



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2021 30 stp

Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning (MINA)

Tekno-økonomisk analyse av energieffektiviseringstiltak i yrkesbygg

Techno-economic analysis of energy efficiency
measures in commercial buildings

Brage Guttormsen

Fornybar energi

Forord

I tidligere studier har jeg analysert tekniske endringer i distribusjonsnettet som følge av implementering av elektriske ladere til ferjer. Fornybar energi studiet har gitt meg et bredere innblikk i energisystemet og muligheten for produksjon av fornybar energi, markedet og hvordan samfunnet må tilpasse seg endringene. Jeg har kost meg og lært utrolig mye gjennom studiene på NMBU. Fantastiske og engasjerte forelesere har åpnet øynene mine for muligheter jeg aldri kunne sett for meg. Effektivisering har alltid ligget mitt hjerte nært, så da Thomas presenterte oppgaven var det ingen tvil.

Denne masteroppgaven avslutter min fantastiske studietid i Fornybar energi ved Fakultetet for miljøvitenskap og naturforvaltning (MINA) ved Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet (NMBU), Mai 2021. Oppgaven tilsvarer 30 studiepoeng og er avslutning på en 2-årig masterstudie i Økonomi og administrasjon — Fornybar