulig. Men, også i dette tilfellet er nåverdien av å foreta investeringen negativ, uansett når viften skiftes ut (figur 5).



Figur 5: Moderniseringsscenario – utskifte til forbedret vifte

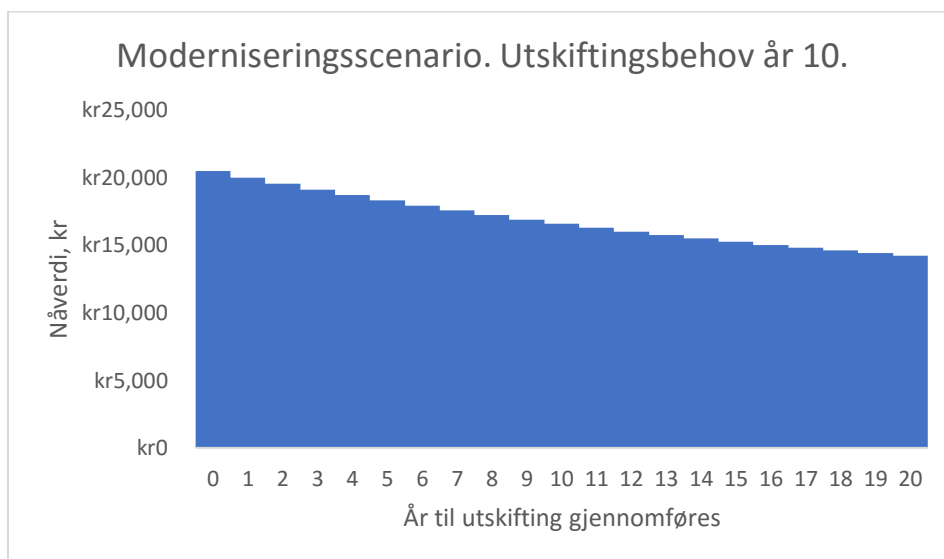
Beregninger – hensyntatt fremtidig vedlikeholdsbehov

I følgende beregninger tas det hensyn til utskiftingsbehovet for viftene i år 10. I referansescenarioet vil det fremdeles lønne seg for bygningseier å skyve investeringene i nye vifter så langt som mulig ut i tid. Dette skyldes at de nye viftene ikke er mer effektive enn de eksisterende viftene. Nåverdien blir positiv, dersom byggeier klarer å forlenge levetiden til viftene utover planlagt utskifting (figur 6).



Figur 6: Referansescenario – utskifte til samme type vifte – hensyntatt vedlikeholdsbehov

For moderniseringsscenarioet, der byggeier uansett står ovenfor en vifteutskifting om 10 år og hvor det er mulig å skifte ut til mer energieffektive vifter, vil det imidlertid være mest kostnadseffektivt å skifte ut viftene så raskt som mulig (figur 7). Nåverdien er høyest dersom viften skiftes ut med en gang.



Figur 7: Moderniseringsscenario – utskifte til samme type vifte hensyntatt vedlikeholdsbehov

Oppsummering av case og relevans

Eksempelet viser at et tiltak som kan fremstå som ulønnsomt med høy tilbakebetalingstid, i dette tilfelle over 17 års tilbakebetalingstid, likevel kan være kostnadseffektivt fordi de tekniske anleggene har et fremtidig behov for utskifting. Desto eldre anleggene er, dvs. jo nærmere utskiftingsbehovet er i tid, desto mer kostnadseffektivt vil det være å foreta en utskifting til bedre teknologi. Caset illustrerer

også at det kan forventes å finne en rekke kostnadseffektive tiltak på de tekniske anleggene i relativt nye eksisterende bygninger, fordi ny og mer effektiv teknologi har blitt utviklet og gjort tilgjengelig.

7. Nøkkeltall – yrkesbygg

7.1. Arealer

Estimering av arealer for yrkesbygg i 2017

Den norske bygningsmassen for yrkesbygg ble kartlagt i Enovas potensial- og barrierestudie fra 2012. For å estimere bygningsarealet for yrkesbygg har vi tatt utgangspunkt i disse tallene, som er for 2010, men justert for utviklingen de siste årene. Dette er gjort ved å innhente tall fra Statistisk Sentralbyrå for ferdigstilt areal for ulike bygningskategorier, justert for bygningsavgang, i årene fra 2011 til 2016. Statistisk Sentralbyrå har statistikk for avgang av bygninger som følge av rivning, brann, o.l. Denne avgangsraten relaterer seg til antallet bygninger, ikke bygningsareal. Dette representerer en feilkilde.

Tabell 3 viser anslått bygningsareal for yrkesbygninger i 2017.

Tabell 3: Estimert areal yrkesbygg i 2017

	Areal (2010) ³⁰	Ferdigstilt areal 2011-2016 ³¹	Riverate ³²	Areal 2017
Barnehage	1 275 200 m ²	429 915 m ²	1,1 %	1 611 282 m ²
Skole	13 884 700 m ²	1 589 812 m ²	1,5 %	14 218 437 m ²
Kontorbygg	26 760 600 m ²	2 862 833 m ²	0,8 %	28 307 605 m ²
Universitet / Høyskole	2 440 300 m ²	287 516 m ²	0,8 %	2 607 126 m ²
Sykehus	4 753 000 m ²	259 209 m ²	0,7 %	4 813 044 m ²
Sykehjem	5 215 700 m ²	528 702 m ²	0,7 %	5 521 888 m ²
Forretningsbygg	30 378 600 m ²	3 568 126 m ²	0,8 %	32 443 529 m ²
Hotell	5 714 500 m ²	739 741 m ²	0,8 %	6 168 621 m ²
Idrettsbygg	2 323 300 m ²	964 497 m ²	0,9 %	3 143 888 m ²
Kulturbygg	2 899 300 m ²	348 626 m ²	0,4 %	3 180 166 m ²
Lett industri / verksted	9 707 400 m ²	2 014 504 m ²	0,9 %	11 091 916 m ²
Yrkesbygg i alt	105 352 600 m²	14 877 075 m²		113 107 502 m²

I Enovas potensial- og barrierestudie fra 2012 er arealet for bygninger innen kategorien lett industri/ verksted korrigert slik at dette ikke inkluderer bygninger som huser energikrevende prosesser (for

³⁰ Bøhn, Trond Ivar et. al., 2012: *Potensial- og barrierestudie - Energieffektivisering i norske næringsbygg. Bakgrunnsrapport*. Rapport utført av Multiconsult i samarbeid med Analyse og Strategi på oppdrag for Enova. Enova rapport 2012:01.2.

³¹ Statistisk Sentralbyrå: *Tabell 05939 i Statistikkbanken*. Tilgjengelig fra <https://www.ssb.no/bygg-bolig-og-eiendom/statistikker/byggeareal>

³² Statistisk Sentralbyrå: *Tabell 10785 i Statistikkbanken*. Tilgjengelig fra <https://www.ssb.no/bygg-bolig-og-eiendom/statistikker/byggeareal>

eksempel kraftkrevende industri). I Enova-rapporten ble dette gjort ved å ta utgangspunkt i en energibruk til drift av industribygg på 4 TWh og redusere bruksarealet slik at total energibruket for bygningskategorien samsvarer med dette (*spesifikk beregnet energibruk x areal = totalt energibruk*). Dette var naturligvis en veldig grov antagelse. Vi har estimert arealtilveksten for denne kategorien ved å ta utgangspunkt i at halvparten fullført areal til nye lagre og industribygg i perioden fra 2011-2016 huser energikrevende prosesser mens den andre halvparten gir arealtilvekst innen bygningskategorien lett industri/verksted. Dette er beheftet med stor usikkerhet. I tillegg har vi inkludert bygninger som godsterminal, postterminal og annen ekspedisjons- og terminalbygning i denne bygningskategorien.

Videre inkluderer forretningsbygg arealtilvekst til flyplasser, kontrolltårn, jernbane, t-banestasjon og telekommunikasjonsbygninger, mens kulturbygninger omfatter tilvekst innen museum, bibliotek, og kunstgalleri. Når det gjelder restaurant har vi vært usikre på hvilken bygningskategori dette passer best under. Ved utredning av de nye energikravene i bygningsteknisk forskrift som ble innført i 2007 var opprinnelig restaurant foreslått som en egen bygningskategori³³. Men, i den endelige forskriften ble dette valgt bort som egen kategori. I en annen SINTEF Byggforsk rapport fra 2008 som lå til grunn for en justering av forskriftskravene i 2010, ble restaurant vurdert som forretningsbygg³⁴. Ifølge SN/TS 3031 inngår imidlertid restaurant i hotellbygning, og vi har valgt å legge dette til grunn. Uansett utgjør dette kun en mindre feilkilde da fullført areal for restaurantbygg var under 80 000 m² fra 2011-2016.

Vi legger til grunn arealberegningene i tabell 3 i det videre arbeidet.

Landbruks- og fiskeribbygg, samt fengsels- og beredskapsbygninger (politistasjon, brannstasjon, etc.) tas ikke med i det videre arbeidet. Driftsbygninger i landbruket var heller ikke inkludert i Enovas potensial- og barrierestudie fra 2012. Når det gjelder fengsel- og beredskapsbygninger fremgår det ikke om dette var inkludert eller ikke. Vi er usikre på hvilken bygningskategori slike bygninger evt. skulle kategoriseres under. Tilveksten i bruksareal for fengsels- og beredskapsbygninger utgjorde uansett kun rundt 90 000 m² i perioden 2011-2016, slik at utelatelse av dette kun ansees som en mindre feilkilde.

Spesielt om forretningsbygg

Forretningsbygg består av mange ulike bygninger, som kan ha svært forskjellig energiprofil. Vi har derfor forsøkt å gi et anslag på hvordan bygningsarealet innen denne kategorien fordeler seg mellom ulike forretningsbygninger som kjøpesenter, dagligvarebutikk, bensinstasjon, kiosk og øvrige butikker.

Dette er gjort utfra følgende forutsetninger:

- **Kjøpesenter:** For å estimere bruksareal for kjøpesentre i Norge har vi tatt utgangspunkt i rapporten Center Facts Norway fra 2017³⁵. Utvalget av kjøpesentre i denne rapporten omfatter kjøpesentre med registrert salgsflate på mer enn 4999 kvadratmeter og med fem eller flere butikker. Samlet representerte de 280 kjøpesentrene i rapporten et salgsareal på 4 472 800 m². Dersom det ble inkludert ytterligere 60 mindre kjøpesentre som eies av de største aktørene økte salgsarealet med

³³ Wigenstad, Tore og Thyholt, Marit, 2005: *Nye energikrav. Tilleggsanalyser. Underlag for revisjon av forskriftskrav til bygningers energibehov*. Rapport utført av SINTEF på oppdrag fra Direktoratet for byggkvalitet.

http://www.sintef.no/globalassets/upload/byggforsk/a05207_nye-energi-tilleggsanalyser.pdf ISBN 82-14-03738-7

³⁴ Thyholt, Marit, et. al., 2008: *Justering av energikrav i TEK*. Rapport utført av SINTEF Byggforsk på oppdrag fra Direktoratet for byggkvalitet. SINTEF Byggforsk prosjektrapport nr. 27-2008. ISBN 978-82-536-1039-9 (pdf)

³⁵ Andhøy, Arild et. al., 2017: *Center Facts Norway*. Rapport utarbeidet av Andhøyregistrene A og Kvarud Analyse på oppdrag fra Nordic Council of Shopping Centers (NCSC).

ytterligere 332 385 m². Ifølge Senterboken fra 2013 var det 403 kjøpesentre i Norge i 2011³⁶. Anledningen til å oppføre nye kjøpesentre er begrenset og det kan antas tilsvarende antall kjøpesentre i dag. Det innebærer i så fall at det er ytterligere 60 mindre kjøpesentre som ikke er inkludert i Center Facts Norway fra 2017. Vi antar at disse kjøpesentrene også vil utgjøre et salgsareal på om lag 330 000 m². Dette tilsier at det var omlag 5 100 000 m² salgsareal for kjøpesentre i 2015. Med salgsflate forstås det areal inklusive andel av fellesarealer som detaljist, service- og serveringsvirksomheter betaler leie for. Bruksareal omfatter imidlertid salgsareal, annet fellesareal, lager og kontorer. Vi har derfor justert salgsarealet med en faktor på en faktor 1,2 for å ta høyde for forskjellen mellom salgsareal og bruksareal. Dette betyr at vi har lagt til grunn at det fantes ca. 6 120 000 m² bruksareal for kjøpesentre i Norge i 2015. For å ta også høyde for utviklingen i 2016 har vi lagt til ferdigstilt bygningsareal for kjøpesentre/varehus i 2016³⁷, hvorav vi legger antar omlag halvparten av det ferdigstilte arealet var kjøpesentre. Dette utgjorde da ca. 66 125 m² bruksareal. I sum legger vi til grunn at kjøpesentre utgjør om lag 6 200 000 m² bruksareal.

- **Dagligvarebutikk:** Antall dagligvarebutikker i Norge er hentet fra Dagligvarefasiten, som er basert på data fra Nielsen Dagligvareregister³⁸. Det var over 3800 dagligvarebutikker i Norge i 2016. Gjennomsnittlig areal er estimert ut fra Enovas byggstatistikk for 2015³⁹, der gjennomsnittlig bruksareal for 1612 dagligvarebutikker var ca. 1060 m². Det er en trend at selv om antallet dagligvarebutikker har gått noe ned de siste årene har butikkene blitt større⁴⁰. I våre beregninger for arealet for dagligvarebutikker har vi justert for at kjøpesentre med et salgsareal over 5000 m² normalt vil ha 1-2 større dagligvarebutikker (> 1500 m²), og at bruksarealet fra disse butikkene inngår i kjøpesentrene⁴¹. Dette skulle tilsi at dagligvarebutikker utgjør ca. 3 600 000 m² bruksareal.
- **Bensinstasjon:** I følge Statistisk Sentralbyrå finnes det noe over 2000 bensinstasjoner i Norge. I følge Norsk Petroleumsinstitutt fantes det i underkant av imidlertid kun noe over 1500 stasjoner i Norge i 2015, hvorav 1200 var betjente og noe over 70 % av betjente stasjoner var nattestengt⁴². Det som uansett synes rimelig sikkert er at antallet bensinstasjoner er ganske stabilt, men går noe ned. Nedgangen var på 0,4 % i 2015. I denne rapporten har vi regnet med at det finnes ca. 1500 betjente bensinstasjoner i Norge og at disse har et gjennomsnittsareal på rundt 300 m². Dette gjennomsnittsarealet er basert på tall fra NVEs analyse av energibruk i forretningsbygg fra 2014⁴³.
- **Kiosk:** I følge Servicehandelrapporten fra 2015 var det ca. 1260 kiosker i Norge i 2014⁴⁴. Antallet kiosker reduseres årlig med noen prosentpoeng. Vi antar at denne trenden har fortsatt slik at det

³⁶ Andhøy, Arild et. al., 2013: *Sentreboken 2013*. Rapport utgitt av Institutt for bransjeanalyser AS (IBA)

<http://trykksakdesign.no/img/boker-og-hefter/pdf/Sentreboken%202013.pdf> ISBN 978-82-92266-14-4

³⁷ Statistisk Sentralbyrå, 2017: *Tabell 05939 i Statistikkbanken*. Tilgjengelig fra <https://www.ssb.no/bygg-bolig-og-eiendom/statistikker/byggeareal>

³⁸ Nielsen Dagligvareregister, 2017: *Dagligvarefasiten 2016*.

http://www.dagligvarehandelen.no/sites/handelsbladet.no/files/dagligvarefasiten_2017_0.pdf

³⁹ Enova, 2016: *Enovas byggstatistikk 2015*.

https://www.enova.no/download?objectPath=upload_images/B47F533CABC14B8F914648D8E7794EE3.pdf

⁴⁰ Virke, 2015: *Dagligvarehandelen 2015*. Rapport utarbeidet av Virke Dagligvarehandel. <https://www.virke.no/tjenester/rapporter-analyse/rapporter/dagligvarehandelen-2015/>

⁴¹ I Transportøkonomisk Institutt's rapport 1087/2010 *Fakta om kjøpesentre, varehandel og transport* anslås det at 9 % av dagligvarebutikkene ligger i kjøpesentre. Hvis det antas ca. 400 kjøpesentre betyr det at det finnes ca. én dagligvarebutikk per senter i snitt.

⁴² Drivkraft Norge, 2016: *Bensinstasjonsstatistikken for 2015*. http://www.np.no/om_bensinstasjoner/

⁴³ Bøhn, Trond Ivar et. al., 2013: *Analyse av energibruk i forretningsbygg*. Rapport utarbeidet av Multiconsult, Analyse og strategi og Entro på oppdrag for Norges vassdrags- og energidirektorat. NVE-rapport nr. 1/2014.

http://publikasjoner.nve.no/rapport/2014/rapport2014_01.pdf ISBN 978-82-410-0947-1

⁴⁴ Nielsen Norge, 2015: *Servicehandelsrapporten 2015*. Pressenotat.

<http://www.nielsen.com/content/dam/niensenglobal/no/docs/Dagligvarereporten%202015%20Pressemelding.pdf>

er ca. 1250 kiosker i Norge i 2017. Basert på tall fra NVEs analyse av energibruk i forretningsbygg fra 2014 anslår vi at en normal gjennomsnittstørrelse for kiosker i Norge ligger på ca. 140 m².

Tabell 4 gir et anslag på hvordan arealet innen forretningsbygg fordeler seg, gitt antagelsene ovenfor.

Tabell 4: Areal fordelt mellom ulike forretningsbygninger i 2017

	Bruksareal (m ²) i 2017
Kjøpesentre	6 200 000 m ²
Dagligvarebutikk	3 600 000 m ²
Bensinstasjon	450 000 m ²
Kiosk	175 000 m ²
Øvrige forretningsbygg	22 018 529 m ²
Forretningsbygg totalt	32 523 529 m²

7.2. Formålsdelt energibruk

Formålsdelt energibruk

NVE har sammenstilt resultater vedr. formålsdelt energibruk for 11 kategorier yrkesbygg (tabell 5)⁴⁵. Dette er formålsdelt energibruk som skal være mest mulig representativ for eksisterende bygningsmasse innenfor hver bygningskategori. Barnehage, kulturbygg og lett industri og verksted er de bygningskategoriene som bruker størst andel energi til oppvarming. Alle bygningskategoriene med unntak av barnehager og skoler bruker energi til kjøling. Sykehus, idrettsbygg, kontor og forretninger har størst andel energi til kjøling. For de bygningskategoriene der belysning er skilt ut som en egen post, utgjør denne 9 til 15 % av energibruken. For forretningsbygg kan belysningen utgjøre en høyere andel.

Tabell 5. Formålsdelt energibruk i yrkesbygg (kWh/m²). [NVE rapport nr. 24-2016]

Byggkategori	Oppvarming	Tappevann	Ventilasjon	Belysning	El-spesifikk	Kjøling	Totalt
Barnehage	121	9	27	18	25	0	200
Skole	99	6	13	26	26	0	170
Kontor	72	11	23	37	72	20	235
Universitet/ høyskole	96	18	36	40	49	20	260
Sykehus	125	32	-	-	171	52	380
Sykehjem	136	26	31	27	39	1	260
Forretning	71	8	35	-	187	19	320
Hotell	101	39	30	30	37	3	240
Idrettsbygg	85	24	32	35	37	23	235
Kulturbygg	166	3	21	22	30	3	245
Lettindustri/ verksted	161	4	13	32	39	6	255

⁴⁵ Langseth, Benedicte et. al., 2016: *Analyse av energibruk i yrkesbygg. Formålsdeling, trender og drivere*. NVE-Rapport nr. 24/2016. http://publikasjoner.nve.no/rapport/2016/rapport2016_24.pdf. ISBN 978-82-410-1215-0

Spesielt om forretningsbygg

Forretningsbygg omfatter som nevnt en rekke ulike bygninger, med svært forskjellig energiprofil. I en NVE-rapport fra 2014 har Multiconsult, Analyse og Strategi og Entro undersøkt formålsdelt energibruk i kjøpesentre, matvarebutikk og annen enkeltstående butikk. I NVE-rapporten ble gjennomsnittlig spesifikk arealbruk for matvarebutikk (dagligvare) estimert til 460 kWh/m². Enovas byggstatsistikk for 2015 viser imidlertid et høyere anslag for spesifikk arealbruk i dagligvarebutikker (530 kWh/m²).

For kjøpesentre ble gjennomsnittlig energibruk estimert til i underkant av 300 kWh/m², mens for andre enkeltstående butikker ble den spesifikke energibruken estimert til mellom 200 og 220 kWh/m². Bensinstasjoner og kiosker ble trukket frem som bygninger med særlig høy spesifikk energibruk. Dette kan skyldes at bensinstasjoner og kiosker har lange åpningstider. Bensinstasjoner har også vaskehaller som kan være energikrevende. I tillegg har både kiosker og bensinstasjoner små arealer, mange kjøleskap/kjøledisker, varmeplater/grill, mye belysning, samt varmluftsporter for å hindre trekk fra inngangsdøren som åpnes svært mye. I NVE-rapporten ble det vist til at gjennomsnittlig energibruk for bensinstasjoner varierte fra 426 kWh/m² (SSB), 835 kWh/m² (NVE) og opp til over 3000 kWh/m² (Entros database). For kiosk var gjennomsnittlig energibruk i Entros database på over 1500 kWh/m² ⁴⁶.

Tabell 7,8 og 9 viser anslag på gjennomsnittlig formålsdelt energibruk for ulike typer forretningsbygg som er benyttet i denne rapporten. For dagligvarebutikk er det tatt utgangspunkt i gjennomsnittlig spesifikk energibruk på 530 kWh/m², basert på tall fra Enovas byggstatistikk fra 2015⁴⁷. Informasjon fra aktører i dagligvarebransjen tilsier imidlertid at dette tallet er energibruk fordelt på salgsareal, og at gjennomsnittlig energibruk for dagligvarebutikker ligger nærmere 800 kWh/m² bruksareal. I følge en aktør vi har vært i kontakt med kan forholdet mellom brutto bruksareal og salgsarealer i en vanlig dagligvarebutikk variere med en faktor på 1,5. Dette forholdstallet kan være lavere for større butikker og høyere for mindre butikker. Uansett tilsier et forholdstall på 1,5 mellom bruksareal og salgsareal at et gjennomsnittlig energibruk på 800 kWh/m² stemmer overens med tallene fra Enovas byggstatistikk.

For øvrige forretningsbygg (butikker) og kjøpesentre antar vi at anslagene i NVEs rapport på hhv. 220 kWh/m² og 270 kWh/m² kan være representative. Prosentvis fordeling mellom de ulike energipostene for hhv. kjøpesentre og øvrige forretningsbygninger (øvrige butikker) er også hentet fra NVEs rapport⁴⁸.

Tabell 6. Formålsdelt energibruk i kjøpesentre (kWh/m²).

Rom- og ventilasjons oppvarming	Tappevann	Ventilasjon (aggregat)	Pumper	Lys og utstyr (felles areal)	Strøm og utstyr (leietager)	Kjøling	Heis, rulletrapp, samleband	Totalt
73	8	30	3	30	103	22	3	270

⁴⁶ Bøhn, Trond Ivar et. al., 2013: *Analyse av energibruk i forretningsbygg*. Rapport utarbeidet av Multiconsult, Analyse og strategi og Entro på oppdrag for Norges vassdrags- og energidirektorat. NVE-rapport nr. 1/2014.

http://publikasjoner.nve.no/rapport/2014/rapport2014_01.pdf ISBN 978-82-410-0947-1

⁴⁷ Enova, 2016: *Enovas byggstatistikk 2015*.

https://www.enova.no/download?objectPath=upload_images/B47F533CABC14B8F914648D8E7794EE3.pdf

⁴⁸ Tallene i tabell 6, 7 og 8 er avrundet, slik at den totale spesifikke energibruken ikke stemmer helt overens med summen av de ulike energipostene.

Tabell 7. Formålsdelt energibruk i dagligvarebutikk (kWh/m²).

Rom- og ventilasjons oppvarming	Tappevann	Ventilasjon (aggregat)	Pumper og teknisk utstyr	Belysning	Ventilasjons kjøling	Kjøl/frys - sentralanlegg	Kjøl/frys plug-in	Totalt
24	16	56	128	176	16	296	88	800

Tabell 8. Formålsdelt energibruk i øvrige butikker, utenom kiosk og bensinstasjon (kWh/m²).

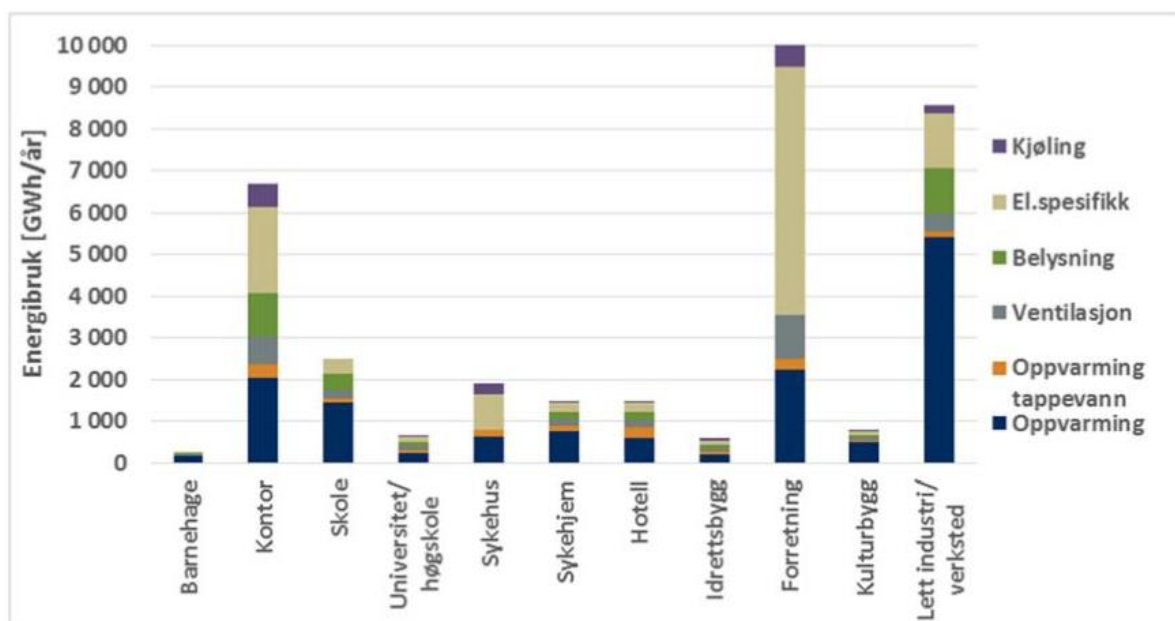
Rom- og ventilasjons oppvarming	Tappevann	Ventilasjon (aggregat)	Pumper	Belysning	Teknisk utstyr/div. el. og data	Kjøling	Utelys/P-hus	Totalt
57	4	26	11	59	52	4	4	220

Når det gjelder kiosker og bensinstasjoner antar vi noe høyere energibruk enn for dagligvarebutikker ettersom det er rimelig å anta at dette er virksomheter med relativt lange driftstider. Vi har basert oss på en gjennomsnittlig energibruk på ca. 1000 kWh/m² for slike forretningsbygg, selv om dette trolig vil være i laveste laget. Vi går ut fra at den prosentvise formålsdelte energibruken vil være noenlunde lik som for dagligvarebutikker ettersom disse bygningskategoriene har mange like funksjoner. Dette er svært grove antagelser. Men, antagelsene vil uansett ikke ha særlig betydning for beregningene av samlet energisparepotensial i forretningsbygninger, da arealene for bensinstasjoner og kiosker er små.

Samlet formålsdelt energibruk i yrkesbygg

I NVEs samlerapport om formålsdelt energibruk fra 2016 ble det også estimert hvor mye energi som brukes totalt innen de ulike bygningskategoriene i året. Figur 8 viser at det er forretningsbygg, lett industri/verksteder og kontorbygg som står for den klart største andelen av energibruken for yrkesbygg. Dette henger sammen med at det er disse bygningskategoriene som utgjør de største arealene, sammen med skolebygg (tabell 3). I følge Enovas potensialstudie for yrkesbygninger ligger også det største energisparepotensialet hos forretningsbygningene etterfulgt av kontorbygninger, lett industri/verksted og skolebygninger. Ser man på spesifikt energibruk (kWh/m²) har eldre bygninger innen lett industri/verksted, idrettsbygg og barnehage gjerne et stort energieffektiviseringspotensial⁴⁹.

⁴⁹ Bøhn, Trond Ivar et. al., 2012: *Potensial- og barrierestudie - Energieffektivisering i norske næringsbygg. Bakgrunnsrapport*. Rapport utført av Multiconsult i samarbeid med Analyse og Strategi på oppdrag for Enova. Enova rapport 2012:01.2. <http://www.multiconsult.no/assets/EnergieffektiviseringI NorskeNæringsbygg.pdf>



Figur 8. Total formålsdelt energibruk i yrkesbygg. [NVE rapport nr. 24-2016]

Det bør nevnes at figur 8 er basert på et areal for lett industri/verksted som omfatter arealer for all industri, inkl. for eksempel kraftintensiv industri. I Enovas potensial- og barrierestudie for yrkesbygg fra 2012 er det benyttet et mer sannsynlig areal for lett industri/verksted ved å benytte forbrukstall fra NVEs rapport om energibruk i fastlands-Norge⁵⁰, i kombinasjon med beregnet spesifikk levert energi. En slik justering fører til at den totale formålsdelte energibruken for lett industri/verksted blir mer enn halvert ift. figur 8. Men, energibruken innen lett industri/verksted vil uansett være vesentlig. I Enovas studie ble årlig energibruk innen denne bygningskategorien teoretisk beregnet til ca. 4 TWh.

7.3. Gjennomførte energiltak i yrkesbygg

Energisparepotensialet i bygningsmassen vil avhenge av i hvor stor grad aktuelle energiltak allerede er gjennomført. Vi er imidlertid ikke kjent med noen oversikt som gir informasjon om hvilke energiltak som er gjennomført i norske yrkesbygninger. Statistisk Sentralbyrå utarbeidet tidligere undersøkelser om energibruk i tjenesteytende bygninger, der det også ble sett på sammenhengen mellom energibruk i bygningene og type oppvarmings- og kjølesystem, byggeår, energieffektiviseringstiltak m.m. Den siste av disse rapportene ble utgitt i 2013, og kartla tilstanden for et utvalg yrkesbygg for året 2011⁵¹. En tilsvarende undersøkelse for 2008 ble utgitt i 2011⁵². Ettersom Statistikk Sentralbyrå ikke lenger utfører slike undersøkelser har vi basert oss på tall fra 2011, og vurdert hva som kan ha vært en sannsynlig utvikling de siste årene, basert på øvrige studier, egne erfaringer og informasjon fra bransjeaktører.

Statistisk Sentralbyrås rapport om energibruk i bygninger til tjenesteytende virksomheter fra 2011 var basert på et utvalg på over 6000 yrkesbygninger, med en svarprosent på over 80 %. Av disse byggene

⁵⁰ Rapporten Energibruk i Fastlands-Norge gis ut med jevne mellomrom av NVE. Nyeste versjon er fra 2017 og finnes på http://publikasjoner.nve.no/rapport/2017/rapport2017_25.pdf

⁵¹ Abrahamsen A.S., Bergh M. og Fedoryshyn N, 2013: *Energibruk i bygninger for tjenesteytende virksomhet 2011*, SSB Rapport 62/2013. <https://www.ssb.no/energi-og-industri/artikler-og-publikasjoner/attachment/154307?ts=142fa6ff6d8> ISBN 978-82-537-8829-6

⁵² Abrahamsen A.S. og Bergh M., 2011: *Energibruk i bygninger for tjenesteytende virksomhet 2008*, SSB Rapport 17/2011, https://www.ssb.no/a/publikasjoner/pdf/rapp_201117/rapp_201117.pdf ISBN 978-82-537-8108-2

hadde ca. halvparten gjennomgått en større rehabilitering siden den ble bygd. Av de byggene som hadde gjennomgått en slik større rehabilitering hadde over 85 % blitt renoverert i perioden 1990 - etter 2000 og 66 % hadde blitt rehabilitert etter år 2000. Videre hadde 16 % av yrkesbyggene som ble undersøkt minst én type varmepumpe installert. Ca. 70 % av bygningene hadde balansert ventilasjon med varmegjenvinning som hovedkilde til ventilasjon. Men vektet det med størrelsen på byggene var det 90 % av arealet som hadde balansert mekanisk ventilasjon med varmegjenvinning. Det innebærer at balansert ventilasjon med varmegjenvinning er vanligere i større yrkesbygninger enn i mindre bygg.

Det ble også undersøkt om det var gjennomført energieffektiviseringstiltak som etterisolering, tids-/behovs-/bevegelsesinnstilling av lys, varme eller ventilasjon, energieffektiv belysning og vinduer. 85 % av byggene hadde gjennomført minst ett av disse tiltakene. Om lag halvparten hadde tids-/behovs-/bevegelsesinnstilling av ventilasjon og energieffektiv belysningsarmatur/-pærer. Tids-/behovs-/bevegelsesinnstilling av varme og lys var installert i hhv. 44 og 32 % av byggene. 42 % hadde sentral driftskontroll for samkjøring av teknisk utstyr. Om lag en fjerdedel hadde gjennomført etterisolering og energieffektivisering av varmeanlegg. Energieffektive vinduer var montert i 35 % av bygningene.

Endelig ble det spurt om det var innført system for energioppfølging (EOS) i yrkesbygningene. EOS ble definert som rutiner for å kontrollere energibruken. I over 40 % av byggene var det innført EOS. Universitets- og høyskolebygninger samt sykehus hadde høyest andel bygg med EOS, mens bygninger for religiøse aktiviteter og restaurantbygninger hadde lavest andel med EOS. Andelen yrkesbygninger med EOS i 2008 var 35 %. Andelen yrkesbygg med EOS hadde altså økt med ca. 5 % på disse tre årene.

8. Nøkkeltall – boliger

8.1. Arealer

Arealer for den norske boligmassen ble også kartlagt i Enovas potensial- og barrierestudie fra 2012. Vi har tatt utgangspunkt i disse tallene, som er fra 2010, men justert for utviklingen de siste årene, basert på Statistikk Sentralbyrås tall for ferdigstilt boligareal og boligavgang som følge av rivning, brann, o.l.

Tabell 9 viser anslått boligareal i 2017.

Tabell 9: Estimert areal boliger i 2017

	Areal (2010) ⁵³	Ferdigstilt boligareal 2011-2016 ⁵⁴	Riverate ⁵⁵	Areal 2017
Enebolig	169 005 646 m ²	9 326 636 m ²	0,15 %	176 782 875 m ²
Rekkehus	48 603 028 m ²	4 558 314 m ²	0,12 %	52 799 405 m ²
Boligblokk	42 126 802 m ²	6 768 741 m ²	0,72 %	47 000 163 m ²
Boliger i alt	259 735 476 m²	20 653 691 m²		276 582 442 m²

⁵³ Haarberg, Karl Johan et. al., 2012: *Potensial- og barrierestudie - Energieffektivisering av norske boliger. Bakgrunnsrapport*. Rapport utført av Prognosesenteret i samarbeid med Entelligens på oppdrag for Enova. Enova rapport 2012:01.1

⁵⁴ Statistisk Sentralbyrå: *Tabell 05940 i Statistikkbanken*. Tilgjengelig fra <https://www.ssb.no/bygg-bolig-og-eiendom/statistikker/byggeareal/aar>

⁵⁵ Statistisk Sentralbyrå: *Tabell 10783 i Statistikkbanken*. Tilgjengelig fra <https://www.ssb.no/bygg-bolig-og-eiendom/statistikker/byggeareal/aar>

Vi legger til grunn anslagene i tabell 9 mht. bruksareal for eksisterende boliger. Vi har ikke skilt ut våningshus (boliger på landbrukseiendom) fra øvrige eneboliger og rekkehus i det videre arbeidet, til tross for at statistikk fra Statistisk Sentralbyrå peker i retning av at den gjennomsnittlige energibruken i et våningshus ligger noe høyere enn for andre småhus (se kap. 8.2). Dette kan utgjøre en liten feilkilde.

Fritidsbygg, boliggarasje, etc. utgjorde nesten to millioner bygninger i 2017⁵⁶. Antallet slike bygninger har økt med ca. 77 000 fra 2013 til 2017. Mht. fritidsboliger (hytter, sommerhus, mv.) var antallet bygninger ca. 460 000 i 2017, en økning på om lag 14 000 fra 2013. Vi har ikke vurdert potensialet for energisparing i fritidsboliger. Dette skyldes blant annet at fritidsboliger ikke er i drift store deler av året, og energibruken er langt mindre enn i helårsboliger. I tillegg er dagens kunnskapsgrunnlag mht. isolasjonsstandard, oppvarmingssystem og evt. gjennomførte energiltak så svakt at en analyse av sparepotensialet ville blitt altfor usikker. Likevel var elektrisitetsforbruket i hytter og fritidsboliger hele 2,1 TWh i 2015 ifølge Statistisk Sentralbyrå. Dette representerer om lag en dobling de siste årene⁵⁷. Nyttiggjort energi fra forbruk av ved i hytter og fritidsboliger var på 0,58 TWh i 2016⁵⁸. Dersom antallet fritidsboliger fortsetter å øke og en større andel av fritidsboligene får innlagt elektrisitet og vann kan energibruken i fritidsboliger få betydning for målet om å spare 10 TWh i eksisterende bygningsmasse.

8.2. Formålsdelt energibruk

I boliger står oppvarming for hoveddelen av energibruken. Tiltak som reduserer energibruken til oppvarming vil derfor gi størst bidrag til å redusere energibruken i eksisterende bygninger nasjonalt. Effekten av sparetiltak vil være størst i eldre boliger som ikke har blitt oppgradert. I Enovas potensial og barrierestudie fra 2012 ble gjennomsnittlig levert energibruk, per år for typiske standardboliger fremstilt som i tabell 10. Iht. SN/TS 3031 er det anbefalt å regne med energibruk til tappevann på 25 kWh/m², energibruk til belysning på 11,4 kWh/m², energibruk til teknisk utstyr på 17,5 kWh/m² og noe energibruk til vifter⁵⁹. Disse brukeravhengige energipostene vil variere mindre med boligens alder, sammenlignet med oppvarmingsbehovet som er mer avhengig av tilstanden til boligens klimaskjerm.

⁵⁶ <https://ssb.no/bygg-bolig-og-eiendom/statistikker/bygningsmasse>

⁵⁷ Statistisk Sentralbyrå: *Tabell 08311 i Statistikkbanken*. Tilgjengelig fra <https://www.ssb.no/energi-og-industri/statistikker/elektrisitet/aar>

⁵⁸ Statistisk Sentralbyrå: *Tabell 09704 i Statistikkbanken*. Tilgjengelig fra <https://www.ssb.no/energibalanse>

⁵⁹ Standard Norge, 2016: *Bygningers energiytelse. Beregning av energibehov og energiforsyning. Teknisk spesifisering SN/TS 3031: 2016*

Tabell 10: Gjennomsnittlig levert energi til boliger [Enova rapport 2012: 01-1]

	Levert energi (beregnet)	% til oppvarming
Enebolig		
Oppført før 1956	38 645 kWh	78 %
Oppført mellom 1956-1970	26 511 kWh	67 %
Oppført mellom 1971-1980	22 520 kWh	60 %
Oppført mellom 1981-1990	25 035 kWh	57 %
Oppført mellom 1991-2000	20 649 kWh	54 %
Oppført mellom 2001-2010	21 390 kWh	50 %
Rekkehus		
Oppført før 1956	27 250 kWh	76 %
Oppført mellom 1956-1970	21 324 kWh	67 %
Oppført mellom 1971-1980	18 132 kWh	62 %
Oppført mellom 1981-1990	16 416 kWh	59 %
Oppført mellom 1991-2000	13 338 kWh	56 %
Oppført mellom 2001-2010	14 033 kWh	52 %
Boligblokk		
Oppført før 1956	16 171 kWh	73 %
Oppført mellom 1956-1970	13 483 kWh	71 %
Oppført mellom 1971-1980	8 724 kWh	48 %
Oppført mellom 1981-1990	8 454 kWh	45 %
Oppført mellom 1991-2000	7 612 kWh	46 %
Oppført mellom 2001-2010	8 760 kWh	46 %

Tall fra Statistisk Sentralbyrå viser at det kan være noe mindre forskjeller når det gjelder energibruk i boliger avhengig av byggeår enn det tabell 10 skulle tilsa. Energibruken i boliger er også avhengig av andre parametere som geografisk lokasjon, boligareal, inntekt, osv. For eksempel regner Statistisk Sentralbyrå med at gjennomsnittlig energibruk i en husholdning i Oslo ligger på rundt 14 500 kWh/år mens gjennomsnittlig energibruk i en husholdning i Hedmark og Oppland lå på ca. 26 500 kWh/år i 2012⁶⁰. Disse forskjellene skyldes trolig både klimatiske forhold og at det er større andel som bor i eneboliger i Hedmark og Oppland enn i Oslo, der en større andel av befolkningen bor i boligblokk.

Vi vil ta utgangspunkt i Statistisk Sentralbyrås gjennomsnittstall for spesifikk energibruk i eneboliger, rekkehus og boligblokk. Vi ser da bort fra at effekten av enkelte energiltak er høyere i boliger med høyt oppvarmingsbehov. For eksempel vil effekten av å installere varmpumpe i en enebolig være

⁶⁰ Statistisk Sentralbyrå: Tabell 10573 i Statistikkbanken. Tilgjengelig fra <https://ssb.no/husenergi>

større i dårlig isolerte boliger, og mindre i godt isolerte boliger. Vi regner da med dette jevner seg ut når man ser boligmassen under ett. I statistikken har våningshus noe høyere spesifikk energibruk enn eneboliger for øvrig. Som nevnt, har vi valgt å se bort fra dette her. Vi behandler eneboliger under ett.

Tabell 11: Gjennomsnittlig energibruk i eneboliger, rekkehus og leiligheter [SSB]

	Energibruk (snitt - 2012)	Energibruk (snitt - 2009)	Energibruk (snitt - 2006)
Enebolig	198 kWh/m ²	182 kWh/m ²	199 kWh/m ²
Rekkehus	180 kWh/m ²	186 kWh/m ²	181 kWh/m ²
Boligblokk	156 kWh/m ²	166 kWh/m ²	172 kWh/m ²

I NVEs energibruksrapport fra 2012 oppsummeres flere nordiske studier mht. formålsdelt energibruk i boliger. På grunnlag av studiene og en gjennomsnittlig energibruk i boliger på 21 000 kWh/år kan det anslås en formålsdeling på 22 % el-spesifikt forbruk, 12 % oppvarming av tappevann og 66 % oppvarming av rom. Det vises også til svenske studier som viser at andelen elspesifikt forbruk i småhus (eneboliger/rekkehus) kun er marginalt høyere enn andelen elspesifikt energiforbruk i boligblokk⁶¹.

Ettersom både energibruk til oppvarming og el-spesifikke formål er mindre i leiligheter enn i småhus mener NVE at det ikke er grunnlag for å anta vesentlige forskjeller i formålsdelingen, mellom småhus og leiligheter. Vi legger likevel til grunn at formålsdelingen i leiligheter og småhus ikke vil være helt lik. Leiligheter kan ha en mindre andel energibruk til oppvarming enn småhus, men samtidig har de mindre elektrisk utstyr. I tillegg kan det være forskjellig hvordan energibruken til varmeformål fordeles seg mellom romoppvarming og tappevann. I en rapport fra Vestfoldforskning fra 2011 ble det konkludert med en noe annerledes formålsfordeling for energibruk i boliger enn i tidligere analyser (tabell 12)⁶².

Tabell 12: Formålsdelt energibruk i boliger [Vestlandsforskningsrapport nr. 13/2011]

	Romoppvarming	Varmt tappevann	Totalt til oppvarming
Enebolig	70 %	11 %	81 %
Rekkehus	60 %	16 %	76 %
Boligblokk	23 %	25 %	58 %

Statistisk Sentralbyrå har også undersøkt den formålsdelte energibruken i boliger. En artikkel fra 2009 tok utgangspunkt i tall fra 1990, 2001 og 2006 og viste at andelen energi som brukes til oppvarming er relativt stabil over tid. Andel energi til romoppvarming varierte mellom ca. 40- 45 % av det totale forbruket. For tappevann utgjorde energibruken mellom ca. 8 og 15 % av totalen disse tre årene⁶³.

I denne rapporten legger vi til grunn at andelen av energiforbruket som går til varmeformål i eneboliger, rekkehus og leiligheter er noenlunde lik, men at det brukes en noe høyere andel til varmt tappevann i et leilighetsbygg. Vi antar at andelen av energibruken til varmeformål i en gjennomsnittlig

⁶¹ Magnussen, Ingrid H., et. al., 2012: *Energibruksrapporten 2012 - Energibruk i husholdninger*. NVE-rapport 30/2012. http://publikasjoner.nve.no/rapport/2012/rapport2012_30.pdf ISBN 978-82-410-0818-4

⁶² Hille, John, et. al., 2012: *Trender og drivere for energibruk i norske husholdninger*. Rapport utført på av Vestlandsforskning på oppdrag fra NVE. Vestlandsforskningsrapport nr. 13/2011. http://www.vestforsk.no/sites/default/files/migrate_files/vf-rapport-13-2011-nve-energibruk-i-norske-husholdninger.pdf ISBN 978-82-428-0313-9

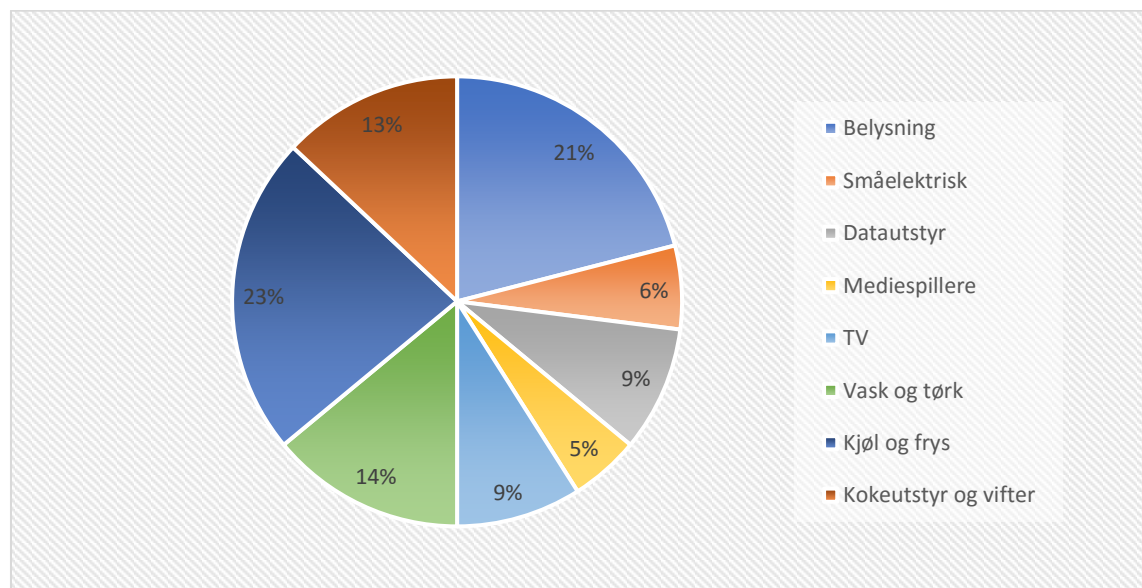
⁶³ Dalen, Hanne Marit og Larsen, Bodil, 2009: *Hvor mye energi bruker husholdningene til ulike formål?* Artikkel publisert i Økonomiske analyser 5/2009. https://www.ssb.no/a/publikasjoner/pdf/oa_200905/dalen.pdf

eksisterende enebolig ligger på ca. 75 %, hvorav 60 % går til romoppvarming og 15 % går til varmt tappevann. For rekkehus kan det være at noe mindre energi brukes til romoppvarming fordi det er rimelig å anta et høyere varmetap mot det fri enn mot nabohuset. I tillegg kan det være rimelig å anta at det bor flere personer per kvadratmeter i et rekkehus (småbarnsfamilier, m.m.). For boligblokk vil det være naturlig å legge til grunn en noe lavere andel til romoppvarming. Det antas også det at en større andel av energien (kWh/m²) brukes til tappevann, fordi vannforbruket fordeles på færre kvadratmeter. Vi legger til grunn at 40 % av energien i en leilighet går til romoppvarming mens 25 % går til tappevann. Tabell 13 viser energibruk og formålsdeling som benyttes videre i denne rapporten.

Tabell 13: Antatt gjennomsnittlig energibruk i boliger og formålsdeling

	Energibruk (snitt)	Andel romoppvarming	Andel til varmt tappevann
Enebolig	198 kWh/m ²	60 %	15%
Rekkehus	180 kWh/m ²	55 %	15 %
Boligblokk	156 kWh/m ²	40 %	25 %

Når det gjelder det el-spesifikke formål antar NVE at dette utgjør omlag 22 % av energibruken i boliger⁶⁴. På oppdrag fra NVE undersøkte Xrgia i 2011 hvordan husholdningenes elektrisitetsbruk fordeler seg på ulike formål⁶⁵. Elektrisitet som brukes til oppvarming av boligen og oppvarming av varmt tappevann var ikke inkludert i dette prosjektet. Figur 9 viser hvordan elektrisitetsbruken fordelte seg. Energibruk til kjølfrys, belysning og vask/tørk utgjorde de største el-spesifikke postene i boligene.



Figur 9: Elektrisitetsbruk i boliger. [Xrgia, 2011].

Statistisk Sentralbyrås artikkel om formålsdeling fra 2009 trekker også frem belysning, vask/tørk og kjøling som de største el-spesifikke energipostene i boliger (men med noe annen rekkefølge/fordeling).

⁶⁴ Magnussen, Ingrid, et. al., 2012: *Energibruksrapporten 2012 - Energibruk i husholdninger*. NVE-rapport 30/2012.

http://publikasjoner.nve.no/rapport/2012/rapport2012_30.pdf ISBN 978-82-410-0818-4

⁶⁵ Langseth, Benedicte, el. al., 2011: *Hovedundersøkelse for elektrisitetsbruk i husholdningene*. Rapport utført av Xrgia på oppdrag for NVE. <http://docplayer.me/6341012-Hovedundersokelse-for-elektrisitetsbruk-i-husholdningene-utarbeidet-for-nve.html> ISBN 978-82-93010-17-3

Xrgias rapport viste for øvrig at antall personer i husholdningene er den viktigste driveren for bruken av elektrisitet. Den største forskjellen var mellom husholdninger med én person og med to personer. Økningen kom først og fremst for vask og tørk, kjøll og frys og kokeutstyr og vifter. Vask og tørk er den energiposten som øker mest med stigende antall medlemmer i husholdningene, utover to. Den totale elektrisitetsbruken i leiligheter (dvs. ikke per m²) er markant lavere enn i de andre boligtypene. Dette skyldes til en viss grad at det er færre personer pr husholdning i leilighetene. Mindre plass gjør at man har færre kjøle- og fryseapparater, som var den energiposten med størst forskjell mellom leilighet og enebolig.

8.3. Gjennomførte energiltak i boliger

Som for yrkesbygninger er energisparepotensialet i boligmassen avhengig av i hvor stor grad aktuelle energiltak allerede er gjennomført. Det finnes ingen oversikt over i hvor stor grad energiltak er gjennomført i boligmassen som helhet, og en analyse av energisparepotensialet må basere seg på mange antagelser. Mht. bruk av varmepumper i boliger finnes det relativt mye informasjon. Statistisk Sentralbyrå innhenter statistikk for oppvarmingsutstyr i husholdningene ifm. sin forbruksundersøkelse med tilleggsspørsmål om energi og oppvarmingsutstyr⁶⁶. NVE har utarbeidet oppdaterte tall for varmepumper i boliger, blant annet basert på salgsstatistikk fra Varmepumpeforeningen (NOVAP)⁶⁷. Tallene viser at Norge har en dekning av varmepumper i husholdninger på om lag 27 %. Nesten halvparten av norske eneboliger har varmepumper, mens andelen er langt lavere i rekkehus og blokk.

I forbindelse med Statistisk Sentralbyrås forbruksundersøkelse er det gjort en enkel kartlegging av tiltak husholdningene har gjort som kan påvirke energiforbruket til oppvarming, samt enkelte andre adferdsmessige faktorer som kan påvirke energibruken. Kartleggingen viser at ca. 1 av 5 husholdninger oppgir at tak eller loft er etterisolert og om lag 40 % har skiftet vinduer. Andelen av husholdningene som oppgir at boligen er etterisolert eller at vinduer er skiftet ut øker med alderen på boligen.

Bruk av automatisk styringssystem er mest vanlig i eneboliger og rekkehus, mens termostater er vanlig i alle boligtyper. Manuell regulering av temperaturen er noe mer vanlig blant husholdninger i rekkehus og blokk enn i våningshus og eneboliger. Det store flertallet av husholdningene oppgir at de reduserer varmen og skrur av lys i rom som ikke er i bruk. Dette gjelder spesielt for husholdninger i våningshus. Termostater på elektriske ovner ser ut til å være relativt uavhengig av byggeår, bortsett fra for de aller nyeste boligene, hvor det er mindre vanlig med termostater enn for de eldre boligene.

Sparepærer/ LED- lyspærer er mer vanlig i de nyeste boligene, og om lag 1 av 3 husholdninger i boliger bygget etter 2008 oppgir at nesten alle lyspunkter er LED-teknologi. Når det gjelder de adferdsmessige faktorene er det liten variasjon avhengig av om husholdningen bor i et nytt eller gammelt hus/leilighet.

I Enovas potensial- og barrierestudie for boliger fra 2012 ble det foretatt en kartlegging av boligmassen, herunder arealer og byggeår for enebolig, rekkehus og boligblokk, bygningsstandard og hvorvidt det var foretatt energioppgradering av boligene. I følge Enova-rapporten er det foretatt en betydelig

⁶⁶ Bøeng, Ann Christin, et. al., 2014: *Kartlegging av oppvarmingsutstyr i husholdningene*. SSB-notat 2014/45. <https://www.ssb.no/energi-og-industri/artikler-og-publikasjoner/attachment/211307?ts=14a38e530c0> ISBN 978-82-537-9053-4

⁶⁷ Magnussen, Ingrid, et. al., 2016: *Varmepumper i energisystemet. Status og muligheter*. NVE-rapport 60-2016. http://publikasjoner.nve.no/rapport/2016/rapport2016_60.pdf ISBN 978-82-410-1513-7

energirenovering av boligmassen, spesielt de siste tiårene. 52 % av det samlede boligarealet hadde gjennomgått ett eller flere energirenoveringstiltak i 2010. I underkant av 50 % av boligbyggene var energirenovert. Det årlige energieffektiviseringspotensialet for lønnsomme enkelttiltak ble samlet estimert til 2,4 TWh. Dette omfattet i hovedsak installasjon av luft-luft-varmepumper som var lønnsomt for de fleste småhus og eneboliger, gitt at spareeffekten ikke tas ut i økt komfortnivå. Effektiviseringspotensialet for installasjon av varmepumper i boligmassen ble anslått til ca. 2,5 TWh⁶⁸.

Enova har undersøkt omfanget av rehabilitering og energioppgradering i boligmassen. En rapport fra 2015 viste at færre enn halvparten av alle boliger som rehabiliteres, samtidig blir energioppgradert. I følge denne rapporten representerer den betydelige andelen av boliger som rehabiliteres uten samtidig å energioppgraderes, potensielle lavhengende frukter i arbeidet med energieffektivisering i boliger⁶⁹.

9. Forutsetninger, antagelser og usikkerhet

Det vil være flere antagelser og usikkerhetsfaktorer i rapporten. Energisparepotensialet som skisseres, både per tiltak og aggregert til nasjonale tall, er grove anslag på hva som kan være mulig å effektivisere.

I det følgende er noen av de viktigste usikkerhetsfaktorene i denne rapporten kort beskrevet.

Gjennomsnittsbetraktninger

Vi vil basere oss på gjennomsnittsvurderinger av formålsdelt energibruk for ulike bygningstyper. Spesifikt energiforbruk og formålsdeling baserer seg i stor grad på utførte studier av NVE (yrkesbygg) eller statistikk fra Statistisk Sentralbyrå (boliger). Dette utgjør et vesentlig rammeverk for rapporten.

Videre tar vi utgangspunkt i standardiserte driftsbetingelser, hentet fra norsk standard NS 3031:2014 og teknisk spesifisering SN/TS 3031:2016. I virkeligheten er det store variasjoner mellom forskjellige bygninger når det gjelder formålsdelt energibruk, driftsbetingelser, klimatiske forhold, etc. Det finnes lite informasjon mht. effekten av rehabiliteringer og historiske oppgraderinger, blant annet mht. hvilke U-verdier som er representative for eksisterende bygninger. Bruk av gjennomsnittsbetraktninger som representative for hele bygningsmassen representerer altså en stor usikkerhet. Det er vanskelig å si hvordan dette vil påvirke resultatene da en slik generalisering kan føre til både for høye og for lave anslag for energisparepotensialer. For eksempel vil bruk av for lave ventilasjonsluftsmengder føre til at sparepotensialet ved å gjennomføre tiltak som forbedring av varmegjenvinningsgrad, behovsstyrt ventilasjon og forbedret også SPF-faktor blir for lavt. Tilsvarende vil sparepotensialet ved etterisolering av boliger bli estimert for høyt dersom det legges til grunn for dårlige U-verdier i de eldste boligene.

Omfang av gjennomførte tiltak

Det vil være stor usikkerhet knyttet til hvor stor andel av de eksisterende bygningene som allerede har gjennomført ulike tiltak. Dersom en høy andel av bygningene allerede har gjennomført et energitiltak

⁶⁸ Haarberg, Karl Johan et. al., 2012: *Potensial- og barrierestudie - Energieffektivisering av norske boliger*. Rapport utført av Prognosesenteret i samarbeid med Entelligens på oppdrag for Enova. Enova rapport 2012:01.01

⁶⁹ Bjørnstad, Even, et. al., 2015: *Rehabilitering og energioppgradering av boliger. Drøfting av begreper og måling av omfang*. Enova rapport. <http://www.mynewsdesk.com/no/enova-sf/documents/rehabilitering-og-energioppgradering-av-boliger-58726>

vil det nasjonale sparepotensialet bli lavere. For eksempel vil energisparepotensialet ved installasjon av varmpumper bli lavere i takt med at stadig større andel av bygningene har installert varmpumper.

I denne rapporten har vi tatt utgangspunkt i tidligere undersøkelser i regi av Statistisk Sentralbyrå mht. kartlegging av oppvarmingsutstyr, ventilasjonsløsninger og andre gjennomførte energiltak. Disse undersøkelsene er ikke oppdaterte, og vil har supplert informasjonen med andre rapporter og studier, samt informasjon fra enkelte bransjeaktører, for å gjøre vurderinger av utviklingen siden Statistisk Sentralbyrås undersøkelser ble utført. Vi har etterstrebet å gjøre relativt konservative vurderinger når vi har forsøkt å angi andelen av bygningene som skal ha utført et gitt energiltak. I Enovas potensial- og barrierestudie fra 2012 er det benyttet en metodikk ved å beskrive kvaliteter til bygninger avhengig av forskrift som bygningene ble oppført etter. Vi mener imidlertid at det for en rekke tiltak ikke vil gi et riktig bilde å basere seg på byggeår for å vurdere om et gitt energiltak er gjennomført eller ikke.

Energiltak som påvirker hverandre

En tredje usikkerhetsfaktor er at gjennomføring av noen tiltak i bygningsmassen vil påvirke effekten av andre tiltak. For eksempel vil etterisolering av en bolig påvirke effekten av å installere en luft-luft varmpumpe, fordi energibruken til oppvarming går ned. Tilsvarende kan utbytte av lysarmaturer til LED-belysning og automatikk for lys-styring føre til at varmetilskuddet i et bygg reduseres. Dette kan føre til at nødvendig energitilførsel til romoppvarming øker, slik at effekten av å installere varmpumper eller å etterisolere blir større. I bygninger med kjøling kan imidlertid LED-belysning føre til at kjølebehovet reduseres og at energispareeffekten av solavskjerming blir mindre enn beregnet. Et annet eksempel kan være at automatikk for styring av ventilasjonsluft vil redusere spareeffekten av forbedret varmegjenvinningsgrad. Dette betyr at effekten av tiltakene som beskrives i rapporten ikke kan summeres for å komme frem til et anslag på det samlede energisparepotensialet i eksisterende bygningsmasse. Effekten av energiltakene som er vurdert må sees isolert og gir et bilde av spareeffekten av hvert enkelt tiltak. Det samlede energisparepotensialet i eksisterende bygningsmasse vil trolig ligge lavere enn summen av sparepotensialet for hvert enkelt tiltak som er vurdert i rapporten.

Bygningsarealer

En fjerde usikkerhetsfaktor er anslag for arealer for ulike bygningskategorier, samt når bygningene er oppført og evt. rehabilitert. Vi har basert oss på Enovas potensial- og barrierestudier fra 2012, som ga et bilde på sammensetning av bygningsmassen i 2010, og justert for antatt utvikling de siste årene.

Generelt vil det være slik at dersom samlet areal for bygningsmassen er anslått for høyt vil også beregningene for energisparepotensialet gi et for høyt resultat. Det samme gjelder dersom andelen eldre bygninger anslås for lavt, da energibruken i eldre bygninger som regel vil antas å være høyere enn i mer moderne bygninger. Dette bildet er imidlertid sammensatt, og det er ikke gitt at et eldre yrkesbygg nødvendigvis bruker mer energi enn et yrkesbygg av nyere dato. Dette kan ha avhenge av drift, evt. rehabilitering og gjennomførte energiltak, behov for kjøling, etc. I denne rapporten har vi i stor grad benyttet gjennomsnittstall for formålsdelt energibruk. Bruk av gjennomsnittstall gir likevel heller ikke et rett bilde av sparepotensialet, fordi det vanligvis vil være slik at energibruken i bygninger der det er gjennomført energiltak er lavere enn i bygninger der det ikke er gjennomført tilsvarende tiltak.

En annen usikkerhetsfaktor mht. arealer er at det synes som om noen kategorier yrkesbygninger ikke er inkludert i Enovas potensial- og barrierestudie for yrkesbygninger, som danner utgangspunktet for arealberegningene i denne rapporten. Dette gjelder eksempelvis landbruks- og fiskeribbygg og fengsels- og beredskapsbygninger. Ved at ikke dette bygningsarealet inkluderes, vil energisparepotensialet i bygningsmassen estimeres for lavt. Det er også usikkerhet knyttet til hvordan ulike bygninger skal grupperes i de ulike bygningskategoriene som brukes i byggt teknisk forskrift og energimerkeordningen. Dette har betydning fordi estimatene for energisparepotensialer for en rekke av tiltakene som er vurdert tar utgangspunkt i det som er gjennomsnittlig formålsdelt energibruk for ulike bygningstyper.

Spesielt om forretningsbygg

Forretningsbygg er en slags samlekategori som favner mange ulike typer bygningstyper med til dels svært forskjellige karakteristikk. Det vil eksempelvis være stor forskjell på bygninger som kiosker, dagligvarebutikker, bensinstasjoner, kjøpesentre og øvrige forretningsbygg, både mht. energibruk, driftsbetingelser og hvilke energitiltak som er mest kostnadseffektive. I denne rapporten har vi forsøkt å skille mellom dagligvarebutikker, bensinstasjoner, kiosker, kjøpesentre og andre forretningsbygg, både basert på NVEs rapport om formålsdelt energibruk i forretningsbygg, samt egne vurderinger. Her ligger det imidlertid store usikkerheter og energibruk og tiltak innen forretningsbygg bør undersøkes nærmere, særlig ettersom forretningsbygg utgjør en stor andel av det samlede arealet for yrkesbygg.

Teoretiske beregninger

Til sist bør det nevnes at anslagene i rapporten er basert på teoretiske beregninger. I virkeligheten vil energibesparelsen være avhengig av hvordan byggene driftes, preferanser hos brukerne av byggene og adferd. For eksempel hjelper det lite med et energioppfølgingssystem dersom implementering av systemet ikke fører til at konkrete energitiltak iverksettes (systemet gir ingen energibesparelse i seg selv). Et annet eksempel kan være at en boligeier som installerer varmepumpe øker innetemperaturen eller tar i bruk rom som tidligere har vært sperret av i kalde perioder, slik at energibesparelsene blir lavere enn antatt. Tilsvarende betraktninger av såkalt rebound-effekt kan gjøres for andre energitiltak.

10. Energisparepotensialet i yrkesbygninger

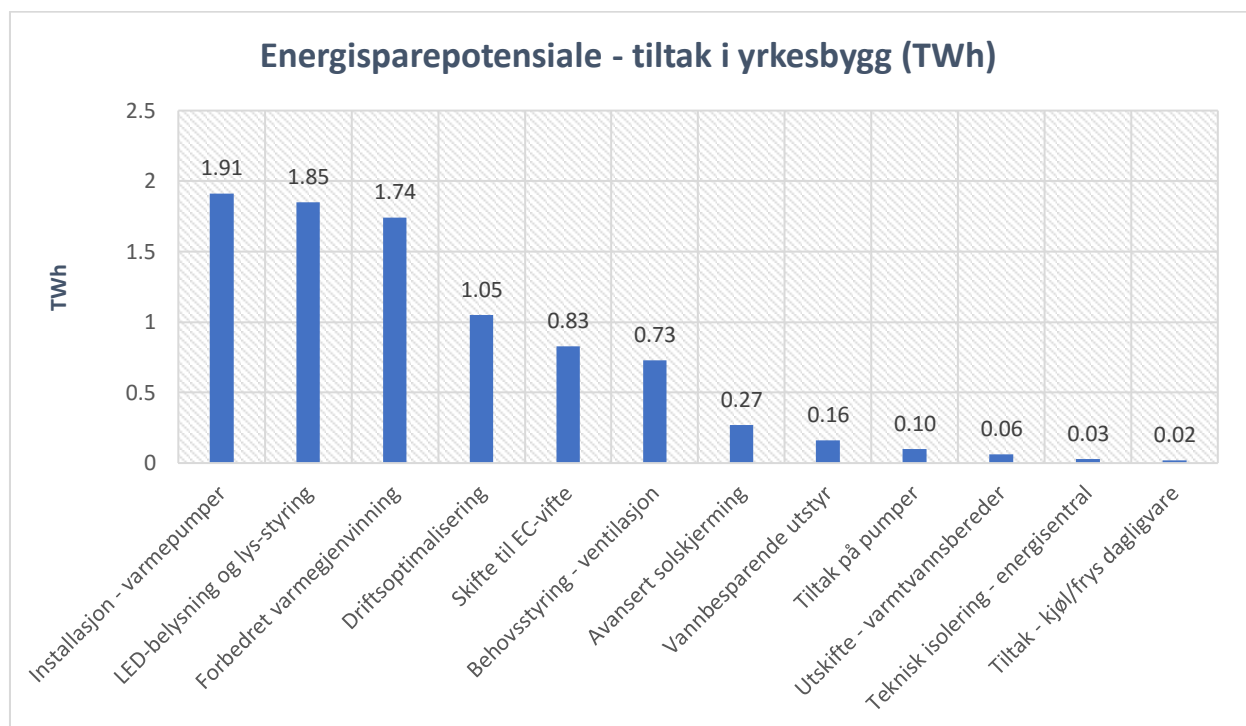
For yrkesbygninger har vi estimert potensialet for energisparing for følgende tiltak:

- Driftsoptimalisering.
- Installasjon av varmepumper.
- Forbedret varmegjenvinning av ventilasjonsluft.
- Behovsstyring av ventilasjonsluft.
- Skifte av ventilasjonsvifte (til direktdrevne EC-vifter).
- LED-belysning og automatisk lys-styring.
- Utbytte til vannbesparende utstyr/armaturer.
- Utbytte til nye og energieffektive varmtvannsberedere.
- Teknisk isolering av rør og deler i energisentral.
- Solavskjerming.
- Tiltak på pumper.
- Løkk og dører på kjøll-/frysanlegg i dagligvarebutikker m.m.

Forutsetninger og antagelser som ligger til grunn for beregningene finnes i vedlegg A.

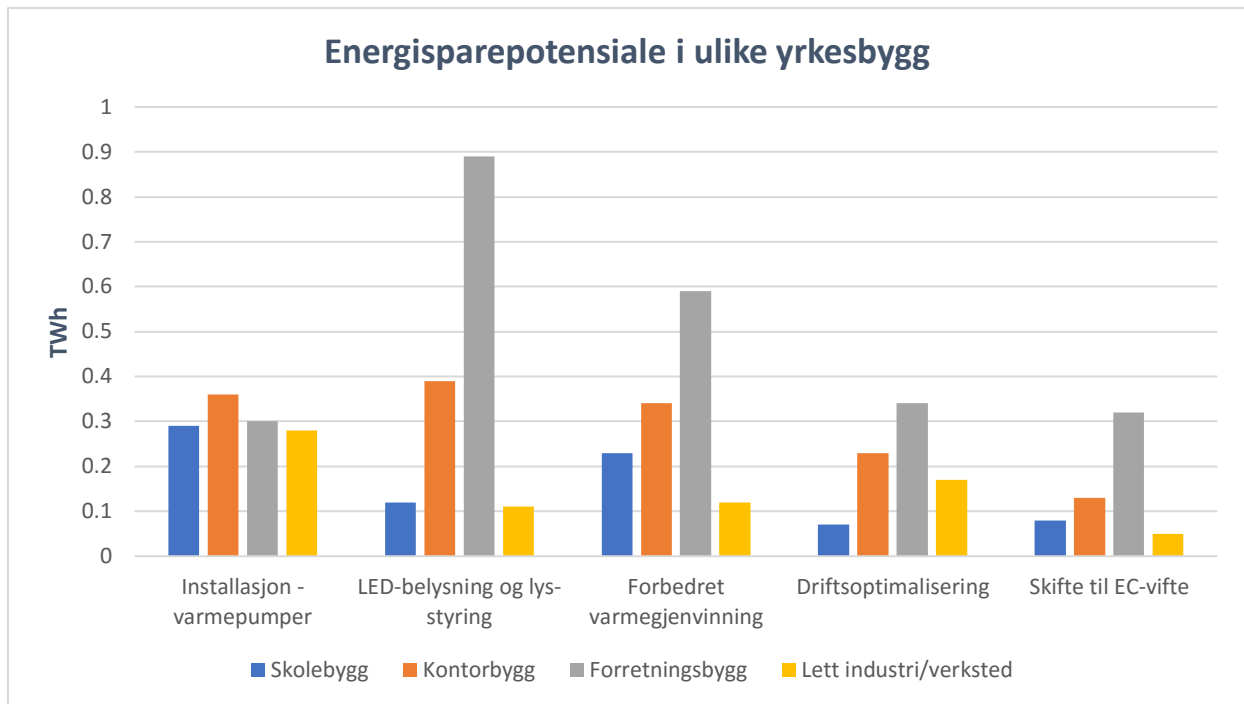
Energisparepotensialene som er beregnet gjelder kun for enkelttiltak. Det er ikke mulig å summere sparepotensialene for de ulike tiltakene for å komme frem til et samlet potensial for energisparing i yrkesbygg. Dette skyldes blant annet at effekten av ulike tiltakene påvirkes av hverandre. For eksempel blir energigevinsten av å installere varmepumpe mindre dersom det også utføres andre tiltak som gjør at romoppvarmingsbehovet reduseres. Resultatene viser energisparepotensialet som ligger i de ulike tiltakene, men kan ikke brukes til å si noe om det samlede potensialet for energisparing i yrkesbygg.

Figur 10 viser at tiltakene med høyest energisparepotensial i eksisterende yrkesbygg er installasjon av varmepumper, LED-belysning og lys-styring, forbedret varmegjenvinning av ventilasjonsluft, og driftsoptimalisering, herunder implementering av energioppfølgingssystem og bruk av SD-anlegg.



Figur 10: Energisparepotensial i yrkesbygg ved gjennomføring av ulike tiltak

Figur 11 viser energisparepotensialet fordelt på ulike kategorier yrkesbygninger, for de energitiltakene som er estimert til å ha de høyeste energisparepotensialene. Sparepotensialet vil blant annet være avhengig av tiltakenes anslåtte energieffekt, andel av bygningene som allerede har gjennomført de ulike tiltakene og bruksarealet som de ulike bygningskategoriene utgjør. Ikke overraskende er det i bygningskategorier som forretningsbygg, kontorbygg, skole og lett industri/verksted, som også utgjør de største bruksarealene, som kan vise til høyest energisparepotensial dersom tiltakene gjennomføres.



Figur 11: Energisparepotensial i ulike kategorier yrkesbygg

11. Energisparepotensialet i boliger

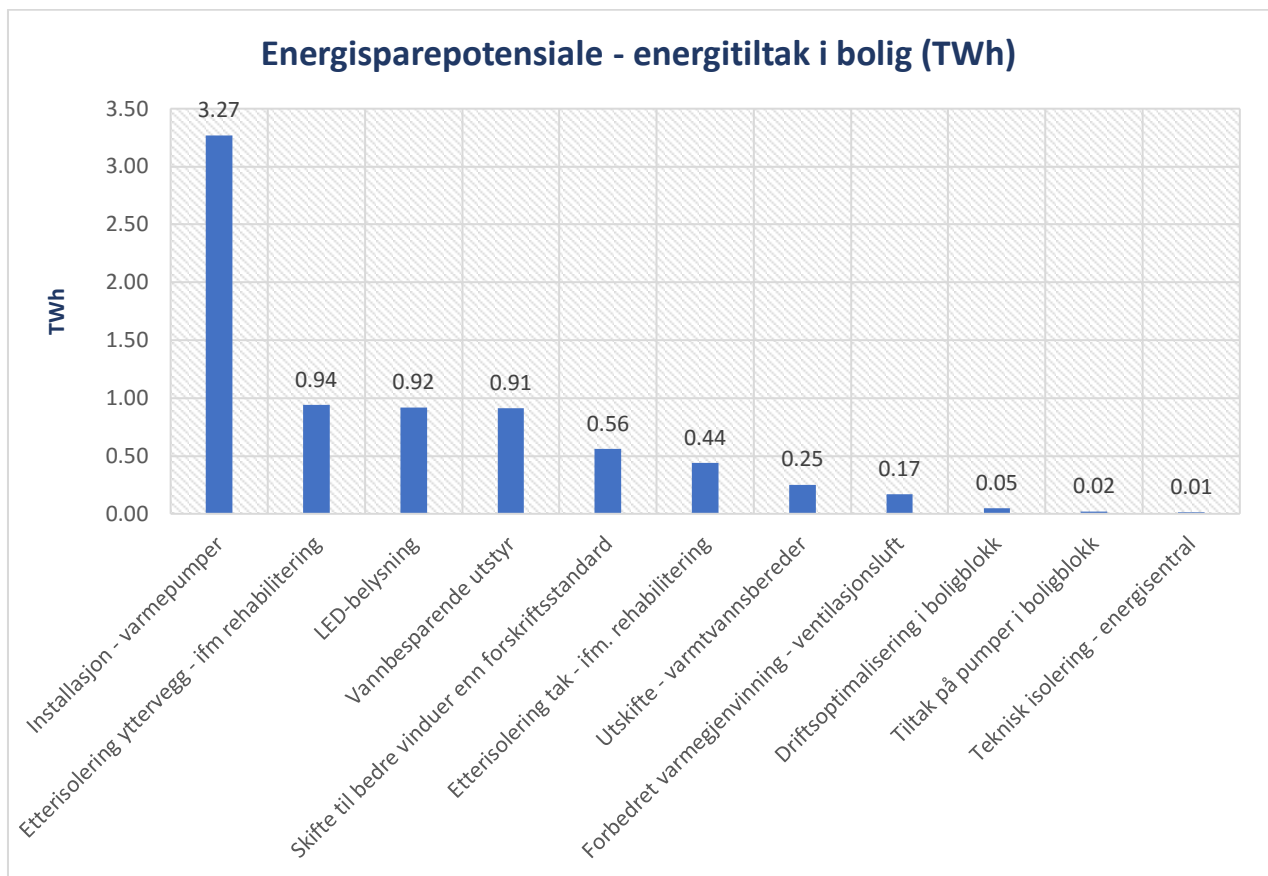
For boliger har vi estimert potensialet for energisparing for følgende tiltak:

- Driftsoptimalisering i boligblokk (med sentralvarme).
- Installasjon av varmepumper.
- Forbedret varmegjenvinning av ventilasjonsluft.
- LED-belysning.
- Utbytte til vannbesparende utstyr/armaturer.
- Utbytte til nye og energieffektive varmtvannsberedere.
- Teknisk isolering av rør og deler i energisentral.
- Tiltak på klimaskjerm når en bygningsdel uansett skal rehabiliteres/skiftes ut.
- Tiltak på pumper.

Forutsetninger og antagelser som ligger til grunn for våre beregninger finnes i vedlegg B.

Figur 12 viser sparepotensialet for energitiltakene i boliger som er vurdert. Figuren viser at tiltaket med det klart største energisparepotensialet er installasjon av varmepumper. Energisparepotensialet for installasjon av varmepumper er beregnet til om lag 3,3 TWh. Av dette utgjør installasjon av luft-luft varmepumpe i eneboliger og rekkehus 2,3 TWh. Tiltak som handler om energioppgradering av boligens klimaskjerm gir også store besparelser. I figur 12 er sparepotensialet for disse tiltakene beregnet ved å anta at alle boligeiere skal etterisolere til forskriftsnivå når de likevel gjennomfører nødvendig vedlikehold. Det er lagt til grunn dagens rehabiliteringstakt og en tidshorison på 20 år. Når det gjelder utskiftning av vinduer har vi regnet på effekten av at boligeiere velger vinduer med bedre U-verdi enn det som er forskriftsnivå (dvs. at det velges vinduer med U-verdi 0,8 W/m²K i stedet for U-verdi 1,2 W/m²K), når vinduene likevel skal skiftes. Dette er begrunnet med at vi mener at det aktive tiltaket er

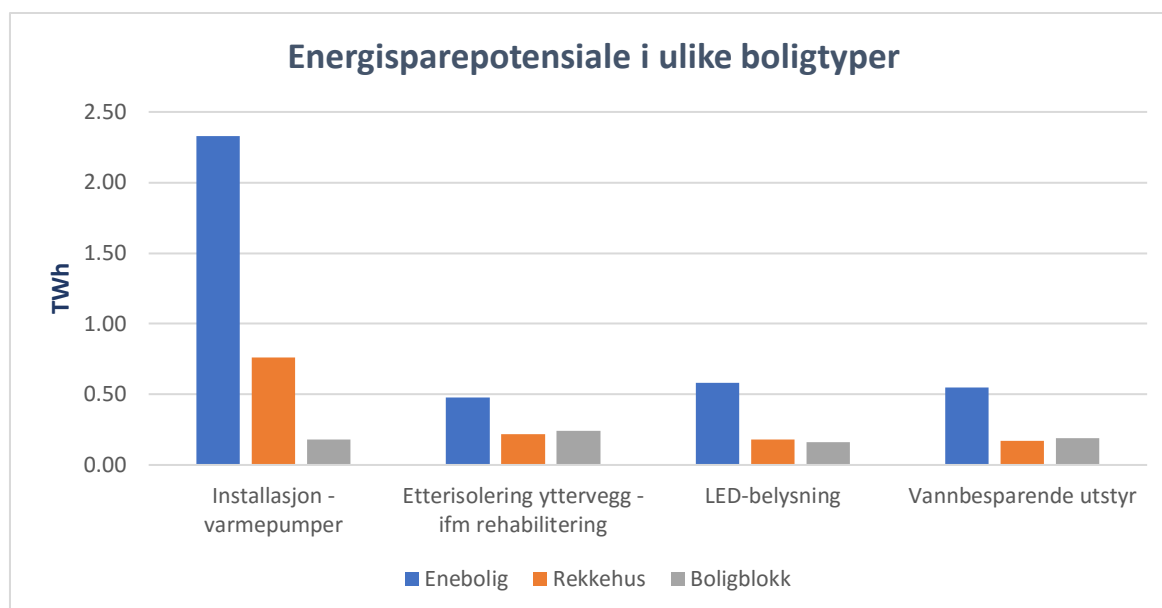
å velge vinduer som er bedre enn det som trolig likevel ville blitt benyttet ved utskiftningen. Dersom vi hadde regnet på den reelle energieffekten ved å skifte ut eldre vinduer (typisk U-verdi 2,4-2,8 W/m²K) ville sparepotensialet for dette tiltaket vært langt høyere enn det som kan leses ut av figur 12.



Figur 12: Energisparepotensial i boliger ved gjennomføring av ulike tiltak

Akkurat som for yrkesbygninger gjelder sparepotensialene som er beregnet kun for enkelttiltak. Det er ikke mulig å summere sparepotensialene for de ulike tiltakene for å komme frem til et samlet potensiale for energisparing i boliger. Resultatene gir en oversikt over potensialet som ligger i de ulike tiltakene, men kan ikke brukes til å si noe om det samlede potensialet for energisparing i boligmassen.

Figur 13 viser energisparepotensialet fordelt på enebolig, rekkehus og boligblokk, dersom de tiltakene med størst energieffekt gjennomføres. Akkurat som for yrkesbygninger vil sparepotensialet være avhengig av tiltakenes anslåtte energieffekt, andel av boligene som allerede har gjennomført de ulike tiltakene og ikke minst bruksarealet for de ulike boligene. Eneboliger utgjør mesteparten av det samlede boligarealet. Stort areal, i kombinasjon med det store energisparepotensialet ved installasjon av luft-luft varmepumpe, gjør at det er i eneboligene vi finner det største potensialet for energisparing.



Figur 13: Energisparepotensial i ulike boligtyper

I likhet med etterisolering av yttervegg gir også etterisolering av tak og utskifte til vinduer med bedre U-verdi gir relativt store energigevinster. Det er i eldre eneboliger med dårlig isolert klimaskjerm vi finner det største sparepotensialet. Hvis rehabiliteringstakten øker vil også effekten av slike tiltak øke.

12. Tiltak som ikke er vurdert

Flere tiltak enn de som er omtalt i kapittel 10 og 11 vil ha betydning for energibruken i bygninger. I denne rapporten har vi ikke beregnet energisparepotensialet ved å utføre tiltak som handler om:

- Mer energieffektive elektriske produkter og apparater (hvitvarer, pc, tv, etc.)
- (Automatikk for) senkning av innnetemperatur (og andre styringstiltak)
- Effekten av brukerinformasjon
- Energioppgradering av yrkesbygningers klimaskjerm, når det skal utføres nødvendig rehabilitering
- Utskifte av eldre vedovner
- Større oppgraderinger eller rehabiliteringer

Mer energieffektive produkter og apparater

Mht. mer energieffektive produkter og apparater har det skjedd betydelig utvikling de siste årene. Utviklingen drives i stor grad av EUs økodesigndirektiv⁷⁰. Dette vil påvirke energibruken i eksisterende bygninger fordi det i utgangspunktet ikke vil være nødvendig med like stor energibruk til elektriske produkter. En driver for økt energibruk fra elektriske produkter og apparater er at både husholdninger og næringsdrivende eier og benytter flere slike produkter enn tidligere. Dette trekker energibruken i motsatt retning. Produktene bruker altså mindre energi hver for seg, men økningen i antall produkter kan veie opp for dette. Uansett er det neppe ønsket om energisparing som fører til at et eldre elektrisk produkt byttes ut med et nytt og mer energieffektivt produkt. Dette gjelder både boliger og yrkesbygg.

⁷⁰ <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A32009L0125>

Automatikk for senkning av innetemperatur og andre styringstiltak

Vi har ikke vurdert senkning av innetemperatur som eget tiltak. Nattsenkning av innetemperatur, eller senkning av innetemperatur på dagtid kan være et effektivt tiltak for å redusere energibruken til romoppvarming, men er avhengig av brukeradferd og preferanser. Dette gjør det vanskelig å foreta gode beregninger av energieffekten som kan forventes. Det er også grunn til å tro at innetemperaturen heller vil økes enn senkes dersom det installeres varmepumper eller etterisoleres (se også kap. 13.3).

I en EU-forordning fra 2015 med økodesign-krav til oppvarmingsutstyr er det angitt en korreksjonsfaktor for å beregne hvor effektivt utstyret kan dekke det årlige oppvarmingsbehovet⁷¹. For boliger legges det til grunn at manuell styring av oppvarmingsutstyret kan øke effektiviteten med 1- 2 %. I praksis vil det si at den årlige energibruken til romoppvarming i en bolig kan reduseres tilsvarende (gitt at hele energibehovet til romoppvarming dekkes av denne oppvarmingsløsningen). Ved bruk av elektronisk styring basert på innetemperatur kan effektiviteten øke med opptil 7 %. Dersom det tas i bruk elektronisk styring basert på innetemperatur og eget ukeprogram kan effektiviteten øke med hele 9 %. I følge forordningen forventes det størst effektivitetsgevinst for elektrisk oppvarmingsutstyr⁷².

Sammenholdt med Statistisk Sentralbyrås forbruksundersøkelse fra 2014 peker dette i retning av at det kan ligge et betydelig potensiale for energisparing i bedre styring av innetemperatur i boliger da kun 16 % av husholdningene brukte automatisk styringssystem for å senke innetemperaturen på natt- og/eller dagtid, mens 56 % regulerte temperaturen manuelt⁷³. 23 % av husholdningene hadde heller ikke termostat på elektriske ovner. Når det gjelder andre styringstiltak, for eksempel å skru av lys i rom som ikke er i bruk, slå av teknisk utstyr når dette ikke trengs og redusere oppvarmingen i rom som ikke er i bruk, er muligens større deler av sparepotensialet alt tatt ut. I Statistisk Sentralbyrås undersøkelse fremgikk det at 93 % av husholdningene skrudde av lys i ubrukte rom. 80 % reduserte oppvarmingen.

Effekten av brukerinformasjon

Brukerinformasjon er ikke et energitiltak i seg selv, men kan motivere leietakere eller eiere av boliger og yrkesbygg til å gjennomføre tiltak som fører til redusert energibruk. For yrkesbygg kan effekten av god brukerinformasjon sies å være inkludert i tiltaket som handler om driftsoptimalisering. For eksempel er hensikten med å implementere et energioppfølgingssystem (EOS) i stor grad å få bedre oversikt over bygningens energibruk og således kunne identifisere tiltak som gir redusert energibruk. For boliger har vi ikke vurdert effekten av brukerinformasjon, med unntak av for boligblokker med felles energisentral (sentråvarme). Mange av de energitiltakene som det er naturlig å tenke seg at en boligeier vil gjennomføre på bakgrunn av brukerinformasjon vil være senkning av innetemperatur, skru av belysning og oppvarming i rom som ikke er i bruk, etc. Dette er omtalt ovenfor. Ny teknologi åpner muligheter for å gi informasjon til husholdningene på nye måter, for eksempel gjennom smarte strømmålere (AMS). Innen 1. januar 2019 skal alle norske strømkunder ha installert en slik strømmåler.

⁷¹ <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32015R1188&from=EN>. I forordningen er "Seasonal space heating energy efficiency" definert som "the ratio between the space heating demand, supplied by a local space heater and the annual energy consumption required to meet this demand, expressed in %" – se Annex I nr. 1.

⁷² Se tabell 7 i Annex III ovennevnte EU-forordning.

⁷³ Bøeng, Ann Christin, et. al., 2014: Kartlegging av oppvarmingsutstyr i husholdningene. SSB-notat 2014/45. <https://www.ssb.no/energi-og-industri/artikler-og-publikasjoner/attachment/211307?ts=14a38e530c0> ISBN 978-82-537-9053-4

I en rapport utført av VaasaETT for NVE ble det antydnet at det kan være realistisk å spare mellom 6 % og 11 % av det totale energiforbruket i en gjennomsnittsbolig ved bruk av AMS, avhengig av boligens størrelse. under forutsetning av at det optimale feedbackløsninger, ny teknologi og beste praksis⁷⁴. Enova delfinansierer nå sju pilotprosjekter i kraftbransjen som tester ut ulike teknologier, tjenester og forretningsmodeller for smarte løsninger (AMS) som kan motivere forbrukerne til å spare strøm⁷⁵.

Utskifte av eldre vedovner

I 2013 ble det brent ca. en million tonn ved i boliger i Norge, fordelt på om lag 2,1 millioner ildsteder. Ca. 700 000 ildsteder var nye rentbrennende vedovner, mens øvrige ildsteder var enten åpne peiser, eldre vedovner eller kombinerte ved- og parafinovner. 54 % av veden ble brent i rentbrennende vedovner med ny teknologi. Dette var 21 % mer enn i 2002, og 2 % mer enn i 2012⁷⁶. Selv om andelen av veden som brennes i nye rentbrennende vedovner øker, brennes altså fortsatt mye av veden i eldre vedovner med lav virkningsgrad. Vi har likevel ikke beregnet potensialet for energisparing ved å skifte ut disse vedovnene. Dette skyldes at blant annet at det faktisk ville gitt enda større energibesparelser å ikke fyre med ved, men heller benytte elektrisk ovn o.l. til å dekke oppvarmingsbehovet. Dessuten vil den økningen som forventes mht. installasjon av varmepumper i boliger trolig føre til at nedgangen i bruken av ved til romoppvarming fortsetter. På den andre siden er det liten tvil om at utskifte til nye rentbrennende vedovner gir store energibesparelser sammenlignet med bruk av eldre vedovner, og at dette kan være et egnet tiltak for få til reduksjon av energibruken til oppvarming i eksisterende boliger.

Energioppgradering av yrkesbygningers klimaskjerm, når det skal utføres nødvendig rehabilitering

Akkurat som for boliger kan det være et kostnadseffektivt tiltak å energioppgradere bygningsdeler som yttervegg, tak, vindu, etc. i forbindelse med at det gjennomføres nødvendige rehabiliteringsarbeider. Dette medfører også normalt en oppgradering av mer langsiktige bygningskvaliteter. Vi har imidlertid ikke beregnet potensialet for energisparing av slike tiltak for yrkesbygg. Dette skyldes blant annet at vi, i motsetning til for boliger, ikke har funnet god informasjon om rehabiliteringsrate for ulike yrkesbygg, samt hvor stor andel av rehabiliteringene som alt omfatter energioppgradering av klimaskjermen. I tillegg er det stor usikkerhet knyttet til isolasjonsegenskapene til eksisterende eldre yrkesbygg. Det har ikke ligget innenfor rammene av dette prosjektet å fremskaffe gode inndata knyttet til dette. Typiske energibesparelser (kWh/m²) ved energioppgradering av klimaskjerm i ulike yrkesbygg kan finnes i Enovas potensial- og barrierestudie (bakgrunnsrapport - næringsbygg, vedlegg D2)⁷⁷.

Større rehabiliteringer

I denne rapporten har vi vurdert energitiltak enkeltvis og ikke sett på potensialet for energisparing ved at gjennomføring av flere energitiltak sees i sammenheng og/eller at det utføres større rehabiliteringer av bygninger. Dette har betydning for energisparepotensialet, da ulike energitiltak vil påvirke effekten av hverandre. Det kan også ha betydning for lønnsomheten av å gjennomføre tiltakene da det kan

⁷⁴ Lewis, Philip, et. al., 2014: Smarte målere (AMS) og feedback. NVE-rapport nr. 72-2015.

<https://www.ntbinfo.no/data/attachments/00236/75130187-c73a-49fc-8d08-9bc786a953f0.pdf> ISSN 1501-2832

⁷⁵ <https://www.enova.no/privat/smar-te-strommalere-ams/pilotene--disse-gar-foran/>

⁷⁶ Aasestad, Kristin, 2014: Mindre ved gikk opp i røyk. SSB-artikkel. <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/artikler-og-publikasjoner/mindre-ved-gikk-opp-i-royk>

⁷⁷ Bøhn, Trond Ivar et. al., 2012: *Potensial- og barrierestudie - Energieffektivisering i norske næringsbygg. Bakgrunnsrapport.* Rapport utført av Multiconsult i samarbeid med Analyse og Strategi på oppdrag for Enova. Enova rapport 2012:01.2. <http://www.multiconsult.no/assets/EnergieffektiviseringI NorskeNæringsbygg.pdf>

være effektivt å utføre flere tiltak samtidig, når det likevel skal utføre rehabiliteringsarbeider. Vi vil her nøye oss med å fastslå at hvorvidt tiltak vurderes enkeltvis eller som én tiltakspakke vil påvirke resultatene både mht. forventede energibesparelser og lønnsomhet. Dette er omtalt i kapittel 13.5.

13. Diskusjon

13.1. Sammenligning med tidligere studier

Potensialstudier basert på Lavenergiutvalget (2009)

SINTEF Byggforsk anslo i 2009 at det ville være mulig å spare 12 TWh i bygningsmassen innen 2020⁷⁸. Estimaten i denne studien bygget videre på rapporten til Lavenergiutvalget som ble oppnevnt av Olje- og energidepartementet. Utvalget anslo at det var mulig å realisere sparepotensiale på 10 TWh innen 10 år⁷⁹. I disse rapportene ble det definert en enkel klassifisering for energibruk i nye og rehabiliterte boliger og yrkesbygg, basert på en grov vurdering av effekter av ulike tiltakspakker. Potensialet for energisparing ble beregnet ved å estimere hvor stor andel av nybygg og rehabiliteringer som ville kunne møte disse energinivåene. Det ble lagt til grunn en suksessiv utvikling mot stadig lavere energinivåer. I tillegg ble det antatt at mindre energitiltak på eksisterende boliger og yrkesbygg som ikke skal gjennomgå omfattende rehabilitering kunne redusere energibruken i byggene med ca. 20 %. Potensialet for energisparing i SINTEFs studie ble vurdert noe høyere enn i Lavenergiutvalgets rapport fordi det ble lagt til grunn en storstilt satsing på forbildeprosjekter, både for nybygg og rehabiliteringer.

Kommunal- og regionaldepartementets arbeidsgruppe for energieffektivisering i bygninger, leverte sin rapport i 2010, og mente at det kunne spares 10 TWh i bygningsmassen innen 2020⁸⁰. Arbeidsgruppen mente at minst 8 TWh/år ville måtte hentes ut i eksisterende bygningsmasse. Det ble her benyttet samme metodikk som i de to andre potensialstudiene, med noen andre inngangsdata og antagelser.

I en ny rapport fra SINTEF Byggforsk er det estimert et delmål om å redusere levert energi til drift av eksisterende boligbygg på hhv. 4,5 (av 10) TWh i 2020 og 15 (av 40) TWh i 2040. Dette er gjort ved å oppdatere modellene som ble brukt av Kommunal- og regionaldepartementets arbeidsgruppe. Den årlige rehabiliteringsraten er en viktig faktor for å nå målene om energisparing i eksisterende boliger⁸¹. Dersom rehabiliteringsraten for eldre boliger øker, blir det også enklere å nå målene om energisparing.

Det er store forskjeller i metodikk mellom de ovennevnte rapportene og denne potensialstudien og resultatene er ikke sammenlignbare. Resultatene i denne studien tyder på at det kan realiseres store besparelser i eksisterende bygningsmasse ved gjennomføring av relativt enkle tiltak. Men, tiltakene vurderes her individuelt, blant annet fordi det vil variere i hvor stor grad tiltakene allerede er gjennomført. I tillegg vil det være slik at energieffektiviseringstiltak ikke nødvendigvis gjennomføres

⁷⁸ Dokka, Tor Helge et. al., 2009: *Energieffektivisering i bygg – mye miljø for pengene*. SINTEF Byggforsk prosjektrapport 40/2009. <https://www.sintef.no/globalassets/upload/sb-prrapp-40.pdf> ISBN 978-82-536-1102-0

⁷⁹ Lavenergiutvalget, 2009: *Energieffektivisering*. Rapport utført på oppdrag for Olje- og energidepartementet. https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/oed/rapporter/oed_energieffektivisering_lavopp.pdf

⁸⁰ Kommunal- og regionaldepartementets arbeidsgruppe for energieffektivisering i bygg, 2010: *Energieffektivisering i bygg. En ambisiøs og realistisk plan mot 2040*. https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/krd/vedlegg/boby/rapporter/energieffektivisering_av_bygg_rapport_2010.pdf

⁸¹ Klinski, Michael, et. al., 2017: *Energioppgradering av norske boliger – Evaluering av scenariorapporter og forslag til virkemidler*. SINTEF Byggforsk: ZEB Project report 32 - 2017. <https://brage.bibsys.no/xmlui/handle/11250/2447647> ISBN 978-82-536-1534-9

på samme tid. Slik vi ser det er det heller ikke sannsynlig at en bolig- eller yrkesbygningseier vil vurdere gjennomføring av omfattende rehabilitering til svært lave energinivå som særlig kostnadseffektivt.

Vestlandsforsknings rapport om trender og drivere for energibruk i husholdningene (2011)

Vestlandsforskning pekte på både historisk viktige årsaker til reduksjon i den spesifikke energibruken til boliger og potensialet for ytterligere reduksjoner frem mot 2030⁸². I følge Vestlandsforsknings ville overgangen til sparepærer kunne bidra lite (1-2 %), og potensialet som gjelder reduksjon i fyringstap er trolig på det nærmeste brukt opp fordi det er lite oljefyring igjen (og det er lite trolig at vedfyringen vil reduseres). Vestlandsforskning mente at endringene som kunne bidra mest til redusert energibruk i boliger fremover var overgang til varmepumpe, fortsatt energioppgradering av klimaskjermen i eldre boliger, endring i vannvarming (skumisolerte beredere, sparedusj, installering av solfangere og varmegjenvinning på avløpsvannet) og mer energieffektive elektriske apparater. Disse vurderingene stemmer forholdsvis bra med estimatene i denne potensialstudien, men unntak av overgang til LED-belysning, der våre beregninger tyder på at dette kan utløse et stort energisparepotensiale i boliger.

Enovas potensial- og barrierestudie - bolig (2012)

I Enovas potensial- og barrierestudie for bygningsmassen fra 2012 ble det anslått et realistisk potensial for energieffektivisering i eksisterende boliger på 1,4-3 TWh⁸³. I bakgrunnsrapporten⁸⁴, som ble utført av Prognosesenteret og Entelligens, ble det tekniske energieffektiviseringspotensialet⁸⁵ estimert til ca. 13 TWh, eller ca. 30 % av den samlede energibruken. Det økonomisk lønnsomme potensialet⁸⁶ ble derimot estimert til ca. 2,4 TWh. Vi har ikke vurdert hva som er det økonomisk lønnsomme potensialet, men vurdert hvilken effekt det vil ha å gjennomføre de antatt mest kostnadseffektive tiltakene for å nå Stortingets mål om 10 TWh energisparing i eksisterende bygninger. Dette utgjør en vesentlig forskjell. Det er ikke gitt at et kostnadseffektivt tiltak for å nå et mål nødvendigvis vil være lønnsomt.

I Enovas potensialstudie fra 2012 ble installasjon av luft-til-luft-varmepumper vurdert som lønnsomt for de fleste småhus og eneboliger. Energieffektiviseringspotensialet for luft-luft varmepumper i boligmassen ble estimert til ca. 2,5 TWh. Dette er tilsvarende anslaget i denne potensialstudien, der effekten av å installere luft-luftvarmepumpe i eneboliger og rekkehus er estimert til om lag 2,3 TWh. Resultatene er imidlertid ikke sammenlignbare da det er benyttet ulike inndata i beregningene. Blant annet ble den effektive virkningsgraden for en varmepumpe fastsatt til 1,22 i Enovas rapport, basert på et vektet snitt av varmepumpe (20 %) og direkte elektrisitet (80 %) til oppvarming. Dette skiller seg fra forutsetning i våre beregninger om at en luft-luft varmepumpe normalt vil kunne dekke 50 % av energibehovet til romoppvarming i et småhus. Andelen eneboliger og rekkehus med installert varmepumpe har også økt siden 2012. Tiltak for å energioppgradere boligers klimaskjerm til TEK 10 nivå ble som regel ikke vurdert som lønnsomt i Enovas rapport. Vår potensialstudie viser imidlertid at det kan ligge et stort energipotensiale i å foreta energioppgradering av yttervegg, tak og vindu når det

⁸² Hille, John, et. al., 2012: *Trender og drivere for energibruk i norske husholdninger*. Rapport utført på av Vestlandsforskning på oppdrag fra NVE. Vestlandsforskningsrapport nr. 13/2011. http://www.vestforsk.no/sites/default/files/migrate_files/vf-rapport-13-2011-nve-energibruk-i-norske-husholdninger.pdf ISBN 978-82-428-0313-9

⁸³ Enova, 2012: *Potensial- og barrierestudie: Energieffektivisering i norske bygg*. Enova-rapport 2012:01

⁸⁴ Haarberg, Karl Johan et. al., 2012: *Potensial- og barrierestudie - Energieffektivisering av norske boliger. Bakgrunnsrapport*. Rapport utført av Prognosesenteret i samarbeid med Entelligens på oppdrag for Enova. Enova rapport 2012:01.1

⁸⁵ Teknisk potensial ble definert som at representative standardboliger oppgraderes til TEK10-nivå ved hjelp av tilgjengelig teknologi og uten å berøre bærende konstruksjoner.

⁸⁶ Beregnet utfra en forutsetning om at energiprisene er lavere enn kr. 1,4 og diskonteringsfaktoren over 4 %.

likevel skal gjennomføres nødvendige vedlikeholdsarbeider, gitt de samme beregningsforutsetningene knyttet til referanseboliger, isolasjonsevne, bygningsarealer, osv. som ble benyttet i Enova-rapporten.

Energitiltak knyttet til eksempelvis belysning, varmtvannsberedere, vannbesparende utstyr, forbedret varmegjenvinningsgrad i boliger med balansert ventilasjon, etc. ble ikke vurdert i Enovas rapport. Denne studien viser at slike energitiltak også vil kunne bidra til at målet om 10 TWh energisparing nås.

Enovas potensial- og barrierestudie - yrkesbygg (2012)

I Enovas potensial- og barrierestudie fra 2012 ble det anslått et realistisk potensial for energieffektivisering i eksisterende yrkesbygninger på 3-4,5 TWh⁸⁷. I bakgrunnsrapporten, som ble utført av Multiconsult, ble det estimert et økonomisk lønnsomt sparepotensiale på 8,7 TWh gitt en energipris på 0,8 kr/kWh⁸⁸. I denne rapporten ble de ulike bygningskategoriene delt inn etter byggeår. Potensialene for energieffektivisering ble beregnet ved at bygningene ble oppgradert til TEK10 nivå. Det ble angitt spesifikk energibesparelse (kWh/m²) for tiltakene (se Enova-rapportens vedlegg D2)

De tekniske kvalitetene til eksisterende bygningsmasse ble fastsatt utfra en vurdering av hva som var gjeldende forskriftskrav på tidspunktet da bygningene ble oppført. Men, det ble også tatt hensyn til naturlige utskiftninger og små oppgraderinger underveis. Videre ble det antatt at en viss prosentandel av de forskjellige bygningene fra de ulike byggeperiodene var rehabilitert og oppgradert til en bedre bygningsstandard. Det ble også forsøkt å ta hensyn til at energitiltak som gjennomføres påvirker effekten av andre tiltak. Dette ble gjort ved å beregne effekten av de ulike tiltakene i en viss rekkefølge.

I vår potensialstudie er effekten av de ulike tiltakene beregnet enkeltvis. Årsaken til dette er at det er uvisst i hvilken rekkefølge energitiltak i yrkesbygninger faktisk vil gjennomføres. I tillegg vil det være store forskjeller mht. hvilke tiltak som allerede er gjennomført i de ulike bygningene. Vi har forsøkt å ta høyde for dette ved å basere oss på tilgjengelig statistikk og kunnskap om hvor stor andel av de ulike bygningene som det kan forventes at allerede har gjennomført de ulike energieffektiviseringstiltakene.

NVEs rapport om varmepumper i energisystemet (2016)

I NVE-rapport 60-2016 om varmepumper i energisystemet ble det beregnet at varmepumper i Norge i 2015 produserte 15 TWh varme. Over året trakk varmepumpene 6,5 TWh elektrisitet og hentet ut 8,5 TWh omgivelsesvarme. Basert på historisk salgsstatistikk ble det estimert at varmeproduksjonen ville kunne øke til 18 TWh i 2030. Modellering av energisystemet viste da et teknisk-økonomisk potensiale på ca. 8 TWh varmeproduksjon av varmepumper som ikke ville bli utløst⁸⁹. Dersom hele potensialet ville vært utløst tilsier dette en samlet økning i varmeproduksjonen på 11 TWh på 15 år. Våre resultater tilsier at det vil være mulig å spare i størrelsesorden 5 TWh ved installasjon av varmepumper i bygningsmassen de neste 20 årene. Dersom vi regner med en omtrentlig gjennomsnittlig årsvarmefaktor på 2,0-2,5 tilsier dette en samlet økt varmeproduksjon på ca. 10 - 12 TWh. Resultatene er imidlertid ikke direkte sammenlignbare. Dette skyldes blant annet at NVEs rapport inkluderer bruk

⁸⁷ Enova, 2012: *Potensial- og barrierestudie: Energieffektivisering i norske bygg*. Enova-rapport 2012:01

⁸⁸ Bøhn, Trond Ivar et. al., 2012: *Potensial- og barrierestudie - Energieffektivisering i norske næringsbygg. Bakgrunnsrapport*. Rapport utført av Multiconsult i samarbeid med Analyse og Strategi på oppdrag for Enova. Enova rapport 2012:01.2.

<http://www.multiconsult.no/assets/EnergieffektiviseringI NorskeNæringsbygg.pdf>

⁸⁹ Magnussen, Ingrid, et. al., 2016: *Varmepumper i energisystemet*. NVE-rapport 60-2016.

http://publikasjoner.nve.no/rapport/2016/rapport2016_60.pdf ISBN 978-82-410-1513-7

av varmepumper i industrien. Dette utgjorde imidlertid langt mindre enn varmeproduksjonen fra bruk av varmepumper i husholdninger og yrkesbygninger. I tillegg inkluderer NVE også installasjon av bygninger som oppføres i fremtiden, mens det i våre estimater kun er vurdert potensialet i yrkesbygg og boliger oppført før 2010. Videre strekker tidshorisonten i denne potensialstudien seg 20 år frem i tid (2017-2037), mens NVEs rapport så på utviklingen fra 2015-2030. Det må imidlertid forventes at energisparepotensialet er høyest de første årene og avtar etterhvert som flere bygninger har foretatt installasjon av varmepumper. En siste forskjell mellom rapportene er at NVE legger til grunn at andelen bygninger med luft-luft varmepumper er noenlunde konstant eller sågar reduseres noe, og at økningen kommer i væskebaserte varmepumper. Dette kan være et sannsynlig utviklingstrekk for nye boliger og yrkesbygg. Vi mener imidlertid det er grunn til å tro at det i eksisterende boligmasse vil være mest aktuelt med luft-luft varmepumpe i overskuelig fremtid, på grunn av lavere investeringskostnader.

Statsbyggs Enøk-analyse

Statsbygg har foretatt en gjennomgang av sin eiendomsportefølje og vurdert hvilke tiltak som gir størst energibesparelse per krone investert. Blant de mest lønnsomme tiltakene med potensiale for å gi energibesparelser over 0,5 GWh i året var installasjon av varmepumper, bedre varmegjennvinningsgrad av ventilasjonsluft, behovsstyring av ventilasjon, driftsoptimalisering (herunder EOS, SD-anlegg, bedre innregulering av varmesystem, optimalisering av driftstider, etc.) og automatikk for styring av lys. Det var installasjon av varmepumpe, tiltak på ventilasjonssystemet (varmegjenvinning og behovsstyring) og driftsoptimalisering som ga de største energibesparelsene, samlet i størrelsesorden 25 GWh/år. Inntjeningstiden var lavest for tiltakene knyttet til driftsoptimalisering⁹⁰. Tiltakene som hadde størst sparepotensiale var altså mange av de samme i Statsbyggs ENØK-analyse og denne potensialstudien. Det var installasjon av varmepumper som hadde det aller største potensialet for energibesparelser i Statsbyggs portefølje. Men, det var tiltak på gamle ventilasjonsanlegg og bedre styring (SD-anlegg) som hadde høyest internrente (mest lønnsomt) av de tiltakene med relativt stort energisparepotensiale.

13.2. Styrker og svakheter

Anslag for energibruk og energisparepotensialer i bygningsmassen vil måtte basere seg på ulike antagelser og forutsetninger. Ideelt sett burde dette basere seg på en omfattende karakterisering av bygningsmassen, herunder arealer, spesifikk energibruk og gjennomførte energiltak for de fleste bygningstyper. Men dette vil være en altfor krevende oppgave innenfor rammen av dette prosjektet.

I denne rapporten har vi sett på effekten av å utføre energiltak enkeltvis. Dette kan gi et mer realistisk bilde av virkeligheten for en byggeier som står foran beslutningen om hvorvidt det skal investeres i ett eller flere energiltak. Det er sannsynlig at flertallet av bygnings- og boligeiere vil gjennomføre energiltak enkeltvis og ikke følge en bestemt rekkefølge for hvilke tiltak som skal gjennomføres først og sist. I tillegg vil det være store variasjonen i bygningsmassen mht. hvilke tiltak som allerede er gjennomført. Dette gjelder uavhengig av byggeår. Tilnærmingen i vår rapport gir altså et godt bilde av potensialet i enkeltvis tiltak, men dette kan ikke aggregeres til et samlet potensiale i bygningsmassen.

Vi har i denne rapporten basert oss på noe ulike fremgangsmåter ved beregning av sparepotensialet for de forskjellige tiltakene. For noen energiltak mener vi det vil gi det beste bildet å basere seg på

⁹⁰ Statsbygg, 2016: *EMTA – ENØK Analyse*. Statsbygg-notat om energiltak i eiendomsporteføljen.

erfaringstall for prosentvise reduksjoner av den formålsdelte energibruken til ulike bygningstyper. Eksempler på slike tiltak er driftsoptimalisering og bruk av vannbesparende utstyr. For andre typer tiltak som bedre varmegjenvinning og behovsstyring av ventilasjonsluft, forbedring av ulike boligers isolasjonsegenskaper (etterisolering, m.m.) har vi basert våre anslag på beregninger utført iht. NS 3031. Mht. tiltak som handler om installasjon av LED-belysning og lys-styring, utskifte av varmtvannsberedere, m.m. mener vi det har vært fornuftig å basere estimatene på informasjon fra leverandører av slike produkter. Slik vi ser det vil beregningsmetoder som er tilpasset tiltakene, som er svært ulike i sin natur, gi de beste estimatene på hvilket energisparepotensiale som kan forventes.

Tidligere potensialstudier for sparepotensialet i bygningsmassen har stor grad basert seg på teoretiske og standardiserte beregninger av energibruken i bygninger. Det er imidlertid velkjent at det gjerne er stor forskjell på teori og praksis mht. både energibruk i bygninger og energisparepotensial ved ulike tiltak. For enkelte energitiltak vil fremgangsmåten i denne rapporten, der vi baserer oss på tidligere undersøkelser av formålsdelt energibruk for ulike bygningskategorier, representere en alternativ tilnærming ved at analysene i større grad blir knyttet opp til bygningens virkelige og målte energibruk.

Blant svakhetene i rapporten er det viktig å trekke frem den store usikkerheten i beregningene. Dette gjelder både bygningsarealer, omfanget av hvorvidt energitiltakene allerede er gjennomført og ikke minst effekten av tiltakene, som vil variere fra bygning til bygning. Vi har tatt i bruk tilgjengelig statistikk, der dette finnes, for å begrunne våre forutsetninger knyttet til andelen av de ulike bygningskategoriene som allerede har gjennomført de forskjellige energitiltakene. Her er det, som tidligere nevnt, store usikkerheter og mangler i tilgjengelig statistikk. Vi har forsøkt å tydeliggjøre antagelser, forutsetninger og usikkerhet under hvert enkelt tiltak, slik at studien skal være mest mulig transparent og mulig å diskutere forutsetningene som er lagt til grunn. Dersom det fremskaffes bedre statistikk om bruken av beste tilgjengelige teknologi i bygningsmassen vil også anslagene for hvilket energisparepotensiale som forventes kunne oppdateres, og usikkerheten i beregningene reduseres.

En annen svakhet er at vi for en del tiltak har basert oss på tidligere rapporter mht. forventet effekt. Effekten av energitiltak vil variere avhengig av bygningens utforming, beliggenhet, tekniske egenskaper og isolasjonsstandard, og det er forskjellige forutsetninger som er lagt til grunn i tidligere rapporter. Vi registrerer også relativt store forskjeller mht. hvilke forutsetninger som er lagt til grunn for utforming og bygningstekniske egenskaper av ulike referansebygninger. Ett eksempel kan være referansebygningene for småhus og kontorbygg i hhv. Enovas potensial- og barrierestudie⁹¹ og DiBKs rapport om kostnadsoptimale energikrav⁹², som begge ble publisert i 2012. Forskjellige forutsetninger, og antagelser i ulike rapporter, gjør det vanskelig å sammenligne våre resultater med tidligere studier.

Endelig er det en svakhet ved rapporten at vi ikke har vurdert energisparepotensialet for bygninger som landbruks- og fiskeribygging, fritidsboliger, fengsels- og beredskapsbygninger, osv. Samlet utgjør landbruks- og fiskeribygging og fritidsboliger en relativt stor andel av antallet bygninger i Norge. Det er også store usikkerheter når det gjelder eksisterende bruksareal for bygninger som for eksempel lett industri/verksted. For flere bygningskategorier finnes det lite kunnskap om formålsdelt energibruk, bygningstekniske egenskaper og utførte energitiltak. Det er derfor viktig å peke på slike feilkilder.

⁹¹ Enova, 2012: *Potensial- og barrierestudie: Energieffektivisering i norske bygg*. Enova-rapport 2012:01

⁹² Almås, Anders-Johan, et. al., 2012: *Kostnadsoptimalitet – Energiregler i TEK*. Rapporten er utarbeidet av Multiconsult AS og SINTEF Byggforsk på oppdrag for Direktoratet for byggkvalitet. <https://dibk.no/globalassets/energi4/rapport-kostnadsoptimalitet.pdf>

13.3. Rebound-effekter

Rebound-effekter

I mange tilfeller leverer ikke ulike energiltak den besparelsen som tiltaket teknisk sett forventes å skulle bidra med. Rebound-effekter handler om utilsiktede konsekvenser som reduserer effekten av et tiltak. Det kan skilles mellom direkte og indirekte rebound-effekter⁹³:

- En direkte rebound-effekt innebærer at energiltak ikke gir den forventete effekten på forbruket. For eksempel kan bedre isolering eller installasjon av varmepumper føre til at husholdningene tar noe av energigevinsten ut i form av høyere innetemperatur eller at de varmer opp større arealer.
- En indirekte rebound-effekt har vi når besparelsene blir gjort på ett område, men gevinsten brukes opp på andre aktiviteter (bedre isolering av hus frigjør midler som benyttes til flere Syden-turer)
- Et tredje eksempel er at produkter som anvender energisparende teknologi kommer i tillegg til, og ikke i stedet for, gamle mer ineffektive produkter. For eksempel kan en forbruker som kjøper et nytt effektivt kjøleskap til kjøkkenet, sette det gamle kjøleskapet i drift i kjelleren eller på hytta.

En rebound-effekt medfører altså ikke nødvendigvis at effektiviteten av et energiltak reduseres, men snarere at en del av effektiviseringsgevinsten tas ut i økt komfort eller forbruk av andre energitjenester som representerer en nytteverdi for eier eller bruker av bygningene. Rebound-effekter medfører således ikke nødvendigvis et samfunnsøkonomisk tap, men er først og fremst en utfordring dersom det er fastsatt absolutte mål for energisparing. I dette tilfellet, der det er fastsatt et mål på 10 TWh energisparing i eksisterende bygningsmasse, kan derfor ulike rebound-effekter medføre utfordringer.

I en rapport utført av Thema consulting på oppdrag fra Husbanken ble det argumentert for at rebound-effekter er større ved tiltak rettet mot oppvarming enn mot elektriske apparater. Det kan komme av at energikostnaden knyttet til elektriske apparater utgjør en mindre del av kostnaden ved bruk av apparater og at inntektseffekten⁹⁴ er relativt liten. I tillegg er det vanskeligere å regulere energibruken i elektriske apparater. Videre mente forfatterne å finne støtte i litteraturen for at rebound-effekter er mindre for velstående husholdninger enn for mindre velstående husholdninger. Det kan henge sammen at velstående husholdninger i utgangspunktet har et "mettet" energiforbruk til oppvarming, dvs. et komfortnivå som er nær et ønsket nivå, inkludert oppvarming av hele boarealet. Mindre velstående husholdninger kan ha en innetemperatur som ligger lavere og varme opp mindre deler av arealet om vinteren. Dersom energitjenesten blir billigere, vil husholdningene kunne ta ut en større del av inntektseffekten gjennom høyere innetemperatur og oppvarming av en større del av arealet⁹⁵.

⁹³ Strandbakken, Pål, et. al., 2015: *Energisparende teknologier i norske husholdninger: Luft til luft varmepumper*. Rapport utført av Statens institutt for forbruksforskning (SIFO). Fagrapport 5-2015. Sluttrapport fra forskningsprosjektet "Energy Saving Technologies in Households: The Heat Pump" http://www.hioa.no/extension/hioa/design/hioa/images/sifo/files/file80361_fagrapport_5_2015_varmepumper.pdf ISBN 82-7063-455-7

⁹⁴ Det vil si at det regnes med at velstående husholdninger allerede bruker mer energi enn mindre velstående husholdninger, slik at evt. rebound-effekter blir mindre fremtredende hos grupper med høyt inntektsnivå/god økonomi.

⁹⁵ Tennbakk, Berit, et. al., 2013: *Rebound, prebound og lock-in ved energieffektivisering i boliger: Kunnskapsstatus og virkemiddelanalyse*. Rapport utført av Thema Consulting og Vista Analyse på oppdrag fra Husbanken. https://husbanken.no/bibliotek/bib_miljo/rebound_prebound_lockin/ ISBN nr. 978-82-93150-44-2

I en nyere artikkel publisert av forskere på NTNU og SINTEF Byggforsk vises det til at rebound-effekter, knyttet til forbrukeravhengige faktorer knyttet til for eksempel økt innetemperatur og komfort, kan gi langt lavere energisparing i bygningsmassen enn det gjennomføring av ulike tekniske tiltak skulle tilsi⁹⁶.

Eksempel på rebound-effekter - installasjon av varmepumpe

For bruk av luft-luft varmepumpe i husholdningene er det utført flere studier for å undersøke evt. rebound-effekter. Én viktig årsak til at norske husholdninger velger å kjøpe luft-luft varmepumpe er å spare penger. I flere studier er det imidlertid observert at den reelle energisparingen ikke er så stor som den teoretiske. Dette kan skyldes økning i innendørs komfort, (økt innetemperatur, større arealer som varmes opp og oppvarming skjer i flere av døgnets timer). I tillegg kan det være at teknologien brukes på feil eller uforutsette måter, som for eksempel til klestørking, eller at varmepumpen brukes til kjøling om sommeren (selv om dette trolig er mindre utbredt i Skandinavia enn i varmere land)⁹⁷.

Aalborg Universitet og Statens Byggeforskningsinstitut i Danmark har gjennomført studier som tyder på at 30 % av husholdningene øker innetemperaturen etter at de har installert varmepumpe. En analyse av måledata viser at en femtedel av den potensielle energisparingen ikke oppnås i praksis på grunn av endringer i oppvarmings- og komfortpraksiser⁹⁸. Statistisk Sentralbyrå har gjennomført undersøkelser som viser at husholdninger som eier varmepumper i snitt bruker tilnærmet like mye strøm som andre husholdninger. Dette kan skyldes rebound-effekter, men også at det i hovedsak er husholdninger med stort behov for oppvarming som har drevet veksten i andelen husholdninger med varmepumpe⁹⁹. Det er klare sammenhenger mellom innetemperatur og hva slags oppvarmingsutstyr husholdningene har. Husholdninger med varmepumper eller felles sentralfyr holder en høyere innetemperatur i snitt sammenlignet med øvrige husholdninger. I følge Statistisk Sentralbyrå holder for øvrig nesten halvparten av husholdningene i perioder en lavere temperatur enn det de synes er behagelig for å spare energi. Den allerede utstrakte bruken av redusert innetemperatur kan reise spørsmål om potensialet for ytterligere energibesparelser gjennom å redusere innetemperaturen¹⁰⁰.

13.4. Endringer i bygningsareal, bo- og bosetningsmønster

Én vesentlig faktor for energibruken i bygningsmassen er det samlede bygningsarealet. Dersom arealet øker vil også den samlede energibruken øke, selv om den spesifikke energibruken per m² reduseres. I Norge øker antallet bygninger. Dette gjelder boliger, yrkesbygninger og fritidsboliger¹⁰¹. Det er det en klar trend for alle boligtyper at den spesifikke energibruken (kWh/m²) er fallende. Dette skyldes at

⁹⁶ Sandberg, Nina, et. al., 2017: Using av segmented dynamic stock model for scenario analysis of future energy demand: The dwelling stock of Norway 2016-2050. *Energy and building*, 146, 220-232. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.04.016>

⁹⁷ Strandbakken, Pål, et. al., 2015: *Energisparende teknologier i norske husholdninger: Luft til luft varmepumper*. Rapport utført av Statens institutt for forbruksforskning (SIFO). Fagrapport 5-2015. Sluttrapport fra forskningsprosjektet "Energy Saving Technologies in Households: The Heat Pump" http://www.hioa.no/extension/hioa/design/hioa/images/sifo/files/file80361_fagrapport_5_2015_varmepumper.pdf ISBN 82-7063-455-7

⁹⁸ Christensen, Toke Haunstrup, et. al. (2011): *Varmepumper og elforbrug – Betydningen af ændrede komfortpraksisser*. SBI-rapport nr. 24-2011. Statens Byggeforskningsinstitut og Aalborg Universitet. <https://www.energiforskning.dk/node/2428>

⁹⁹ Bøeng, Ann Christin, et. al., 2014: *Kartlegging av oppvarmingsutstyr i husholdningene*. SSB-notat 2014/45. <https://www.ssb.no/energi-og-industri/artikler-og-publikasjoner/attachment/211307?ts=14a38e530c0> ISBN 978-82-537-9053-4

¹⁰⁰ Halvorsen, Bente, 2013: Vi fryser for å spare energi. Artikkel publisert i Økonomiske Analyser 2/2013. <https://www.ssb.no/energi-og-industri/artikler-og-publikasjoner/attachment/109882?ts=13e3bd85368>

¹⁰¹ <https://www.ssb.no/bygg-bolig-og-eiendom/statistikker/bygningsmasse/aar>

nye boliger er mer energieffektive enn gamle, og at eldre bygninger rehabiliteres til bedre standard. Samtidig viser statistikken at den totale energibruken i boligmassen har vært noenlunde stabil^{102,103}.

Et annet utviklingstrekk som vil føre til økt energibruk i boliger er at antallet husholdninger øker. Dette har sammenheng med at innbyggertallet i Norge øker og at det blir færre personer per husholdning. Fra 2006 til 2016 har antallet personer per privathusholdning gått ned fra 2,26 til 2,19. Antallet privathusholdninger har økt med ca. 300.000 i samme periode¹⁰⁴. Befolkningen har økt med over 12 % de siste 10 årene¹⁰⁵ og det er forventet videre økning¹⁰⁶. Det gir behov for flere boliger, noe som øker energibruken i bygningsmassen. Ett spørsmål ved vurderingen av hvordan det skal spares 10 TWh i eksisterende bygninger er derfor hvordan man skal ta høyde for at det kommer til nytt bygningsareal.

Andre faktorer som påvirker energibruken i bygningsmassen er utviklingen mht. hva slags bygninger som oppføres, rives og rehabiliteres og hvor i Norge veksten i bygningsmassen kommer. Eksempelvis viser bygningsstatistikken til Statistisk Sentralbyrå at det nå oppføres cirka like mange blokkleiligheter som småhus¹⁰⁷. Dette vil kunne være med på å redusere energibruken i boliger, gitt at dette fører til at arealbruken per person også reduseres. Her har utviklingen gått i motsatt retning de siste tiårene.

I følge Statistisk Sentralbyrå var det om lag 16 % som bodde trangt i 1980, det vil si alene på ett rom eller med færre beboelsesrom enn antall personer i husholdningen. 18 % bodde svært romslig, det vil si boligene hadde tre eller flere rom per husstandsmedlem. I 1991 hadde andelen som bodde trangt sunket til 8 %, mens andelen som bodde svært romslig var økt til 28 %¹⁰⁸. For 2015 viste statistikken at 7 % bodde trangt mens 32 % bodde svært romslig. Tallene gjelder som et snitt for husholdningene på landsbasis.

Andelen som bor trangt, har altså blitt redusert kraftig siden 1980 men holdt seg ganske stabil etter 1990. Ikke overraskende er trangboddhet først og fremst et byfenomen, mest på grunn av husholdnings- og boligsammensetningen man finner i byene sammenlignet med mindre kommuner. I Oslo bor 22 % av befolkningen, om lag 139 000 personer, trangt, og i Bergen, Trondheim og Tromsø bor 14–15 % av befolkningen trangt. Videre er det tydelig at store kommuner skiller seg ut mht. hvilken boligtype folk bor i. Spesielt gjelder dette Oslo, der 70 % av husholdningene bor i boligblokk og 10 % i annen bygningstype som leiligheter eller hybler. Også i Bærum, Bergen og Trondheim bor omtrent halvparten av husholdningene i boligblokk eller annen bygningstype. Siden dette oftere gjelder små enn store husholdninger, omfatter det likevel under halvparten av personene som er bosatt på disse stedene¹⁰⁹. Endringer i bosetningsmønstret vil altså ha betydning for energibruken i bygningsmassen. Per i dag fortsetter befolkningsveksten i de fem største tettstedene: Oslo, Bergen, Stavanger/Sandnes,

¹⁰² <https://www.ssb.no/energibalanse>

¹⁰³ Enova, 2016: Markedsutviklingen 2016 – Hovedtrender i Enovas satsningsområder. <http://www.mynewsdesk.com/no/enova-sf/documents/markedsutviklingen-2016-hovedtrender-i-enovas-satsningsomraader-60221>

¹⁰⁴ Statistisk Sentralbyrå: Tabell 10986 i Statistikkbanken. Tilgjengelig fra <https://www.ssb.no/familie/>

¹⁰⁵ <https://www.ssb.no/befolkning/statistikker/folkemengde/aar-per-1-januar>

¹⁰⁶ <https://www.ssb.no/befolkning/statistikker/folkfram>

¹⁰⁷ <https://www.ssb.no/bygg-bolig-og-eiendom/statistikker/boligstat>

¹⁰⁸ Sæther, Jan-Petter, 2010: *De fleste bor romslig i eide boliger*. Artikkel i Samfunnsspeilet 2010-5/6. <https://www.ssb.no/bygg-bolig-og-eiendom/artikler-og-publikasjoner/de-fleste-bor-romslig-i-eide-boliger> og Andersen, Arne, 2005: *Enda romsligere for de som bodde romslig fra før*. Artikkel i Samfunnsspeilet 2005/4. <http://www.ssb.no/bygg-bolig-og-eiendom/artikler-og-publikasjoner/enda-romsligere-for-dem-som-bodde-romslig-fra-for>

¹⁰⁹ <https://www.ssb.no/bygg-bolig-og-eiendom/statistikker/boforhold>

Trondheim og Drammen. Dersom befolkningen øker i byområder hvor det er vanligere å bo på mindre areal, og som har relativt høy gjennomsnittlig årstemperatur, vil dette isolert sett gi lavere energibruk.

13.5. Nytteeffekt av å se flere energiltak i sammenheng

I denne rapporten har vi vurdert energiltak i bygninger hver for seg. Men, det kan være formålstjenlig at flere energiltak utføres samtidig og sees i sammenheng. Total Concept er én metode for å kunne vurdere lønnsomme og ambisiøse energieffektiviseringstiltak i yrkesbygninger. Metoden ble utviklet som et samarbeid mellom den svenske energimyndigheten og 18 av de største yrkesbyggeierne i Sverige¹¹⁰. Total Concept tilbyr en metode og et finansielt verktøy som skal gi et godt beslutningsgrunnlag for investeringer i effektiviseringstiltak. For å komme fram til en riktig tiltakspakke blir både kostnadseffektive tiltak og dyrere tiltak tatt i betraktning. Hva som blir inkludert i tiltakspakken, bestemmes av beregnet internrente sammenlignet med investorenes krav til internrente. De mest lønnsomme tiltakene vil da kunne bære de minst lønnsomme tiltakene når hele tiltakspakken blir vurdert. Dette kan synliggjøre at det er fornuftig å gjennomføre flere tiltak, utover en vurdering av hvert enkelt tiltaks lønnsomhet. Det er etablert et nordeuropeisk samarbeidsprosjekt med deltakere fra Sverige, Norge, Finland, Estland og Danmark. Målet er å utvikle metoden og teste konseptet i nasjonale kontekster for så å implementere metoden i byggesektoren i de ulike landene¹¹¹.

SINTEF Byggforsk har utført vurderinger som viser at bruk av energisparekontrakter (EPC) for boligselskaper kan ha visse utfordringer, fordi effektivisering av tekniske anlegg som lys, varmtvann, romoppvarming og ventilasjon blir prioritert foran bygningsmessige tiltak, på grunn av bedre lønnsomhet. Dette er positivt i tilfeller der boligmassen er i god stand, men der boligmassen er i dårlig stand kan EPC-prosjektene kan stå i veien for større bygningsmessige tiltak¹¹². For boliger er det publisert en veileder om systematisk oppgradering av småhus¹¹³. Veilederen handler om trinnvis oppgradering av eneboliger fra seksti-, sytti- og åttitallet til et ambisiøst energinivå. Hensikten er å fordele investeringskostnadene over et større tidsrom. Når bygningskomponenter må utbedres eller skiftes ut, bør det vurderes å utnytte anledningen til å gjennomføre en større oppgradering av boligen.

13.6. Forslag til videre arbeid

Det vil være stor usikkerhet i estimatene for energisparepotensialet i bygningsmassen. Våre forslag til videre arbeid handler primært om å redusere denne usikkerheten. Statistisk Sentralbyrå utfører jevnlig undersøkelser rettet mot husholdninger. Forbruksundersøkelsen retter seg mot private husholdninger og har som formål å finne ut hva folk bruker pengene sine på, hvordan forbruket fordeler seg på ulike utgiftsposter som mat, klær og bolig, og hvordan dette endrer seg over tid. I forbindelse med denne undersøkelsen har det også vært hentet inn informasjon som er relevant for å kartlegge energitilstanden til boliger. Det kan være en mulighet at denne undersøkelsen suppleres med flere spørsmål som er relevante for å kartlegge energisparepotensialet i boliger, for eksempel hvorvidt boligene har nyere effektive varmtvannsbereidere, vannbesparende utstyr, LED-belysning, osv. For

¹¹⁰ <http://belok.se>

¹¹¹ <http://totalconcept.info>

¹¹² Klinski, Michael, 2015: *Energisparekontrakter ved oppgradering av boligblokker Hva kunne vært oppnådd i Myhrerengaprojektet – casestudie*. SINTEF Fag 15/2015. SBN 978-82-536-1446-5.

<https://www.sintefbok.no/Product.aspx?sectionId=0&productId=1049&categoryId=14>

¹¹³ Stenerud Skeie, Kristian et. al., 2014: *Energiplan - tre trinn for tre epoker*. Sintef Fag 25/2014. ISBN: 78-82-536-1402-1.

yrkesbygg har vi forstått det slik at Statistisk Sentralbyrå ikke lenger vil følge opp undersøkelsene om energibruk i bygninger fra tjenesteytende virksomhet fra 2011 og 2013. Dette er uheldig da dette gjør at det er vanskelig å etablere tidsserier som sier noe om utviklingen for gjennomføring av energitiltak over tid. Enova skal imidlertid iverksette et prosjekt for å utvikle en metodikk for overvåkingen av markedsutviklingen mht. EOS og andre energitiltak i yrkesbygninger. Utvikling og overvåking av indikatorer ifm. dette prosjektet kan gi bedre kunnskap om gjennomføring av energitiltak i yrkesbygg.

I tillegg bør det genereres mer kunnskap om formålsdelt energibruk i både boliger og yrkesbygninger. Slik vi skjønner det er tilgjengelig kunnskap basert på et relativt lite utvalg bygninger. Dessuten vil den gjennomsnittlige formålsdelte energibruken for ulike bygningskategorier endres over tid etter hvert som eldre bygninger rives eller rehabiliteres og det oppføres nye og mer energieffektive bygninger.

Forretningsbygg er en kategori som favner svært bredt, samtidig som slike bygninger utgjør en stor del av arealet og energibruken i bygningsmassen. Det bør vurderes å iverksette prosjekter som gir mer kunnskap om energibruken i forskjellige typer forretningsbygninger. Vi antar at også lett industri og verkstedsbygninger vil omfatte flere yrkesbygninger der det vil være store variasjoner mht. formålsdelt energibruk og byggtekniske egenskaper mer generelt. Det kan også vurderes å inkludere bygningstyper som benyttes av Statistisk Sentralbyrå i videre arbeid med energibruk i bygninger, selv om disse ikke inngår som egne bygningskategorier i byggteknisk forskrift eller energimerkeordningen. Eksempler på slike bygninger er restauranter, samferdselsbygninger, beredskapsbygninger og landbruksbygninger.

Slik vi har beskrevet tidligere er bruksarealene som legges til grunn for rapporter som potensialer for energisparing i eksisterende bygningsmasse usikre. Dette gjelder bruksarealer for bygningsmassen sett under ett, så vel som hvordan arealene fordeler seg mellom ulike bygningstyper. Også her kan det pekes på at forretningsbygninger og lett industri/verksted som bygningskategorier som favner bredt og der det ville være hensiktsmessig med mer kunnskap om hvordan arealet fordeler seg. Vi opplever eksempelvis at kunnskapsgrunlaget for hvor mye av bruksarealet til industrivirksomhet som fordeler seg mellom såkalt lett industri/verksted og energikrevende industri er beheftet med stor usikkerhet.

Videre anbefaler vi at det skaffes til veie mer kunnskap om hvilken effekt ulike energitiltak har i praksis, da dette vil kunne avvike fra teoretiske beregninger. Et slikt arbeid bør også vurdere betydningen av klimatiske forhold, geografisk plassering, hvordan ulike tiltak påvirker hverandre og rebound-effekter, der det er grunn til å tro at slike effekter påvirker de teoretisk beregnede energibesparelsene. På dette området har vi stort sett funnet tidligere litteratur som vurderer rebound-effekter ved tiltak som installasjon av varmepumper og forbedring av isolasjonsegenskaper. Det kan imidlertid være flere andre tiltak der det kan forventes rebound-effekter. Ett eksempel er installasjon av vannbesparende utstyr, i den grad det kan forventes at lavere vannmengde per minutt kan føre til lengre brukstid.

Endelig bør det sammenstilles resultater fra gjennomførte EPC-prosjekter med støtte fra Enova, samt andre prosjekter i privat og kommunal sektor der energiambisiøs rehabilitering har blitt gjennomført. Det bør undersøkes om resultater for energibesparelsene, kostnader, internrente og inntjeningsid stemmer overens med analysene som ble utført for byggherre/boligeier i forkant av prosjektet. Dette vil gi nyttig informasjon om hvilke energitiltak som kan forventes å gi mest energisparing per krone investert. I forlengelsen av dette kan det hentes inn flere erfaringer om hvordan ulike tiltakspakker kan

settes sammen slik at både de mest lønnsomme tiltakene og dyrere tiltak som gir oppgradert bygningskvalitet på lengre sikt tas i betraktning når det først skal gjennomføres rehabiliteringsarbeider.

14. Konklusjon

Vi har vurdert potensialet for energieffektivisering ved å gjennomføre et utvalg kostnadseffektive tiltak i eksisterende bygninger. Tiltakene er valgt ut med utgangspunkt i en tidligere utført litteraturstudie.

For eksisterende yrkesbygninger viser resultatene at følgende energitiltak gir størst energibesparelser:

- **Installasjon av varmepumper: 1,9 TWh**
- **LED-belysning og lysstyring: 1,8 TWh**
- **Forbedret varmegjenvinning av ventilasjonsluft: 1,7 TWh**
- **Driftsoptimalisering, herunder energioppfølgingsystem og bruk av SD-anlegg: 1,1 TWh**

For eksisterende boliger viser resultatene at følgende energitiltak gir størst energibesparelser:

- **Installasjon av varmepumper: 3,3 TWh**
- **Etterisolering av yttervegg, når det likevel utføres nødvendig rehabilitering: 0,9 TWh**
- **LED-belysning (og lysstyring): 0,9 TWh**
- **Utbytte til vannbesparende utstyr/armaturer: 0,9 TWh**

Resultatene indikerer energisparepotensialet ved enkelttiltak. Det er ikke mulig å legge sammen de estimerte terrawattimene for enkelttiltakene for å komme frem til et samlet energisparepotensial for hele bygningsmassen. Det skyldes at effekten av ett energitiltak kan påvirke effekten av et annet tiltak.

Energibruken i boliger er større enn energibruken i yrkesbygninger og energitiltak i husholdningene vil være viktig for å utløse potensialet for energisparing i eksisterende bygningsmasse. Småhus utgjør størsteparten av boligarealet. Installasjon av varmepumpe er det tiltaket med høyest sparepotensial, til tross for at ca. 50 % av eksisterende eneboliger, og en noe mindre andel av rekkehusene, allerede har installert varmepumpe. For eksisterende yrkesbygg er det forretninger, kontorer, skoler og lett industri/verksted som utgjør de største bruksarealene og dermed også mesteparten av energibruken i tjenesteytende sektor. Det medfører også at det er her vi finner de største energisparepotensialene.

Potensialstudien er basert på flere antagelser og usikkerhetsfaktorer, og resultatene er beheftet med stor usikkerhet. Energisparepotensialet som skisseres, både per tiltak og aggregert til nasjonale tall, er grove anslag på hva som kan være mulig å effektivisere. Blant de viktigste usikkerhetsfaktorene er i hvor stor grad energitiltakene allerede er gjennomført i bygningsmassen, anslag for bruksarealer, samt når bygningene er oppført og evt. rehabilitert, antatt gjennomsnittlig formålsdelt energibruk for ulike bygninger og at den reelle energibruken i bygninger avviker fra det som er mulig å beregne teoretisk. Eventuelle videre utredninger bør ta sikte på å redusere én eller flere av disse usikkerhetsfaktorene.

Andre viktige faktorer som påvirker energibruken i bygningsmassen er økt bruksareal, utviklingen mht. antall husholdninger og personer per husholdning, hvor i Norge veksten i bygningsmassen kommer, osv. Det er viktig å være klar over at energibruken i bygningsmassen kan fortsette på dagens nivå, eller sågar øke, selv om bygningsmassen effektiviseres og den spesifikke energibruken (kWh/m²) reduseres.

Vedlegg A - Energiltak i yrkesbygg

A.1 Driftoptimalisering

A.1.1 Forutsetninger

Energisparing ved driftoptimalisering

God drift av yrkesbygninger trekkes frem som et kostnadseffektivt energisparetiltak i flere studier. Med driftoptimalisering inkluderer vi her implementering av et energioppfølgingsystem (EOS), energiledelse, sentral driftskontroll (evt. detaljert manuell driftsoppfølging) og videre systemoptimalisering, noe som for eksempel kan omfatte tidsstyring av ventilasjon, varme og kjøling.

EOS er et hjelpemiddel for få oversikt over og kontrollere energibruken i yrkesbygg. Dette er ofte et første steg for å få oversikt over hvordan bygningsenergien brukes og gir indikasjoner på energisparepotensialer. Slik sett er etablering av EOS én av de viktigste enkeltaktivitetene for å få til en systematisk reduksjon av energibruken i eksisterende yrkesbygninger. Dette er dessuten systemer som krever små investeringer. Erfaringsmessig kan implementering av EOS gi energibesparelser på mellom 3–5 % ved at feil i drift og tekniske anlegg avdekkes eller ved at lys, tekniske installasjoner, etc. slås av når de ikke skal være i drift^{114,115}. Gjennom et EOS kan driftspersonellet avdekke og dokumentere høyt energiforbruk, utføre driftsforbedringer, etterprøve tiltak, osv. Implementering av EOS suppleres gjerne med å ta i bruk sentral driftsstyring (SD-anlegg) og videre systemoptimalisering.

Gjennom å ta i bruk SD-anlegg kan driften av tekniske anlegg forbedres og forenkles, og driften av systemene for ventilasjon, varme og kjøling kan optimaliseres. Tiltaket innebærer også opplæring av driftspersonell og utarbeidelse av drifts- og vedlikeholdsinstruksjoner. Sentral driftsstyring kan forhindre unødig drift utenfor ordinær driftstid, og at det er enkelt for driftspersonell å justere driftsbetingelser (f.eks. settpunkter og funksjoner) for anleggene slik at optimal drift oppnås. Vi regner med at ytterligere driftoptimalisering, gjennom sentral driftsstyring, i snitt kan redusere energibruken i større yrkesbygg med 3-5 %. Antagelsen er diskutert med flere eiendomsaktører og er på nivå med forutsetninger i andre rapporter. For yrkesbygg som har både EOS og sentral driftsstyring vil det normalt være noe energi å spare på å kontinuerlig finjustere og "trimme" de tekniske anleggene. Vi regner med at potensialet for ytterligere energisparing i yrkesbygg med både EOS og sentral driftsstyring kan være ca. 0,5 %.

Tabell A-1 viser hvilket potensiale for energisparing som er lagt til grunn mht. driftoptimalisering, herunder EOS, sentral driftskontroll/sentral driftsstyring og ytterligere trimming/driftoptimalisering.

¹¹⁴ Enova, 2004: *Energioppfølging i næringsbygg – en innføring*. Enova håndbok 2004:03.

https://www.enova.no/download?objectPath=upload_images/A6C0AB8383754474A36719C76CB5DFE1.pdf

¹¹⁵ Bøhn, Trond Ivar et. al., 2012: *Potensial- og barrierestudie - Energieffektivisering i norske næringsbygg. Bakgrunnsrapport*. Rapport utført av Multiconsult i samarbeid med Analyse og Strategi på oppdrag for Enova. Enova rapport 2012:01.2.

<http://www.multiconsult.no/assets/EnergieffektiviseringINorskeNæringsbygg.pdf>

Tabell A-1: Antatt energisparepotensiale ved driftsoptimalisering i yrkesbygninger

	Antatt potensiale for energisparing	Variasjon i beregningene
Yrkesbygninger uten verken EOS og sentral driftskontroll	8 %	+ - 2 %
Yrkesbygninger med EOS	4 %	+ - 1 %
Yrkesbygninger med sentral driftskontroll	4 %	+ - 1 %
Yrkesbygninger med både EOS og sentral driftskontroll	0,5 %	+ - 0,5 %

Andel yrkesbygninger med EOS og sentral driftsstyring

I Statistisk Sentralbyrås rapporter om energibruk i bygninger for tjenesteytende virksomhet fra 2013 og 2011 ble andelen av yrkesbygningene som hadde EOS og SD-anlegg kartlagt^{116,117}. Utbredelsen av EOS ble kartlagt for flere ulike bygningskategorier mens andelen med SD-anlegg kun ble oppgitt for alle yrkesbygningene samlet. Tabell A-2 viser antatt utbredelse av EOS og SD-anlegg i 2011 og 2008.

Tabell A-2: Utbredelse av EOS og SD-anlegg i yrkesbygninger [SSB-rapport 62/2013 og 17/2011]

	EOS i 2008	EOS i 2011	SD-anlegg i 2008*	SD-anlegg i 2011
Kontor	40 %	45 %	40 %	
Forretning	20 %	23 %	21 %	
Hotell		43 %		
Restaurant	25 %	10 %	12 %	
Skole	49 %**	52 %	34 %**	
Universitet/høyskole	44 %	85 %	46 %	
Museum/bibliotek		35 %		
Idrettsbygg	34 %	40 %	27 %	
Kulturhus	42 %	43 %	16 %	
Bygning for religiøse aktiviteter	26 %	13 %	5 %	
Sykehus	42 %	63 %	39 %	
Sykehjem	49 %	50 %	43 %	
Primærhelsebygning		27 %		
Beredskapsbygning	29 %	35 %	35 %	
Terminal- og ekspedisjonsbygg	7 %		12 %	
Yrkesbygg samlet	35 %	43 %	29 %	42 %

* I rapporten er det også egne tall for yrkesbygninger som delvis hadde innført SD-anlegg. Vi finner imidlertid ikke igjen dette alternativet på selve spørreskjemaet som ble benyttet i undersøkelsen.

** Inkl. barnehage

¹¹⁶ Abrahamsen A.S., Bergh M. og Fedoryshyn N, 2013: *Energibruk i bygninger for tjenesteytende virksomhet 2011*, SSB Rapport 62/2013.

<https://www.ssb.no/energi-og-industri/artikler-og-publikasjoner/attachment/154307?ts=142fa6ff6d8> ISBN 978-82-537-8829-6

¹¹⁷ Abrahamsen A.S. og Bergh M., 2011: *Energibruk i bygninger for tjenesteytende virksomhet 2008*, SSB Rapport 17/2011,

https://www.ssb.no/a/publikasjoner/pdf/rapp_201117/rapp_201117.pdf ISBN 978-82-537-8108-2

Vi regner med at utviklingen fra 2008-2011 mht. EOS vil være noenlunde representativ for årene 2011-2016. Unntaket er for skolebygninger, der vi antar en noe raskere utvikling enn for yrkesbygg for øvrig, fordi Enova har vært aktive mot offentlige byggherrer de siste årene, og stilt krav om energimåling og -oppfølging som en forutsetning for å få tildelt støtte midler. Mht. kjøpesentre og dagligvarebutikker tyder erfaringer fra bransjen på at disse bygningskategoriene har en langt høyere andel med EOS enn for andre typer forretningsbygg, og at de fleste kjøpesentre og dagligvareaktører i dag har EOS. Når det gjelder lett industri og verksteder antar vi at dette er mest sammenlignbart med terminal- og ekspedisjonsbygg. Her finnes det bare tall for 2008, men vi antar her tilsvarende utvikling de siste ti årene som for yrkesbygg for øvrig. For en liten andel yrkesbygninger antar vi at det ikke er aktuelt med EOS. For eksempel kan det finnes frittliggende kontor- og forretningsbygg i distriktene som har få tekniske installasjoner der det bør være enkelt å få oversikt over energibruken og utføre tiltak uten egne systemer. Vi regner med at ca. 5 % av yrkesbygningene har mindre nytte av egne systemer for energioppfølging, men unntak av dagligvare, kjøpesentre, sykehus og universiteter/høgskoler. Også for mindre yrkesbygninger som kiosk og bensinstasjoner regner vi med at det kan spares energi ved å implementere EOS og SD-anlegg. Dette kan både handle om spesifikke tiltak som for eksempel styring av varmluftsporter¹¹⁸ eller mer tradisjonelle energitiltak som optimalisering av ventilasjon, varme, etc.

Når det gjelder sentral driftskontroll er det vanskeligere å vurdere utviklingstrekkene de siste årene, særlig i og med at statistikken fra 2008 og 2011 ikke synes å være sammenlignbar, da rapporten fra 2008 også inneholder informasjon om bygninger som "delvis" har installert sentrale styringssystemer. Dersom disse bygningene inkluderes i rapporten fra 2008 viser resultatene at ca. 50 % av bygningene hadde installert styringssystemer, noe som ville indikert en prosentvis nedgang fra 2008 til 2011.

Normalt vil det være slik at det kommer på plass et system for energioppfølging og energiledelse (EOS) før et det investeres i SD-anlegg. Dette skyldes at kunnskap om bygningenes energibruk, tekniske systemer, etc. ofte er en forutsetning for å få til god driftsoptimalisering gjennom sentralstyring. Vi tar derfor utgangspunkt i at forholdet mellom yrkesbygninger med EOS og sentral driftsstyring i 2017 er om lag det samme som det var i 2008. Det er høy usikkerhet knyttet til en slik forutsetning. Men, det er rimelig å anta at interessen for å implementere EOS og investere i SD-anlegg til en viss grad følger hverandre. Tabell A-3 viser forutsetninger mht. andel yrkesbygninger med EOS og SD-anlegg i 2017.

¹¹⁸ Forretningsbygninger og butikker vil ofte ha åpne dører store deler av driftstiden og dermed et stort varmetap gjennom døråpninger. Installasjon av varmluftsporter over døråpningene gjør at varmetapet gjennom døråpningen reduseres. Energibruken kan reduseres gjennom å ta i bruk automatisk styring av varmluftsporten. Dette betyr at luftporten skrur seg på når inngangsdøren til butikken brukes, og skrur seg av igjen når døren lukkes (med mindre luftporten brukes som en del av varmesystemet – hvor den skrur seg av/på ved en gitt temperatur). Ved automatisk drift styres luftporten gjennom ulike sensorer. Gjennom å tolke åpningsfrekvensen for inngangsdøren vil luftporten gå allerede i det øyeblikket døren åpnes, slik at varmetapet gjennom døren minimeres. Luftporten kan også styres slik at den ikke skrur seg på i perioder når det kun er små temperaturforskjeller mellom sonene i butikken. I tillegg kan automatisk styring redusere energibruk til kjøling om sommeren, ved at nedkjølt inneluft ikke siver ut til omgivelsene.

Tabell A-3: Antatt andel av yrkesbygninger med EOS og SD-anlegg i 2017

	EOS	SD-anlegg	Kommentar
Barnehage	58 %	40 %	
Skole	70 %	49 %	<ul style="list-style-type: none"> • Antar noe raskere utvikling mht. EOS enn for yrkesbygg for øvrig
Kontor	55 %	55 %	
Universitet/Høyskole	95 %	56 %	<ul style="list-style-type: none"> • Utviklingen fra 2008-2011 skulle tilsi at 100 % hadde EOS i 2017. Vi legger til grunn 95 %.
Sykehus	90 %	84 %	<ul style="list-style-type: none"> • Utviklingen fra 2008-2011 skulle tilsi at 100 % hadde EOS i 2017. Vi legger til grunn 90 %.
Sykehjem	52 %	46 %	
Kjøpesentre	90 %	90 %	<ul style="list-style-type: none"> • Basert på dialog med bransjen.
Dagligvarebutikk	90 %	90 %	<ul style="list-style-type: none"> • Basert på dialog med bransjen.
Forretning	29 %		<ul style="list-style-type: none"> • Samme nivå for bensinstasjon, kiosk og øvrige butikker.
Hotell	50 %	24 %	<ul style="list-style-type: none"> • Antar at hotell også lå høyere enn restaurant i 2008, slik at utviklingstakten er noe lavere.
Idrettsbygg	52 %	41 %	
Kulturbygg	45 %	17 %	
Lettindustri/ verksted	20 %	25 %	<ul style="list-style-type: none"> • Antar sammenlignbart med ekspedisjons- og terminalbygg, og lavere utviklingstakt for EOS/SD enn yrkesbygg for øvrig.

Det kan også være yrkesbygninger som har systemer for sentral driftsstyring uten å ha EOS, på samme måte som det finnes yrkesbygninger med EOS, men uten systemer for sentral samkjøring av de tekniske anleggene. Vi vil legge til grunn at 90 % av byggene med sentral driftskontroll også har EOS, forutsatt at andelen av yrkesbyggene som har EOS er høyere enn andelen med sentral driftskontroll.

Denne forutsetningen gjelder for alle bygningskategoriene, unntatt lett industri/verksted. Her legger vi til grunn at bygningene med EOS også har et system for sentral driftskontroll, og at en viss andel (ca. 5 %) kun har installert automatikk for å styre drift av varme, kjøle og ventilasjonssystemer i bygget.

Tabell A-4 viser beregningsforutsetninger mht. estimater for arealer, der det skal være foretatt ett eller flere tiltak for driftsoptimalisering i yrkesbygningene. I beregningene har vi variert andelen uten verken EOS eller sentraldriftskontroll med pluss minus 10 % på bekostning av andelen med begge tiltakene.

Tabell A-4: Beregningsforutsetninger – fordeling EOS og sentral driftsstyring (SD) i yrkesbygninger

	Uten verken EOS eller SD	Med EOS Uten SD	Med SD, Uten EOS	Både EOS/SD	Ikke aktuelt
Barnehage	33 %	22 %	4 %	36 %	5 %
Skole	20 %	26 %	5 %	44 %	5 %
Kontor	34 %	12 %	12 %	49 %	5 %
Universitet/ Høyskole	-	44 %	6 %	50 %	-
Sykehus	2 %	15 %	8 %	75 %	-
Sykehjem	38 %	11 %	5 %	41 %	5 %
Kjøpesentre	1 %	9 %	9 %	81 %	-
Dagligvare	1 %	9 %	9 %	81 %	-
Forretning	63 %	3 %	3 %	26 %	5 %
Hotell	43 %	28 %	2 %	22 %	5 %
Idrettsbygg	39 %	15 %	4 %	37 %	5 %
Kulturbygg	48 %	30 %	2 %	15 %	5 %
Lettindustri/ verksted	70 %	-	5	20 %	5 %

A.2.2 Resultater

Beregningene viser at driftsoptimalisering i yrkesbygninger kan bidra med ca. 1,05 TWh. Det desidert største sparepotensialet finnes i yrkesbygninger som ikke har verken EOS eller sentral driftsstyring (for eksempel SD-anlegg). Sparepotensialet ved driftsoptimalisering i disse bygningene utgjør over 0,8 TWh alene. Videre er det følgende bygningskategoriene som bidrar mest til det samlede sparepotensialet:

- Forretningsbygg (eksl. dagligvarebutikker og kjøpesentre): 0,26 TWh
- Kontorbygg: 0,23 TWh
- Lett industri/verksted: 0,17 TWh
- Skole 0,07 TWh
- Hotell: 0,07 TWh
- Sykehjem: 0,06 TWh

Dersom vi endrer inndataene i beregningene med prosentvis energisparing (jf. tabell A-1) samt varierer anslagene for andelen bygninger uten verken EOS eller sentraldriftskontroll med pluss minus 10 % på bekostning av andelen med begge tiltakene viser beregningene et sparepotensiale på mellom 1,53 TWh (høy) og 0,65 TWh (lav). Den største usikkerhetsfaktoren er hvor stor andel som allerede har EOS eller sentral driftskontroll, og vårt regnestykke vil være sensitivt for endringer i inndataene mht. dette.

A.2 Installasjon av varmepumpe

A.2.1 Forutsetninger

Areal – yrkesbygg der installasjon av varmepumpe kan være aktuelt

Varmepumper bidrar til effektiv energiutnyttelse, særlig til varmeformål. Varmepumper har de siste 10-15 årene hatt økende utbredelse og spiller i dag en viktig rolle i det norske energi- og kraftsystemet.

For eksisterende yrkesbygg oppført etter 2010 er det trolig mindre aktuelt å installere varmepumper, da det ble innført et eget krav til energiforsyning i byggteknisk forskrift i 2007. Vi legger til grunn at bygninger oppført etter 2010 sannsynligvis enten allerede vil ha installert varmepumpe, eller ha andre varmeløsninger som gjør varmepumpe mindre effektivt. For å finne frem til et estimat for bruksareal for yrkesbygninger der installasjon av varmepumpe kan være aktuelt, tas det derfor utgangspunkt i yrkesbygninger oppført før året 2010 (dvs. oppført iht. TEK 97), justert for avgangsrate. I tillegg har vi justert for at det en viss andel yrkesbygg rehabiliteres hvert år. Vi antar at rehabiliteringsraten er noenlunde lik for alle yrkesbygninger, og setter denne til 1 % i året. I våre beregninger er det da lagt til grunn at varmepumper allerede vil være installert som en del av rehabiliteringer som er gjennomført etter 2010, der i de tilfellene der dette er et kostnadseffektivt tiltak. Det kan også være tilfeller der rehabiliteringen reduserer bygningenes varmebehov og således gjør installasjon av varmepumpe mindre effektivt. Tabell A-5 viser beregningsforutsetninger mht. estimert bygningsareal i 2017 der vi mener installasjon av varmepumpe i utgangspunktet bør kunne være et kostnadseffektivt energitiltak.

Tabell A-5: Areal for yrkesbygninger der varmepumper i utgangspunktet bør kunne være aktuelt.

	<i>Areal i 2010</i>	<i>Avgangsrate</i>	<i>Rehabiliteringsrate</i>	<i>Aktuelt areal i 2017</i>
Barnehage	1,3 mill. m ²	1,1 %	1 %	1,1 mill. m ²
Skole	13,9 mill. m ²	1,5 %	1 %	11,9 mill. m ²
Kontor	26,8 mill. m ²	0,8 %	1 %	24,0 mill. m ²
Universitet/ høgskole	2,4 mill. m ²	0,8 %	1 %	2,2 mill. m ²
Sykehus	4,8 mill. m ²	0,7 %	1 %	4,3 mill. m ²
Sykehjem	5,2 mill. m ²	0,7 %	1 %	4,7 mill. m ²
Forretning *	30,4 mill. m ²	0,8 %	1 %	27,5 mill. m ²
Hotell	5,7 mill. m ²	0,8 %	1 %	5,1 mill. m ²
Idrettsbygg	2,3 mill. m ²	0,9 %	1 %	2,1 mill. m ²
Kulturbygg	2,9 mill. m ²	0,4 %	1 %	2,7 mill. m ²
Lettindustri/ verksted	9,7 mill. m ²	0,9 %	1 %	8,7 mill. m ²

* Inkl. kjøpesenter, dagligvarebutikk, kiosk og bensinstasjon. Det er lagt til grunn et bruksareal for kjøpesenter på noe over 5 millioner m² i 2010, basert på Senterboken 2013, og at svært lite av dette bruksarealet er revet.

Tallene for areal for yrkesbygninger i 2010 hentet fra Enovas potensial- og barrierestudie fra 2012, mens avgangsraten basert på Statistisk Sentralbyrås snitt for ulike bygningskategorier de siste årene.

Andel bygninger med sentralfyr og installert varmepumpe

Energisparepotensialet som kan utløses i eksisterende yrkesbygninger ved å installere varmepumpe er avhengig av andelen bygninger som allerede har installert varmepumpe. Vi antar at væskebaserte varmepumpeløsninger i utgangspunktet vil erstatte andre typer kjeler i bygninger med sentralvarme.

I følge Statistisk Sentralbyrå var det ca. 48 % av alle yrkesbygninger som hadde sentralvarme i 2011¹¹⁹. Dette tallet tar imidlertid utgangspunkt i antall bygninger og ikke areal. Dette representerer en feilkilde fordi større bygninger oftere har sentralvarme enn mindre bygninger. Vi vil likevel ta utgangspunkt i disse tallene, da vi ikke har andre grunnlagsdata. Tabell A-6 gir oversikt over sentralvarmeanlegg i ulike yrkesbygninger og hvilken varmekilde sentralvarmeanleggene var basert på i 2011. For bygningstypene barnehage og kjøpesentre finnes det kun egne tall i eldre rapporter fra Statistisk Sentralbyrå (2008)¹²⁰. For lett industri/verksted finnes det heller ikke egne tall i rapportene fra Statistisk Sentralbyrå. Vi har derfor antatt at andelen med sentralvarme, samt type varmesentral, er noenlunde lik snittet for alle yrkesbygg. Vi har også forenklet og forutsatt at fordelingen mellom type varmesentral for barnehager følger fordelingen for skolebygg og at fordelingen for kjøpesentre følger andre typer forretningsbygg.

Tabell A-6: Andel varmesentral og type varmesentral installert i yrkesbygninger i 2011

	Andel sentralvarme	Hvorav fjernvarme	Hvorav oljekjel	Hvorav varmepumpe	Hvorav elektrokjel	Hvorav annet
Barnehage*	17 %	-	-	-	-	-
Skole	49 %	27 %	47 %	12 %	68 %	11 %
Kontor	53 %	55 %	30 %	17 %	43 %	6 %
Universitet/høyskole	71 %	76 %	30 %	21 %	29 %	3 %
Sykehus	88 %	61 %	31 %	8 %	52 %	4 %
Sykehjem	59 %	31 %	54 %	19 %	69 %	16 %
Forretning	39 %	36 %	43 %	24 %	45 %	8 %
Kjøpesentre*	17 %	-	-	-	-	-
Hotell	53 %	49 %	41 %	27 %	48 %	13 %
Idrettsbygg	46 %	36 %	38 %	19 %	53 %	12 %
Kulturbygg	60 %	77 %	5 %	16 %	47 %	0 %
Lettindustri/verksted **	48 %	42 %	40 %	17 %	54 %	9 %

* Tall fra 2008

** Tall for yrkesbygninger samlet

Andelen bygninger med sentralvarme, og hvilken varmekilde anleggene er basert på kan naturligvis ha endret seg noe på de siste fem årene. Blant annet har det vært stor politisk oppmerksomhet om å fase ut oljekjeler i eksisterende bygninger. I forbindelse med klimaforliket i 2012 ba Stortinget regjeringen om å innføre et forbud mot fyring med fossil olje i husholdningene og som grunnlast i øvrige bygg i 2020. En forskrift med forbud mot bruk av fyringsolje og parafin til oppvarming av boliger og til grunnlast i yrkesbygninger fra 2020 ble innført i 2017¹²¹. Stortinget har vedtatt at det skal vurderes å utvide forbudet mot bruk av fyringsolje og parafin til oppvarming til å omfatte spisslast¹²².

¹¹⁹ Abrahamsen A.S., Bergh M. og Fedoryshyn N, 2013: *Energibruk i bygninger for tjenesteytende virksomhet 2011*, SSB Rapport 62/2013. <https://www.ssb.no/energi-og-industri/artikler-og-publikasjoner/attachment/154307?ts=142fa6ff6d8> ISBN 978-82-537-8829-6

¹²⁰ Abrahamsen A.S. og Bergh M., 2011: *Energibruk i bygninger for tjenesteytende virksomhet 2008*, SSB Rapport 17/2011, https://www.ssb.no/a/publikasjoner/pdf/rapp_201117/rapp_201117.pdf ISBN 978-82-537-8108-2

¹²¹ <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/oljefyr/id2556868/>

¹²² Innst. 147 S (2014–2015): <https://www.stortinget.no/no/Saker-og-publikasjoner/Publikasjoner/Innstillinger/Stortinget/2014-2015/inns-201415-147/>

Energibalansen viser en nedgang i bruken av fyringsolje i yrkesbygninger på ca. 65 % fra 2011-2016¹²³. Antallet oljekjeler som er installert vil trolig ikke følge utviklingen i bruken av olje, fordi det må antas at en del oljekjeler vil bli stående til bruk som back-up løsning. Vi gjør likevel en forenkling og legger til grunn at antallet oljekjeler i sentralvarmeanlegg også har blitt redusert med 65 % siden 2011.

I Klima- og miljødepartementets konsekvensutredning av å forby oljefyring i bygninger fremgår det at varmpumpeanlegg, samt flis- og pelletskjel er aktuelle alternativer for yrkesbygg som konverterer fra fossil olje som grunnlast. Der det er fjernvarme tilgjengelig vil dette trolig bli valgt i stor grad¹²⁴. Enova har oppgitt informasjon om hvilke energiløsninger som blir valgt ved utfasing av oljefyring i større bygninger, det vil si yrkesbygninger, boligsameier og borettslag. Basert på søknader fra 2014 utgjorde flisfyring 2/3 av energileveransen ved overgang fra oljefyring. Resterende andel er væske/vann og luft/vannvarmepumper. Søknadene til Enova gir imidlertid ikke et fullstendig bilde av hvilke løsninger som kan ventes i oppvarmingsmarkedet ved utskiftning av oljekjeler, blant annet fordi overgang til direkte elektrisk oppvarming og bioolje ikke er omfattet av dette programmet. Tallene gir imidlertid en indikasjon på at både biobrensel og varmepumper er aktuelle alternativer for større bygninger.

Yrkesbygg som konverterer fra oljefyring som spisslast vil i all hovedsak konvertere til el-kjeler og bioolje. Utbredelsen av bioolje er usikker og et annet alternativ her vil være at oljekjeler blir erstattet av LPG eller annen gass der det er tilgjengelig. Ettersom utfasede oljekjeler vil være benyttet til både grunnlast og spisslast antar vi at oljekjeler som er erstattet av andre løsninger siden 2011, vil være noenlunde jevnt fordelt på hhv. fjernvarme, varmepumper, el-kjeler og annet (gass, flis, bioolje, etc.).

Andel bygninger uten sentralfyr og installert varmepumpe

Yrkesbygninger uten sentralfyring kan ha installert egne varmepumpeløsninger. Dette omfatter både vannbaserte varmepumpeløsninger, så vel som luft-luft varmepumper. I yrkesbygg med kjølebehov kan luft-luft varmepumpe også være en god løsning til å benyttes i perioder der bygningen har behov for romkjøling. Vi legger til grunn Statistisk Sentralbyrås tall for 2011 når det gjelder utbredelse av luft-luft varmepumper i yrkesbygg (tabell A-7)¹²⁵. For barnehager og kjøpesentre finnes ikke tall for 2011. For disse kategoriene benytter vi Statistisk Sentralbyrås tallmateriale fra tilsvarende undersøkelse for 2008. Vi har videre lagt til grunn at andelen med luft-luft varmepumpe i yrkesbygg oppført før 2010 uten sentralvarmeanlegg har holdt seg noenlunde stabil siden 2011. Dette er beheftet med usikkerhet.

¹²³ Statistisk Sentralbyrå: Tabell 11174 i Statistikkbanken. Tilgjengelig fra <https://www.ssb.no/petroleumsalg>

¹²⁴ Klima- og miljødepartementet, 2016: Høringsnotat - forbud mot fyring med mineralolje (fossil olje) til oppvarming av bygninger <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/horing---forbud-mot-fyring-med-mineralolje/id2515472/>

¹²⁵ Abrahamsen A.S., Bergh M. og Fedoryshyn N, 2013: *Energibruk i bygninger for tjenesteytende virksomhet 2011*, SSB Rapport 62/2013. <https://www.ssb.no/energi-og-industri/artikler-og-publikasjoner/attachment/154307?ts=142fa6ff6d8> ISBN 978-82-537-8829-6

Tabell A-7: Andel uten varmesentral med installert luft-luft varmepumpe - yrkesbygninger i 2011

	Andel uten sentralvarme	Hvorav m/ luft-luft varmepumpe
Barnehage*	83 %	9 %
Skole	51 %	6 %
Kontor	47 %	9 %
Universitet/høyskole	29 %	3 %
Sykehus	12 %	7 %
Sykehjem	41 %	7 %
Forretning	61 %	20 %
Kjøpesenter*	83 %	20 %
Hotell	47 %	8 %
Idrettsbygg	54 %	9 %
Kulturbygg	40 %	5 %
Lettindustri/ verksted**	52 %	19 %

* Tall fra 2008

** Tall for yrkesbygninger samlet

I tillegg vil det kunne være yrkesbygninger uten sentralvarme som har tatt i bruk luft-vann og væske-vann varmepumper. Vi har ikke tall på hvor stor denne andelen kan være, men Statistisk Sentralbyrås rapport om energibruk i yrkesbygg fra 2011 viser at denne andelen er langt lavere enn for luft-luft varmepumpe. Vi antar derfor at det er forholdsvis få yrkesbygg uten varmesentral som vil installere luft-vann og væske-vann varmepumpe. Denne antagelsen vil trolig gi noe for lavt energisparepotensial.

Potensiell utbredelsesgrad

NVE har anslått potensiell utbredelsesgrad for ulike typer varmepumper. For yrkesbygninger regner NVE med en utbredelsesgrad på hhv. 80 % og 70 % for hhv. luft-vann - og væske-vann varmepumpe¹²⁶. Dette inkluderer både nye og eksisterende bygninger. For eksisterende yrkesbygg med sentralvarme synes en slik potensiell utbredelsesgrad noe høyt, all den tid mange yrkesbygg er oppført i bysentrum der det kan være lite plass til brønnboring og det kan gjelde tilknytningsplikt til fjernvarme. Vi legger til grunn en potensiell utbredelsesgrad på 60 % for vannbaserte varmepumpeløsninger i eksisterende yrkesbygg. Det vil si at varmepumper vil erstatte 60 % av andre kjelløsninger i eksisterende yrkesbygg.

Når det gjelder luft-luft varmepumper synes det som om NVE regner med en utbredelsesgrad på 0 i yrkesbygg. Dette virker lite sannsynlig, i og med at det faktisk finnes yrkesbygninger som har installert luft-luft varmepumpe. Vi regner her med at potensiell utbredelsesgrad er en funksjon av dagens andel med installert varmepumpe for de ulike bygningene. Som basis for beregningene regner vi med at en sannsynlig utbredelsesgrad for varmepumpe i yrkesbygninger uten sentralvarme er at denne andelen tredobles. For eksempel vil det si at vi for forretningsbygg regner med en potensiell utbredelsesgrad for varmepumper som ikke er tilkoblet felles energisentral på 37 % (61 % av forretningsbygg har ikke sentralvarme, hvorav vi antar at 60 % av disse kan installere luft-luft eller vannbaserte varmepumper).

¹²⁶ Magnussen, Ingrid, et. al., 2016: *Varmepumper i energisystemet*. NVE-rapport 60-2016. http://publikasjoner.nve.no/rapport/2016/rapport2016_60.pdf ISBN 978-82-410-1513-7

Når det gjelder kontorbygninger synes dagens bruk av luft-luft varmepumper å være relativt lav. Dette er imidlertid bygninger som kan egne seg godt for denne løsningen. I tillegg til at det normalt bør være relativt enkelt å installere luft-luft varmepumpe i kontorbygninger har det betydning at kontorer har behov for kjøling. Her vil luft-luft maskiner kunne levere kjøling på sommerstid, og varme om vinteren. Således bør dette være et kostnadseffektivt alternativ i mange sammenhenger. I de senere årene har det kommet nye maskiner på markedet som er enklere å regulere enn tidligere. Dette bør kunne øke utbredelsesgraden. For kontorbygninger uten sentralvarme regner vi derfor med at en potensiell utbredelsesgrad for luft-luft varmepumpe er at andelen femdobles fra dagens nivå. Dette innebærer at den potensielle utbredelsesgraden for varmepumper som ikke er tilkoblet felles energisentral, antas å ligge på rundt 21 % (47 % av kontorbyggene har ikke sentralvarme, hvorav vi antar at 45 % av disse kan installere luft-luft varmepumpe, evt. andre varmepumpeløsninger, på en kostnadseffektiv måte).

Årsvarmefaktor, virkningsgrad og dekningsgrad

Årsvarmefaktoren til en varmepumpe angir effektiviteten til en varmepumpe, dvs. hvor stor effekt (varme) man får ut ved å tilføre 1 kW med energi (strøm). Vi har lagt til grunn samme årsvarmefaktorer som i NVEs rapport om varmepumper i energisystemet (2015)¹²⁷. I NVEs rapport skilles det mellom årsvarmefaktor for luft-luft varmepumpe, luft-vann varmepumpe og væske-vann varmepumpe.

- Årsvarmefaktor luft-luft varmepumpe: 2
- Årsvarmefaktor luft-vann varmepumpe: 2,4
- Årsvarmefaktor væske-vann varmepumpe: 3,0

I praksis kan årsvarmefaktoren være både høyere og lavere enn angitt ovenfor. For eksempel har Norsk Energi på oppdrag fra Enova gjennomført feltbefaringer av flere varmepumpeanlegg for å verifisere anleggenes årsvarmefaktor. Oppsummeringen viste at luft-vann varmepumpeanleggene i studien hadde en gjennomsnittlig årsvarmefaktor på 1,73 med en variasjon fra 1,14 til 2,27. Væske/vann anleggene hadde en gjennomsnittlig årsvarmefaktor på 2,44 med en variasjon fra 1,51 til 3,97¹²⁸.

I beregningene har vi lagt til grunn en gjennomsnittlig årsvarmefaktor på 3,0 for varmepumper som brukes i yrkesbygg med sentralvarme. For yrkesbygg uten sentralvarme har vi regnet med en lavere årsvarmefaktor. For slike yrkesbygninger har vi antatt en gjennomsnittlig årsvarmefaktor ned mot 2,0.

Vi har videre hensyntatt virkningsgrad for varmeløsningene som erstattes av varmepumper i de ulike scenarioene. Tabell A-8 viser typiske virkningsgrader for oljekjel, gass-kjel, bio-kjel (flis m.m.) og el-kjel.

Tabell A-8: Fyrteknisk (produksjons)virkningsgrad for ulike typer kjeler [SN/TS 3031 tabell J1 og N3]

Oljekjel	0,85-0,90
Gass-kjel	0,85-0,90
Bio-kjel	0,85-0,90
El-kjel	0,97-0,99

¹²⁷ Magnussen, Ingrid, et. al., 2016: *Varmepumper i energisystemet*. NVE-rapport 60-2016.

http://publikasjoner.nve.no/rapport/2016/rapport2016_60.pdf ISBN 978-82-410-1513-7

¹²⁸ Linda P. Haugerud, Ingvild Lien, 2015: *Analyse av feltemålinger av varmepumper i boliger*. Rapport utført av Norsk Energi på oppdrag fra Enova og Norsk VVS Energi- og Miljøteknisk Forening

Når det gjelder varmetapet i bygningenes distribusjonssystem antar vi at dette likt uavhengig hvordan varmen produseres. Dette tapet endres altså ikke dersom kjeler erstattes med varmepumpe-løsninger. Det samme gjelder romvirkningsgraden, da vi antar samme type oppvarmingsutstyr inne i bygningene.

Ulike varmepumper kan bare dekke deler av oppvarmingsbehovet i et enkelt bygg. For eksempel vil mulighetene en luft-luft pumpe har til å dekke behovet være begrenset av plassering, rominndeling, antall etasjer, etc. For å beregne hvor mye energi som kan spares ved installasjon av varmepumper må vi altså vite hvor stor del av varmebehovet som kan dekkes av den energien varmepumpen leverer. I våre beregninger har vi tatt utgangspunkt i forutsetningene i NVEs rapport om varmepumper i energisystemet¹²⁹. Vi legger til grunn en dekningsgrad på 90 % av energibehovet til romoppvarming og tappevann for luft-vann og væske-vann systemer og en gjennomsnittlig dekningsgrad på 40 % for luft-luft varmepumper. Dette er grove antagelser, som kun er relevante som gjennomsnittsbetraktninger.

Scenarier

Hvor stor andel av yrkesbygningene som vil kunne ta i bruk varmepumpe, enten i sentralvarmeanlegg eller i frittliggende yrkesbygninger, vil være usikkert. Vi har derfor beregnet energisparepotensialet for tre ulike scenarier. For yrkesbygninger med sentralvarme antas en utbredelsesgrad på 60 %, dvs. at varmepumper erstatter andre kjelløsninger i 60 % av bygningene. For yrkesbygninger uten sentralvarmeanlegg har vi beregnet effekten av at andelen (luft-luft) varmepumper øker med en faktor på hhv. 2, 3 og 4. Tabell A-9 nedenfor viser de tre forskjellige scenarioene som vi har sett nærmere på.

Tabell A-9: Scenarier – økt bruk av varmepumper i yrkesbygninger

	Scenario 1 (lavt)	Scenario 2 (basis)	Scenario 3 (høyt)
Yrkesbygg med sentralvarme	<ul style="list-style-type: none"> Potensiell utbredelsesgrad 50 % 	<ul style="list-style-type: none"> Potensiell utbredelsesgrad 60 % 	<ul style="list-style-type: none"> Potensiell utbredelsesgrad 70 %
Yrkesbygg uten sentralvarme	<ul style="list-style-type: none"> Bruk av VP i bygg uten sentralvarme øker med faktor 2 fra 2011-nivå. I kontorbygg øker bruken med en faktor 3. 	<ul style="list-style-type: none"> Bruk av VP i bygg uten sentralvarme øker med faktor 3 fra 2011-nivå. I kontorbygg øker bruken med en faktor 5. 	<ul style="list-style-type: none"> Bruk av VP i bygg uten sentralvarme øker med faktor 4 fra 2011-nivå. I kontorbygg øker bruken med en faktor 6.

A.2.2 Resultater

Våre beregninger viser et energisparepotensial på ca. 1,9 TWh ved økt bruk av varmepumper i eksisterende yrkesbygninger (basisscenarioet). Størsteparten av dette sparepotensialet vil utløses ved at vannbårne varmepumpesystemer erstatter andre løsninger i bygninger med sentralvarmeanlegg (om lag 1,6 TWh). De største sparepotensialene for tiltaket som handler om varmepumper finner vi i de bygningskategoriene med størst areal. Samlet utgjør energisparepotensialet ved installasjon av varmepumper i eksisterende kontorbygg, forretningsbygg, skolebygg og lett industri/verksted hhv.:

- Kontorbygg: 0,36 TWh
- Forretningsbygg (samlet, dvs. inkl. kjøpesenter, dagligvarehandel, etc.): 0,30 TWh
- Skolebygg: 0,29 TWh
- Lett industri/verksted: 0,28 TWh

¹²⁹ Magnussen, Ingrid, et. al., 2016: *Varmepumper i energisystemet*. NVE-rapport 60-2016. http://publikasjoner.nve.no/rapport/2016/rapport2016_60.pdf ISBN 978-82-410-1513-7

Dersom vi inkluderer bygningskategorier som sykehus, sykehjem og hoteller utgjør potensialet for energisparing i disse 7 bygningstypene om lag 1,5 TWh, dvs. ca. 80 % av sparepotensialet i yrkesbygg.

Vi har undersøkt hvordan sparepotensialet forandrer seg ved endrede forutsetninger (jf. tabell A-9). I et "lavt sparescenario" der vannbaserte varmepumpe-løsninger kun har en potensiell utbredelsesgrad på 50 % i eksisterende yrkesbygg med sentralvarme og økningen i varmepumper i bygninger uten sentralvarme dobles sammenlignet med 2011 nivå, reduseres sparepotensialet til ca. 1,5 TWh. Hvis vi legger til grunn et "høyt sparescenario", jf. tabell A-9, øker sparepotensialet til litt under 2,3 TWh.

A.3 Forbedret varmegjenvinning av ventilasjonsluft

A.3.1 Forutsetninger

Balansert ventilasjon med varmegjenvinning er godt utbredt i yrkesbygninger. Ett kostnadseffektivt tiltak er å skifte ut eldre ventilasjonsaggregater med nye anlegg med bedre varmegjenvinningsgrad. Vi har regnet på energisparepotensialet av at yrkesbygninger med balanserte ventilasjonsanlegg øker varmegjenvinningsgraden til minst 85 %. Dette er tilsvarende det nivået som ligger til grunn for de energikravene i byggteknisk forskrift som ble innført i 2015. Tabell A-10 viser omfanget var balansert ventilasjon for ulike kategorier av yrkesbygninger, med utgangspunkt i Statistisk Sentralbyrås undersøkelse av energibruken i bygninger for tjenesteytende virksomhet (2013)¹³⁰. Vi antar at andelen yrkesbygg som har balansert ventilasjon har økt med 1 % hvert år for alle bygningstypene, på grunn av at eldre bygninger med naturlig ventilasjon eller mekanisk avtrekk har blitt revet og erstattet med nyere bygninger, eller at de eldre bygningene har blitt rehabilitert og i den forbindelse oppgradert med nye ventilasjonsløsninger. I følge undersøkelsen til Statistisk Sentralbyrå vil det være slik at andelen med balansert ventilasjon er høyere for større bygninger enn for mindre bygninger. Slik sett vil tallene i tabellen være noe underestimert ettersom de refererer til antallet bygninger og ikke bygningsarealet.

Tabell A-10: Utbredelse – balansert ventilasjon i yrkesbygninger [SSB-rapport 62/2013].

	Balansert ventilasjon i 2011	Balansert ventilasjon i 2017
Barnehage*	N/A	91 %
Skole	85 %	91 %
Kontor	76 %	82 %
Universitet/Høyskole	92 %	98 %
Sykehus	82 %	88 %
Sykehjem	82 %	88 %
Forretning	65 %	71 %
Hotell	64 %	70 %
Idrettsbygg	73 %	79 %
Kulturbygg	77 %	83 %
Lettindustri/Verksted**	76 %	82 %

* Antar samme som skole

** Antar samme som snitt alle yrkesbygg

¹³⁰ Abrahamsen A.S., Bergh M. og Fedoryshyn N, 2013: *Energibruk i bygninger for tjenesteytende virksomhet 2011*, SSB Rapport 62/2013. <https://www.ssb.no/energi-og-industri/artikler-og-publikasjoner/attachment/154307?ts=142fa6ff6d8> ISBN 978-82-537-8829-6

En viktig faktor for å kunne estimere energisparepotensialet ved å forbedre varmegjenvinningsgraden av ventilasjonsluft er hvilken varmegjenvinningsgrad som er vanlig i dagens yrkesbygg. Ved innføring av skjerpede energikrav i byggt teknisk forskrift i 2007 ble det lagt til grunn en varmegjenvinningsgrad på 70 % for yrkesbygninger. Det var vanlig med roterende varmegjennvinnere på dette tidspunktet, med en antatt virkningsgrad på 80 %. Det betyr at brorparten av alle nye bygninger som er oppført de siste 10 årene vil ha installert varmegjenvinning av ventilasjonsluften med virkningsgrad på minst 80 %. I tillegg vil trolig roterende varmegjennvinnere med høy virkningsgrad være installert ved utskifte av eldre ventilasjonsaggregater. Vi legger til grunn at levetiden på løsninger for varmegjenvinning er ca. 20-25 år. Det betyr at ca. halvparten yrkesbyggene med balansert ventilasjon har en gjennomsnittlig varmegjenvinningsgrad på minst 80 %. En liten andel vil også ha enda bedre varmegjenvinningsgrad. Et rimelig anslag for andelen yrkesbygg med varmegjenvinningsgrad opp mot 85 % kan ligge på rundt 5 %. Eldre balanserte ventilasjonsanlegg vil ha typiske varmegjenvinningsgrader på mellom 55-75 %. Det gir svært store energibesparelser å forbedre varmegjenvinningsgraden for ventilasjonsluft fra 60 til 85 %. Oppnåelse av såpass store energibesparelser ved gjennomføring av tiltaket vil trolig kun være realistisk for en mindre andel av den eksisterende bygningsmassen. Som et basisscenario har vi derfor lagt til grunn en antagelse om at 15 % av eksisterende yrkesbygninger med balansert ventilasjon i dag har en gjennomsnittlig virkningsgrad på 60 % og at 35 % av bygningene har en virkningsgrad på 70 %.

Vi har variert disse antagelsene i beregningene, jf. tabell A-11.

Tabell A-11: Forutsetninger - andelen med ulike varmegjenvinningsgrad ved balansert ventilasjon

	Andel - 85 % varmegjenvinning	Andel - 80 % varmegjenvinning	Andel - 70 % varmegjenvinning	Andel - 60 % varmegjenvinning
Basis	5 %	45 %	35 %	15 %
Høyt potensiale	5 %	35 %	40 %	20 %
Lavt potensiale	5 %	55 %	30 %	10 %

Tabell A-12 viser estimert energisparing per m² ved å øke varmegjenvinningsgraden av ventilasjonsluft til 85 % for ulike bygningskategorier. Dette er nå en godt tilgjengelig løsning i markedet. Det er Multiconsult som har utført disse beregningene, som igjen er basert på bygningsmodeller hentet fra bakgrunnsrapporten til Enovas potensial og barrierestudie fra 2012¹³¹. Multiconsults notat finnes som et eget fritt nedlastbart appendix til denne rapporten¹³². Tabell A-12 angir energibesparelsen i kWh/m² i netto energibehov. For at den estimerte energibesparelsen ved gjennomføring av tiltaket skal ligge nærmest mulig opp til den reelle energibesparelsen som kan forventes vil disse tallene justeres for en samlet systemvirkningsgrad for oppvarmingssystemene i yrkesbygg. Forutsetninger og beregninger av en samlet systemvirkningsgrad for oppvarmingssystemene i yrkesbygg finnes i rapportens vedlegg C.

¹³¹ Bøhn, Trond Ivar et. al., 2012: *Potensial- og barrierestudie - Energieffektivisering i norske næringsbygg. Bakgrunnsrapport*. Rapport utført av Multiconsult i samarbeid med Analyse og Strategi på oppdrag for Enova. Enova rapport 2012:01.2.

<http://www.multiconsult.no/assets/EnergieffektiviseringINorskeNæringsbygg.pdf>

¹³² Bøhn, Trond Ivar, 2017: *Bedre varmegjenvinning av ventilasjon*. Notat utført av Multiconsult på oppdrag for Lavenergiprogrammet

Tabell A-12: Forutsetninger - energisparing ved økt varmegjenvinningsgrad (netto energibehov)

	Energisparing (kWh/m ²) ved 60 - 80 % varmegjenvinningsgrad	Energisparing (kWh/m ²) ved 70 - 80 % varmegjenvinningsgrad	Energisparing (kWh/m ²) ved 80 - 85 % varmegjenvinningsgrad
Barnehage	39 kWh/m ²	18 kWh/m ²	7 kWh/m ²
Skolebygg	44 kWh/m ²	21 kWh/m ²	7 kWh/m ²
Kontorbygg	36 kWh/m ²	17 kWh/m ²	6 kWh/m ²
Universitet/høyskole	43 kWh/m ²	20 kWh/m ²	7 kWh/m ²
Sykehus	78 kWh/m ²	36 kWh/m ²	12 kWh/m ²
Sykehjem	70 kWh/m ²	33 kWh/m ²	10 kWh/m ²
Forretningsbygg	75 kWh/m ²	35 kWh/m ²	12 kWh/m ²
Hoteller	51 kWh/m ²	24 kWh/m ²	8 kWh/m ²
Idrettsbygg	40 kWh/m ²	20 kWh/m ²	9 kWh/m ² *
Kulturbygg	40 kWh/m ²	19 kWh/m ²	7 kWh/m ²
Lett industri/ verksted	36 kWh/m ²	17 kWh/m ²	7 kWh/m ²

* Idrettsbygg har lavere setpunkt temperatur for romoppvarming (19 °C) i forhold til andre bygningskategorier (21 °C) iht. NS 3031:2014 tabell A.3. I en dynamisk simulering i SIMIEN, vil ventilasjonsoppvarmingen (konstant tilluftstemperatur 18 °C) da bidra med en relativt sett større andel av den samlede oppvarmingen i idrettsbygg.

Anslagene for energisparing ved forbedret varmegjenvinningsgrad av ventilasjonsluft i tabell A-12 er beregnet med standardiserte driftstider (tabell A.3 i NS 3031:2014) og fulle luftmengder i og utenfor driftstid (tabell B.1 i NS 3031:2014). Dersom det legges til grunn 20 % reduserte luftmengder som følge av behovsstyring av ventilasjonen (jf. tiltaket som er beskrevet i kap. A.4) vil også energisparingen ved å forbedre varmegjenvinningsgraden reduseres. Dette kommenteres nærmere i kapittel A-4.

I tillegg vil vi ta høyde for at det kan være arealer der roterende varmegjenvinnere er uegnet. Dette kan skyldes strenge hygienekrav, risiko for lukttilbakeføring mellom rom eller smuss/skitten luft. Eksempler på bygningskategorier der det kan være utfordrende med bruk av roterende gjenvinnere i deler av lokalene er sykehus, sykehjem, universiteter med laboratorier og lett industri/verksted. Det er gjerne heller ikke tilrådelig å benytte roterende varmegjenvinnere i lokaler med avtrekk fra matproduksjon (storkjøkken, restaurant, etc.). Dette er også årsaken til at energirammene i TEK 17 har tilpassede krav til sykehus, sykehjem og industribygg i tilfeller der det ikke er tilrådelig å benyttes roterende gjenvinner. I en rapport fra SINTEF Byggforsk fra 2008 er gjort anslag for andel av de ulike bygningskategoriene i byggteknisk forskrift hvor roterende varmegjenvinnere kan være uegnet, basert på forventede funksjoner i bygningene¹³³. Tabell A-13 viser forutsetninger som ble lagt til grunn i denne studien. Det bør kommenteres at restauranter her ble omfattet av kategorien forretningsbygg. Som nevnt har vi lagt til grunn at restauranter omfattes av bygningskategorien hotell, jf. SN/TS 3031:2016.

Det er viktig å peke på at det finnes løsninger for varmegjenvinning av ventilasjonsluft med tilsvarende effektivitet som moderne roterende gjenvinnere uten at det oppstår smitte mellom tilluft og avtrekk.

¹³³ Thyolt, Marit, et. al., 2008: *Justering av energikrav i TEK*. Rapport utført av SINTEF Byggforsk på oppdrag fra Direktoratet for byggkvalitet. SINTEF Byggforsk prosjektrapport nr. 27-2008. ISBN 978-82-536-1039-9 (pdf)

Men, dette er gjerne mer kostnadskrevende løsninger. Ettersom denne rapporten vurderer potensialet ved de mest kostnadseffektive energiltakene i eksisterende bygg er ikke slike løsninger vurdert her.

Tabell A-13: *Funksjoner hvor roterende varmegjenvinnere kan være uegnet [SINTEF Byggforsk]*

	<i>Funksjoner hvor roterende varmegjenvinnere kan være uegnet</i>	<i>Anslått andel</i>
Barnehage	Kjøkken	0-10 %
Kontorbygg	Kjøkken	0-10 %
Skolebygg	(Stor)kjøkken	0-20 %
Universitet/høyskole	Laboratorium	0-20 %
Sykehus	Storkjøkken, laboratorier, behandlingsrom (og isolat)	20-70 %
Sykehjem	Storkjøkken, behandlingsrom	0-20 %
Hoteller	Storkjøkken	0-10 %
Idrettsbygg	Kjøkken, trimrom	0-60 %
Forretningsbygg	Storkjøkken (inkludert restauranter)	0-30 %
Kulturbygg	Kjøkken	0-10 %
Lett industri/verksteder	Produksjonslokaler, laboratorium, verksted	0-100 %

I våre beregninger har vi lagt til grunn at roterende gjenvinner kan være uegnet for 25 % av det totale bruksarealet for sykehus og 10 % av det totale arealet for lett industri-/verksted. Vi har variert disse forutsetningene med pluss minus 5 %. For sykehjem antar vi at roterende gjenvinner kan være uegnet for 5 % av bygningsarealet (pluss minus 2,5 %). Når det gjelder forretningsbygninger og hoteller, som vi antar at også omfatter restauranter, har vi lagt til grunn at roterende gjenvinner ikke er tilrådelig i opp til 2,5 % av arealet (pluss minus 1,0 %). For øvrige bygninger har vi antatt at bruk av roterende gjenvinner normalt kan brukes og at dette vil være et kostnadseffektivt tiltak. Vi har imidlertid variert denne forutsetningen slik at det i scenarioet som angir et lavt energisparepotensiale antas at roterende gjenvinner ikke kan brukes i 2 % av bruksarealet for alle de resterende bygningskategoriene.

Når det gjelder forretningsbygninger har vi ikke inkludert bruksarealer for dagligvarebutikker, kiosk og bensinstasjon når vi har estimert energisparepotensialet for dette tiltaket. Dette skyldes dels at sparepotensialet ved å øke varmegjenvinningsgraden for ventilasjonsluft er høyere enn den spesifikke energibruken til oppvarming, jf. NVEs rapport om formålsdelt energibruk i forretningsbygninger (se også tabell 7). I NVE-rapporten fremgår det at energibruk til rom- og ventilasjonsvarme er en beskjeden energipost i dagligvarebutikker. Lokalene tilføres forvarmet og temperert ventilasjonsluft og det er store internlaster fra kjøp/frys og belysning som avgir varme i butikklokalet¹³⁴. En mer aktuell løsning for å redusere behovet for energi til romoppvarming vil trolig være gjenvinning av overskuddsvarmen.

A.3.2 Resultater

Tabell A-14 viser estimater for det totale energisparepotensialet ved økt varmegjenvinningsgrad til minst 85 % for yrkesbygninger som har balansert ventilasjon. Det høyeste sparepotensialet finnes i

¹³⁴ Bøhn, Trond Ivar et. al., 2013: *Analyse av energibruk i forretningsbygg*. Rapport utarbeidet av Multiconsult, Analyse og strategi og Entro på oppdrag for Norges vassdrags- og energidirektorat. NVE-rapport nr. 1/2014. http://publikasjoner.nve.no/rapport/2014/rapport2014_01.pdf ISBN 978-82-410-0947-1

forretningsbygninger (øvrige butikker og kjøpesentre) og kontorbygg. Potensialet for energisparing i disse to bygningskategoriene utgjør alene nesten 0,9 TWh i året. Effekten av å regne med en realistisk varmegjenvinningsgrad på 85 % i stedet for 80 % utgjør 0,35 TWh. Det vil si at den teknologit utviklingen som har funnet sted de siste årene gir stort utslag på mht. potensialet for energisparing. Ved å variere forutsetningene som beskrevet i kapittel A.3.1 viser beregningene at sparepotensiale for dette tiltaket vil variere mellom 2,02 TWh (høyt energisparepotensiale) og 1,46 TWh (lavt energisparepotensiale).

Tabell A-14: Anslag for energisparepotensiale – økt varmegjenvinning av ventilasjonsluft til 85 %

	Energisparing (TWh)
Barnehage	0,02 TWh
Skolebygg	0,23 TWh
Kontorbygg	0,33 TWh
Universitet/høyskole	0,04 TWh
Sykehus	0,09 TWh
Sykehjem	0,12 TWh
Forretningsbygg	0,59 TWh
Hoteller	0,08 TWh
Idrettsbygg	0,04 TWh
Kulturbygg	0,04 TWh
Lett industri/verksteder	0,12 TWh
Totalt (netto energi)	1,71 TWh
Totalt (levert energi)	1,74 TWh

Tidligere studier har pekt på at effektiv virkningsgrad for aggregater med roterende varmegjennvinnere kan være 60 til 70 % for aggregater med dokumentert 80 % nominell temperaturvirkningsgrad. Lavere virkningsgrad skyldes ikke hovedsakelig feilaktig dokumenterte ytelser, men heller at innjustering og drift av aggregatet avviker fra de ideelle forutsetningene/forhold som er lagt til grunn ved utarbeidelse av produktdokumentasjonen. En vanlig årsak til lavere virkningsgrad enn det som følger av produktets dokumentasjon kan være ubalanse mellom friskluftmengden og avtrekksmengden over gjenvinner ved at flere aggregater er sammenkople, på grunn av lekkasjer internt i aggregat eller ved at det går avtrekk over tak utenom gjenvinner. Konsekvensene av dette vil i så fall være at energisparepotensialet reduseres ift. det som er angitt i tabell A-14. I tillegg er det gjerne praktisert at luftmengder utenfor driftstid reduseres til volumer godt under verdiene i NS 3031, evt. at aggregatene skrus helt av¹³⁵. Dette vil i så fall redusere sparepotensialet av å forbedre ventilasjonsaggregatenes varmegjenvinningsgrad.

A.4 Behovsstyring av ventilasjonsluft

A.4.1 Forutsetninger

Behovsstyring av balansert ventilasjon handler om å installere utstyr for å regulere friskluftmengden som tilføres utfra behovet i bygget. Slike tiltak kan innebære installasjon av tilluft- og avtrekksventiler med CO₂- eller temperaturregulering (lokal regulering), eller det kan innebære at det etableres styring

¹³⁵ Grini, Catherine, et. al, 2009: LECO – Energibruk i fem kontorbygg i Norge. SINTEF Byggforsk prosjektrapport 48/2009. http://www.erichsen-horgen.no/resources/filer/2009-LECO_Energibruk_i_fem_kontorbygg.pdf ISBN 978-82-536-1116-7 (pdf)

av sentralt aggregat eller hovedstrekk utfra luftkvaliteten i utvalgte deler av bygget (sentral regulering). Det er lagt til grunn 80 % reduksjon av luftmengden over året i snitt, jf. også anbefalingene i NS 3031. Dette synes realistisk for sentralt regulerede ventilasjonssystemer, men er trolig mer konservativt for systemer basert på lokal regulering (VAV, DCV).

En viktig forutsetning for beregningene av potensialet for energisparing ved behovsstyring vil være hvor stor andel av bygninger som har gjennomført dette tiltaket og hvor mange bygninger som har balansert ventilasjon. Her har vi lagt til grunn samme forutsetninger som i kapittel A.3 (tabell A-10).

I Statistisk Sentralbyrås undersøkelse av energibruk i bygninger for tjenesteytende virksomhet hadde ca. 51 % av yrkesbyggene installert tids-, bevegelse eller behovsstyring av ventilasjon i 2011¹³⁶. Tidsstyring av ventilasjon inngår imidlertid her i tiltaket som handler om driftsoptimalisering (kap. A.1) og er et annet tiltak enn behovsstyring av ventilasjon. I dette kapittelet ser vi kun på sparepotensialet ved behovsstyring av ventilasjonen. Vi legger til grunn at det har vært en viss økning i prosentandelen yrkesbygninger som har installert behovsstyring av ventilasjonsluften de siste seks årene, men at den prosentandelen som fremgår av Statistisk Sentralbyrås rapport er for høy da den også inkluderer tidsstyring. Vi antar derfor grovt at 50 % av alle yrkesbygg har installert sentral eller lokal behovsstyring av ventilasjonsluften, og at tiltaket kan være kostnadseffektivt i 80 % av alle yrkesbygg som har balansert ventilasjon. For eksempel kan det være utfordrende å få til behovsstyring av ventilasjonsluft på en kostnadseffektiv måte i bygg med flere ulike funksjoner, og samtidig ivareta et godt inneklima.

I Enovas potensialstudie for yrkesbygg fra 2011 er det beregnet et sparepotensial per m² for ulike bygningskategorier, fordelt etter hvilke byggeforskrifter bygningene er oppført i henhold til¹³⁷. I denne rapporten er det lagt til grunn en varmegjenvinningsgrad på 80 % ved beregning av energisparing som oppnås ved å installere behovsstyring av ventilasjonsluften. Vi bruker estimatene for energisparing fra Enovas potensial- og barrierestudie i våre videre beregninger (tabell A-15). Det er tatt utgangspunkt i yrkesbygg med en gjennomsnittlig SFP-faktor på 2,0 i driftstiden og varmetilskudd fra belysning iht. NS 3031:2014 tabell A-2¹³⁸ og at dette er representativt for de energibesparelsene som kan oppnås ved å installere behovsstyring av ventilasjonsluften. For at den anslåtte energibesparelsen ved tiltaket skal ligge nærmest mulig opp til den reelle energibesparelsen som kan forventes vil disse tallene justeres for systemvirkningsgraden for oppvarmingssystemene i yrkesbygg, som er anslått i vedlegg C.

Dersom alle yrkesbygg med balansert ventilasjon installerer behovsstyring av ventilasjonsluft synker imidlertid energieffekten av å øke varmegjenvinningsgraden (kap. A.3). Estimer, basert på beregningene som er utført av Multiconsult mht. bedre varmegjenvinning av ventilasjonsluften, viser at samlet sparepotensial av å øke varmegjenvinningsgraden til 85 % da reduseres med rundt 0,05 TWh.

¹³⁶ Abrahamsen A.S., Bergh M. og Fedoryshyn N, 2013: *Energibruk i bygninger for tjenesteytende virksomhet 2011*, SSB Rapport 62/2013. <https://www.ssb.no/energi-og-industri/artikler-og-publikasjoner/attachment/154307?ts=142fa6ff6d8> ISBN 978-82-537-8829-6

¹³⁷ Bøhn, Trond Ivar et. al., 2012: *Potensial- og barrierestudie - Energieffektivisering i norske næringsbygg. Bakgrunnsrapport*. Rapport utført av Multiconsult i samarbeid med Analyse og Strategi på oppdrag for Enova. Enova rapport 2012:01.2. <http://www.multiconsult.no/assets/EnergieffektiviseringINorskeNæringsbygg.pdf>

¹³⁸ Dette betyr i praksis at vi har benyttet verdiene for energisparing av å installere behovsstyring av ventilasjonen som ble beregnet for "TEK 07" bygninger i Enovas potensial- og barrierestudie, justert for de systemvirkningsgradene som ble benyttet i Enova-rapporten.

Tabell: A-15. Energisparing per m² ved behovsstyring av ventilasjon i yrkesbygg (netto energibehov)

Bygningskategori	Energisparepotensiale (kWh/m ²)
Barnehage	~ 10 kWh/m ²
Skole	~ 11 kWh/m ²
Kontorbygg	~11 kWh/m ²
Universitet/høyskole	~ 16 kWh/m ²
Sykehus	~ 43 kWh/m ²
Sykehjem	~ 27 kWh/m ²
Forretningsbygg*	~ 34 kWh/m ²
Hotell	~ 29 kWh/m ²
Idrettsbygg	~ 9 kWh/m ²
Kulturbygg	~ 16 kWh/m ²
Lett industri/verksted	~ 14 kWh/m ²

* Inkl. ikke dagligvarebutikk, bensinstasjon og kiosk.

A.4.2. Resultater

Energisparepotensialet i yrkesbygg som en følge av gjennomføring av luftmengderegulering er angitt er presentert i tabell A-16. Resultatene er en funksjon av de forutsetningene som er beskrevet ovenfor. Energisparepotensialet ved behovsstyring av ventilasjonsluft i yrkesbygg er anslått til 0,73 TWh/år.

Tabell A-16: Estimert energisparepotensial ved gjennomføring av luftmengeregulering

Bygningskategori	Energisparepotensiale (TWh/år)
Barnehage	0,01 TWh
Skole	0,06 TWh
Kontorbygg	0,11 TWh
Universitet/høyskole	0,02 TWh
Sykehus	0,07 TWh
Sykehjem	0,05 TWh
Forretning	0,28 TWh
Hotell	0,05 TWh
Idrettsbygg	0,01 TWh
Kulturbygg	0,02 TWh
Lett industri/verksted	0,05 TWh
Totalt (netto energi)	0,72 TWh
Totalt (levert energi)	0,73 TWh

A.5 Skifte av ventilasjonsvifte (direktedrevne EC-vifter)

A.5.1 Forutsetninger

I bygninger med balansert ventilasjon (eller mekanisk avtrekk) brukes det energi på å skifte ut luft i ventilerte arealer. SFP-verdien angir forholdet mellom elektrisk effekt som er nødvendig for drift av

vifter i et ventilasjonsanlegg og den luftmengden som går over viften. SFP-verdien er avhengig av trykkfallet i ventilasjonssystemet og viftesystemets totale virkningsgrad (som avhenger av motorens virkningsgrad, driftsoverføringens virkningsgrad og viftens virkningsgrad). Nye EC-vifter drives av energieffektive motorer med elektronisk regulering, slik at viftens motor alltid skal arbeide med lavest mulig energibruk. Energibruken reduseres da vesentlig i forhold til tradisjonelle asynkron-motorer.

TS/SN 3031 inneholder typiske SFP-verdier for ventilasjonsanlegg i eksisterende bygg (tabell A-17).

Tabell A-17: Typiske SFP-verdier for ventilasjonsanlegg [TS/SN 3031, tabell B.7]

Type ventilasjon	SFP (kW/(m ³ /s))
Balansert ventilasjon med remdrift	4,0
Balansert anlegg med aksialvifte eldre enn 1997	3,0
Balansert anlegg med aksialvifte yngre enn 1997	2,5
Avtreksventilasjon	2
Naturlig ventilasjon	0

Det vil være mulig å få til vesentlig lavere SFP-verdi ved utskifte fra eldre anlegg til nye direkte-drevne EC-vifter. Hva som blir SFP-verdien i en bygning vil avhenge av flere faktorer, slik som utforming av det eksisterende kanalstrekket. I noen tilfeller vil det da være naturlig å foreta enkle blikkenslagerarbeider for å oppnå lav SFP-faktor. Beregningsforutsetninger for reduksjon av SFP-verdien finnes i tabell A-18.

For å anslå dagens fordeling av ulike ventilasjonsvifter i yrkesbygninger, antar vi en teknisk levetid for vifter på ca. 20 år. Det betyr at ca. halvparten av alle viftene i utgangspunktet skal være byttet ut de siste ti årene. Da det ble innført nye energiregler i byggteknisk forskrift i 2007 ble disse basert på en SFP-faktor i yrkesbygninger på 2,0 kW/(m³/s) i driftstiden og 1,0 kW/(m³/s) utenfor driftstiden. Vi antar at det først og fremst er i eldre bygninger med ventilasjonsanlegg fra før 2007, som har høyere SFP-faktor enn 2,0 kW/(m³/s), hvor det vil være mest kostnadseffektivt å foreta utskifting til EC-vifter.

Tabell A-18 viser antatt fordeling med SFP-verdier for ventilasjonsanlegg i eksisterende bygg. Noen ventilasjonsanlegg kan ha SFP-verdi høyere enn 4 kW/(m³/s). Dette er ikke hensyntatt her. Det er heller ikke tatt hensyn til at noen bygningskategorier kan hatt høyere utskiftingstakt til EC-vifter enn andre.

Tabell A-18: Antatt fordeling mht. SFP-verdier for ventilasjonsanlegg i eksisterende bygninger.

SFP-verdi i driftstiden (kW/(m ³ /s))	Andel - eksisterende bygg	Reduksjon med EC-vifte
< 4,0	10 %	<ul style="list-style-type: none"> 90 % til SFP < 2,0 (kW/(m³/s)) 10 % til SFP < 1,5 (kW/(m³/s))
< 3,0	20 %	<ul style="list-style-type: none"> 70 % til SFP < 2,0 (kW/(m³/s)) 30 % til SFP < 1,5 (kW/(m³/s))
< 2,5	30 %	<ul style="list-style-type: none"> 50 % til SFP < 2,0 (kW/(m³/s)) 50 % til SFP < 1,5 (kW/(m³/s))
< 2	40 %	Ikke hensyntatt

Slik tabell A-17 viser er det først og fremst yrkesbygninger med eldre balanserte ventilasjonsanlegg som har høy SFP-verdi. Det er derfor nødvendig å vite hvor stor andel av de yrkesbygningene som har balansert ventilasjon. Her benytter vi oss av betraktningene i kapittel A.3 (og tabell A-10). Som nevnt legges det da til grunn at riving, rehabilitering og hovedombygging i sum har ført til at andelen yrkesbygninger med balanserte ventilasjonssystemer har økt i omfang med 1 % hvert år siden 2011.

Når det gjelder luftmengder i de yrkesbyggene har vi benyttet normerte luftmengder i NS 3031:2014. (tabell B.1). Vi antar at disse luftmengdene er mest representative for eksisterende bygninger. Dette er for øvrig de samme antagelsene for luftmengder som ble brukt i Enovas potensial- og barrierestudie.

A.5.2 Resultater

Beregningene av energibesparelser (kWh/m²) er gjort ut fra følgende formel:

- $[\text{Luftmengde (m}^3/\text{h/m}^2) \times 1 \text{ h}/3600 \text{ s} \times (\text{SFP}_{\text{før}} - \text{SFP}_{\text{etter}}) (\text{kW}/(\text{m}^3/\text{s}) \times \text{driftstid (h/y)}]$

Tabell A-19 viser potensiell energibesparelse for de ulike yrkesbygningene. Vi har for øvrig regnet med at alle forretningsbygninger har samme luftmengde i driftstiden. Beregningsstandardene skiller heller ikke på dette, og kjøpesenter, dagligvarebutikk, butikk, kiosk og bensinstasjon behandles altså likt her.

Tabell A-19: Energibesparelse ved utskifting til nye energieffektive EC-vifter

Bygningskategori	Energibesparelser (TWh)
Barnehage	0,01
Skole	0,08
Kontor	0,13
Universitet/høyskole	0,02
Sykehus	0,07
Sykehjem	0,07
Forretning	0,32
Idrettsbygg	0,01
Hotell	0,05
Kulturbygg	0,02
Lett industri/verksted	0,05
Sum yrkesbygninger	0,83

A.6 LED-belysning og lys-styring

A.6.1 Forutsetninger

Utskifting til LED-belysning

Tiltaket innebærer full utskifting til LED belysning i alle yrkesbygninger.

Det tas det utgangspunkt i formålstelt energiforbruk for belysning for de ulike bygningskategoriene (tabell 5 til tabell 8 i kap. 7.2). Energiforbruk til belysning for sykehus er ikke oppgitt i tabell 5. I NVE

rapport nr. 24-2016 fremgår det at energiforbruket til belysning i ett sykehus utgjør 35 % av det el-spesifikke forbruket¹³⁹. Vi forutsetter at dette kan være representativt for sykehus generelt, noe som tilsier et årlig energiforbruk på 60 kWh/m² til belysning. For kjøpesentre vil det gå med energi til belysningsformål både i felles areal og hos leietagere. Belysning er ikke skilt ut som egen energipost i NVEs rapporter. For kjøpesenter antas derfor det at spesifikt energiforbruk til belysning er ca. likt som for øvrige forretningsbygg (butikker). Antatt energibruk til belysning er oppsummert i tabell A-20.

Tabell A-20. Antatt spesifikk energiforbruk til belysning for yrkesbygninger.

Bygningskategori	Spesifikk energibruk til belysning (kWh/m ²)
Barnehage	18 kWh/m ²
Skole	26 kWh/m ²
Kontor	37 kWh/m ²
Universitet/høyskole	40 kWh/m ²
Sykehus	60 kWh/m ²
Sykehjem	27 kWh/m ²
Kjøpesenter	59 kWh/m ²
Dagligvarebutikk	176 kWh/m ²
Øvrige forretningsbygg	59 kWh/m ²
Kiosk	220 kWh/m ²
Bensinstasjon	220 kWh/m ²
Hotell	30 kWh/m ²
Idrettsbygg	35 kWh/m ²
Kulturbygg	22 kWh/m ²
Lett industri/verksted	32 kWh/m ²

Lyskildene som er i drift i dagens lysarmaturer er en avgjørende faktor i beregningen av potensialet for energisparing ved en overgang til LED belysning. Det er imidlertid vanskelig å fastslå dette med rimelig sikkerhet. Vi har ikke funnet gode data for andelen LED-belysning i yrkesbygg. I Statistisk Sentralbyrås undersøkelse av energibruk for tjenesteytende virksomhet fra 2013 oppga 48 % av yrkesbyggene å ha energieffektiv belysning¹⁴⁰. Det antas at det her er referert også til andre belysningsarmaturer enn LED, og at dette kun gir en indikator på hvor stor andel som ikke hadde glødepærer på dette tidspunktet.

NVE har tidligere gjort anslag for fordelingen av forskjellige typer lyspærer i norske boliger i 2011. På dette tidspunktet ble det anslått at 20 % av lyspærene i husholdningene var LED¹⁴¹. Selv om dette ikke nødvendigvis er representativt for yrkesbygg, vil trolig fordelingen være noenlunde lik. De siste årene er imidlertid glødepærer i stor grad faset ut. I tillegg har salget av LED-belysning gjennom installatør økt kraftig de siste årene. I følge Elektroforeningen er mer enn 50 % av alle lysarmaturer som selges LED-armaturer og i enkelte segmenter utgjør salget av LED-belysning nå over 80 %. Til sammenligning

¹³⁹ Langseth, Benedicte et. al., 2016: *Analyse av energibruk i yrkesbygg. Formålsdeling, trender og drivere*. NVE-Rapport nr. 24/2016.

http://publikasjoner.nve.no/rapport/2016/rapport2016_24.pdf. ISBN 978-82-410-1215-0

¹⁴⁰ Abrahamsen A.S., Bergh M. og Fedoryshyn N, 2013: *Energibruk i bygninger for tjenesteytende virksomhet 2011*, SSB Rapport 62/2013.

<https://www.ssb.no/energi-og-industri/artikler-og-publikasjoner/attachment/154307?ts=142fa6ff6d8> ISBN 978-82-537-8829-6

¹⁴¹ Langseth, Benedicte, et. al., 2014: *Energibruksrapporten 2013 – Fremtidens energibruk i bygninger*. NVE-rapport nr. 11/2014.

http://publikasjoner.nve.no/rapport/2014/rapport2014_11.pdf ISBN 978-82-410-0959-4

var andelen LED som ble solgt gjennom installatør til de samme segmentene mellom 5 og 10 % i 2012¹⁴².

Basert på dette antar vi et referanseanlegg som kan betraktes som et gjennomsnitt for yrkesbygg. Andelen LED er antatt å ligge på ca. 30 % (tabell A-21). Med utgangspunkt i disse referanseanleggene og data på lysutbytte fra ulike lyskilder (tabell A-22) beregnes lysutbytte pr m² for de ulike bygningskategoriene. Ved en overgang til LED-belysning, forutsetter vi at lysutbyttet holdes konstant.

Tabell A-21: Referanseanlegg for lyskilder i ulike typer bygg pr 2017

Lyskilder	Sykehjem, sykehus og hotell	Lett industri, lager og idrettsbygg	Forretningsbygg	Øvrige yrkesbygg
T8 lysrør	20 %	25 %	10 %	20 %
T5 lysrør	15 %	30 %	15 %	30 %
LED lysrør	10 %	15 %	15 %	15 %
Halogen pære	15 %	5 %	35 %	10 %
Sparepære	20 %	10 %	10 %	10 %
LED pære	20 %	15 %	15 %	15 %

Tabell A-22: Forutsatte verdier for lysutbytte fra ulike lyskilder. Kilde: Osram.no

Lyskilder	Lysutbytte lm/W
T8 lysrør	70
T5 lysrør	92
LED	150
Halogen lyspærer	12
Sparepære	53
LED pærer	100

Varmeavgivelse fra lys bidrar også til å dekke energibehovet til romoppvarming. Normalt har et bygg behov for romoppvarming om lag halvparten av året (ca. 4000-5000 timer pr år). Iht. SN/TS 3031:2016 vil all varme som avgis fra belysningsutstyr tilføres en sone som varme (jf. tabell A7 i spesifikasjonen). Men, ettersom endel lyskilder gjerne er plassert i himling eller relativt høyt under tak, vil ikke rommene med oppvarmingsbehov nødvendigvis få full glede av denne varmeavgivelsen i oppholdssonen. Dette vil naturligvis variere fra bygning til bygning, og det vil være ulike effekter av lyskildeplassering.

Samtidig bidrar lavere varmeavgivelse fra lysanlegget til lavere kjølebehov om sommeren. I enkelte bygninger med høyt kjølebehov kan derfor lavere varmeavgivelse fra belysning føre til at det totale energibehovet reduseres. For eksempel viste en rapport fra 2010 at energibehovet til oppvarming og kjøling i et kjøpesenter samlet sett ble redusert ved utskiftning til mer energieffektiv belysning¹⁴³.

¹⁴² <http://www.efo.no/lysende-vekst-for-led/>. Gehør strategi og rådgivning har også mottatt salgsstatistikk fra Elektroforeningen

¹⁴³ Erichsen og Horgen, 2010: *Lavenergibelysning i kjøpesentre - Energi- og effektbehov samt dimensjonering av energisentraler*. Notat utarbeidet på oppdrag for Olav Thon gruppen.

Beregningene i denne analysen er på et aggregert nivå. Vi har valgt å tilnærme oss problemstillingen knyttet til at lavere varmeavgivelse fra lysanlegg kan gi noe økt energibruk til romoppvarming, ved å redusere sparepotensialet for redusert belysningseffekt med 25 % for bygninger med lavt kjølebehov (dvs. barnehage, skole, sykehjem, hotell, kulturbygg og lett industri/verksted) og 15 % for bygninger med større kjølebehov (alle øvrige bygningskategorier). Dette er antatt som et gjennomsnittsnivå over året.

Lys-styring

For å beregne besparelsen fra lys-styring tar vi utgangspunkt i forbruket etter full utskifting til LED-belysning. Potensialet for hhv. lys-styring og en overgang til LED vil variere avhengig av hvilket tiltak som det antas at gjennomføres først. Vi har valgt å beregne utskifting av kilde først, ettersom det følger en naturlig utskiftingstakt av allerede installert utstyr, mens lys-styring vanligvis må sees på som en nyinstallasjon. I beregningene antar vi at lys-styring reduserer energibehovet med en faktor på 0,8. Dette svarer til forutsetninger gjort i Enovas potensial- og barrierestudie for yrkesbygg¹⁴⁴. En faktor på 0,8 innebærer at man legger til grunn 80 % samtidighet når det gjelder behovet for lys i et bygg. For kontorbygg kan det synes noe lavt, men for andre typer bygg som universitet, skoler, sykehus, lager mv. så kan dette totalt sett være en rimelig antagelse. For å kompensere for mindre varmeavgivelse fra belysningsarmaturene benyttes samme faktorer som i beregningene for overgang til LED-belysning.

En del yrkesbygninger vil allerede ha installert tids-/behovs-/bevegelsesstyring av belysning. I Statistisk Sentralbyrås undersøkelse av energibruk for tjenesteytende virksomhet fra 2013 oppga 32 % av respondentene at de hadde helt eller delvis gjennomført lys-styring som tiltak i 2011¹⁴⁵. Dette var samme andel som Statistisk Sentralbyrå registrerte i 2008¹⁴⁶. Selv om dette kan tyde på at det ikke hadde noen stor økning av installasjon av anlegg med lys-styring mellom 2008 og 2011, må vi anta at andelen som har gjennomført dette tiltaket er en del høyere i 2017. Vi antar som utgangspunkt at 40 % av alle yrkesbygg har anlegg for automatisk lys-styring i 2017, og at dette fordeles seg jevnt på alle de ulike bygningskategoriene. Etter vårt syn er dette trolig noe lavt, og vi mener at disse antagelsene derfor kan gi noe høyt estimat på energisparepotensialet ved installasjon av automatikk for lys-styring.

A.6.2 Resultater

Ved bruk av forutsetningene ovenfor estimerer vi at det kan spares nærmere 1,5 TWh i året ved full utskifting til LED-belysning i yrkesbygninger (tabell A-23). De største sparepotensialene finnes for kontor- og forretningsbygninger. Gjennomgående vil en overgang til LED-belysning gi en energisparing på mellom 27 % og 30 % for den andelen av energien som medgår til belysning i de ulike bygningene. For alle yrkesbygg sett under ett vil en utskifting til LED medføre ca. 29 % reduksjon i forbruket til lys.

¹⁴⁴ Bøhn, Trond Ivar et. al., 2012: *Potensial- og barrierestudie - Energieffektivisering i norske næringsbygg. Bakgrunnsrapport*. Rapport utført av Multiconsult i samarbeid med Analyse og Strategi på oppdrag for Enova. Enova rapport 2012:01.2.

<http://www.multiconsult.no/assets/EnergieffektiviseringINorskeNæringsbygg.pdf>

¹⁴⁵ Abrahamsen A.S., Bergh M. og Fedoryshyn N, 2013: *Energibruk i bygninger for tjenesteytende virksomhet 2011*, SSB Rapport 62/2013.

<https://www.ssb.no/energi-og-industri/artikler-og-publikasjoner/attachment/154307?ts=142fa6ff6d8> ISBN 978-82-537-8829-6

¹⁴⁶ Abrahamsen A.S. og Bergh M., 2011: *Energibruk i bygninger for tjenesteytende virksomhet 2008*, SSB Rapport 17/2011,

https://www.ssb.no/a/publikasjoner/pdf/rapp_201117/rapp_201117.pdf ISBN 978-82-537-8108-2

Tabell A-23: Årlig energibesparelse som følge av full utskiftning til belysning basert på LED

	Besparelse (kWh/m ²)	Økt varmebehov som følge av lavere varmeavgivelse	Effektiv besparelse (kWh/m ²)	Energibesparelse totalt (TWh)
Barnehage	6 kWh/m ²	25 %	5 kWh/m ²	0,01 TWh
Skole	9 kWh/m ²	25 %	7 kWh/m ²	0,10 TWh
Kontor	13 kWh/m ²	15 %	11 kWh/m ²	0,32 TWh
Universitet/høyskole	14 kWh/m ²	15 %	12 kWh/m ²	0,03 TWh
Sykehus	21 kWh/m ²	15 %	18 kWh/m ²	0,09 TWh
Sykehjem	10 kWh/m ²	25 %	7 kWh/m ²	0,04 TWh
Kjøpesenter	21 kWh/m ²	15 %	19 kWh/m ²	0,11 TWh
Dagligvarebutikk	62 kWh/m ²	15 %	53 kWh/m ²	0,19 TWh
Bensinstasjon	78 kWh/m ²	15 %	67 kWh/m ²	0,03 TWh
Kiosk	78 kWh/m ²	15 %	67 kWh/m ²	0,01 TWh
Øvrige forretningsbygg	21 kWh/m ²	15 %	19 kWh/m ²	0,39 TWh
Hotell	11 kWh/m ²	25 %	8 kWh/m ²	0,05 TWh
Idrettsbygg	12 kWh/m ²	15 %	11 kWh/m ²	0,03 TWh
Kulturbygg	8 kWh/m ²	25 %	6 kWh/m ²	0,02 TWh
Lett industri/verksted	11 kWh/m ²	25 %	9 kWh/m ²	0,09 TWh
Sum besparelse				~ 1,51 TWh

Videre har vi estimert sparepotensialet ved å installere anlegg for tids-/behovs-/bevegelsesinnstilling for belysning, etter at full utskiftning til LED-belysning i respektive yrkesbygg er foretatt. Tabell A-24 viser resultatene for dette tiltaket, hensyntatt effekten av økt oppvarmingsbehov som følge av lavere varmeavgivelse fra lyskildene. Det er i forretninger og kontorbygg vi finner størst potensiale for energisparing.

Tabell A-24: Årlig energibesparelse som følge av installasjon av automatikk for lys-styring

	Forbruk til LED (kWh/m ²)	Besparelse lys-styring (kWh/m ²)	Besparelse totalt (TWh/år)
Barnehage	12 kWh/m ²	1,1 kWh/m ²	0,002 TWh
Skole	17 kWh/m ²	1,5 kWh/m ²	0,021 TWh
Kontor	24 kWh/m ²	2,4 kWh/m ²	0,069 TWh
Universitet/høyskole	26 kWh/m ²	2,6 kWh/m ²	0,007 TWh
Sykehus	39 kWh/m ²	3,9 kWh/m ²	0,019 TWh
Sykehjem	17 kWh/m ²	1,6 kWh/m ²	0,009 TWh
Kjøpesenter	38 kWh/m ²	3,9 kWh/m ²	0,024 TWh
Dagligvarebutikk	114 kWh/m ²	11,6 kWh/m ²	0,042 TWh
Bensinstasjon	142 kWh/m ²	14,5 kWh/m ²	0,007 TWh
Kiosk	142 kWh/m ²	14,5 kWh/m ²	0,003 TWh
Øvrige forretningsbygg	38 kWh/m ²	3,9 kWh/m ²	0,086 TWh
Hotell	19 kWh/m ²	1,7 kWh/m ²	0,011 TWh
Idrettsbygg	23 kWh/m ²	2,3 kWh/m ²	0,007 TWh
Kulturbygg	14 kWh/m ²	1,3 kWh/m ²	0,004 TWh
Lett industri/verksted	21 kWh/m ²	1,9 kWh/m ²	0,021 TWh
Sum besparelse			~ 0,33 TWh

Dette betyr at det si sum kan være i størrelsesorden 1,85 TWh å effektivisere på å foreta full utskifting av belysningsutstyr til LED, samt å installere tids-/behovs-/bevegelsesinnstilling for belysning, i yrkesbygg. Slik vi har sett har salget av LED-belysning økt kraftig de siste årene. Vi vil anta at både europeiske øko-design regler og interessen for mer effektive belysningsprodukter bidrar til trendene.

En vesentlig antagelse med hensyn på effekten av utskifting til belysning basert på LED og lys-styring er lyskildens bidrag til byggets oppvarming gjennom året. Som beskrevet i kapittel A.6.1. er det korrigert for denne effekten ved å redusere sparepotensialet med hhv. 15 % og 25% avhengig av kjølebehovet i de ulike bygningskategoriene. Det er vanskelig å fastslå denne effekten med sikkerhet for alle yrkesbygg sett under ett. Denne faktoren er variert med +/- 5 %-poeng i et høyt og et lavt scenario. Energibesparelsene varierer fra 1,72 TWh/år til 1,92 TW/år med en slik parameter variasjon.

Systemvirkningsgraden for romoppvarming for yrkesbygg er beregnet til tilnærmet én sett under ett (vedlegg C). Det er derfor her ikke tatt høyde for denne systemvirkningsgraden ved beregninger av energisparepotensialet for LED-belysning og lys-styring i yrkesbygg, da dette neppe kan sies å påvirke energibruken til romoppvarming (som følge av lavere varmetilskudd fra LED-belysningen) i særlig grad.

A.7 Tiltak på varmtvannsanlegg

A.7.1 Forutsetninger

Spesifikk energibruk til varmt tappevann og romoppvarming varierer sterkt mellom ulike kategorier yrkesbygninger (tabell 5-8, kap. 7.2). Dette betyr at potensialet for energibesparelser når det gjelder tiltak på varmtvannsanlegg også vil variere. Vi har estimert potensiell spareeffekt av følgende tiltak:

- Utbytte til vannbesparende utstyr og armaturer.

- Utbytte til nye og energieffektive varmtvannsberedere.
- Teknisk isolering av rør og deler i energisentraler.

Teknisk isolering av rør og deler i energisentral (i de yrkesbyggene som har sentralfyring/felles energisentral), vil bidra til å redusere energiforbruket til både varmt tappevann og romoppvarming.

Utbytte til vannbesparende utstyr

Ved å bytte ut dusj og vannarmatur til nytt utstyr som sender ut mindre vann vil energibruken til varmt tappevann reduseres. Dette kan gjøres ved å installere sparedusj, berøringsfrie kraner, spareperlator eller vannsparende ettgreps armatur¹⁴⁷. Antall liter vann som en kran er kapabel til å gi er et resultat av hvor stort trykk det er på stedet. Ved høyt trykk får man mer vann ut av en kran enn ved lavt trykk. I informasjonsbrosjyrer fra Enova, rettet mot husholdningene, er det anslått at eldre dusjer kan ha et vannforbruk på mellom ca. 16-20 l/min¹⁴⁸. Vi antar at de samme typene vannarmaturer har vært solgt til yrkesbygg og boliger. Vi har vært i kontakt med bransjeaktører som mener dette anslaget er ganske riktig, men kanskje noe høyt. For servanter og kjøkkenkraner ligger vannforbruket gjerne litt lavere.

Mht. vannforbruk i nytt vannbesparende utstyr legger vi til grunn mange av de samme forutsetningene som for boliger (se kap. B.5). I Enovas potensial- og barrierestudie for yrkesbygg fra 2012 anslås det at vannbesparende armatur kan redusere energibruken til tappevann med 10 %¹⁴⁹. Her er det tatt utgangspunkt i at sparedusjer kan redusere forbruket fra 15 l/min til 10 l/min, men at besparelsen er vesentlig mindre for øvrig forbruk. Vi mener dette anslaget er vel konservativt og legger til grunn at installasjon av vannbesparende armatur kan redusere vannforbruket, og dermed energiforbruket til tappevann, med 15 %. Dette er tilsvarende anslag som legges til grunn for boliger. Vi har da ikke hensyntatt at det trolig er mer utbredt med karbad i boliger sammenlignet med yrkesbygg som skole, idrettsbygg og for så vidt også hotell (selv om flere hotellgjester enn skoleelever vil benytte badekar). I tillegg ser vi bort fra at det trolig er mindre aktuelt med dusjarmaturer med økoknapp i yrkesbygg.

Når det gjelder andelen av yrkesbygninger som allerede har installert vannbesparende utstyr (som dusj og kran/servant) har vi ikke funnet statistikk eller anslag på dette i tidligere litteratur. For yrkesbygninger hvor en forholdsvis høy andel av energiforbruket går til varmt tappevann antar vi at andelen som allerede har installert vannbesparende utstyr er tilsvarende som for boliger, dvs. 30 %. Dette gjelder idrettsbygg, hoteller, sykehus og sykehjem. For andre yrkesbygninger antar vi at det er mindre utbredt med vannbesparende utstyr og at kun 15 % av yrkesbygningene har gjennomført tiltaket. Det er stor usikkerhet knyttet til anslagene. Vi har variert disse forutsetningene (tabell A-25)

¹⁴⁷ Dette fungerer slik at når spaken står i stilling rett fram kommer det alltid kaldt vann. Innblandingen av varmtvann skjer først når spaken vris til venstre for sentrumslinjen. Ved korte tappinger unngås det å dra opp varmtvann i rørene som siden står og kjølnes til ingen nytte.

¹⁴⁸ Enova 2009, *Energisparing for deg som bor i rekkehus og Energisparing for deg som bor i leilighet*. Veiledninger utarbeidet av Enova.

¹⁴⁹ Bøhn, Trond Ivar et. al., 2012: *Potensial- og barrierestudie - Energieffektivisering i norske næringsbygg. Bakgrunnsrapport*. Rapport utført av Multiconsult i samarbeid med Analyse og Strategi på oppdrag for Enova. Enova rapport 2012:01.2.

<http://www.multiconsult.no/assets/EnergieffektiviseringINorskeNæringsbygg.pdf>

Tabell A-25: Beregningsforutsetninger – vannbesparende utstyr i yrkesbygninger

	Basis scenario	Variasjon
Potensiell spareeffekt ved vannbesparende utstyr	• 15 % (varmt tappevann)	• +- 5 %
Andel med installert vannbesparende utstyr for hotell, sykehus, sykehjem og idrettsbygg.	• 30 %	• +- 10 %
Andel med installert sparearmatur i øvrige bygg.	• 15 %	• +- 5 %

Det er lagt til grunn at ingenting av energien i varmtvannet som brukes tilføres bygningene som varme til romoppvarmingsformål, jf. også SN/TS 3031:2016, tabell A.7.

Utbytte til nye og energieffektive varmtvannsberedere

I 2017 fantes det ca. 751 455 yrkesbygninger i Norge¹⁵⁰. Så og si alle yrkesbygninger vil ha varmt tappevann. Dette varmes opp via sentralfyring (energisentral) eller ved egen varmtvannsbereder. I følge Statistisk Sentralbyrås rapport om energibruk i bygninger for tjenesteytende virksomhet fra 2013 var det ca. 48 % av alle yrkesbygningene som hadde sentralvarme i 2011¹⁵¹. Vi antar at dette har holdt seg noenlunde konstant frem til i dag, slik at om lag 50 % av yrkesbygningene i 2017 har sentralvarme (energisentral). Det betyr også at ca. halvparten av yrkesbygningene har en egen varmtvannsbereder.

Mht. varmetap fra beredere legger vil til grunn mange av de samme forutsetningene som for boliger (kap. B.5). Yrkesbygninger med sentralvarme vil ha sentraliserte storberedersystemer, som gir mindre varmetap enn ved desentraliserte beredere. For yrkesbygninger uten sentralvarme antar vi at varmetapet kan reduseres med 400 kWh i året ved utbytte fra eldre beredere til nye beredere med skumisolasjon, men at noe mindre av varmetapet kan utnyttes til romoppvarming enn for boliger. Det kan også være enkelte yrkesbygninger som ikke har plass til skumisolerte beredere. Akkurat som for boligblokker må disse bygningene da ta i bruk benkeberedere, som har et høyere varmetap. Vi antar at 15 % av yrkesbygningene uten sentralvarme vil ha benkeberedere, som ikke er skumisolert. Disse benkeberederne har ikke vesentlig lavere varmetap enn eldre beredere, som ble produsert før 2004.

En annen viktig forutsetning er hvor stor andel av yrkesbygningene som allerede har foretatt utskiftning av eldre varmtvannsberedere. Ettersom varmtvannsberedere har en antatt teknisk levetid på ca. 30 år vil det også være naturlig å tro at over 30 % av berederne i eksisterende yrkesbygninger er skiftet ut siden 2004. I tillegg vil nyere yrkesbygninger uten sentralvarme som er oppført i tiden etter 2004 ha skumisolerte beredere. Vi regner med at ca. 40 % av alle yrkesbygninger uten sentralvarme og som ikke kun har plass til benkeberedere, har effektive skumisolerte beredere med lavt varmetap. Dette er en forutsetning som er beheftet med stor usikkerhet. Vi vil variere dette tallet med +- 5 %.

Tabell A-26 gir en oversikt over forutsetningene for å anslå energisparepotensialet i yrkesbygninger ved utskifte av eldre varmtvannsberedere til nye beredere med lavere varmetap. Det er verdt å merke seg at tiltaket som gjelder varmtvannsberedere også vil inkludere i fiskeri- og landbruksbygninger, etc.

¹⁵⁰ Se <https://ssb.no/bygg-bolig-og-eiendom/statistikker/bygningsmasse>. Yrkesbygninger inkluderer ikke fritidsbolig, boliggarasje, m.m.

¹⁵¹ Abrahamsen A.S., Bergh M. og Fedoryshyn N, 2013: *Energibruk i bygninger for tjenesteytende virksomhet 2011*, SSB Rapport 62/2013. <https://www.ssb.no/energi-og-industri/artikler-og-publikasjoner/attachment/154307?ts=142fa6ff6d8> ISBN 978-82-537-8829-6

Tabell A-26: Beredningsforutsetninger - varmtvannsbereder

Antall yrkesbygninger	751 455
Andel med sentralvarme	50 %
Andel uten sentralvarme med plass til skumisolert bereder	85 %
Andel av disse med skumisolert bereder (variasjon +- 5 %)	40 %
Antatt energisparepotensial (variasjon +- 5 %)	300 kWh/år

Teknisk isolering av rør og deler i energisentral

Teknisk isolering av rør og deler er mest relevant for yrkesbygninger som har felles energisentral. Som nevnt regner vi med at dette utgjør ca. 50 % av alle eksisterende yrkesbygg. Andelen yrkesbygg som har sentralfyring er diskutert i kapittel A-2. Når det gjelder andelen som allerede har foretatt isolering av rør og deler i energisentraler viste Statistisk Sentralbyrås undersøkelse av energibruk i bygninger for tjenesteytende virksomhet at denne andelen var på 23 % i 2011. Rapporten differensierte ikke mellom ulike typer yrkesbygninger. Vi antar at prosentandelen som har gjennomført isolering av rør og deler i energisentralen er nokså lik for samtlige yrkesbygg som har sentralfyring. Vi mener at det er sannsynlig at andelen som alt har gjennomført tiltaket er høyere nå enn i 2011, og legger til grunn at 30 % av yrkesbyggene som har sentralfyring har gjennomført isolering av rør og deler i energisentralen.

Vi antar videre at teknisk isolering av rør og deler i energisentraler kan redusere energibruket i yrkesbygninger med 1 %, dvs. tilsvarende antagelse som i Enovas potensial og barrierestudie fra 2012.

Tabell A-27: Beredningsforutsetninger - teknisk isolering av rør og deler i energisentral - yrkesbygg

		Variasjon
Andel som allerede har utført isolering av rør og deler	30 %	+ 5 %
Antatt energisparepotensial (av energibruken til romoppvarming og tappevann)	1 %	+ 1 %

A.7.2 Resultater

Tabell A-28 viser potensialet for energibesparelsen ved tiltak på varmtvannsanlegg. Slik tabellen viser er det utbytte til vannbesparende armaturer som gir størst energieffekt. Dette er som forventet, ettersom det er lagt til grunn at nye vannbesparende armaturer (dusj og kraner) vil redusere forbruket av varmtvann med hele 15 %. Mht. utskifte til nye varmtvannsberedere har vi kun utført beregninger for yrkesbygninger totalt sett. Energisparepotensialet ved dette tiltaket er beregning til kun 0,06 TWh i året. Vi har derfor ikke innhentet tall for antallet av de ulike kategoriene av yrkesbygninger, og fordelt energisparepotensialet mellom bygningene, da dette uansett vil være beheftet med stor usikkerhet.

Tabell A-28: Energibesparelse ved tiltak på varmtvannsanlegg i yrkesbygninger

	Vannbesparende utstyr (TWh)	Ny energieffektiv varmtvannsbereder (TWh)	Teknisk isolering i energisentral (TWh)	Totalt (TWh)
Sum yrkesbygg	0,16	0,06	0,03	~ 0,25

Dersom vi varierer forutsetningene slik det er beskrevet i kapittel A.7.1 vil energisparepotensialet for installasjon av vannbesparende utstyr variere mellom 0,10 TWh og 0,23 TWh. Effekten av utskifting til mer effektive varmtvannsberedere varierer mellom 0,05 TWh og 0,07 TWh. Når det gjelder teknisk isolering av rør og deler vil potensialet for energisparing kunne øke til opp mot det dobbelte av det som er angitt i tabell A-29. Dette skyldes at antatt prosentvis energibesparelse av tiltaket også doubles.

A.8 Solavskjerming

A.8.1 Forutsetninger

Solavskjerming i bygninger kan ha ulike funksjoner, hvorav de vanligste er¹⁵²:

Termisk komfort:

- Kontrollere lufttemperatur.
- Skjerme mot direkte soleksponering.
- Regulere operativ temperatur.

Visuell komfort:

- Hindre blending og reflekser.

Energibruk

- Redusere solinnstråling som skaper kjølebehov.
- Regulere passiv solvarme.
- Skjerming av vinduer om natten (reduere varmetap).
- Utnyttelse av dagslys.

Solavskjerming kan utføres som utvendig eller innvendig avskjerming, eller en kombinasjon av disse.

Når det kommer til effekten på bruk av solavskjerming i norske bygninger har rapporter fra Statistisk Sentralbyrå studier pekt på at bygninger med solavskjerming kan ha høyere energibehov enn bygninger uten solavskjerming¹⁵³. De bakenforliggende årsakene kan være at ulike egenskaper ved bygningene påvirker energibruken i større grad enn enøktiltak. En annen forklaring er at bygg med høyere energibruk gjennomfører flere energieffektiviseringstiltak enn de med relativt lav energibruk.

En mulig forklaring på at bygninger kan få økt energibruk som følge av installasjon av solavskjerming er at solavskjermingen benyttes uavhengig av byggets behov for oppvarming. En del av en bygnings energibehov til romoppvarming vil dekkes av varme fra solinnstråling gjennom vinduene. For hyppig bruk av solavskjerming kan altså føre til at sollys, som er en viktig varmekilde, stenges ute når bygget har varmebehov. For hyppig bruk av solavskjerming kan også medføre økt energibehov til belysning.

Mange moderne solavskjermingsystemer utføres med automatiske styringssystemer som kjører utvendige persiener opp/ned avhengig av intensiteten i sollyset som treffer bygget. I de fleste tilfeller

¹⁵² Bryn, Ida, et. al., 2015: Veileder: *Glass i fasader og solskjerming*. Veileder utgitt av Erichsen & Horgen AS og Glass og Fasadeforeningen. <http://glassportal.no/wp-content/uploads/2017/03/2016.04.18-Solskjerming.pdf>

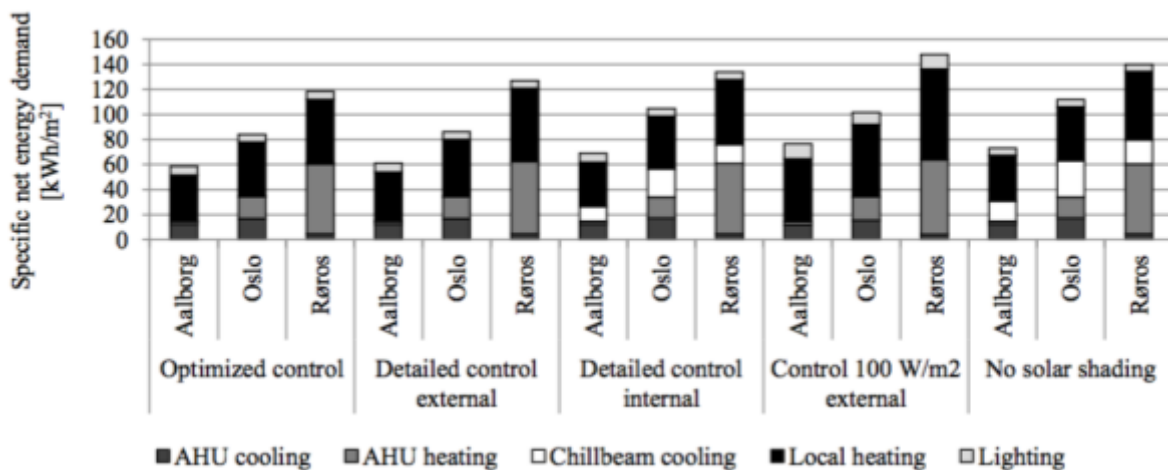
¹⁵³ Abrahamsen A.S., Bergh M. og Fedoryshyn N, 2013: *Energibruk i bygninger for tjenesteytende virksomhet 2011*, SSB Rapport 62/2013. https://www.ssb.no/energi-og-industri/artikler-og-publikasjoner/_attachment/154307?_ts=142fa6ff6d8 ISBN 978-82-537-8829-6

utføres solavskjerming på denne måten¹⁵⁴. Denne typen solavskjerming regulerer solinnstrålingen uavhengig av byggets behov for oppvarming. Dette kan gi økt behov for energi til romoppvarming.

Det er mulig å styre solavskjerming etter en kombinasjon av solinnstråling og byggets varmebehov. Slike systemer bidrar til noe økt komfort, men også til energibesparelser som følge av varmetilskudd og dagslystilskudd til bygget, når bygget har behov for det. I sum er det vanskelig å vurdere effekten av solavskjermingenes effekt uten å definere hvordan solavskjermingen regulerer solinnstrålingen. Det er ikke alltid det tas hensyn til dette når det gjøres beregninger av energieffekten av solavskjerming.

I en PhD fra 2016 er det utført beregninger på effekten av solavskjerming på kontorbygninger på nesten-nullenerginivå med ulik geografisk plassering og med ulike styringsstrategier og utførelse¹⁵⁵.

Et utdrag av resultatene fra PhDen er vist i figur A-1. I figuren tilsvarer "Control 100 W/m² external" styring basert på lysintensitet. "Detailed control internal" motsvarer innvendig solavskjerming. "Detailed control external" tilsvarer avansert styring av utvendig solavskjerming, mens "Optimized control" tilsvarer avansert styring av solavskjerming med både utvendige og innvendige persiener.



Figur A-1: Energibehov til kontorbygg ved ulik utførelse av solavskjerming

PhD-oppgaven som figur A-1 er hentet fra viste at effekten av solavskjerming vil variere med byggets beliggenhet (lokalt klima) og type styringsystem. Resultatene viste også at den typen solavskjerming som vanligvis installeres ("Control 100W/m² external") kan føre til høyere energibruk på grunn av økt varmebehov, avhengig av byggets beliggenhet, selv om effekten av dette er vurdert som relativt liten.

I vår vurdering av effekten av å installere solavskjerming, som et energibesparende tiltak, tar vi utgangspunkt i at de fleste (90 %) av dagens yrkesbygg er uten solavskjerming eller har solavskjerming med tradisjonell styring, som ikke reduserer bygningens samlede energibruk i særlig grad. Dette betyr

¹⁵⁴ Bryn, Ida, et. al., 2015: Veileder: Glass i fasader og solskjerming. Veileder utgitt av Erichsen & Horgen AS og Glass og Fasadeforeningen. <http://glassportal.no/wp-content/uploads/2017/03/2016.04.18-Solskjerming.pdf>

¹⁵⁵ Røseth Karlsen, Line, 2016: Design methodology and criteria for daylight and thermal comfort in nearly-zero energy office buildings in Nordic climate Karlsen, PhD avlagt ved Alborg Unversitet. http://vbn.aau.dk/files/240986648/PHD_Line_Roeseth_Karlsen_E_pdf.pdf.

at vi antar at kun 10 % av yrkesbyggene har avansert styring av solavskjerming eller en solavskjerming som tilsvarer denne funksjonen. Videre legger vi til grunn at avansert solavskjerming kun er relevant for 70 % av alle yrkesbygg, gitt at slik solavskjerming skal kunne utføres på en kostnadseffektiv måte.

Videre tar vi utgangspunkt i at etablering av mer avansert styring for solavskjerming kan gi energibesparelser i størrelsesorden 10-20 kWh/m². I våre beregninger har vi gjort et konservativt estimat, og antar at solavskjerming utført med avansert styring kan gi energibesparelser på 10 kWh/m² for de bygningskategorier som har et spesifikt energibehov til romkjøling som overstiger 10 kWh/m².

Figur 1 bygger på en vurdering av effekten av solavskjermingen i yrkesbygg på "nesten null-energinivå". I nordisk klima forutsetter dette at bygningene er svært godt isolert. Dette vil normalt innebære at bygningene har lavt romoppvarmingsbehov og høyere kjølebehov sammenlignet med eldre bygg. Således er det rimelig å tro at forutsetningene mht. potensiale for energibesparelser er konservative.

Unntaket er dagligvarebutikker, der energibruk til kjøling i hovedsak er knyttet til kjøle- og fryseanlegg. I tillegg ligger gjerne dagligvarebutikker på gateplan, der det gjerne er naturlig solavskjerming. Den samme forutsetningen kan trolig være gjeldende for kiosk og bensinstasjon. For kjøpesentre har vi korrigert for at mange kjøpesentre antas å ikke trenge slik avansert solavskjerming, ettersom kjøpesentre som ofte har lite vindusareal i forhold til gulvareal. En vanlig utforming av kjøpesentre er at butikker har lagerareal mot bygningens yttervegger og inngang fra innsiden av kjøpesentret. Dette gir gjerne mindre bruk av glass i fasadene. I beregningene er det derfor lagt til grunn at om lag halvparten av bruksarealet for kjøpesentre ikke vil få noen særlig effekt av slik avansert solavskjerming.

A.8.2 Resultater

Gitt forutsetningene som er redegjort for ovenfor, er det beregnet et effektiviseringspotensial på ca. 0,3 TWh i året ved å installere avansert solavskjerming i yrkesbygg. Resultatene er vist i tabell A-29.

Tabell A-29: Estimert potensial for energisparing ved installasjon av avansert solavskjerming

	Energiforbruk til kjøling før tiltak (kWh/m ²) *	Energibesparelse etter utført avansert solavskjerming (kWh/m ²)	Samlet besparelse (TWh) **
Barnehage	0	-	-
Skole	0	-	-
Kontor	20 kWh/m ²	10 kWh/m ²	0,18 TWh
Universitet/høgskole	20 kWh/m ²	10 kWh/m ²	0,02 TWh
Sykehus	52 kWh/m ²	10 kWh/m ²	0,03 TWh
Sykehjem	1 kWh/m ²	-	-
Kjøpesenter	22 kWh/m ²	10 kWh/m ²	0,02 TWh
Dagligvarebutikk	16 kWh/m ²	-	
Øvrig forretning	4 kWh/m ²		
Bensinstasjon	20 kWh/m ²	-	
Kiosk	20 kWh/m ²	-	
Hotell	3 kWh/m ²	-	
Idrettsbygg	23 kWh/m ²	10 kWh/m ²	0,02 TWh
Kulturbygg	3 kWh/m ²	-	
Lett industri/verksted	6 kWh/m ²	-	
Sum energibesparelse			0,27 TWh

*) Omfatter ventilasjonskjøling

**) Korrigert for en antagelse om at 10 % av yrkesbygningene allerede har avansert solavskjerming, og at 50 % av kjøpesentrene antas å ikke trenge slik avansert solavskjerming, blant annet på grunn av lite glass i fasaden.

A.9 Tiltak på pumper

A.9.1 Forutsetninger

Nyere pumper er mer energieffektive enn eldre pumper. Dette skyldes teknologiutvikling, både for pumpemotor og styringssystemer. Det er lite informasjon om forbruk av pumpeenergi i yrkesbygg.

Pumpeenergi medgår i hovedsak til distribusjon av varmførende væske i sentralvarmeanlegg, til varmtvannssirkulasjon og isvannsdistribusjon i de bygninger som har kjøling. I Enovas potensial- og barrierestudie fra 2012 antas en teknisk levetid for pumper på 20 år¹⁵⁶. Vi mener at forventet teknisk levetid for pumper vil kunne være noe høyere, i det minste opp mot 30 år. Driften av yrkesbygg er normalt mer profesjonalisert enn driften av større borettslag/sameier med felles sentralvarmeanlegg. Likevel er det sannsynlig at eldre og mindre effektive pumper utgjør brorparten av antallet i norske yrkesbygg og at ikke pumpene byttes ut bare fordi mer effektive pumper finnes på markedet. Vi legger derfor til grunn at kun 20 % av pumpene eksisterende bygg er nye og effektive frekvensstyrte pumper.

¹⁵⁶ Bøhn, Trond Ivar et. al., 2012: *Potensial- og barrierestudie - Energieffektivisering i norske næringsbygg. Bakgrunnsrapport*. Rapport utført av Multiconsult i samarbeid med Analyse og Strategi på oppdrag for Enova. Enova rapport 2012:01.2. <http://www.multiconsult.no/assets/EnergieffektiviseringI NorskeNæringsbygg.pdf>

Videre antar vi at det er installert pumper for å oppnå sirkulasjon på varmtvannet i 90 % av alle eksisterende yrkesbygg. Medgått pumpeenergi som andel av en ledningsleveranse er nokså lav, og antas å utgjøre ca. 4 % av leveransen fra hhv. varmeanlegg og varmtvannssirkulasjon. En varmesentral basert på væske-vann varmepumpe har et større behov for sirkulasjon av væske for å drive varmepumpeprosessen. Det antas at energi medgått til pumpedrift i en slik varmesentral er ca. 10 % av anleggets energileveranse. Utbredelsen av sentralvarmeanlegg i yrkesbygg er diskutert i kapittel A.2.

Pumpeenergi medgått til kjøling antas å være noe lavere, fordi kjøleanlegg ofte er mindre da kjøledistribusjon gjerne foregår gjennom ventilasjonsluft. Vi legger til grunn at energi som pumpedrift i kjøleanlegg medfører vil være i størrelsesorden ca. 3 % av leveransen. Denne antagelsen er diskutert med en leverandør av pumper, men likevel beheftet med usikkerhet. Kjøling kan leveres til bygg i form av kjølemaskiner som leverer til et sentralt isvannsanlegg med kjølebatterier eller et DX-anlegg som ofte virker direkte mot ventilasjonsanlegget. Utbredelsesgraden av kjøling i yrkesbygg antas å følge det formålsdelte energiforbruket som et grovt gjennomsnitt. SINTEF rapporten *Kartlegging av mekanisk kjøling i nye kontor- og forretningsbygg*¹⁵⁷ henviser til at sentrale isvannsanlegg er den vanligste formen for kjøledistribusjon i yrkesbygninger. Vi legger til grunn at slike isvannsanlegg står for i størrelsesorden 60 % av distribusjonen av kjølingen til eksisterende yrkesbygninger med kjøling.

Den energimengden som vil kunne spares i forbindelse med utskifting til nye pumper er til dels usikker, da det avhenger av type anlegg pumpen er plassert i, måten pumpen er satt til å regulere og øvrig drift. I Enovas potensial- og barrierestudie for yrkesbygninger fra 2012 er det antatt en potensiell energibesparelse på 30 % av pumpeenergien ved utskifte til nye og mer effektive pumper, både for kjøleanlegg og sentralvarmeanlegg. I SN/TS 3031 tabell E.1 er det også gitt veiledende verdier for spesifikk pumpeeffekt (SPP) for hhv. dårlige, normale og gode vannbårne anlegg. Ut i fra disse verdiene kan det antas at nye effektive pumpeanlegg i snitt har ca. 1/3 lavere SPP enn eldre anlegg. I våre beregninger er lagt til grunn en mulig gjennomsnittlig energireduksjon på ca. 30 % av pumpeenergien til varme- og kjøleanlegg som følge av utskifting fra gammel til ny effektiv pumpe i yrkesbygningene.

A.9.2 Resultater

Gitt ovennevnte forutsetninger har vi beregnet et estimat for energibruk som medgår til drift av pumper, og potensialet for å spare energi ved utskifte til nye og mer effektive pumper. I beregningene benyttes formålsdelt energibruk og arealtabeller som angitt i foregående kapitler (tabell 3 til tabell 8).

Våre beregninger viser et samlet energisparepotensiale på ca. 0,1 TWh i yrkesbygninger ved å skifte ut eldre pumper med nye og mer energieffektive pumper. De største sparepotensialene finner vi for hhv.:

- Kontorbygg (0,020 TWh),
- Forretningsbygg (samlet) (0,018 TWh).

¹⁵⁷ Thyholt, Marit et. al., 2001: *Kartlegging av mekanisk kjøling i nye kontor- og forretningsbygg*. Rapport utført av SINTEF på oppdrag fra NVE. Rapportnr. STF22 A01525. https://www.sintef.no/globalassets/upload/a01525_mekanisk_kjoeling.pdf

A.10 Lokk og dører på kjøøl/frys diskere i butikker

A.10.1 Forutsetninger

I NVEs rapport om formålsdelt energibruk i forretningsbygninger fra 2014 anslås det at kjøøl/frys samlet sett utgjør nær halvparten (48 %) av den totale energibruken i en dagligvarebutikk. Det samme vil trolig være tilfelle for kiosk og bensinstasjoner (selv om bensinstasjoner gjerne også vil ha vaskehaller som er energikrevende og reduserer andelen av energibruken som kan tilknyttes kjøøl-/frysanlegg). Det er også variasjoner mellom dagligvarebutikker da energibruken til kjøøl/frys ikke nødvendigvis vil følge butikkarealet (en større andel av salgsarealet i en liten butikk vil være i bruk til kjøøl-/frysevarer). Det finnes ikke statistikk på hvor stor andel av dagligvarebutikkene som allerede har installert dører på kjøølereoler eller har egne kjøølerom. I NVEs rapport fra 2014 hadde alle dagligvarebutikkene glassdører på kjøølereolene, men ikke alle butikkene hadde overtrekk på kjøøl/frys-diskene nattetid. Så vidt vi forstår er imidlertid dette et høyt prioritert energiltak i dagligvarebransjen og vi antar at 80 % av alle dagligvarebutikker nå har lokk på fryserer, dører på kjøølereoler eller egne kjøølerom for kjøølevarer. Vi antar dette også kan være gjeldende for butikkene bruk av overtrekk på kjøøl-frys-disker på natten.

Vi legger videre til grunn en antagelse om at det kan spares hhv. 5 % av energibruken til kjøøl/frys ved å ha lokk på fryserer, og tilsvarende 5 % energisparing på å ha dører på kjøølereoler, i en gjennomsnittlig dagligvarebutikk. Vi antar at de samme antagelsene vil kunne benyttes for kiosker og bensinstasjoner.

Situasjonen i ulike dagligvarebutikker, kiosker og bensinstasjoner vil variere sterkt. Vi har likevel utført et enkelt estimat for dette tiltaket, for å gjøre et overslag for det gjenværende energisparepotensialet. Estimater for samlet bruksareal for dagligvarebutikk, kiosk og bensinstasjon finnes i tabell A-30.

Tabell A-30: Forutsetninger - sparepotensial ved dører og lokk på kjøøl/frys diskere

		Variasjon
Energibruk til kjøøl/frys	• 50 % av samlet energibruk	• +- 5 %
Energisparepotensial	• 5 % av energibruk til kjøøl/frys	• +- 2,5 %
Andel butikker som allerede har gjennomført tiltaket	• 80 %	• + 10 % • - 5 %

A.10.2 Resultater

Dersom forutsetningene i tabell A-30 legges til grunn viser resultatene at det kan spares ca. 0,02 TWh i året ved at alle dagligvarebutikker, kiosker og bensinstasjoner installerer lokk/dører etc. på kjøøledisker, kjøøleskap, etc. Lavt sparepotensiale har sammenheng med at potensialet for energisparing ved dette tiltaket i stor grad allerede er tatt ut, gitt de forutsetningene er lagt til grunn i beregningene. Variasjon i inndataene gir ikke nevneverdig utslag på resultatene for tiltaket. For dagligvarebutikker som ikke har installert lokk/dører på kjøøledisker, kjøøleskap, o.l. vil dette være et effektivt energiltak.

Vedlegg B - Energiltak i boliger

B.1 Driftoptimalisering i boligblokk

B.1.1 Forutsetninger

For eneboliger og rekkehus vil det være lite drift utover beboernes egen tilstedeværelse og oppfølging av boligen. Tradisjonelle energiltak for å redusere energibruken i boliger kan være å slå av varmen i rom som ikke er i bruk, slå av lyset i ubrukte rom og sørge for temperatursenking på natten. Tiltak som energioppfølgingsystem og sentrale driftsanlegg vil være mindre aktuelle i eneboliger og rekkehus.

For boligblokker med felles sentralvarmeanlegg kan det imidlertid ha en effekt å implementere et eget energioppfølgingsystem (EOS). For at dette skal ha en effekt er det en forutsetning at det er en egen person til å følge opp systemet og gjennomføre de aktuelle energiltakene. Dette tilsier at det bør være snakk om større borettslag eller boligsameier. I denne rapporten legger vi til grunn at EOS eller andre tiltak for driftoptimalisering kun vil ha en energieffekt i boligblokker med egen sentralfyr. Dette begrunnes med at det i første rekke er varmebehovet i boliger som vil kunne reduseres ved EOS, og at det er sannsynlig at det vil være en egen person, enten en vaktmester eller en av beboerne, med ansvar for å følge opp varmesentralen. Denne personen kan da samtidig følge opp EOS. Erfaringer med EOS tilsier at dette kan være aktuelt også for boligblokker med felles varmesentral tilknyttet fjernvarme. Iht. Statistisk Sentralbyrås kartlegging av oppvarmingsutstyr var det 31 % av boligblokkene som hadde egen sentralfyr, inkl. fjernvarme, i 2012¹⁵⁸. For småhus (eneboliger/rekkehus) hadde 7 % av boligene sentralfyr, men i slike tilfeller anser vi det som nevnt som mer urealistisk å få en effekt av et eget EOS.

I følge et selskap som utarbeider ENØK-analyser for boliger, har EOS frem til nå ikke vært særlig utbredt for boliger. Vi antar derfor at kun 1 % av de aktuelle boligblokkene (med sentralvarme) har et eget energioppfølgingsystem (EOS) per i dag. Videre antar vi at andelen eksisterende boligblokker med sentralfyr har økt med ca. 1 % siden 2012, blant annet fordi en viss andel eldre boligblokker uten sentralvarme vil være revet de siste seks årene eller har knyttet seg til fjernvarmenettet i større byer.

Erfaringer fra ENØK-prosjekter tilsier at god oppfølging av energibruken gjennom EOS kan redusere det totale energiforbruket med om lag 2-3 %. Vi benytter oss av dette anslaget som et utgangspunkt for beregningene av energieffektiviseringseffekt i boligblokker med sentralvarme. Gjennomsnittlig energibruk i boligblokker samt estimerte bruksarealer for boligblokk finnes i kapittel 8.1. Tabell B-1 viser forutsetningene som er gjort for å beregne energieffekt av å implementere EOS i boligblokker med sentralvarmeanlegg. Flere parametere er usikre og derfor vil varieres i beregningene, jf. tabellen.

¹⁵⁸ Bøeng, Ann Christin, et. al., 2014: *Kartlegging av oppvarmingsutstyr i husholdningene*. SSB-notat 2014/45. <https://www.ssb.no/energi-og-industri/artikler-og-publikasjoner/attachment/211307?ts=14a38e530c0> ISBN 978-82-537-9053-4

Tabell B-1: Oppsummering av beregningsforutsetninger – EOS i boligblokk

	Basisscenario	Variasjon
Bebodd areal boligblokk - 2017	47 mill. m ²	+ - 5 %
Andel med egen sentralfyr (og dermed aktuelt for EOS)	32 %	+ - 5 %
Andel med EOS per i dag	1 %	+ 1 %
Energisparing ved EOS	2 %	+ - 1 %
Energiebehov i boligblokk (snitt)	156 kWh/m ²	+ - 5 %

B.1.2 Resultater

Våre beregninger viser at det kan være mulig å spare opp til 0,05 TWh ved at alle boligblokker med sentralfyring (inkl. fjernvarme) utformer og tar i bruk et energioppfølgingsystem. Ved å variere inndataene iht. tabell B-1 vil anslagene for mulig energisparing ved EOS i boligblokker endres til mellom 0,02 TWh og 0,08 TWh. Det er parameteren som gjelder prosentvis energisparing som kan oppnås ved implementering av EOS som har størst effekt på resultatene. Energisparing som følge av at det implementeres EOS i boligblokker med sentralvarme kan ha god effekt på økonomien til et sameie eller borettslag, særlig fordi det er få kostnader forbundet med tiltaket. Men, implementering av EOS i boliger vil ha liten betydning mht. hvordan målet for energisparing i eksisterende bygninger kan nås.

B.2 Installasjon av varmepumper

B.2.1 Forutsetninger

Boligareal der installasjon av varmepumpe kan være aktuelt

For eksisterende boliger oppført etter 2010 er det trolig mindre aktuelt å installere varmepumper, da det ble innført et eget krav til energiforsyning i byggt teknisk forskrift i 2007. I tillegg er dette godt isolerte boliger, med lavere romoppvarmingsbehov enn eldre boliger. Det tas derfor utgangspunkt i boliger oppført før året 2010 (dvs. oppført iht. TEK 97), justert for avgangsrate, da en andel av de eldste boligene vil rives hvert år og erstattes med nye boliger. For en liten andel av boligmassen vil det også gjennomføres omfattende energioppgradering av flere bygningsdeler (vindu, tak/kaldt loft, yttervegg eller mur/gulv/kald kjeller). Dette reduserer varmebehovet og gjør installasjon av varmepumpe i boligen mindre kostnadseffektivt. I denne rapporten har vi antatt at boliger som gjennomfører minst tre slike tiltak enten installerer varmepumpe som en del av rehabiliteringen, eller at installasjon av varmepumpe blir mindre interessant, da varmebehovet reduseres. Tabell B-2 viser forutsetninger mht. bebodd boligareal der installasjon varmepumpe i utgangspunktet bør være et kostnadseffektivt tiltak.

Tabell B-2: Boligareal der varmepumper i utgangspunktet bør kunne være aktuelt.

	Aktuelt boligareal i 2010	Boligavgangsrate	Energioppgraderingsrate	Aktuelt boligareal i 2017
Enebolig	169 mill. m ²	0,15 %	0,27 %	165 mill. m ²
Rekkehus	49 mill. m ²	0,12 %	0,06 %	48 mill. m ²
Boligblokk	42 mill. m ²	0,72 %	0,10 %	40 mill. m ²

Tall for boligareal i 2010 er hentet fra Enovas potensial- og barrierestudie¹⁵⁹, mens boligavgangsraten er basert på Statistisk Sentralbyrås snitt for boligavgang 2010-2016¹⁶⁰. Energioppgraderingsraten er hentet fra Enovas rapport om rehabilitering og energioppgradering av boliger fra 2016¹⁶¹. Dersom vi isteden hadde tatt utgangspunkt i energioppgradering av kun to av klimaskjermens bygningsdeler ville energioppgraderingsraten vært 0,92 % for enebolig, 0,85 % for rekkehus og 0,74 % for boligblokker.

Andel boliger med installert varmepumpe

Energisparepotensialet som kan utløses i eksisterende boliger ved å installere varmepumpe er naturligvis avhengig av andelen boliger som allerede har installert varmepumpe. I 2012 hadde 27 % av husholdningene varmepumpe, 9 % mer enn i 2009. Det er særlig husholdninger i eneboliger som investerer i varmepumpe. Om lag 44 % av alle eneboliger hadde varmepumpe i 2012, 11 % flere enn i 2009¹⁶². Andelen boliger med varmepumpe har økt videre de siste årene, særlig for rekkehus. I følge NVE hadde om lag halvparten av eksisterende eneboliger varmepumpe i 2015¹⁶³. Anslagene i NVEs rapport var blant annet basert på informasjon fra Norsk Varmepumpeforening (NOVAP). Tilsvarende tall for 2015 finnes i Enovas rapport om rehabilitering og energioppgradering av boliger. Vi vil ta utgangspunkt i Enovas rapport mht. andelen boliger oppført før 2010 som har installert varmepumpe.

Tabell B-3: Varmepumpe i eksisterende boliger

	Andel med varmepumpe (2012) ¹⁶⁴	Andel med varmepumpe (2015) ¹⁶⁵
Enebolig	44 %	50 %
Rekkehus	15 %	24 %
Boligblokk	6 % (inkl. luft-luft)	7 %

I følge Statistisk Sentralbyrå undersøkelse av oppvarmingsutstyr i husholdningene er luft-luft varmepumper vanligere i eldre boliger enn nyere boliger. Derimot hadde 25 % av boligene oppført etter 2008 annen type varmepumpe (jorde, vann, berg), mens dette kun gjelder 3-4 % av eldre boliger. Det er for øvrig store regionale forskjeller i utbredelsen av varmepumpe. Kun 5 % av husholdningene i Oslo hadde varmepumpe i 2012, mens tilsvarende andel for Hedmark og Oppland var 40 %. Dette har sammenheng med ulik sammensetning av boligmassen. Mens det er overvekt av små blokkleiligheter i Oslo, er det langt større andel eneboliger i Hedmark og Oppland (og også i andre deler av landet)¹⁶⁶.

¹⁵⁹ Haarberg, Karl Johan et. al., 2012: *Potensial- og barrierestudie - Energieffektivisering av norske boliger*. Rapport utført av Prognosesenteret i samarbeid med Entelligens på oppdrag for Enova. Enova rapport 2012:01.01

¹⁶⁰ Statistisk Sentralbyrå: *Tabell 10783 i Statistikkbanken*. Tilgjengelig fra <https://www.ssb.no/bygg-bolig-og-eiendom/statistikker/byggeareal/aar>

¹⁶¹ Bjørnstad, Even, et.al., 2015: *Rehabilitering og energioppgradering av boliger. Drøfting av begreper og måling av omfang*. Enova rapport. <http://www.mynewsdesk.com/no/enova-sf/documents/rehabilitering-og-energioppgradering-av-boliger-58726>

¹⁶² <https://ssb.no/husenergi>

¹⁶³ Magnussen, Ingrid, et. al., 2016: *Varmepumper i energisystemet. Status og muligheter*. NVE-rapport 60-2016. http://publikasjoner.nve.no/rapport/2016/rapport2016_60.pdf ISBN 978-82-410-1513-7

¹⁶⁴ Bøeng, Ann Christin, et. al., 2014: *Kartlegging av oppvarmingsutstyr i husholdningene*. SSB-notat 2014/45. <https://www.ssb.no/energi-og-industri/artikler-og-publikasjoner/attachment/211307?ts=14a38e530c0> ISBN 978-82-537-9053-4

¹⁶⁵ Bjørnstad, Even, et.al., 2015: *Rehabilitering og energioppgradering av boliger. Drøfting av begreper og måling av omfang*. Enova rapport. <http://www.mynewsdesk.com/no/enova-sf/documents/rehabilitering-og-energioppgradering-av-boliger-58726>

¹⁶⁶ <https://ssb.no/husenergi>

Potensiell utbredelsesgrad

Det kan være geografiske begrensninger for at ulike boliger kan ta varmepumper i bruk. For eksempel vil det ofte være begrensninger på muligheten til å installere en luft-luft pumpe i eksisterende boligblokker, eller å gjennomføre brønnboring til væske-vann varmepumper i bysentrum. NVE har anslått utbredelsesgrad for ulike typer varmepumper (tabell B-4). For boligblokk regner NVE en utbredelsesgrad på hhv. 60 % og 70 % for hhv. luft-vann - og væske-vann varmepumpe. Etter vårt syn synes dette høyt, da mange boligblokker vil være oppført i bysentrum der det kan være lite plass til brønnboring og det kan gjelde tilknytningsplikt til fjernvarme ved hovedombygginger. Brønnboring vil også være kostnadskreven. Luft-luft varmepumper omfatter for øvrig også avtrekksvarmepumper.

Tabell B-4: Potensiell utbredelsesgrad for ulike varmepumpe løsninger [NVE-rapport 60/2016]

	Luft-luft varmepumpe	Luft-vann varmepumpe	Væske-vann varmepumpe
Eksisterende enfamiliehus	90 %	90 %	20 %
Eksisterende flerfamiliehus	-	60 %	70 %

I en ny artikkel fra forskere ved NTNU og SINTEF Byggforsk er det gjort estimater for fremtidig utvikling mht. andelen varmepumper i boligmassen. Det er her lagt til grunn at eneboliger vil nå en maksimal potensiell utbredelsesgrad for varmepumper på 90 % allerede rundt 2030. For rekkehus regnes det med noe lavere utbredelse, dvs. at andelen rekkehus med varmepumpe vil være noe under 50 % i 2030 og rundt 65 % i 2040. Dersom det iverksettes tiltak slik at utviklingen forseres ytterligere anslås det en potensiell utbredelse av varmepumper i rekkehus på ca. 75 % i 2030 og noe under 90 % i 2040¹⁶⁷. Vi vil likevel anta at potensiell utbredelse av varmepumper i rekkehus vil ligge lavere enn for eneboliger, både fordi dagens utbredelsesgrad er lavere og fordi det vil være andre hensyn som gjør varmepumper mindre egnet i rekkehus, f.eks. utfordringer knyttet til støy og mindre plass på boligens yttervegger.

Det rimeligste i en eksisterende bolig vil være å installere luft-luft varmepumpe, eller evt. luft-vann varmepumpe dersom det allerede er installert vannbårent oppvarmingssystem. For enkelhets skyld regner vi ikke med at det installeres væske-vann varmepumpe i eksisterende eneboliger og rekkehus. Dette utgjør en feilkilde, da det finnes boligeiere som installerer væske-vann varmepumpe i sin bolig. I følge Statistisk Sentralbyrå hadde 11 % av alle eneboliger vannbårent system i 2012¹⁶⁸. 5 % hadde varmepumpe basert på luft-vann eller væske vann, mens 39 % hadde luft-luft varmepumpe. For rekkehus var det 7 % som hadde vannbårent oppvarmingssystem. Vi legger til grunn at det vil være realistisk å forvente en potensiell utbredelsesgrad for varmepumper på 90 % i eksisterende eneboliger, hvorav 10 % er vannbaserte løsninger (økning fra dagens 5 %). For eksisterende rekkehus antar vi en noe lavere utbredelse, dvs. en potensiell utbredelsesgrad på 80 %, hvorav 5 % er vannbårne løsninger.

Når det gjelder boligblokk antar vi at det kun er i tilfeller der boligblokkene har en felles energisentral, som ikke er basert på fjernvarme, at det vil være interessant å vurdere varmepumpe som løsning. I

¹⁶⁷ Sandberg, Nina, et. al., 2017: Using av segmented dynamic stock model for scenario analysis of future energy demand: The dwelling stock of Norway 2016-2050. Appendix A. Energy and building, 146, 220-232. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.04.016>

¹⁶⁸ Bøeng, Ann Christin, et. al., 2014: Kartlegging av oppvarmingsutstyr i husholdningene. SSB-notat 2014/45. <https://www.ssb.no/energi-og-industri/artikler-og-publikasjoner/attachment/211307?ts=14a38e530c0> ISBN 978-82-537-9053-4

følge Statistisk Sentralbyrå hadde 31 % av boligblokkene felles sentralfyring i 2012. 14 % hadde sentralfyring basert på fjernvarme, mens 17 % hadde sentralfyring basert på andre brensler (olje, gass, flis, elektrisitet, o.l.). I 2012 hadde 6 % tatt i bruk varmepumpe, en andel som i følge Enova hadde økt til 7 % i 2015 (inkl. luft-luft). Vi har lagt til grunn at alle boligblokker, med sentralvarme basert på noe annet enn fjernvarme, og som ikke allerede har varmepumpe, i utgangspunktet burde kunne installere vannbaserte varmepumpeløsninger, men at den potensielle utbredelsesgraden kun er 70 %. Det betyr at det er et energisparepotensiale ved installasjon av varmepumper i 7 % av eksisterende boligblokker.

Årsvarmefaktor, virkningsgrader og dekningsgrad

Årsvarmefaktoren til en varmepumpe angir effektiviteten til en varmepumpe, dvs. hvor stor effekt (varme) man får ut ved å tilføre 1 kW med energi (strøm). Vi har lagt til grunn samme årsvarmefaktorer som i NVEs rapport om varmepumper i energisystemet¹⁶⁹:

- Årsvarmefaktor luft-luft varmepumpe (enebolig/rekkehus): 2
- Årsvarmefaktor luft-vann varmepumpe (enebolig/rekkehus): 2,4
- Årsvarmefaktor væske-vann varmepumpe (boligblokk): 2,9

Videre har vi hensyntatt virkningsgrad for produksjon av den vannbårne varmen, når eksisterende kjelløsninger erstattes av varmepumper. Tabell B-5 viser typiske virkningsgrader for oljekjel, gass-kjel, bio-kjel (flis m.m.) og el-kjel. I følge NS 3031:2014 kan det forventes noe lavere produksjonsvirkningsgrad for kjelløsninger i småhus. Vi har ikke justert for dette her, men antatt at det vil være omtrent samme virkningsgrad ved produksjon av vannbårne varme, uavhengig av bygningstype. Statistisk Sentralbyrås undersøkelse av oppvarmingsutstyr spesifiserer ikke fordelingen mellom ulike kjeltyper i boliger med vannbårne systemer. Vi har derfor gjort en forenkling og antatt fordelingen i boliger med vannbårne systemer, utenom de med fjernvarme, vil være likt fordelt mellom de ulike alternativene i tabell B-5.

Tabell B-5: Fyrteknisk (produksjons)virkningsgrad for ulike typer kjeler [SN/TS 3031 tabell J1 og N3]

Oljekjel	~ 0,85-0,90
Gass-kjel	~ 0,85-0,90
Bio-kjel	~ 0,85-0,90
El-kjel	~ 0,97-0,99

Når det gjelder varmetapet i boligens distribusjonssystem antar vi at dette likt uavhengig hvordan varmen produseres. Dette tapet endres altså ikke dersom kjeler erstattes med varmepumpeløsninger. Det samme gjelder romvirkningsgraden, da vi antar samme type oppvarmingsutstyr inne i boligen.

Ulike varmepumper kan bare dekke deler av varmebehovet i en bolig. For eksempel vil mulighetene en luft-luft pumpe har til å dekke oppvarmingsbehovet være begrenset av plassering, rominndeling, antall etasjer, etc. For å beregne hvor mye energi som kan spares ved installasjon av varmepumper må vi altså vite hvor stor del av varmebehovet som kan dekkes av den energien varmepumpen leverer. I våre beregninger har vi tatt utgangspunkt i forutsetningene i NVEs rapport om varmepumper i energisystemet (tabell B-6). En dekningsgrad på 0,4 betyr at en luft-luft varmepumpe ikke kan dekke mer enn 40 % av varmebehovet over året og 40 % av effekten til oppvarming i et hvert tidssteg. En

¹⁶⁹ Magnussen, Ingrid, et. al., 2016: *Varmepumper i energisystemet. Status og muligheter*. NVE-rapport 60-2016. http://publikasjoner.nve.no/rapport/2016/rapport2016_60.pdf ISBN 978-82-410-1513-7

dekningsgrad på 40 % av energibehovet til romoppvarming og tappevann tilsvarer ca. 50 % av energibehovet til romoppvarming, med den formålsdelingen som er lagt til grunn for enebolig og rekkehus i rapporten (tabell B-5). Dette ansees som en rimelig forutsetning for luft-luft varmepumper.

Tabell B-6: Varmedekningsgrad for ulike varmepumpe løsninger [NVE-rapport 60-2016]

	Luft-luft varmepumpe	Luft-vann varmepumpe	Væske-vann varmepumpe
Eksisterende enfamiliehus	40 % (tilsvarende 50 % av romoppvarmingsbehovet)	70 %	80 %
Eksisterende flerfamiliehus	-	70 %	80 %

I en rapport fra Erichsen og Horgen om varmesystemer og deres dekningsgrader regnes det for øvrig med at en luft-luft varmepumpe sjelden gir en total varmedekning over 40 % i boliger oppført etter TEK10, selv om den kan ha høy energidekning på romoppvarming i rommet den er plassert¹⁷⁰. For luft-vann og væske-vann varmepumper forventes det høyere dekningsgrad, jf. også NVEs forutsetninger.

Oppsummering av forutsetninger – varmepumper i bolig

Tabell B-7 viser hvilke forutsetninger som er lagt til grunn mht. beregning av energisparepotensialet ved installasjon av flere varmepumper i boligmassen. Sentrale antagelser som vil påvirke resultatene er eksempelvis hvor stor andel av eksisterende boliger som allerede har installert varmepumpe, energibruk til varmeformål i boliger, andel av varmebehovet som kan dekkes av ulike varmepumper og utbredelsesgrad, dvs. hvor stor andel av dagens boliger der det kan være aktuelt å installere varmepumper. For boligblokk kan f.eks. utbredelsesgrad begrenses av tilgjengelig areal i bysentrum.

¹⁷⁰ Bryn, Ida, et. al, 2011: *Varmeløsninger og deres dekningsgrader*. Rapport utført av Erichsen & Horgen AS på oppdrag for Lavenergiprogrammet. http://www.lavenergiprogrammet.no/wp-content/uploads/2015/12/Rapport-ferdig_Varmel--sninger-og-deres-dekningsgrader.pdf ISBN 978-82-92982-01-3

Tabell B-7: Forutsetninger – installasjon av varmepumpe i boliger

	Enebolig	Rekkehus	Boligblokk	Scenario-variasjon
Boligareal oppført før 2010	165 mill. m ²	48 mill. m ²	40 mill. m ²	+ 2 % - 4 % (høyere energioppgraderingsrate)
Andel boliger med VP	~ 50 %	~ 25 %	~ 7 %	
Andel m/ sentralvarmeanlegg (eks. fjernvarme)	~ 10 %	~ 10 %	~ 17 %	
Energibruk til oppvarming (snitt)	119 kWh/m ²	99 kWh/m ²	62 kWh/m ²	+ - 5 %
Energibruk til tappevann (snitt)	30 kWh/m ²	27 kWh/m ²	39 kWh/m ²	+ - 5 %
Økt utbredelsesgrad luft-luft	35 %	50 %	-	+5 % småhus
Økt utbredelsesgrad luft-vann eller væske-vann varmepumpe	5 %	5 %	7 %	+2 % boligblokk
Årsvarmefaktor luft-luft	2	2		
Årsvarmefaktor luft-vann	2,4	2,4		
Årsvarmefaktor væske-vann			2,9	
Dekningsgrad luft-luft	0,4	0,4		- 5 %
Dekningsgrad luft-vann	0,7	0,7		+ 5 %
Dekningsgrad væske-vann			0,8	+ 5 %

B.2.2 Resultater

Installasjon av varmepumper vil redusere energibruk til oppvarming og evt. tappevann i boliger. Beregningsresultatene viser at energisparepotensialet ved installasjon av varmepumper i eksisterende boligmasse er ca. 3,3 TWh. Det største energisparepotensialet ved dette tiltaket finnes i eneboliger. Dette har sammenheng med at eneboliger (inkl. våningshus) utgjør det klart største boligarealet.

I basisscenarioet vil energisparepotensialet ved installasjon av varmepumper fordeles som følger:

- Enebolig: 2,3 TWh, hvorav over 1,7 TWh fra luft-luft varmepumper.
- Rekkehus, tomannsbolig, o.l.: 0,8 TWh, hvorav ca. 0,6 TWh fra luft-luft varmepumper.
- Boligblokk: 0,2 TWh

Ved å variere forutsetningene som vist i tabell B-6 vil sparepotensialet i boligmassen ved installasjon av varmepumper variere mellom 2,8 TWh og 4,0 TWh. Årsaken til at installasjon av varmepumper i boligblokk ikke utgjør et større potensiale at boligarealet er lavere enn for enebolig og rekkehus, at vi legger til grunn at slike løsninger kun er kostnadseffektivt i eksisterende boligblokker med sentralfyring basert på noe annet av fjernvarme, og at potensiell utbredelsesgrad i boligblokkene kun antas til 70 %.

B.3 Forbedret varmegjenvinning av ventilasjonsluft

B.3.1 Forutsetninger

Balansert ventilasjon med varmegjenvinning er godt utbredt i boliger oppført før 2010. Dette har blant annet sammenheng med skjerpingen av energikravene i byggteknisk forskrift i 2007. Dette førte til at balanserte ventilasjonsløsninger ble standard i nye boliger. For eldre boliger er balansert ventilasjon mindre utbredt. I boliger som alt har balansert ventilasjon vil det trolig være kostnadseffektivt å skifte ut eldre ventilasjonsaggregater med nye ventilasjonsanlegg som har bedre varmegjenvinningsgrad.

Tabell B-8 viser antatt utbredelse av balansert ventilasjon med varmegjenvinning i boliger, basert på Statistisk Sentralbyrås forbrukerundersøkelse¹⁷¹. Denne viser en kraftig økning i andelen med varmegjenvinningssystemer for boliger oppført etter 2008. Vi har foretatt en forenkling som innebærer at vi legger til grunn at 95 % av boligene som er oppført etter 2010 har balansert ventilasjon med varmegjenvinning¹⁷². For boliger oppført før 2010 antar vi at kun 10 % av eneboligene, 9 % av rekkehusene og 7 % av boligblokkene har balansert ventilasjon, jf. Statistisk Sentralbyrås undersøkelse.

Tabell B-8: Balansert ventilasjon med varmegjenvinning i boliger

	Boliger oppført etter 2010	Boliger oppført før 2010
Enebolig	95 %	10 %
Rekkehus	95 %	9 %
Boligblokk	95 %	7 %

For boliger oppført før 2010 vil vi variere forutsetningene i tabell B-7 med pluss minus 2 %.

Da nye energikrav i byggteknisk forskrift ble innført i 2007 var det en standard løsning med roterende gjenvinnere med 80 % varmegjenvinning. Energifordringene for boliger i TEK 17 er fortsatt basert på dette nivået. Vi antar derfor at det store flertallet (95 %) av varmegjenvinnere som er installert i boligene oppført etter 2010 har en virkningsgrad på 80 %, mens 5 % av boligene som er oppført etter 2010 har balansert ventilasjon med roterende gjenvinner som har en virkningsgrad på 85 %. For eldre boliger antar vi en annen fordeling, basert på at levetiden til løsninger for varmegjenvinning er på om lag 20 år. I våre beregninger legger vi til grunn at 40 % boligene med balansert ventilasjon som er oppført før 2010 har foretatt utskiftning til roterende varmegjenvinner med en varmegjenvinningsgrad på 80 %. En liten andel vil trolig også ha enda bedre varmegjenvinningsgrad. For de resterende boligene som er oppført før 2010, og som har balansert ventilasjon, antar vi en typisk varmegjenvinningsgrad på 70 %.

¹⁷¹ Bøeng, Ann Christin, et. al., 2014: Kartlegging av oppvarmingsutstyr i husholdningene. SSB-notat 2014/45. <https://www.ssb.no/energi-og-industri/artikler-og-publikasjoner/attachment/211307?ts=14a38e530c0> ISBN 978-82-537-9053-4

¹⁷² Det er da antatt at en liten andel av boligene som er oppført etter 2010 har naturlig ventilasjon eller har tatt i bruk andre løsninger som for eksempel avtrekksvarmepumpe.

Tabell B-9: Forutsetninger - andelen med ulike varmegjenvinningsgrad ved balansert ventilasjon

	Andel - 85 % varmegjenvinning	Andel - 80 % varmegjenvinning	Andel - 70 % varmegjenvinning
Boliger oppført etter 2010	5 %	95 %	-
Boliger oppført før 2010		40 %	60 %

I beregningene vil vi variere antagelsene i tabell B-8 for boliger oppført før 2010 med pluss minus 5 %.

Multiconsult har utført beregninger av energieffekten av å øke varmegjenvinningsgraden i balanserte ventilasjonssystemer fra 70-80 %, og videre til 85 %¹⁷³. Beregningene er utført med luftmengder angitt i NS 3031:2014. For småhus og boligblokk innebærer dette luftmengder på hhv. 1,2 og 1,7 m³/h/m². Beregningene er gjort for Oslo-klima. Det er forutsatt SFP-faktor på 2,5 kW/(m³/s) for boligbygningene.

Tabell B-10 viser resultatene fra Multiconsults beregninger.

Tabell B-10: Energisparing ved økt varmegjenvinningsgrad (netto energibesparelse).

	Energisparing (kWh/m ²) ved 70 - 80 % varmegjenvinningsgrad	Energisparing (kWh/m ²) ved 80 - 85 % varmegjenvinningsgrad
Småhus	4,5 kWh/m ²	2,2 kWh/m ²
Boligblokk	6,3 kWh/m ²	2,9 kWh/m ²

Bruksareal for boliger oppført før 2010 er hentet fra kapittel 8.1 (tabell 9), justert for boligavgangsrater.

Det vil også være en del boliger som installerer nytt ventilasjonsanlegg når det likevel gjennomføres energioppgraderinger. Enovas rapport om rehabilitering og energioppgradering av boligmassen fra 2016 tyder imidlertid på at denne andelen er liten. Rapporten viste at det i boliger som gjennomførte minst to tiltak for energioppgradering, ikke ble gjort endringer i ventilasjonsløsning i flertallet av energioppgraderingene. Nytt mekanisk avtrekk ble installert i 24,5 % av tilfellene, mens nytt balansert ventilasjonsanlegg ble installert i 11 % av disse tilfellene. Undersøkelsen viste at ca. 0,86 % av boligene gjennomførte minst to tiltak for energioppgradering hvert år¹⁷⁴. Det betyr at andelen boliger som ikke hadde balansert ventilasjon, men installerte dette i forbindelse med at det gjennomføres minst to energitiltak, var 0,09 %. Dette vil gi en liten tilleggseffekt mht. energisparing, som ikke er hensyntatt.

B.3.2 Resultater

Tabell B-11 viser estimer for det totale energisparepotensialet ved økt varmegjenvinningsgrad til 85 % for alle eksisterende boliger som har balansert ventilasjon. Ved beregning av energisparepotensialet er det tatt høyde for forskjellene i systemvirkningsgrad for de ulike boligtypene (se vedlegg C). Slik tabellen viser er det gjennomføring av tiltaket i eneboliger som utgjør det høyeste sparepotensialet.

¹⁷³ Bøhn, Trond Ivar, 2017: *Bedre varmegjenvinning av ventilasjon*. Notat utført av Multiconsult på oppdrag for Lavenergiprogrammet.

¹⁷⁴ Bjørnstad, Even, et.al., 2015: *Rehabilitering og energioppgradering av boliger. Drøfting av begreper og måling av omfang*. Enova rapport. <http://www.mynewsdesk.com/no/enova-sf/documents/rehabilitering-og-energioppgradering-av-boliger-58726>

Ved å variere forutsetningene som beskrevet i ovenfor viser beregningene et samlet sparepotensiale på mellom 0,20 og 0,14 TWh for dette tiltaket.

Tabell B-11: Anslag for energisparepotensiale – økt varmegjenvinning av ventilasjonsluft (levert energi)

	Energisparing - boliger oppført før 2010 (TWh)	Energisparing - boliger oppført etter 2010 (TWh)	Energisparing totalt (TWh)
Enebolig	0,08 TWh	0,02 TWh	0,10 TWh
Rekkehus	0,02 TWh	0,01 TWh	0,03 TWh
Boligblokk	0,02 TWh	0,02 TWh	0,04 TWh
Totalt	0,12 TWh	0,05 TWh	0,17 TWh

B.4 LED-belysning og lys-styring

B.4.1 Forutsetninger

For å beregne medgått energi til belysning i en gjennomsnittsbolig har vi tatt utgangspunkt i tabell 13 og figur 9 (kap. 8.2) hvor det fremgår at ca. 21 % av den el-spesifikke energibruken i boliger går med til belysning. I våre beregninger vil vi legge til grunn at en bolig har omtrent samme belysningsbehov per m² uavhengig av om det er snakk om en enebolig, et rekkehus eller en leilighet. Det kan likevel være mindre forskjeller avhengig av boligtype. SN/TS 3031 oppgir en normert verdi for belysning i boliger på 11,4 kWh/m². Dette betyr at våre anslag er i samme størrelsesorden som verdiene i standarden.

Tabell B-12: Energi medgått til belysning i boligmassen

Boligtype	Energibruk til belysning (kWh/m ²) (formålsdelt)	Energibruk til belysning (kWh/m ²) (SN/TS 3031)
Enebolig	10,4	11,4
Rekkehus	11,3	11,4
Boligblokk	11,5	11,4

Hvilke lyskilder som finnes i boliger per i dag vil ha stor innvirkning på potensialet for energisparing ved en overgang til LED belysning. I NVEs energibruksrapport for 2013 fremgår fordelingen av lyskilder i norske husholdninger i 2011. Her ble det lagt til grunn at 20 % av boligene hadde LED-belysning i 2011¹⁷⁵. Sparepærer/ LED- lyspærer er mer vanlig i de aller nyeste boligene. I Statistisk Sentralbyrås forbruksundersøkelse fra 2014 oppga om lag 1 av 3 husholdninger i boliger bygget etter 2008 at nesten alle lyspunkter var LED-teknologi¹⁷⁶. I 2012 ble salg av glødepærer forbudt. Det er derfor rimelig å anta at fordelingen av lyskilder i husholdningene er vesentlig annerledes i 2017 enn i 2011. Eksempelvis vil andelen glødepærer ha blitt erstattet av LED, halogen og sparepærer. En antatt fordeling vises i tabell B-13.

¹⁷⁵ Langseth, Benedicte, et. al., 2014: *Energibruksrapporten 2013 – Fremtidens energibruk i bygninger*. NVE-rapport nr. 11/2014. http://publikasjoner.nve.no/rapport/2014/rapport2014_11.pdf ISBN 978-82-410-0959-4

¹⁷⁶ Bøeng, Ann Christin, et. al., 2014: *Kartlegging av oppvarmingsutstyr i husholdningene*. SSB-notat 2014/45. <https://www.ssb.no/energi-og-industri/artikler-og-publikasjoner/attachment/211307?ts=14a38e530c0> ISBN 978-82-537-9053-4

Tabell B-13: Fordeling mellom ulike lyskilder i husholdningene

	NVE 2013	2017 (antatt)
Glødepærer	36 %	0 %
Sparepærer	25 %	35 %
Hallogenpærer	19 %	35 %
LED-pærer	20 %	30 %

Videre antar vi at husholdningene bytter ut sine lyskilder i tråd med tidligere lysavgivelse i lyskildene, og således at lysavgivelsen i boligmassen er konstant ved en utskifting til belysning basert på LED.

Tabell B-14 viser forutsatte verdier for lysavgivelse pr watt for de ulike lyskildene.

Tabell B-14: Lysavgivelse i lumen pr Watt for ulike lyskilder [www.osram.no]

Lyspære	lm/W
Hallogen	12
Sparepære	53
LED	100

Når energibehovet til belysning reduseres også den nyttbare varmeavgivelsen fra lyskilden. En overgang til LED-belysning innebærer derfor at energibruken til romoppvarming i en bolig vil øke noe i fyringssesongen (i snitt ca. halvparten av året på landsbasis). Ettersom lyskilder i boliger vanligvis er noe bedre plassert mht. å få utnyttet varmetilskuddet fra belysningen til oppvarmingsformål, enn i yrkesbygg, antar vi i beregningene at økt romoppvarmingsbehov, som følge av redusert internlast fra belysning, gjør at energibesparelsen fra utskiftning til LED i boliger reduseres med 35 % i løpet av året.

I fellesarealer i boligblokk (oppgang, utearealer, loft og kjeller) er det vanligvis ingen oppvarming og dersom det foretas utskifte til LED-belysning (og evt. installeres lys-styring) i slike arealer vil ikke dette medføre økt energibruk til oppvarming. Vi har gjort en enkel beregning av potensialet for energisparing i slike arealer. Konklusjonen fra disse beregningene er at dette potensialet er forholdsvis lite (ca. 0,025 TWh). Årsaken til er at fellesarealer i boligblokk utgjør en nokså liten andel av det totale boligarealet. LED-belysning og lys-styring i fellesarealer kan likevel gi god lønnsomhet for et borettslag/et sameie.

B.4.2 Resultater

Tabell B-15 viser potensialet for energibesparelsen ved full utskifting til LED belysning i boliger. Potensialet for energisparing som følge av dette tiltaket er estimert til om lag 0,92 TWh i året.

Tabell B-15: Energiforbruk før og etter utskifting til LED belysning (TWh/år)

Boligtype	Energiforbruk lys før utskifting til LED	Energiforbruk lys etter utskifting til LED	Økt varmebehov til romoppvarming	Samlet besparelse – levert energi
Enebolig	1,84	0,97	0,28	0,58
Rekkehus	0,60	0,32	0,10	0,18
Boligblokk	0,54	0,28	0,10	0,16
Sum	2,98	1,57	0,49	0,92

Dersom vi inkluderer utskiftning til LED-belysning, samt tids-/behovs-/bevegelsesinnstilling av LED-belysningen i fellesareal i eksisterende boligblokker øker potensialet for energisparing til 0,94 TWh/år. I beregningene er det for øvrig hensyntatt beregnede systemvirkningsgrader for de ulike boligtypene jf. vedlegg C. Dette innebærer at lavere varmetilskudd fra belysningsarmatur som følge av overgang til LED vil dekkes inn mer effektivt i eneboliger (systemvirkningsgrad oppvarming ~ 1,07), enn i rekkehus (systemvirkningsgrad oppvarming ~ 0,96) og boligblokker (systemvirkningsgrad oppvarming ~ 0,90).

En vesentlig antagelse med hensyn på effekten av utskifting til LED-belysning er lyskildens bidrag til byggets oppvarming gjennom året. Det er korrigert for denne effekten ved å redusere sparepotensialet med 35 % i boliger. Det er vanskelig å fastslå denne effekten med sikkerhet for alle boliger sett under ett. Denne faktoren er derfor variert med +/- 5 %-poeng i et høyt og et lavt scenario. Resultatene viser at samlet energibesparelse varierer fra ca. 0,85 TWh/år til 1,0 TW/år med en slik parametervariasjon.

B.5 Tiltak på varmtvannsanlegg

B.5.1 Forutsetninger

Energibruk til varmt tappevann utgjør en forholdsvis stor andel av den totale energibruken i en bolig. I denne rapporten har vi lagt til grunn at energibruk til varmtvann utgjør i snitt mellom 15 % (småhus) og 25 % (leilighet) av den totale energibruken i en bolig (tabell 13). Det er altså mye energi å spare på å redusere energibruk til å varme opp tappevann i boliger. Vi har beregnet effekten av følgende tiltak:

- Utbytte til vannbesparende utstyr/armaturer.
- Utbytte til nye og energieffektive varmtvannsbereder.
- Teknisk isolering av rør og deler i energisentral.

Utbytte til vannbesparende utstyr/armaturer

Hvor stor andel av det totale energiforbruket som går til varmtvann varierer fra husholdning til husholdning og er avhengig av antall personer og vaner. Men, det er rimelig å anta at husholdningene sparer energi ved ta i bruk utstyr og armaturer som sender ut mindre vann per minutt. Dette kan gjøres ved å installere sparedusj, berøringsfrie kraner, spareperlator eller vannsparende ettgreps armatur.

Antall liter vann som en kran er kapabel til å gi er et resultat av hvor stort trykk det er på stedet. Ved høyt trykk får man mer vann ut av en kran enn ved lavt trykk. I informasjonsbrosjyrer fra Enova, rettet mot husholdningene, er det anslått at eldre dusjer kan ha et vannforbruk på mellom ca. 16-20 l/min¹⁷⁷. Vi har vært i kontakt med bransjeaktører som mener dette anslaget er ganske riktig, men kanskje noe høyt. For vanlige servanter og kjøkkenkraner ligger vannforbruket gjerne litt lavere enn for dusjer.

Når det i dag produseres kraner eller dusjutstyr med en form for sparefunksjon er det ikke ønskelig at mengden vann skal variere med trykket på stedet. Derfor settes det inn en såkalt "konstant dyse", som gir konstant mengde vann ut, uavhengig av trykket på stedet. Ett eksempel er berøringsfrie kraner som har en konstant dyse innmontert som aldri gir mere enn 6 l/min. Mht. dusjutstyr finnes det sparedusjer på markedet som kun gir 7 l/min. Andre dusjer har installert såkalte økoknapper som reduserer vannmengden hvis den brukes. Bruk av økoknappen kan redusere vannmengden til ca. 60 % for kraner

¹⁷⁷ Enova 2009, *Energisparing for deg som bor i rekkehus og Energisparing for deg som bor i leilighet*. Veiledninger utarbeidet av Enova.

og 50 % på dusjer¹⁷⁸. Men, det er opp til forbrukeren om vedkommende ønsker å benytte seg av den vannbesparende funksjonen. Når det gjelder eksisterende kraner/servanter kan det installeres spareperlator som festes på tuppen kranen og blander inn luft i vannet slik at det brukes mindre vann.

I Enovas potensial- og barrierestudie for yrkesbygg fra 2012 anslås det at vannbesparende armatur (yrkesbygg) kan redusere energibruken til varmt tappevann med 10 %. Her er det tatt utgangspunkt i at sparedusjer kan redusere forbruket fra 15 l/min til 10 l/min, men vesentlig mindre for øvrig forbruk. Vi mener dette anslaget er vel konservativt og legger til grunn at installasjon av vannbesparende armatur kan redusere energiforbruket til varmt tappevann i boliger med 15 %. Det er da tatt høyde for at en god del forbrukere vil velge ordinære armaturer med økoknapp i stedet for sparedusjer der de ikke har mulighet til å selv velge vannmengden, og at økoknappen neppe vil være i bruk hele tiden. I tillegg justerer vi sparepotensialet noe ned fordi en del personer foretrekker karbad fremfor dusj.

Når det gjelder andelen av boligarealet som allerede har installert vannbesparende armatur (dusj og kran/servant) har vi ikke funnet statistikk eller anslag på dette i tidligere litteratur. Vi har heller ikke lykkes i å innhente tall for hva som er markedsandelen til sparedusj eller dusj/armatur med økoknapp per i dag. I følge en bransjeaktør er salget av vannbesparende utstyr økende, men fortsatt lavt hvis vi sammenligner oss med land som har mindre tilgang til rent vann og som har høyere energi kostnader.

I en rapport fra Vestlandsforskning, utført på oppdrag fra NVE i 2012, vises det til en undersøkelse utført for Enova i 2008, der det ble anslått at 50 % av husholdningene da installert sparedusj¹⁷⁹. Vi har ikke funnet undersøkelsen som ble utført på oppdrag fra Enova, men uansett tilsier tilbakemeldingene fra bransjen at dette tallet virker i overkant høyt. Til tross for at installasjon av sparedusjer har vært et tiltak som det har vært gitt offentlig støtte til i mange år, og at tiltaket har vært beskrevet i flere informasjonskampanjer fra det offentlige, antar vi at en noe lavere andel av boligene, anslagsvis 30 %, vil ha installert vannbesparende utstyr til dusj og tappevann (kran og servanter). Det er naturligvis svært stor usikkerhet knyttet til dette anslaget, og vi har variert denne forutsetningen med +- 10 %

I våre beregninger legger vi til grunn forutsetningene som fremgår av tabell B-16.

Tabell B-16: Beregningsforutsetninger – vannbesparende utstyr i boliger

		Variasjon
Installasjon av sparearmaturer	<ul style="list-style-type: none">Potensiell spareeffekt: 15 % av energien til varmt tappevann	<ul style="list-style-type: none">+ - 5 %
Andel med installert sparearmatur	<ul style="list-style-type: none">Antatt andel som allerede har vannbesparende utstyr: 30 %	<ul style="list-style-type: none">+ - 10 %

Det er lagt til grunn at ingenting av varmen i varmtvannet som brukes tilføres boligen som varme til romoppvarmingsformål, jf. også SN/TS 3031, tabell A.7.

¹⁷⁸ Produktinformasjon fra Oras, se www.oras.com

¹⁷⁹ Hille, John, et. al., 2012: *Trender og drivere for energibruk i norske husholdninger*. Rapport utført på av Vestlandsforskning på oppdrag fra NVE. Vestlandsforskningsrapport nr. 13/2011. http://www.vestforsk.no/sites/default/files/migrate_files/vf-rapport-13-2011-nve-energibruk-i-norske-husholdninger.pdf ISBN 978-82-428-0313-9

Utbytte til nye og energieffektive varmtvannsberedere

I 2017 fantes det ca. 2,5 millioner boliger (boenheter) i Norge¹⁸⁰. Disse fordelte seg som følger:

- Enebolig: 1 265 093
- Tomannsbolig, rekkehus, kjedehus og andre småhus: 525 207
- Boligblokk (inkl. bygning for bofellesskap): 653 600
- Andre bygningstyper: 71 869

Vi kan regne med at hver husholdning, bortsett fra blokkleiligheter med felles varmesentral, har én varmtvannsbereder, slik at antallet varmtvannsberedere følger antallet boliger. I tillegg vil det finnes et økende antall fritidsboliger som har innlagt vann og varmtvannsberedere. Vi antar imidlertid at beredere i fritidsboliger vil være slått av når fritidsboligen ikke er i bruk, og at redusert varmetap fra varmtvannsberedere i fritidsboliger ikke vil utgjøre et like viktig energitiltak i nasjonal sammenheng. I følge en leverandør vi har vært i kontakt med er så mye som rundt 50 % av solgte småberedere til boligmarkedet 200 L. Det neste på omsetningslisten er benkeberedere, typisk 120 L og deretter 300 L.

I følge de to største leverandører av varmtvannsberedere i det norske markedet har en ny bereder ca. 25-30 % lavere varmetap enn en gammel bereder¹⁸¹. Vi har skjønnet det slik at dette anslaget refererer til gjennomsnittstall, siden dette varierer sterkt med type produkt. For beredere på 200 L til vanlige eneboliger og småhus vil skumisolerte beredere, som kom på markedet etter 2004, ha et typisk redusert varmetap på nesten 50 % sammenlignet med en eldre bereder som er isolert med glassvatt¹⁸². Imidlertid er det fremdeles benkeberedere som må være isolert med glassvatt for å kunne passe inn i benken. Disse berederne, som har et høyere varmetap, vil trolig være hyppigere i bruk i boligblokker.

Når det gjelder leiligheter i boligblokker med felles energisentral vil disse som regel ha sentraliserte storberedersystemer. Slike storberedere i et felles anlegg gir mindre varmetap enn desentraliserte beredere, blant annet på grunn av et mye større volum og overflate. Dette kan illustreres ved at et storberedersystem for 40-60 leiligheter gir et beredervolum pr leilighet på 30-40 L mot 120 L enn hvis hver leilighet skulle hatt egen bereder. I boligblokker med fellesanlegg for varmtvansdistribusjon kan derimot tapet i energisentralen reduseres ved å isolere rør og deler. Det er gjort egne beregninger for dette tiltaket.

Varmetap fra varmtvannsberedere er også vurdert i rapporten fra Vestlandsforskning fra 2012. I denne rapporten regnes det med at eldre 200 L beredere som ble produsert omkring 1990 vil ha et faktisk varmetap vil være på ca. 1000 kWh/år, når det tas høyde for at varmetapet blir noe mindre enn oppgitt i spesifikasjonene når berederne er i bruk, og etterfylles med kaldt vann. Dette varmetapet var ikke vesentlig endret siden tidlig på 1970-tallet, da isolasjonstykkelsen ble økt. Vestlandsforskning antar at varmetapet kan ha blitt redusert med 20 % fram til 2009. Dette virker noe lavt dersom vi legger til grunn informasjonen som oppgis fra bransjen i dag. For eksempel vil et varmetap på 70 W fra en typisk 200 L beredere tilsvare ca. 613 kWh/år. I undersøkelse utført for den svenske energimyndigheten viste at det også vil være noe forskjell mht. varmetap for beredere på markedet i dag. I denne undersøkelsen

¹⁸⁰ <https://www.ssb.no/bygg-bolig-og-eiendom/statistikker/boligstat>

¹⁸¹ <http://www.hoiax.no/media/varmtvannsbrojsjyre-2017-versjon1-lr.pdf> og <http://osohotwater.no/fordeler/ekstremt-lavt-varmetap.html>

¹⁸² Basert på en antagelse om at nyere 200 L skumisolerte beredere har et gjennomsnittlig stående varmetap målt etter EN 12897 på 70 W mens eldre beredere har et varmetap på 130-140W. Med stående varmetap menes varmetapet berederen har når den står oppvarmet uten tapping.

varierte varmetapet for ulike beredere mellom 550 kWh/år og 750 kWh/år (ikke korrigert for etterfylling av kaldtvann)¹⁸³. Vi mener det er en rimelig antagelse at utskifte fra en gammel varmtvannsbereder til en ny 200 L bereder kan gi et redusert varmetap på ca. 400 kWh, noe som tilsvarer ca. 40 % lavere varmetap. I fyringssesongen vil størsteparten av dette varmetapet bidra til oppvarming av boligen. Samlet anslår vi en gjennomsnittlig potensiell spareeffekt på ca. 200 kWh/år i boliger som i dag har eldre varmtvannsberedere (produsert før 2004). Det vil trolig også være en liten spareeffekt i å skifte ut beredere produsert etter 2004, da vi må regne med en viss teknologisk utvikling også de siste 13 årene. Men, denne effekten vil være liten sammenlignet med det teknologiske skiftet som kom ved introduksjon av skumisolerte varmtvannsberedere, og tas ikke med i videre beregninger.

En annen viktig forutsetning er hvor stor andel av boligene som alt har nyere energieffektive beredere. Nye eneboliger/småhus som er oppført i perioden 2004-2017 vil trolig alle ha installert skumisolerte beredere. I denne perioden er det fullført ca. 97 000 boenheter eneboliger og 79 000 boenheter i andre småhus. Ferdigstilte boenheter i småhus i perioden 2004-2017 utgjør da 10 % av det totale antallet eneboliger/ småhus. I tillegg vil en andel eldre boliger har foretatt utskiftning av varmtvannsbereder de siste 13 årene. I rapporten fra 2012 antok Vestlandsforskning at bare en mindre del av boligene hadde skumisolerte beredere i 2009 (ca. 10 %). Vi mener det må antas at andelen eldre boliger med skumisolerte beredere har økt en del siden 2009. Ettersom varmtvannsberedere har en antatt teknisk levetid på ca. 30 år vil det være naturlig å tro at cirka 20-30 % av berederne i eksisterende boliger er skiftet ut siden 2004. Vi regner med at ca. 30 % av alle eneboliger og rekkehus nå har skumisolerte beredere, og vil variere dette tallet med +- 5 %. Når det gjelder leiligheter regner vi ikke utskifte av varmtvannsberedere som et aktuelt tiltak i mer enn 5 % av leilighetene. Dette skyldes at over 30 % av boligblokkene har felles energisentral og at mindre benkeberedere til bruk i leiligheter der det ikke er felles sentralvarme fortsatt må være isolert med glassvatt for å kunne passe inn i kjøkkenbenken.

Tabell B-17 gir en oversikt over våre forutsetninger for å beregne energisparepotensialet i boligmassen ved utskifte av eldre varmtvannsberedere til nye beredere med lavere varmetap.

Tabell B-17: Beredningsforutsetninger - varmtvannsbereder

	Enebolig/småhus	Leilighet
Antall boliger	1 790 300	653 600
Andel med mulighet for bruk av skumisolert bereder	100 %	5 %
Andel av disse med skumisolert bereder (variasjon +- 5 %)	30 %	30 %
Antatt energisparepotensial (variasjon +- 5 %)	200 kWh/år	200 kWh/år

Teknisk isolering av rør og deler i energisentral

Teknisk isolering av rør og deler i energisentral er kun relevant for den delen av boligmassen som har felles energisentral. Vi regner med at dette omfatter ca. 32 % av eksisterende boligblokker (se tabell B-1). Informasjon fra Enøk-konsulenter vi har vært i kontakt med peker i retning av at det er relativt få energisentraler som har gjennomført isolering av rør og deler. Vi legger derfor til grunn at det kun er ca. 12 % av boligblokkene med sentralfyring som allerede har utført dette tiltaket, og at det er mulig å oppnå 1 % besparelse av energibruken til romoppvarming og tappevann ved isolering av rør og deler.

¹⁸³ <https://www.forbrukerradet.no/test/2014/stor-test-av-varmtvannsberedere/>

Det er naturligvis stor usikkerhet rundt forutsetningene og disse vil varieres i beregningene (tabell B-18). Anslaget på 1 % mulig besparelse ble for øvrig også benyttet i Enovas potensial og barrierestudie.

Når det gjelder andelen boligblokker med sentralvarme som allerede har utført isolering av rør og deler i energisentralen har vil tatt utgangspunkt i dette som regel vil være gjennomført i boligblokker som er oppført etter 2010. Antallet leiligheter som har blitt oppført etter 2010 er i følge Statistisk Sentralbyrå 64 000 enheter, dvs. ca. 10 % av det totale antallet eksisterende leiligheter i 2017¹⁸⁴. I tillegg vil trolig en mindre andel av boligblokkene oppført før dette årstallet har gjennomført dette tiltaket.

Tabell B-18: Beredningsforutsetninger – teknisk isolering av rør og deler i energisentral - boligblokk

		Variasjon
Areal boligblokk (2017)	47 mill. m ²	
Andel med felles sentralfyring (energisentral)	32 %	
Andel som allerede har utført isolering av rør og deler	12 %	+ - 3 %
Antatt energisparepotensial (av energibruken til romoppvarming og tappevann)	1 %	+ 1 %

B.5.2 Resultater

Tabell B-19 viser energisparepotensialet ved tiltak på varmtvannsanlegg i boliger. Slik tabellen viser er det utbytte til vannbesparende armaturer som gir størst energieffekt. Dette er som forventet, ettersom energibruk til varmt tappevann utgjør en betydelig andel av boligens totale energibruk. I tillegg er det lagt til grunn at vannbesparende utstyr og armaturer (dusj og kraner) kan redusere det totale varmtvannforbruket med ca. 15 %. I dette anslaget har vi da også tatt høyde for at kan være en del beboere som i praksis ikke vil ønske å benytte seg av øko-knapper på dusjarmaturer og kraner.

Tabell B-19: Energibesparelse ved tiltak på varmtvannsanlegg

Boligtype	Vannbesparende utstyr (TWh)	Ny energieffektiv varmtvannsbereider (TWh)	Teknisk isolering i energisentral (TWh)	Totalt (TWh)
Enebolig	0,55	0,18	-	0,73
Rekkehus	0,17	0,07	-	0,24
Boligblokk	0,19	~ 0	0,013	0,20
Sum	0,92	0,25	0,013	~ 1,2

Når det gjelder energi som kan spares ved utbytte til nye og mer energieffektive varmtvannsbereidere ligger vårt anslag på 0,25 TWh betydelig lavere enn anslaget på 0,85 TWh som finnes på hjemmesidene til Oso hotwater¹⁸⁵. Noe av forklaringen på den store forskjellen er vi regner med en energigevinst per bereder på ca. 200 kWh i året mot ca. 450 kWh i året i regnestykket til Oso Hotwater. I våre beregninger har vi også et lavt anslag for leiligheter som kan installere skumisolerte beredere og et høyt anslag på andelen boliger som allerede har skiftet ut eldre beredere med nye og mer energieffektive enheter.

¹⁸⁴ Statistisk Sentralbyrå: Tabell 06266 i Statistikkbanken. Tilgjengelig fra <https://www.ssb.no/bygg-bolig-og-eiendom/statistikker/boligstat>

¹⁸⁵ <http://osohotwater.no/miljo/miljoprofil.html>

B.6 Tiltak på klimaskjerm, når en bygningsdel uansett skal rehabiliteres/skiftes ut

B.6.1 Generelle forutsetninger

Tiltak på klimaskjermen i boliger er i seg selv sjelden et kostnadseffektivt energitiltak (jf. kap. 5.2). Et unntak kan være etterisolering mot tak/loft i eldre boliger, dersom dette tiltaket ikke er gjennomført tidligere. Det er imidlertid slik at riveraten for boliger i Norge er lav. Det betyr at boligene med jevne mellomrom vil måtte rehabiliteres for at bygningsstandarden skal opprettholdes. Tiltakskostnadene for å gjennomføre energitiltak på klimaskjermen vil reduseres dersom tiltakene utføres i forbindelse med andre relaterte rehabiliteringsarbeider. Vi har estimert effekten av å foreta energioppgradering av boligers tak, yttervegg og vindu når det uansett skal utføres tiltak på den aktuelle bygningsdelen.

Energioppgraderingsrate

Enova har undersøkt rehabiliteringsraten for boliger, med og uten energioppgradering, for ulike bygningsdeler som tak, yttervegg, gulv mot grunn og vindu¹⁸⁶. Tabell B-20 viser resultatene i rapporten for rehabiliteringsrate, med og uten energioppgradering, for hhv. tak og yttervegg i ulike typer boliger. For å bli klassifisert som energioppgradering iht. definisjonene Enova-rapporten krevdes det at det ble etterisolert med minst 5 cm i yttervegg og minst 10 cm i tak/loft ved gjennomføring av rehabiliteringen. Det ble ikke angitt hvor stor andel av de som utførte etterisolering som oppgraderte til forskriftsnivå.

Tabell B-20: Rehabiliteringsrate for tak og yttervegg i bolig

	Tak		Yttervegg	
	Årlig rehab-rate	Rehab-rate med energioppgradering	Årlig rehab-rate	Rehab-rate med energioppgradering
Enebolig	2,56 %	0,99 %	2,08 %	1,23 %
Rekkehus	2,68 %	0,85 %	2,32 %	1,28 %
Boligblokk	1,91 %	0,39 %	2,10 %	0,88 %

For vindu ble det undersøkt hvor stor andel av boligene som skulle skifte ut vindu og glassflater som benyttet vinduer med U-verdi < 1,0 W/m²K. Tabell B-21 viser funnene i rapporten mht. hvor mange % som årlig skifter ut vindu, og hvor stor andel som da benytter vinduer med en U-verdi < 1,0 W/m²K, som altså er bedre enn forskriftsstandarden for nye boliger, og som er det Enova anbefaler.

Tabell B-21: Rehabiliteringsrate for vindu i bolig

	Årlig rehab-rate	Rehab-rate med energioppgradering (U-verdi < 1,0 W/m ² K)
Enebolig	2,81 %	1,77 %
Rekkehus	3,11 %	1,83 %
Boligblokk	2,89 %	1,57 %

Boligarealer og andel som allerede har gjennomført energioppgradering av bygningsdelene

Generelt er det slik at potensialet for energisparing ved å energioppgradere boligers klimaskjerm øker desto dårligere boligen er isolert fra tidligere. Dette betyr i praksis at isolasjonstiltak i eksisterende boliger vil være mest kostnadseffektivt desto eldre boligen er, forutsatt at den ikke allerede er

¹⁸⁶ Bjørnstad, Even, et.al., 2015: Rehabilitering og energioppgradering av boliger. Drøfting av begreper og måling av omfang. Enova rapport. <http://www.mynewsdesk.com/no/enova-sf/documents/rehabilitering-og-energioppgradering-av-boliger-58726>

etterisolert. I denne rapporten vil vi se på effekten av å etterisolere tak/loft/etasjeskiller og yttervegg i boliger som er oppført før 1980 (og som ikke er allerede oppgradert til bedre isolasjonsstandard). Mht. vinduer vil det normalt brukes vinduer med U-verdi 1,2 W/m²K ved utskifte, noe som tilsvarer dagens standard for nybygg. Vi har i det følgende beregnet effekten av at det velges vinduer med enda lavere U-verdi (0,8 W/m²K) det som er vanlig praksis, når en boligeier skal foreta utskiftning av vinduer.

For å beregne energisparepotensialet for energioppgradering av tak/loft og yttervegg i boliger har vi tatt utgangspunkt i bruksarealer for boliger oppført før hhv. 1956, 1970 og 1980, som angitt i Enovas potensial og barrierestudie fra 2012. Dette er basert på en tanke om at energioppgradering av boligers klimaskjerm (her yttervegg og tak) vil være mest kostnadseffektivt for eldre, og dårlig isolerte, boliger. I tillegg har vi korrigert for Statistisk Sentralbyrås tall for årlig gjennomsnittlig boligavgang i årene 2010-2017 (tabell 9 i kapittel 8.1) og Enovas tall for årlig energioppgradering (tabell B-20 og tabell B-21).

Rater for boligavgang og energioppgradering er angitt som prosentsatser for hele boligmassen. Men, boligavgang og energioppgradering vil naturlig være høyere for eldre boliger, da disse har større behov for vedlikehold, etc.¹⁸⁷. Vi antar derfor halvannen gang så høye rate for disse faktorene i perioden 2011-2016 for boliger som er oppført før 1980 som for boligmassen sett under ett (tabell B-22). Det samme gjelder rehabiliteringsraten for disse bygningsdelene, som også er satt halvannen gang så høyt som for boligmassen sett under ett. For vindu stiller saken seg noe annerledes da rehabiliteringstakten trolig er jevnere fordelt uavhengig av byggeår, fordi vinduer gjerne byttes hyppigere enn tak/kledning.

Tabell B-22: Antatt avgang og energioppgradering for boliger oppført før 1980.

	<i>Boligavgang</i>	<i>Energioppgradering (tak)</i>	<i>Energioppgradering (yttervegg)</i>
Enebolig	0,23 %	1,5 %	1,85 %
Rekkehus	0,18 %	1,3 %	1,92 %
Boligblokk	1,08 %	0,6 %	1,32 %

Videre vil antallet boliger der det kan være kostnadseffektivt å foreta energioppgradering av tak eller yttervegg være lavere enn i 2010, fordi en viss andel er oppgradert eller revet de siste seks årene. Tabell B-23 og B-24 viser anslag fra boliger oppført før 1980 som er benyttet i de videre beregningene. Årsaken til at det er færre eneboliger med isolasjonsstandard fra året 1956 enn fra 1980 er at en større andel av boligene oppført før 1956 har etterisolert til en høyere isolasjonsstandard enn boliger oppført senere. Utgangspunktet for anslagene er situasjonen i 2010 slik den ble beskrevet i Enovas potensial- og barrierestudie for boliger fra 2012¹⁸⁸. Her er det blant annet gitt anslag mht. hvor stor andel av ulike boliger som er oppført i forskjellige tidsrom, som har blitt oppgradert til en bedre isolasjonsstandard.

Tabell B-23: Eksisterende boliger med isolasjon i tak iht. bygningsstandard fra 1956, 1970 og 1980

	Enebolig	Rekkehus	Boligblokk
Boliger med isolasjonsstandard - 1956	16 mill. m ²	6 mill. m ²	7 mill. m ²
Boliger med isolasjonsstandard - 1970	17 mill. m ²	5 mill. m ²	5 mill. m ²
Boliger med isolasjonsstandard - 1980	25 mill. m ²	7 mill. m ²	6 mill. m ²

¹⁸⁷ Dette fremgår for øvrig også av Enovas rapport om rehabilitering og energioppgradering av boliger (2015).

¹⁸⁸ Haarberg, Karl Johan et. al., 2012: *Potensial- og barrierestudie - Energieffektivisering av norske boliger. Bakgrunnsrapport*. Rapport utført av Prognosesenteret i samarbeid med Entelligens på oppdrag for Enova. Enova rapport 2012:01.1

Tabell B-24: Eksisterende boliger med isolasjon i yttervegg iht. bygningsstandard fra 1956, 1970 og 1980

	Enebolig	Rekkehus	Boligblokk
Boliger med isolasjonsstandard - 1956	11 mill. m ²	4 mill. m ²	5 mill. m ²
Boliger med isolasjonsstandard - 1970	16 mill. m ²	6 mill. m ²	4 mill. m ²
Boliger med isolasjonsstandard - 1980	25 mill. m ²	6 mill. m ²	5 mill. m ²

Energisparing ved energioppgradering av tak

Mht. tiltaket som gjeler energioppgradering av tak har vi tatt utgangspunkt i at det kan etterisoleres til dagens forskriftsstandard når det først skal utføres rehabiliteringsarbeider på taket. Tabell B-25 viser anslagene for netto energibesparelse (kWh/m²), iht. resultatene i Enovas potensial- og barrierestudie for boliger¹⁸⁹. I tabell B-25 er det justert for systemvirkningsvirkningsgraden i oppvarmingssystemene som ble antatt i Enova-studien. Dette betyr at tabell B-25 angir energisparingen i netto energibehov.

Tabell B-25: Energisparing ved etterisolering av tak [Enova rapport 2012:01:1 - Vedlegg A-2] (netto energibesparelse)

Opprinnelig byggestandard/-år	U-verdi tak før oppgradering	U-verdi etter oppgradering	Energisparing
Enebolig før 1956	0,81 W/m ² K	0,15 W/m ² K	~ 26 kWh/m ²
Enebolig før 1970	0,33 W/m ² K	0,16 W/m ² K	~ 8 kWh/m ²
Enebolig før 1980	0,21 W/m ² K	0,15 W/m ² K	~ 2 kWh/m ²
Rekkehus før 1956	0,81 W/m ² K	0,15 W/m ² K	~ 28 kWh/m ²
Rekkehus før 1970	0,35 W/m ² K	0,16 W/m ² K	~ 7 kWh/m ²
Rekkehus før 1980	0,2 W/m ² K	0,2 W/m ² K	-
Boligblokk før 1956	0,81 W/m ² K	0,15 W/m ² K	~ 16 kWh/m ²
Boligblokk før 1970	0,35 W/m ² K	0,31 W/m ² K	-
Boligblokk før 1980	0,21 W/m ² K	0,21 W/m ² K	-

Vi har tatt utgangspunkt i anslagene fra Enovas potensial- og barrierestudie (bakgrunnsrapport for boliger) i det videre arbeidet med å estimere potensialet for energisparing ved etterisolering av tak. For detaljerte beregningsforutsetninger, inkludert referanseboliger for de ulike tidsepokene, henviser vi til Enova-rapporten. Beregning av sparepotensial (kWh/m²) finnes i Enova-rapportens vedlegg A-2.

Hva som er årsaken til at det ikke regnes med noen energieffekt av å etterisolere tak i boligblokk oppført mellom 1956 og 1980 i Enovas potensial- og barrierestudie er vanskelig å si. Det samme gjelder for rekkehus oppført mellom 1970 og 1980. Vi vil anta at dette kan være knyttet forutsetninger om konstruksjonsmetode og hvor enkelt det vil være å foreta energioppgradering av tak til forskriftsnivå.

I andre rapporter er det lagt til grunn andre forutsetninger når det gjelder referanseboliger, konstruksjonsmetode og effekt av energioppgraderingstiltak. I en rapport utført for Direktoratet for

¹⁸⁹ Haarberg, Karl Johan et. al., 2012: *Potensial- og barrierestudie - Energieffektivisering av norske boliger. Bakgrunnsrapport. Vedlegg A-2* Rapport utført av Prognosesenteret i samarbeid med Entelligens på oppdrag for Enova. Enova rapport 2012:01.1

byggkvalitet 2012 ble effekten av å etterisolere tak i boligblokker oppført etter byggereglene fra 1969¹⁹⁰. I følge denne rapporten ville det være mulig å spare 19 kWh/m² ved å etterisolere mot tak/loft i en boligblokk oppført i perioden 1970-1980. Det ble her forutsatt at U-verdi for tak i boligblokken ble forbedret fra 0,58 W/m²K til 0,09 W/m²K (lavenerginivå)¹⁹¹. Når det gjelder småhus ble det anslått en mulig energibesparelse på 23 kWh/m² ved å etterisolere taket i boligene til forskriftsnivå (0,13 W/m²K).

Gitt usikkerheten om hvilken energibesparelse som kan forventes ved å etterisolere mot tak/loft i boligblokker oppført i perioden 1956-1980 har vi valgt å ikke inkludere dette i de videre beregningene. Dette vi imidlertid ikke særlig utslag på resultatene. Dette skyldes både at bruksarealet for boligblokk oppført i denne perioden (som ikke allerede har blitt etterisolert) er relativt lite. I tillegg er takarealet i en boligblokk relativt til bruksarealet for leilighetene mindre enn for eneboliger og rekkehus. Denne avgrensningen betyr likevel at potensialet for energisparing ved dette tiltaket er noe underestimert. For rekkehus oppført før 1980 har vi regnet med samme energibesparelse (kWh/m²) som for enebolig.

For enkelte boliger vil det være foretatt såkalt "historisk oppgradering". Med dette legger vi at boligene ikke er etterisolert opp til forskriftsstandard, men at tiltak av mer generell art også kan gi en bedre U-verdi og dermed mindre varmetap. I Statistisk Sentralbyrås forbruksundersøkelse fra 2014 svarte 24 % av husholdningene at de kjente til at tak, loft eller etasjeskiller hadde blitt etterisolert. Andelen var høyere for eldre boliger¹⁹². Undersøkelsen inneholdt ikke informasjon om hvor godt bygningsdelene hadde blitt etterisolert. Vi har ikke tatt med effekten av slik historisk oppgradering av bygningsdelene i videre beregninger. Det er uansett viktig å være klar over at det er stor usikkerhet rundt hvilken isolasjonsstandard og U-verdi som det er riktig å regne med som snitt for bygningsdeler i eldre boliger.

Energisparing ved energioppgradering av yttervegg

Også mht. tiltaket som gjeler energioppgradering av yttervegg har vi tatt utgangspunkt i at det kan etterisoleres til dagens forskriftsstandard når det først skal utføres rehabiliteringsarbeid på veggen.

Tabell B-26 viser anslagene for energisparing (kWh/m²), ved etterisolering av ytterveggene i enebolig, rekkehus og boligblokk som angitt i Enovas potensial- og barrierestudie for boliger¹⁹³. For detaljerte beregningsforutsetninger, spesifisering av referanseboliger, etc. henviser vi videre til denne rapporten. Akkurat som for tak er det justert for de systemvirkningsvirkningsgraden i oppvarmingsystemene som ble lagt til grunn i Enova-studien. Dette betyr at tabell B-28 angir energisparingen i netto energibehov.

¹⁹⁰ Almås, Anders-Johan, et. al., 2012: *Kostnadsoptimalitet – Energiregler i TEK*. Rapporten er utarbeidet av Multiconsult AS og SINTEF Byggforsk på oppdrag for Direktoratet for byggkvalitet. <https://dibk.no/globalassets/energi4/rapport-kostnadsoptimalitet.pdf>

¹⁹¹ I rapporten ble det også regnet på å energioppgradere taket i boligblokken til forskriftsnivå, dvs. en U-verdi på 0,13 W/m²K. I rapporten er det oppgitt en energibesparelse for dette tiltaket på hele 35 kWh/m², dvs. en større energibesparelse enn å etterisolere videre til en U-verdi 0,09 W/m²K. Dette tyder på at det har skjedd en feil og at energibesparelsen ved å etterisolere til forskriftsnivå ble angitt for høyt.

¹⁹² Bøeng, Ann Christin, et. al., 2014: *Kartlegging av oppvarmingsutstyr i husholdningene*. SSB-notat 2014/45. <https://www.ssb.no/energi-og-industri/artikler-og-publikasjoner/attachment/211307?ts=14a38e530c0> ISBN 978-82-537-9053-4

¹⁹³ Haarberg, Karl Johan et. al., 2012: *Potensial- og barrierestudie - Energieffektivisering av norske boliger. Bakgrunnsrapport. Vedlegg A-2* Rapport utført av Prognosesenteret i samarbeid med Entelligens på oppdrag for Enova. Enova rapport 2012:01.1

Tabell B-26: Energisparing ved etterisolering av yttervegg [Enova rapport 2012:01:1 - vedlegg A-2]
(netto energibesparelse)

Opprinnelig byggestandard/-år	U-verdi yttervegg før oppgradering	U-verdi yttervegg etter oppgradering	Energisparing
Enebolig før 1956	0,96 W/m ² K	0,19 W/m ² K	~ 69 kWh/m ²
Enebolig før 1970	0,50 W/m ² K	0,19 W/m ² K	~ 37 kWh/m ²
Enebolig før 1980	0,41 W/m ² K	0,19 W/m ² K	~ 27 kWh/m ²
Rekkehus før 1956	0,96 W/m ² K	0,19 W/m ² K	~ 62 kWh/m ²
Rekkehus før 1970	0,50 W/m ² K	0,19 W/m ² K	~ 35 kWh/m ²
Rekkehus før 1980	0,41 W/m ² K	0,19 W/m ² K	~ 27 kWh/m ²
Boligblokk før 1956	0,82 W/m ² K	0,18 W/m ² K	~ 58 kWh/m ²
Boligblokk før 1970	0,96 W/m ² K	0,18 W/m ² K	~ 65 kWh/m ²
Boligblokk før 1980	0,34 W/m ² K	0,18 W/m ² K	~ 9 kWh/m ²

Akkurat som for tak varierer anslagene for energisparing (kWh/m²) i ulike rapporter. For eksempel avviker anslagene i ovennevnte rapport utført for Direktoratet for byggkvalitet fra estimatene i Enovas-potensial og barrierestudie. Dette skyldes at ulike forutsetninger er lagt til grunn for beregningene.

For enkelte boliger vil det være foretatt såkalt "historisk oppgradering". Med dette legger vi at boligens yttervegger ikke er etterisolert opp til forskriftsstandard, men at tiltak av mer generell art kan gi bedre U-verdi og dermed mindre varmetap. Ett eksempel kan være at det legges inn noen cm. tilleggisolasjon ved bytte av kledning. I Statistisk Sentralbyrås forbruksundersøkelse fra 2014 ble husholdningene ikke spurt om de kjente til at ytterveggen i boligen hadde blitt etterisolert. Evt. effekter av historisk oppgradering gir generelt stor usikkerhet mht. hvilken isolasjonsstandard som bør antas for eksisterende boliger. Vi har ikke tatt høyde for evt. slike effekter i denne potensialstudien.

Energisparing ved utskifte til vindu

Energireglene i teknisk byggforskrift for boliger har siden revisjonen i 2007 vært basert på en U-verdi for vindu på 1,2 W/m²K. Det omsettes også vinduer med U-verdi 1,4 W/m²K, men vi legger til grunn at vinduer med U-verdi 1,2 W/m²K ofte vil være standard i både nybygg og rehabiliteringsprosjekter.

Vi har estimert potensialet for energisparing ved at alle boligeiere som årlig skifter ut eldre vinduer installerer vinduer med U-verdi 0,8 W/m²K i stedet for 1,2 W/m²K. Det kan være eksisterende boliger der slike vinduer ikke er egnet, på grunn av hensyn til ventilasjon og inn klima¹⁹⁴. Samtidig kan dette også avhenge av hvorvidt det er undertrykk eller overtrykk i rommene der vinduene skal installeres.

Multiconsult har tidligere beregnet energisparepotensialet ved å skifte ut vinduer i eksisterende småhus og boligblokker i en rapport utført på oppdrag fra Direktoratet for byggkvalitet i 2012, vedr. kostnadsoptimale energitiltak¹⁹⁵. Tabell B-27 viser estimerte energibesparelser i denne rapporten ved å skifte ut vinduer i boliger slik at U-verdien reduseres fra 2,4 W/m²K, til hhv, 1,2 W/m²K og 0,8 W/m²K.

¹⁹⁴ Se blant annet anbefalinger fra Tinde vindu på: <https://www.tindevindu.no/vindu/alt-om-vinduer/om-u-verdi-og-energi/>

¹⁹⁵ Almås, Anders-Johan, et. al., 2012: *Kostnadsoptimalitet – Energiregler i TEK*. Rapporten er utarbeidet av Multiconsult AS og SINTEF Byggforsk på oppdrag for Direktoratet for byggkvalitet. <https://dibk.no/globalassets/energi4/rapport-kostnadsoptimalitet.pdf>

I denne rapporten ble det lagt til grunn elektrisk oppvarming i referanseboligene. Det kan derfor antas at netto og levert energibesparelse vil være nokså likt her (jf. systemvirkningsgradene i NS 3031:2007).

Tabell B-27: Energisparing ved forbedring av U-verdi for vindu i boliger [Multiconsult 2012¹⁹⁶]

(netto energibesparelse)

	Energisparing ved å redusere U-verdi på vindu fra 2,4-1,2 W/m ² K	Energisparing ved å redusere U-verdi på vindu fra 2,4-0,8 W/m ² K	Differanse
Småhus	22 kWh/m ²	32 kWh/m ²	10 kWh/m ²
Boligblokk	20 kWh/m ²	26 kWh/m ²	6 kWh/m ²

I virkeligheten vil energispareeffekten av å gå fra U-verdi 1,2 W/m²K til 0,8 W/m²K på vinduer i en bolig også avhenge flere faktorer, som bygningsform, vindusareal og klimatiske forhold. Vi har ikke tatt høyde for slike variasjoner som i våre beregninger, men dette vil være relevant for den enkelte bolig.

For fleretasjesbygg kan det oppstå en mulig konflikt i tilfeller der det gjelder krav til brannvinduer, fordi det er få tilbydere i markedet som tilbyr vinduer med nødvendig brannmotstand og trelags isolérrute med U-verdi på 0,8 W/m²K¹⁹⁷. Vi har imidlertid ikke gått nærmere inn på denne problemstillingen her.

I Statistisk Sentralbyrås forbruksundersøkelse fra 2014 ble husholdningene ikke spurt om de kjente til at vinduene i boligen med bedre isolasjonsevne¹⁹⁸. 42 % av husholdningene oppga at de var kjent med at det var skiftet til vinduer som isolerte bedre. Andelen var høyere desto eldre boligene var.

B.6.2 Energisparing ved å etterisolere tak når det uansett skal rehabiliteres

Tabell B-28 viser det årlige energisparepotensialet dersom alle boligeiere som rehabiliterer taket foretar en ambisiøs energioppgradering av denne bygningsdelen, dvs. opp mot forskriftsnivået for nybygg. Det er naturligvis stor usikkerhet rundt dette anslaget. I beregningene har vi lagt til grunn at boligeiere som ikke energioppgraderer ikke legger inn noe isolasjon og heller ikke får noe effekt av en generell rehabilitering. I tillegg har vi antatt at boligeiere som først energioppgraderer etterisolere til forskriftsnivå. Begge disse forutsetningene innebærer at det er gjort forenklinger.

Estimatene for energisparing i tabell B-28 er angitt som levert energi. Det vil si at vi har justert for systemvirkningsgradene for oppvarmingssystemene i boliger som er beregnet i vedlegg C. Årsaken til at det er beregnet nye systemvirkningsgrader i denne rapporten, og ikke benyttet de samme verdiene som i tidligere studier, er blant annet at anbefalte verdier i NS 3031 ble endret ved revisjonen i 2014.

¹⁹⁶ I Enovas potensial og barrierestudie for boliger fra 2012 er det også vist regneeksempler på energibesparelser ved å oppgradere vinduer i eldre boliger. Her regnes det med en potensiell energibesparelse på 7,5 kWh/m² ved å bytte ut vinduer i enebolig oppført før 1956 med vinduer med U-verdi 0,8 W/m²K vs. 1,2 W/m²K. Én av årsakene til differansen er at det i rapporten utført for DiBK er regnet med et større bruksareal og vindusareal for eneboligene.

¹⁹⁷ Bugten, Arve og Almås, Anders Johan, 2015: *Krav til vindu og dør i byggt teknisk forskrift (TEK10)*. SINTEF Byggforsk rapport nr. 102010925, utført på oppdrag for Direktoratet for byggkvalitet. https://dibk.no/globalassets/byggeregler/tek10-til-tek17/rapporter/krav-til-vindu-og-dor_sintef_oktober-2015.pdf

¹⁹⁸ Bøeng, Ann Christin, et. al., 2014: *Kartlegging av oppvarmingsutstyr i husholdningene*. SSB-notat 2014/45. <https://www.ssb.no/energi-og-industri/artikler-og-publikasjoner/attachment/211307?ts=14a38e530c0> ISBN 978-82-537-9053-4

Tabell B-28: Årlig effekt av at boligeiere som rehabiliterer taket etterisolerer opp mot forskriftsnivå (levert energi)

	<i>Energisparepotensiale</i>
Eneboliger	0,013 TWh
Rekkehus	0,006 TWh
Boligblokk	0,003 TWh
Sum boliger	~ 0,022 TWh

Resultatene viser at det kan oppnås en årlig effekt på ca. 0,022 TWh ved at alle boligeiere som uansett skal utføre tiltak på taket i løpet av et år også etterisolerer til forskriftsnivå. Det største potensialet for energisparing finnes i eldre eneboliger oppført før 1956, der sparepotensialet ved tiltaket er anslått til ca. 0,01 TWh i året, dvs. over én tredel av det totale sparepotensialet av å utføre energioppgradering av tak i boliger. Over en 20 års periode kan det spares 0,44 TWh gjennom rehabilitering av tak i boliger.

B.6.3 Energisparing ved å etterisolere yttervegg når det uansett skal rehabiliteres

Tabell B-29 viser det årlige energisparepotensialet dersom alle boligeiere som rehabiliterer og skifter kledning også foretar energioppgradering av boligens yttervegger, opp mot forskriftsnivået for nybygg. Det er stor usikkerhet rundt dette anslaget. I beregningene har vi lagt til grunn at boligeiere som ikke energioppgraderer heller ikke legger inn noe isolasjon og dermed ikke får noen energieffekt av en generell rehabilitering. I tillegg har vi antatt at boligeiere som først energioppgraderer etterisolerer til forskriftsnivå. Begge forutsetningene innebærer forenklinger, men det må gjøres forenklinger her, fordi det ikke finnes god informasjon om isolasjonsstandard i eksisterende boliger som rehabiliteres.

Tabell B-29: Effekt av at boligeiere som rehabiliterer fasaden etterisolerer yttervegger til forskriftsnivå (levert energi)

	<i>Energisparepotensiale</i>
Eneboliger	0,024 TWh
Rekkehus	0,011 TWh
Boligblokk	0,012 TWh
Sum boliger	~ 0,047 TWh

Resultatene viser at det kan oppnås en årlig effekt på ca. 0,047 TWh ved at alle boligeiere som uansett skal utføre skifte fasaden også etterisolerer ytterveggene til forskriftsnivå. Størst potensiale finnes i eldre eneboliger oppført før 1956, der tiltaket er anslått til å kunne spare ca. 0,01 TWh i året, dvs. ca. en femtedel av det samlede sparepotensialet som er estimert for energioppgradering av yttervegg i bolig. Over en 20 års periode kan det spares over 0,9 TWh ved å energioppgradere yttervegger i eldre boliger.

B.6.4 Energisparing ved å skifte til bedre vinduer enn forskriftsstandard

Tabell B-30 viser det årlige energisparepotensialet i boliger dersom alle boligeiere som skifter ut vinduer installerer vinduer med en U-verdi på 0,8 W/m²K i stedet for 1,2 W/m²K. I beregningene har vi lagt til grunn forutsetningene i kapittel B.6.1. Dette tiltaket er definert til å være relevant for hele

boligmassen, og ikke kun eldre boliger oppført før 1980. Dette skyldes at U-verdi 1,2 W/m²K er vanlig standard også for nye boliger som oppføres i dag. I tillegg har vi variert beregningene ved å legge til grunn at energigevinsten vil kunne variere - 25 % og + 10 % ift. de energispareeffektene som er estimert i tabell B-27. Årsaken til at det er valgt å variere energigevinsten ned med hele 25 % er forskjellene vi har sett mellom beregnet energibesparelse av dette tiltaket i tidligere litteratur (jf. også fotnote 198). Som for tiltakene som handler om energioppgradering av tak og yttervegg i boliger er det justert for de systemvirkningsgrader for oppvarmingssystemer som finnes i de ulike boligtypene (se vedlegg C).

Tabell B-30: Effekt av at boligeiere som skal skifte vinduer installerer vinduer med U-verdi 0,8 W/m²K (levert energi)

	Basisscenario	Scenario høy spareeffekt	Scenario lav spareeffekt
Eneboliger	0,017 TWh	0,019 TWh	0,013 TWh
Rekkehus	0,007 TWh	0,008 TWh	0,005 TWh
Boligblokk	0,004 TWh	0,004 TWh	0,003 TWh
Sum boliger	~ 0,028 TWh	~ 0,031 TWh	~ 0,021 TWh

Etter ti år vil den årlige energispareeffekten av tiltaket være på ca. 0,28 TWh. Etter 20 år vil effekten av tiltaket nærme seg 0,6 TWh. Det er viktig å huske på at den reelle energieffekten av å skifte vinduene vil være enda høyere, da en normal U-verdi for vinduer i eldre boliger kan være mellom 2,4-2,8 W/m²K. Dersom tiltaket hadde vært definert til å handle om å skifte ut eldre vinduer (U-verdi 2,4 W/m²K) med nye vinduer (U-verdi 1,2 W/m²K) ville sparepotensialet vært høyere som det som er angitt i tabellen.

B.6.5 Resultater for tiltak på tak, yttervegg og vindu (når det uansett skal rehabiliteres)

Tabell B-31 viser årlig energispareeffekt etter 20 år dersom alle boligeiere som rehabiliterer tak, yttervegg eller skifter vindu utfører energioppgradering av bygningsdelene. Hvis rehabiliteringstakten øker vil energisparepotensialet realiseres raskere. Samtidig oppgraderes kvaliteten til boligmassen.

Tabell B-31: Årlig energieffekt av energioppgradering ved rehabilitering etter 20 år (levert energi)

	Oppgradering tak	Oppgradering yttervegg	Oppgradering vindu
Enebolig	0,26 TWh	0,48 TWh	0,34 TWh
Rekkehus	0,12 TWh	0,22 TWh	0,14 TWh
Boligblokk	0,06 TWh	0,24 TWh	0,08 TWh
Sum	0,44 TWh	0,94 TWh	0,56 TWh

B.7 Tiltak på pumper (boligblokk med sentralvarme)

B.7.1 Forutsetninger

For boliger medgår det pumpeenergi til distribusjon av varmførende væske i sentralvarmeanlegg. Vi vil anslå at anslagsvis 90 % av alle pumper i varmesentraler i boligblokker er eldre pumper. Dette skyldes at pumper i sameier og borettslag stort sett skiftes ut når de har havarert. Det tas derfor en forutsetning om at kun 10 % av pumpene i boligblokker med felles varmesentral er nye energieffektive pumper. Dette er lavere enn vårt anslag for yrkesbygning (kap. A.9), noe som er rimelig å anta da drift

av yrkesbygninger som regel er mer profesjonalisert enn boligblokker. En del eldre leilighetsbygg har også installert sirkulasjonspumper på varmtvannsdistribusjonen i forbindelse med øvrig rehabilitering av bad og rør. Det antas at ca. 30 % av alle leilighetsbygg har sirkulasjon på varmtvannet med pumpe.

Utover dette er det lagt til grunn de samme forutsetningene som for utskifting av eldre pumper i yrkesbygninger (kap. A.9). Medgått pumpeenergi som andel av en ledningsleveranse antas å utgjøre ca. 4 % av leveransen fra hhv. varmeanlegg og varmtvannssirkulasjon. Videre regner vi med at energi medgått til pumpedrift i en varmesentral basert på varmepumpe er noe høyere, ca. 10 % av anleggets energileveranse. Andel boligblokker med sentralvarmeanlegg er diskutert i kapittel B.1 (se tabell B-1).

Som for yrkesbygninger regner vi med en mulig gjennomsnittlig energireduksjon på ca. 30 % av pumpeenergien til varmeanlegg i boligblokk som følge av utskifting fra gammel til ny effektiv pumpe.

B.7.2 Resultater

Basert på forutsetningene ovenfor mener vi det er mulig å spare noe under 0,02 TWh ved å installere nye og effektive frekvensstyrte pumper i alle boligblokker som har eldre pumper fra tidligere. Dette er med andre ord ikke et særlig virkningsfullt tiltak for å nå målet om 10 TWh energisparing i eksisterende bygninger. Men, tiltaket kan likevel være effektivt og sågar lønnsomt i enkelte borettslag og sameier.

Vedlegg C - Systemvirkningsgrader

C.1. Antatte systemvirkningsgrader

Systemvirkningsgrader for de ulike oppvarmingsløsningene er beregnet med utgangspunkt i NS 3031:2014. Det er imidlertid ikke skilt mellom oppvarmingsløsninger for småhus, boligblokk og yrkesbygg. Dette er en forenkling, som antas å ha liten betydning for overslaget av virkningsgrader sett under ett.

Tabell C-1: Systemvirkningsgrader for ulike oppvarmingsløsninger (iht. NS 3031:2014)

	Produksjonsvirkningsgrad	Distribusjonsvirkningsgrad	Romvirkningsgrad	Systemvirkningsgrad
Elektrisk ovn o.l.	1,00	1,00	0,92	0,92
Fjernvarme	0,98	0,96	0,90	0,85
El-kjel	0,97	0,96	0,90	0,84
Olje-/gasskjel	0,85	0,96	0,90	0,78
Biokjel	0,78	0,96	0,90	0,78
Varmepumpe (snitt luft-vann/væske-vann)	2,5	0,96	0,90	2,16
Luft-luft varmpumpe	2,0	1	0,91	1,82
Olje-/parafinkamin	0,77	0,94	0,85	0,61
Gasskamin	0,72	0,94	0,85	0,58
Moderne rentbrennende peis	0,72	1	0,87	0,63
Eldre vedovn	0,35	1	0,87	0,30

C.2. Yrkesbygg

For å angi en fordeling mellom oppvarmingsløsninger i yrkesbygg med sentralvarme er det tatt utgangspunkt i Statistisk Sentralbyrås rapport fra 2013 om energibruk i bygninger for tjenesteytende virksomhet¹⁹⁹. Yrkesbygningene vil normalt ha installert flere oppvarmingsløsninger. Vi har antatt at bygninger med fjernvarme, varmpumper og flis i stor grad vil benytte seg av disse løsningene for å dekke romoppvarmingsbehovet. Vannbårne varmeløsninger basert på el-kjel, olje-/gass-kjel og annet vil brukes både til grunnlast og spisslast. I tillegg vil en mindre andel av romoppvarmingsbehovet trolig dekkes av elektriske ovner blant annet på grunn av bruk av vifteovner, varmekabler på bad, o.l. Tabell C-2 viser antatt fordeling mht. energidekningsgrad mellom ulike oppvarmingsløsninger for yrkesbygg med sentralvarme.

Tabell C-2: Antatt fordeling - energidekningsgrad i yrkesbygg med sentralvarme

Fjernvarme	Varmepumpe	Annet (bio)	El-kjel	Oljekjel	Elektrisk ovn o.l.
45 %	15 %	15 %	15 %	5 %	5 %

I yrkesbygninger uten sentralvarme har vi antatt at mesteparten av romoppvarmingsbehovet vil dekkes av elektriske ovner, o.l. I tillegg viser rapporten til Statistisk Sentralbyrå fra 2013 at om lag 10

¹⁹⁹ Abrahamsen A.S., Bergh M. og Fedoryshyn N, 2013: *Energibruk i bygninger for tjenesteytende virksomhet 2011*, SSB Rapport 62/2013, <https://www.ssb.no/energi-og-industri/artikler-og-publikasjoner/attachment/154307?ts=142fa6ff6d8> ISBN 978-82-537-8829-6

% av yrkesbygningene vil ha installert luft-luft varmepumper. Det er antatt at luft-luft varmepumpene i slike tilfeller kan kunne dekke i snitt 50 % av romoppvarmingsbehovet. I tillegg vil yrkesbygg uten sentralvarme dekke mindre deler av romoppvarmingsbehovet med ved/pellets eller olje/gass (kamin).

Tabell C-3 viser antatt fordeling mht. energidekningsgrad mellom ulike oppvarmingsløsninger for yrkesbygg uten sentralvarme.

Tabell C-3: Antatt fordeling - energidekningsgrad i yrkesbygg uten sentralvarme

Elektrisk ovn o.l.	Luft-luft varmepumpe	Vedovn	Olje-/parafin kamin	Gasskamin
92 %	5 %	1 %	1 %	1 %

Tabell C-4 viser en samlet systemvirkningsgrader for yrkesbygg som er lagt til grunn i denne rapporten. Det vil kunne være forskjeller mellom ulike kategorier yrkesbygg, samt forskjeller avhengig av når bygningene er oppført. I første rekke vil slike ulikheter avhenge av andelen varmepumper som er tatt i bruk. Vi har imidlertid gjort noen enkle overslag som tyder på at forskjellene mellom de ulike yrkesbyggkategoriene ikke vil være av stor betydning, og vi har ikke skilt på dette i det videre arbeidet.

Tabell C-4: Estimat - systemvirkningsgrad yrkesbygg (samlet)

	Andel med sentralvarme	Systemvirkningsgrad	Andel uten sentralvarme	Systemvirkningsgrad	Samlet systemvirkningsgrad
I alt	48 %	1,01	52 %	0,96	0,98

C.3. Boliger

For å angi en samlet systemvirkningsgrad for boliger er det tatt utgangspunkt i Statistisk Sentralbyrås kartlegging av oppvarmingsløsninger i husholdningene fra 2014²⁰⁰, samt tilgjengelig informasjon fra Statistikk Sentralbyrå energibruk og energikilder til oppvarming i husholdningene²⁰¹. For boliger med vannbårne varmeløsninger er det antatt en fordeling for de ulike romoppvarmingsløsningene som vist i tabell C-5. Elektrisk ovn o.l. inkluderer her varmeløsninger som varmekabler på bad, vifteovner, osv.

Tabell C-5: Antatt fordeling – energidekningsgrad i boliger med vannbårne systemer

	Enebolig	Rekkehus	Boligblokk
Elektrisk ovn o.l.	10 %	10 %	10 %
Fjernvarme	-	-	50 %
Varmepumpe (vann)	40 %	10 %	10 %
Bio-/pelletskjel	15 %	35 %	10 %
El-kjel	25 %	35 %	10 %
Oljekjel	10 %	10 %	10 %

²⁰⁰ Bøeng, Ann Christin, et. al., 2014: Kartlegging av oppvarmingsutstyr i husholdningene. SSB-notat 2014/45. <https://www.ssb.no/energi-og-industri/artikler-og-publikasjoner/attachment/211307?ts=14a38e530c0> ISBN 978-82-537-9053-4

²⁰¹ Aasestad, Kristin, 2014: Mindre ved gikk opp i røyk. SSB-artikkel. <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/artikler-og-publikasjoner/mindre-ved-gikk-opp-i-royk>

For boliger uten sentralvarme er det antatt en fordeling som vist i tabell C-6. Som tabellen viser er det stor forskjell mht. andelen boliger med varmepumpe og systemvirkningsgraden vil derfor også variere.

Tabell C-6: Antatt fordeling – energidekningsgrad i boliger uten vannbårne systemer

	Enebolig	Rekkehus	Boligblokk
Elektrisk ovn o.l.	56 %	68 %	85 %
Luft-luft varmepumpe	22 %	13 %	1 %
Moderne rentbrennende vedovn	12 %	10 %	8 %
Eldre vedovn	8 %	7 %	6 %
Olje-/parafinkamin	1 %	1 %	-
Gasskamin	1 %	1 %	-

Tabell C-7: Estimat – systemvirkningsgrad boliger (samlet)

	Andel med sentralvarme	Systemvirkningsgrad	Andel uten sentralvarme	Systemvirkningsgrad	Samlet systemvirkningsgrad
Enebolig	11 %	1,34	89 %	1,03	1,07
Rekkehus	7 %	0,91	93 %	0,96	0,96
Boligblokk	32 %	0,96	68 %	0,87	0,90

Vedlegg D - Gode energihistorier

D.1 Sofienberg skole – lærer gjennom god drift

Takket vært god drift er energiforbruket ved Sofienberg skole redusert med minst 600 000 kWh de siste fire årene. I snitt bruker de tre skolebyggene som utgjør Sofienberg skole rundt 130 kWh/kvm/år, noe som er godt under snittet for Oslos skoler. Det ligger nemlig på 149 kWh/kvm/år.

Driftsleder Ørjan Reiser-Bjørnå er svært godt fornøyd med resultatet, men jobber stadig med å få energiforbruket nedover.

– Mye handler om å forstå og følge opp systemene og anleggene, rett og slett. Jeg tar en daglig runde innom ventilasjonsrommene og varmesentralen for å sjekke at alt går som det skal. Jeg er nøye på at service blir gjennomført når den skal, og kommer det en feilmelding, melder jeg umiddelbart inn til Undervisningsbygg slik at feilen kan rettes opp raskt, sier han.

Sofienberg skole har et lokalt SD-anlegg og et toppanlegg. Oppvarmingen skjer gjennom et vannbårent varmesystem med radiatorer i alle rom – og skolen er tilknyttet fjernvarme som brukes som spisslast. Som for de fleste skoler, går energiforbruket ved Sofienberg primært til oppvarming. Klasserommene holder stort sett en temperatur på rundt 20 grader, mens kontorene ligger på rundt 22 grader. Om natten senkes temperaturen, og så starter aggregatene i 4-5-tiden om morgenen for å varme skolen opp igjen.

– Jeg er ganske streng med temperaturen i klasserommene, fordi jeg vet at når rommet befolkes, vil de som er til stede også avgi varme. Noen få mener nok det er for kaldt, men mitt utgangspunkt er at så lenge 80 % er fornøyd, så gjør jeg jobben min, sier Reiser-Bjørnå.

Reiser-Bjørnå forteller at han på ventilasjonssiden styrer CO₂-nivået etter Sintefs anbefalte grenseverdier – stort sett:

– Min maksgrense ligger litt lavere enn Sintef sin, hos oss begynner systemet å blande inn ny luft fra 900 ppm allerede. Hos Sintef er den grenseverdien på 1000 ppm. Jeg har ikke inntrykk av annet enn at vi har grei luftkvalitet på skolen, påpeker han.

Når det gjelder fremtidige energireduksjoner, har driftslederen ved Sofienberg flere punkter på agendaen.

– Vi har hatt litt problemer med kjøling på de varmeste dagene om sommeren, noe som skyldes en kombinasjon av solskjermer som ikke fungerer optimalt og tilløp til lekkasjer i isvannsystemet. Dette ble rettet opp i vår, så nå håper jeg at det fungerer som det skal. Videre vil jeg jobbe med ytterligere automatisering av lysene i de tre byggene. I dag skrur klasserombelysningen seg av selv etter en halvtime uten bevegelser i rommet. Men tavlelysene blir ofte stående på, og jeg prøver nå å finne en løsning som sikrer at også disse lysene skrur av automatisk.

Reiser-Bjørnå syns det er givende å jobbe med energieffektiv drift.

– Til syvende og sist handler det om å spare både penger og miljø – og det er jo en vinn-vinn. Og så er det lærerikt for min egen del også. Jeg har jobbet med noe ventilasjon tidligere, så jeg hadde et visst innblikk i hva jeg gikk til da jeg begynte her i 2014. Men at det var så mye å tenke på, hadde jeg ikke trodd. Jeg lærer noe nytt hver dag.

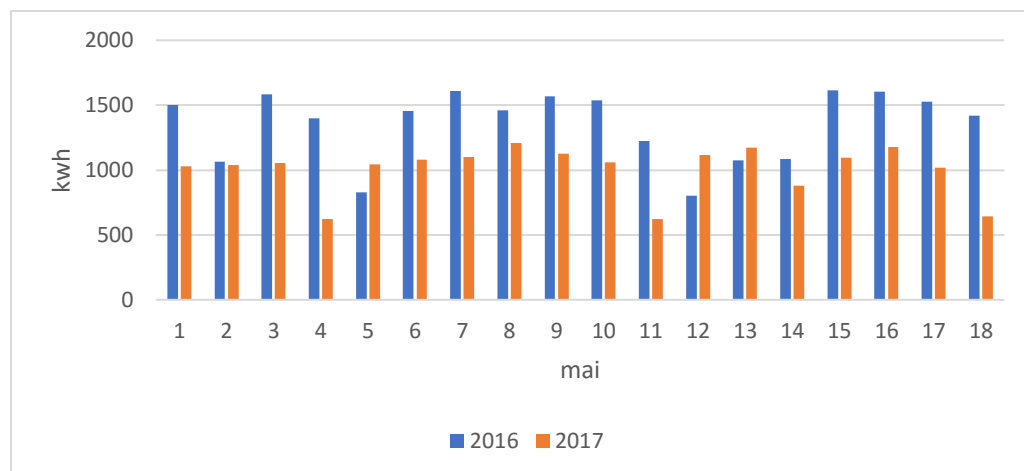
D.2 Kiwi Hommersåk – Nytt kuldeanlegg – stor effekt

– Det vi sparer mest energi på i Kiwi-butikkene, er å ha effektive kjøleanlegg og glassdører ved kjølediskene, forteller prosjektsjef **Jan Eilif Johansen i Kiwi**.

Et helt ferskt og konkret eksempel på det, er Kiwi Hommersåk i Sandnes, Rogaland.

I butikken fra 1999 byttet man nylig ut det gamle og særs lite miljøvennlige HFK-kuldeanlegget med et moderne CO₂-anlegg, og etter bare noen dagers drift viste det seg at tiltaket hadde effekt. En effekt som har holdt seg gjennom de påfølgende dagene og ukene.

– Nå gjorde vi mer enn å bytte kuldeanlegg, Vi har også installert nytt varmegjenvinningsbatteri og fått på plass et SD-system – ENVO, vi har oppgradert automatikken på ventilasjonssystemet og skiftet ut alle lysstoffrør med LED-armaturer. Alle disse tiltakene til sammen har gitt oss en innsparing på 25 % i forhold til samme periode året før, forteller Johansen.



Figur C-1: Energireduksjoner hos Kiwi Hommersåk

Butikken på Hommersåk har et bruttoareal på 1145 m², hvorav 802 er rent salgsareal (det vil si det arealet der det står varer tilgjengelig for kundene). Sett ut fra areal er Kiwi Hommersåk en ganske typisk Kiwi-butikk, med et ganske typisk energiforbruk. Før enøk-tiltakene ble gjennomført, hadde butikken på Hommersåk et årlig energiforbruk på 525 MWh i året, eller 458 kWh/m²/år. Nå satser prosjektsjef Johansen på å komme ned i 350 MWh i året.

– Det er miljøvennlig samtidig som vi sparer penger. Dette er tiltak vi er nødt til å gjennomføre, ikke minst for å ha kontroll over energiforbruket vårt. I Kiwi-systemet jobber vi nå med å gjennomføre omfattende enøk-tiltak i alle våre butikker, og vi har en takt på 60-70 butikker i året. Innen 2028 skal

vi ha byttet kjøleanlegg i ytterligere 400 Kiwi-butikker og innen 2020 skal alle Kiwi-butikker ha LED-belysning.

Johansen påpeker samtidig at like tiltak kan ha ulik effekt i forskjellige butikker:

– Vi ser at noen butikker greier å redusere energiforbruket med opptil 45 % i forhold til tidligere, mens andre ikke kommer like høyt. Det kan ha sin forklaring i varierende forhold som butikkens omsetning, bygningens tekniske standard, utetemperaturen og klimaet der butikken ligger, forklarer han.

Kiwi-kjeden er en del av NorgesGruppen, som har som mål å redusere energiforbruket med 18 % innen 2020.

– Dører og tildekking viser seg å ha stor effekt på energiforbruket. Drøyt halvparten av energiforbruket i salgsarealet i alle våre butikker går til kjøling – så det å redusere kjølebehov gjennom å dekke til varene, vil også ha effekt på energiforbruket, påpeker **Halvard Hauer**, miljøansvarlig i NorgesGruppen.

Med Kiwi, Meny. Spar, Joker og Nærbutikken i sin portefølje, står NorgesGruppen for rundt 1 million kvadratmeter med dagligvarebutikk-areal, fordelt på rundt 1600 butikker, både frittstående og i kombibygger (større eller mindre kjøpesentre).

D.3 Olav Thon gruppen: Alt henger sammen med EOS

Enten man vil varme vann mer effektivt eller kjøre ventilasjonsanleggene mer fornuftig på et hotell, så handler god energieffektivisering til syvende og sist om tett oppfølging.

– Det er nesten umulig å trekke ut et enkelt effektiviseringstiltak og si at det var det mest kostnadseffektive – for når man driver hotell, er det så mange forhold som spiller inn. Ett tiltak kan påvirke effekten av et annet, både positivt og negativt, påpeker **Ole-Martin Moe**, som leder avdelingen for energi og tekniske anlegg i Olav Thon Gruppen.

Olav Thon Gruppen eier og driver mer enn 70 hoteller i Norge, Sverige, Brussel og Rotterdam, og energieffektivisering står høyt oppe på Moes dagsorden. Konsernet har i mange år jobbet med energisparing, og allerede i 2007 kunne man dokumentere en årlig besparelse på mer enn 20 GWh.

De største utgiftspostene når det gjelder energiforbruk i hoteldrift, er knyttet til oppvarming av tappevann og ventilasjon. Sammenlignet med Enovas statistikk for gjennomsnittlig energiforbruk i hoteller, ligger Thon Hotels i alle fall ti % under dette.

Selv om Ole-Martin Moe syns det er vanskelig å trekke ut enkelttiltak, er han ikke i tvil om hva han mener er det rimeligste og mest effektive når man over tid skal få ned energiforbruket på et hotell:

– Det første er å sørge for god oppfølging av energiforbruket. Vi har installert energioppfølgingsystem (EOS) på alle hotellene våre, noe som gir oss verdifull kunnskap om eiendommens energiflyt og mulighet for å optimalisere forbruket. Systemet er nettbasert, dermed kan forbruket følges opp hvor som helst, når som helst og av hvem som helst. Gjennom aktiv bruk av systemet kan vi faktisk komme

opp i ti % eller mer i energibesparelse. Det er med andre ord et svært lønnsomt tiltak. Dessuten gir regelmessig bruk av EOS økt kunnskap hos driftspersonellet vårt, og det betyr mye for systemforståelsen av de tekniske anleggene, sier Moe.

Et annet – og mer konkret – tiltak han trekker frem, er konvertering til fjernvarme.

– Bakgrunnen for at vi ved flere hoteller konverterer til fjernvarme er sammensatt. En faktor er det ferske forbudet mot oljefyring, som trer i kraft 1. januar 2020. På de hotellene som har oljefyring i dag er vi altså nødt til å gjøre endringer, noe som uansett vil medføre kostnader. Selv om det i mange tilfeller vil være rimeligst å investere i en overgang fra fossil olje til bio-olje, ser vi at fjernvarme har en rekke fordeler. Når vi da velger å konvertere fra olje til fjernvarme, må vi uansett gjøre noen tilpasninger i fyrrommene våre. Da benytter vi samtidig anledningen til å rehabilitere varmesentralen. Dermed kan vi oppnå en ikke ubetydelig energigevinst utover den rene overgangen til fjernvarme. Dette vinner både miljøet og lommeboka på, påpeker Moe.

Olav Thon Gruppen har egne ansatte energirådgivere som kan bistå hotellene med å avdekke avvik gjennom EOS-systemet – slik at de blant annet kan optimalisere driftstidene.

– Vi har flere eksempler på slike avvik, og hva de medfører av økte energikostnader. EOS viser blant annet når ventilasjonsanlegg er i drift og om de går for full maskin eller redusert hastighet. Ved å trimme driftstider opp mot det faktiske behovet kan vi oppnå store besparelser. For eksempel så vi på et av våre hoteller at det var et stort varmepådrag med to timers varighet samtidig med at ventilasjonsanlegget startet opp. Det medførte et høyere effektforbruk på rundt 80 til 90 kW som genererte et påslag på effektkostnaden fra netteier. Da vi klarte å jevne ut pådraget, oppnådde vi en årlig kostnadsreduksjon på rundt 40 000 kroner for dette hotellet. Selv om vi ikke sparte en eneste kWh på dette tiltaket, sparte vi likevel penger på nettleien. Det er med andre ord påviselig lønnsomt å sørge for tett og god oppfølging av energiforbruket, sier Moe.

D.4 Buskerud Storsenter – Tett oppfølging = bedre energistyring

De startet i det små med blyant, papir og excel-ark i 2002. I dag følger alle Citycons driftsteknikere opp energiforbruket digitalt. Det sparer de millioner på.

– Energioppfølging er en hverdagsaktivitet hos oss og en forutsetning for alt vi driver med, sier **Magne Eriksen**, Property Manager i kjøpesenterkonsernet Citycon. Citycon eier eller forvalter 33 kjøpesentre i Norge, med et samlet areal på over én million kvadratmeter.

Kjøpesentre er utfordrende bygg når det gjelder effektiv bruk av energi. De er ofte store i areal, har gjerne flere innganger der varme forsvinner ut og kulde trenger inn – og ulike leietakere har ofte ulikt energibehov. Alt fra dagligvarebutikker med stort kjølebehov til klesforretninger der temperaturen bør være høy nok til at kundene ikke fryser i prøverommene.

– Du vil jo helst at folk skal bli i bygget en stund; de skal trives når de er på kjøpesenteret, påpeker Eriksen og får støtte fra **Kai Brede Sillerud**, rådgivende ingeniør og enøk-konsulent for en rekke av Citycons kjøpesentre:

– Mange tror at det å spare energi kun handler om å få ned temperaturen, men blir det for kaldt faller omsetningen. Det samme skjer om det blir for varmt, sier Sillerud. Dermed er utfordringen å finne den perfekte balansen mellom et edruelig energiforbruk og fornøyde brukere av senteret.

Nylig fullførte Citycon en omfattende rehabilitering av Buskerud Storsenter i Krokstadelva. Noe av det mest kostnadseffektive som ble gjort, var å installere nye kjøle- og ventilasjonsanlegg.

– Vi har nå nye ventilasjonsaggregater med varmegjenvinning, slik at all energi blir brukt og gjenbrukt i senteret. Vi har roterende gjenvinnere og overskuddsvarmen henter vi fra kjølemaskineriet, et klimanøytralt CO₂-anlegg. Jeg tror vi er blant de første kjøpesenteraktørene som bruker CO₂ som kuldemedium i kjølesystemet vårt, og det fungerer foreløpig veldig bra. Tallene så langt tilsier at vi har greid å redusere energiforbruket på senteret med 13 % i eksisterende anlegg i forhold til før rehabiliteringen, forteller Magne Eriksen.

Før rehabiliteringen var det gjennomsnittlige energiforbruket på Buskerud Storsenter på 259 kWh/kvm/år. Etter rehabiliteringen, som inkluderer nybygg, nye anlegg og et økt areal på 4600 kvm, er snittforbruket nede i 165 kWh/kvm/år – inkludert leietakernes forbruk også.

Citycon har jobbet bevisst med energioppfølging i mange år, og blant annet gjennom Enova-støttede prosjekter har de greid å redusere energiforbruket med over 40 GWh siden 2003. Gjennomsnittlig energiforbruk i Citycons kjøpesentre er 228 kWh/kvm/år. I dag er alle sentrene i porteføljen BREEAM In-Use-sertifisert, alle har automatisert energioppfølgingssystem og SD-anlegg. Det er fortsatt mulig å effektivisere forbruket ytterligere, konsekvensen er imidlertid at det koster stadig mer per sparte kilowatttime.

– Det er som en pyramide der tiltakene blir dyrere og dyrere jo flinkere du er. I starten var det rimeligste og mest kostnadseffektive vi gjorde å dokumentere forbruket, systematisere og strukturere. Etter hvert som vi fikk oversikt over hva energiforbruket gikk til, kunne vi begynne å regulere enkelte installasjoner for å redusere driftstiden – uten at det gikk utover komforten til kundene. Det kunne være alt fra lys til vifter og varmekabler, enkle tiltak som ga rask effekt. Nå er det litt mer komplekst, forklarer Eriksen.

Det viktigste tiltaket nå er likevel å sikre god drift og kontinuerlig kompetanseutvikling av driftsteknikerne:

– Det hjelper ikke å ha gode systemer uten at folkene som skal drifte dem har den nødvendige kompetansen. Derfor har vi valgt å ha driftsteknikerne ansatt hos oss, og vi bruker mye tid på å lære opp og videreutvikle dem. Dessuten er vi bevisste på hva slags systemer vi innfører. Det er ikke gull alt som glimrer, for å si det sånn.

D.5 Ulsrud videregående skole – Suksessfaktor: En driftig vaktmester

Ny varmepumpe og bedre drift er to nøkkelfaktorer for å forklare hvordan Ulsrud videregående skole har greid å redusere energiforbruket sitt kraftig de siste årene.

Den drøyt 50 år gamle skolebygningen har et vannbårent varmeanlegg med varmepumpe som grunnlast og bioolje som spisslast. I 2013 begynte varmepumpa å havarere, automatikken var svak, effekten fra spisslast for stor og returtemperaturen ble for høy. Etter hvert tok spisslasten tok over, noe som førte til at spisslast og grunnlast “byttet funksjon” og varmepumpa fikk lite og dårlig drift.

Med 500 000 kroner i støtte fra Enova og det tredobbelte fra eget budsjett, investerte skolen i ny varmepumpe, nye oljebrennere, oppdatert styring, bytte av sprit, vakumutluffer og korrosjonshemmer for brønnekretser og vannbehandling varmeanlegg. I tillegg ble det etablert en ny serviceavtale for varmepumpa. Men kanskje viktigst av alt: Driftsledet ble prioritert, med opplæring av vaktmester og oppfølging av EOS.

– Vår påstand er at unødvendig høyt energiforbruk er et symptom på dårlig drift. På Ulsrud videregående skole har vi en vaktmester som er bunnsolid, nysgjerrig, lærevillig og veldig samvittighetsfull når det gjelder å oppnå en mest mulig energieffektiv drift av skolen, forteller **Rita Næssén Barkholm**, energiledelseskoordinator i Undervisningsbygg KF.

Vaktmesteren hun snakker om, er **Bjørn Brårmo**. Han forklarer engasjementet sitt slik:

– Jeg er genuint interessert i å oppnå energieffektiv drift samtidig som skolebygget skal være et komfortabelt sted for elever og ansatte. Komfort kommer først, så innsparingen. Og når vi sparer, er gulrota at innsparingen må komme skolen til gode på annet vis.

Det er særlig innenfor oppvarming og ventilasjon at Brårmo ser innsparingspotensialet i energiforbruket:

– Brorparten av energiforbruket ved Ulsrud skole er nok knyttet til oppvarming. Mitt utgangspunkt er at klasserommene skal ha en temperatur på mellom 19/19,5 til maks 21,5 grader. Vi senker temperaturen på nattetid, og så handler mye om å starte oppvarmingen av rommene på riktig tidspunkt i forhold til både rommets fysiske plassering og årstid. Det har nemlig mye å si om et klasserom vender mot øst eller vest. Starter jeg oppvarmingen av klasserommene for tidlig om høsten, venner elevene seg til å gå med T-skjorte inne – og forventer å kunne gjøre det vinteren gjennom. Da blir jobben min å balansere dette best mulig, påpeker Brårmo, som legger til at han også prøver å ha oversikt over hvilke rom som ikke har undervisning, slik at han kan senke temperaturen – og dermed energiforbruket - der.

Han forteller at skolen først nå har sitt første hele driftsår med den nye varmepumpa, og prognosene er gode:

– Ting tyder på at vi greier å redusere forbruket i 2017 med 160 000 kWh i forhold til 2016, sier han.

Siden 2014 har Ulsrud videregående skole greid å redusere energiforbruket fra drøyt 2,2 MWh til trolig like over 1,7 MWh for inneværende år.

– Bevisst drift er viktig, men jeg ser også at de milde vintrene påvirker energiforbruket positivt. Utskifting til LED-lys og bedre lysstyring gir også utslag. Når det gjelder videre potensial for enda mer energieffektiv drift, så tror jeg det ligger i samkjøring av systemene. Det å få oppvarming og ventilasjon til å fungere bedre sammen, er viktig, og noe jeg jobber kontinuerlig med. I tillegg håper jeg å få til en automatisert samkjøring mellom varmepumpa og biokjelene, slik at vekslingen mellom disse skjer på riktig tidspunkt. Nå jobber jeg manuelt med disse overgangene. På sikt vil en utvidelse av brønnenparken vår kunne ha effekt også. De 20 brønnene på 200 meters dybde som vi har nå, tømmes relativt raskt for energi om vinteren, sier Brårmo.

NOTAT

OPPDRAAG	Beregning varmegjenvinning	DOKUMENTKODE	130854-RIEn-NOT-001
EMNE	Bedre varmegjenvinning av ventilasjon	TILGJENGELIGHET	Åpen
OPPDRAAGSGIVER	GEHØR Strategi og Rådgivning AS	OPPDRAAGSLEDER	Trond Ivar Bøhn
KONTAKTPERSON	Gunnar Grini	SAKSBEHANDLER	Trond Ivar Bøhn
KOPI	Isak Oksvold	ANSVARLIG ENHET	1065 Oslo Energibruk og bygningsfysikk

SAMMENDRAG

På oppdrag fra GEHØR Strategi og Rådgivning AS har Multiconsult utført beregninger for gjennomsnittlig energibesparelse (kWh/m²) ved å forbedre varmegjenvinning i ventilasjon;

- fra 80 til 85 % i eksisterende næringsbygninger med balansert ventilasjon, med og uten behovsstyrte luftmengder
- fra 70 til 80 %, og videre fra 80 til 85 % i eksisterende boligbygninger med balansert ventilasjon

Beregningene er utført på de 13 bygningskategoriene kjent fra NS 3031:2014 og energikrav i TEK.

1 Bakgrunn

GEHØR Strategi og Rådgivning AS er prosjektledere for en utredning som ser på potensialet for energisparing i norske bygg, ved gjennomføring av de antatt mest kostnadseffektive tiltakene. Utredningen gjøres på oppdrag for Lavenergiprogrammet, og baseres på tidligere studier og rapporter.

Ett av tiltakene som skal vurderes er bedre varmegjenvinning av ventilasjonsluft, i eksisterende boliger og næringsbygg. I Enovas potensial- og barrierestudie fra 2012 er det gjort anslag for energisparingen (kWh/m²) ved å øke temperaturvirkningsgrad varmegjenvinner til 80 % for næringsbygninger og til 70 % for boligbygninger.

På oppdrag fra GEHØR Strategi og Rådgivning AS har Multiconsult utført beregninger for gjennomsnittlig energibesparelse (kWh/m²) ved å forbedre varmegjenvinningen ytterligere

- fra 80 til 85 % i eksisterende næringsbygninger med balansert ventilasjon, med og uten behovsstyrte luftmengder
- fra 70 til 80 %, og videre fra 80 til 85 % i eksisterende boligbygninger med balansert ventilasjon

Beregningene er utført på de 13 bygningskategoriene kjent fra NS 3031:2014 og energikrav i TEK.

I foreliggende revisjon 02 er det også gjort noen tilleggsberegninger som angitt i nytt kapittel 4.

2 Forutsetninger

Beregningene er utført med programmet SIMIEN versjon 6.006. Det er brukt samme forutsetninger som i potensialstudien for Enova, siden beregningsresultatene skal bygge videre på disse. Etter avtale med oppdragsgiver presenteres resultatene som beregnet netto energibesparelse.

Oppdragsgiver vurderer selv systemvirkningsgrader og regner om til besparelse på målepunktet

02	4.8.2017	Tilleggsberegninger			Trond Ivar Bøhn
01	1.8.2017	Presisering at resultater er på målepunktet netto energi			Trond Ivar Bøhn
00	5.7.2017	Til oppdragsgiver	Trond Ivar Bøhn	Jürgen Kiedaisch	Trond Ivar Bøhn
REV.	DATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET AV	KONTROLLERT AV	GODKJENT AV

Bedre varmegjenvinning av ventilasjon

levert energi, før aggregering av virkelig potensial. (Potensialstudien for Enova har resultater på målepunktet levert energi).

Potensialstudien for næringsbygg ble utført av Multiconsult, og vi har bygget videre på de SIMIEN-modellene og forutsetningene derfra (TEK07). Potensialstudien for boliger ble utført av Prognosesenteret, og vi har forsøkt å finne og gjenbruke de samme forutsetningene de brukte den gang, innsatt i nye SIMIEN-modeller.

Forutsetninger:

- *Klimasted*: Oslo (benyttes som gjennomsnittsklima for Norge, representativt for bygningsmassen)
- *Driftstider*: Standardiserte verdier iht. tabell A.3 i NS 3031:2014
- *Luftmengder*: Veiledende luftmengder i og utenfor driftstid iht. tabell B.1 i NS 3031:2014. I praksis driftes ventilasjonen noe før og etter arbeidstiden, slik at dette ansees som representativt. For småhus 1,2 m³/h,m² og for boligblokk 1,7 m³/h,m².
- *Internlaster*: Standardiserte verdier iht. tabell A.1 og A.2 i NS 3031:2014, med unntak av belysning i næringsbygg hvor det er forutsatt behovstyring og dermed 80 % av tabellverdi
- *Oppvarming*: Vannbåren oppvarming med setpunkt temperaturer i og utenfor driftstid iht. tabell A.3 i NS 3031:2014
- *Tilluftstemperatur ventilasjon*: Konstant tilluftstemperatur 18 °C for næringsbygningene og 20 °C for boligbygningene. For bygningskategoriene kontorbygg, universitet/høgskole, sykehus, hotell, forretningsbygg, kulturbygg og lett industriverksted er det redusert tilluftstemperatur 16 °C i sommermånedene mai-august. Tilluftstemperaturen kan virke lav for noen bygningskategorier, men er slik det lå til grunn for energirammene i TEK og for potensialstudien. En høyere tilluftstemperatur vil gi økt energibesparelse for tiltaket forbedret varmegjenvinning ventilasjon, men en reell høyere setpunkttemperatur for oppvarming enn standardisert verdi vil jevne ut dette igjen.
- *SFP-faktor*: 2,0 kW/(m³,s) for næringsbygninger og 2,5 kW/(m³,s) for boligbygninger. Tilluftsvifte og avtrekksvifte plassert før varmegjenvinner.
- *Varmegjenvinner*: Forutsatt regenerativ modell (roterende eller kammergjenvinner) med frostsikringstemperatur -10 °C iht. tabell H.7 i NS 3031:2014.

3 Resultater

3.1 Næringsbygninger

For næringsbygningene er det etter avtale med oppdragsgiver utført to sett med beregninger:

1. Forbedring av varmegjenvinner fra 80 til 85 % på reduserte gjennomsnittlige luftmengder som følge av behovstyring på anlegget. Luftmengde i driftstid er her redusert med 20 % fra tabellverdier B.1 i NS 3031:2014, mens luftmengde utenfor driftstid er uendret.
2. Forbedring av varmegjenvinner fra 80 til 85 % på fulle luftmengder iht. tabellverdier B.1 i NS 3031:2014.

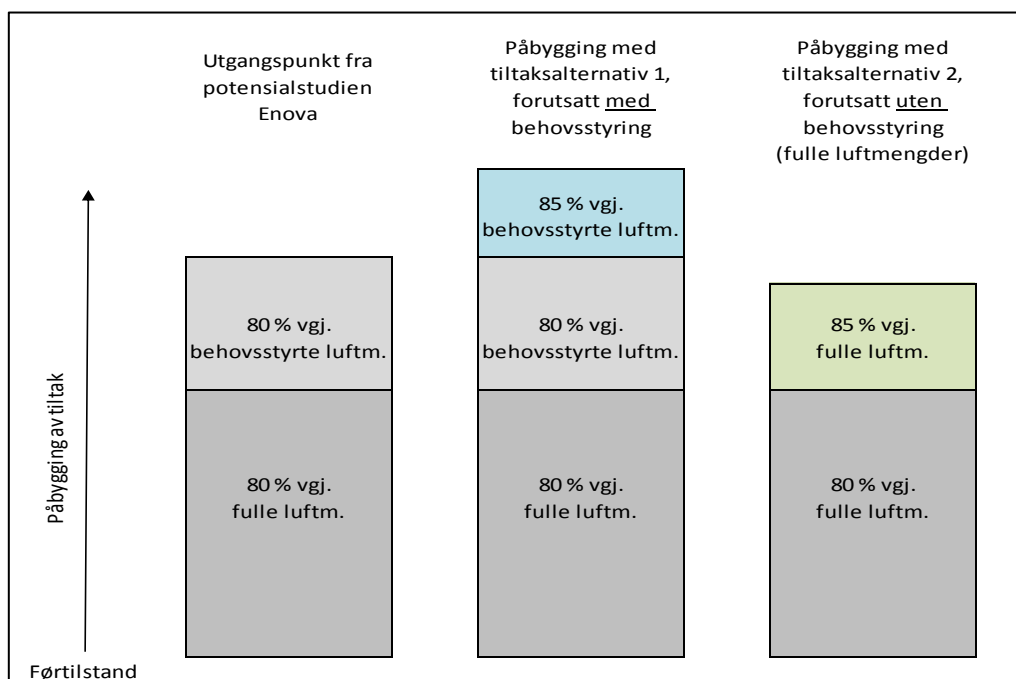
Bakgrunnen for at det er utført to sett med beregninger, er for å ha muligheten til å aggregere energibesparelse for gjensidig avhengige tiltak på ulike andeler av bygningsmassen. I Enovas potensial- og barrierestudie for næringsbygg fra 2012 ble det regnet på energibesparelse ved forbedring av varmegjenvinner opp til 80 %, og videre i annet påbyggende tiltak besparelse for behovsstyring av luftmengder (altså forutsatt 80 % varmegjenvinning). 80 % varmegjenvinning tilsvarte energitiltakskravet for næringsbygg i «gamle» TEK10 gyldig før 2016. Det som nå ligger til grunn for energirammene i «nye» TEK10 gjeldende fra 2016 er 85 % varmegjenvinning.

Bedre varmegjenvinning av ventilasjon

Dersom det nå, på hele eller en andel av bygningsmassen, skal forutsettes både forbedring av varmegjenvinner fra 80 til 85 % og samtidig behovsstyring, bygger energibesparelsen videre på begge tiltakene fra potensialstudien som altså gjaldt både forbedring av varmegjenvinner til 80% og behovsstyring. I dette tilfellet benyttes resultatene fra pkt. 1 ovenfor.

Mens dersom det nå, på hele eller en andel av bygningsmassen, skal forutsettes kun forbedring av varmegjenvinner fra 80 til 85 % og ingen behovsstyring, bygger energibesparelsen videre på kun det tiltaket fra potensialstudien som gjaldt forbedring av varmegjenvinner til 80%. I dette tilfellet benyttes resultatene fra pkt. 2 ovenfor.

Dette er illustrert i figuren nedenfor:



Figur 1: Illustrasjon påbygging av tiltak fra potensialstudien for næringsbygg

Resultater fra beregningene med forbedring varmegjenvinning fra 80 til 85 % på hhv behovsstyrte luftmengder (tiltaksalternativ 1) og fulle luftmengder (tiltaksalternativ 2) er presentert i tabellen nedenfor. Merk at dette er beregnet netto energibesparelse, og en omregning til besparelse på målepunktet levert energi må gjøres for aggregering av virkelig potensial.

Tabell 1: Resultater forbedring varmegjenvinning i næringsbygninger

Bygningskategorier	Netto energibesparelse [kWh/m ² per år] ved forbedring varmegjenvinning fra 80 til 85 % på	
	behovsstyrte luftmengder (tiltaksalternativ 1)	fulle luftmengder (tiltaksalternativ 2)
Barnehage	6,1	6,8
Kontorbygning	5,7	6,4
Skolebygning	6,6	7,4
Universitet/høgskole	6,5	7,3
Sykehus	9,5	11,5
Sykehjem	8,6	10,4
Hotellbygning	6,6	7,9
Idrettsbygning	8	9,3
Forretningsbygning	10,7	12,2
Kulturbygning	6,1	6,8
Lett industri / verksteder	5,9	6,5

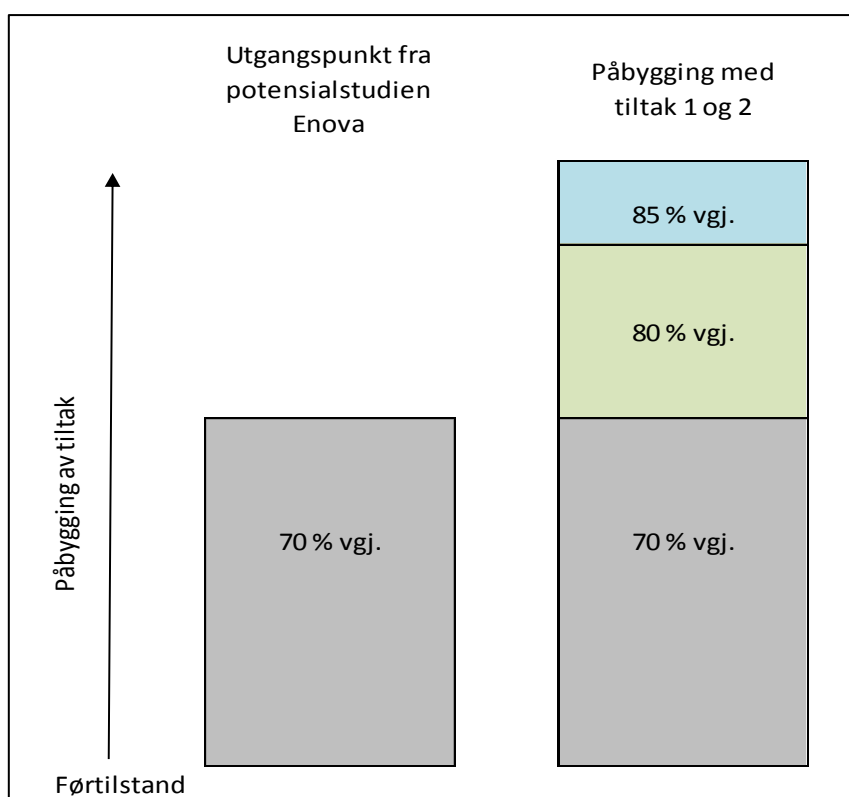
3.2 Boligbygninger

For boligbygningene er det etter avtale med oppdragsgiver utført to sett med beregninger:

1. Forbedring av varmegjenvinner fra 70 til 80 % på luftmengder iht. tabellverdier B.1 i NS 3031:2014.
2. Forbedring av varmegjenvinner fra 80 til 85 % på luftmengder iht. tabellverdier B.1 i NS 3031:2014.

Dette er gjort for å ha muligheten til å aggregere energibesparelsene og anvende det på ulike andeler av bygningsmassen. I Enovas potensial- og barrierestudie for boliger fra 2012 ble det regnet på energibesparelse ved forbedring av varmegjenvinner opp til 70 %. Behovsstyring av luftmengder var ikke aktuelt her. 70 % varmegjenvinning tilsvarte energitiltakskravet for boliger i «gamle» TEK10 gyldig før 2016. Nå i «nye» TEK10 gjeldende fra 2016 er energitiltakskravet 80 % varmegjenvinning.

Resultatene fra pkt. 1 og 2 ovenfor kan aggregeres, og bygger videre på tiltaket fra potensialstudien. Dette er illustrert i figuren nedenfor:



Figur 2: Illustrasjon påbygging av tiltak fra potensialstudien for boliger

Resultater fra beregningene med forbedring varmegjenvinning fra hhv 70 til 80 % varmegjenvinning (tiltak 1) og fra 80 til 85 % varmegjenvinning (tiltak 2) er presentert i tabellen nedenfor. Merk at dette er beregnet netto energibesparelse, og en omregning til besparelse på målepunktet levert energi må gjøres for aggregering av virkelig potensial.

Tabell 2: Resultater forbedring varmegjenvinning i boligbygninger

Bygningskategorier	Netto energibesparelse [kWh/m ² per år] ved forbedring varmegjenvinning	
	fra 70 til 80 % (tiltak 1)	fra 80 til 85 % (tiltak 2)
Småhus	4,5	2,2
Boligblokk	6,3	2,9

4 Tilleggsberegninger

Resultatene i dette notatet er ment å bygge videre på resultatene fra Enovas potensial- og barrierestudie fra 2012. I næringsbyggstudien er det regnet på besparelse for ulike tiltak i sekvens, da flere tiltak har gjensidig påvirkning (påvirker energireduksjon for annet tiltak). Dette er vist ved den rekkefølgen og nummereringen tiltakene har i bl.a. vedlegg B5 og D2. Alle driftsmessige og bygningsmessige tiltak er gjort før tiltakene på ventilasjonsanlegget, deretter kommer tiltak på belysning og varme- og kjøleanlegg.

For TEK87-byggene er det beregnet energibesparelse ved forbedring av varmegjenvinningen fra 60 til 80 % (frostsikringstemperaturen endres samtidig fra -2 til -10 °C). I etterfølgende tiltak er det beregnet besparelse ved forbedring av SFP-faktor (fra 4 til 3 kW/(m³/s)) og nytt belyningsutstyr (fra 15 til 8 W/m², kontorbygg som eksempel), hvilket er tiltak som har en viss påvirkning på varmegjenvinningstiltaket.

For TEK07-byggene er det beregnet energibesparelse ved forbedring av varmegjenvinningen fra 70 til 80% (frostsikringstemperaturen endres samtidig fra -6 til -10 °C). Her er det forutsatt at SFP = 2 kW/(m³/s) og at det er nytt belyningsutstyr med verdier iht. NS 3031 tabell A1 (8 W/m², kontorbygg som eksempel).

Etter ønske fra oppdragsgiver er det gjort nye beregninger for de førstnevnte TEK87-byggene, for forbedring av varmegjenvinningen fra 60 til 80 % (frostsikringstemperaturen endres samtidig fra -2 til -10 °C), hvor det er forutsatt at det allerede er gjort andre tiltak slik at SFP = 2 kW/(m³/s) og belysningen er iht. NS 3031 tabell A1. Og det er fortsatt forutsatt fulle luftmengder iht. NS 3031 tabell B1. Dette gjør de to nevnte tiltaksalternativene direkte sammenlignbare. Samtidig er det da kun små, neglisjerbare forskjeller ift. forutsetningene til de nye beregningene til 85 % varmegjenvinning presentert tidligere i dette notatet.

Beregnete netto energibesparelser for de overnevnte to tiltaksalternativer er presentert i tabellen nedenfor. Verdiene for forbedring fra 60 til 80 % er altså fra nye SIMIEN-simuleringer, mens verdiene for forbedring fra 70 til 80 % er eksisterende verdier hentet fra beregningsunderlaget til potensialstudien.

Tabell 3: Resultater alternativ forbedring varmegjenvinning i næringsbygg

Bygningskategorier	Netto energibesparelse [kWh/m ² per år] ved forbedring varmegjenvinning (på fulle luftmengder)		
	fra 60 til 80 %	fra 70 til 80%	
Barnehage	38,8	18,3	kWh/m ²
Kontorbygning	35,9	17,2	kWh/m ²
Skolebygning	44,3	20,8	kWh/m ²
Universitet/høgskole	43	20,3	kWh/m ²
Sykehus	77,5	36,3	kWh/m ²
Sykehjem	70	32,7	kWh/m ²
Hotellbygning	51,4	24,2	kWh/m ²
Idrettsbygning	40	19,7	kWh/m ²
Forretningsbygning	74,5	35,1	kWh/m ²
Kulturbygning	40	19,0	kWh/m ²
Lett industri / verksteder	36,4	17,4	kWh/m ²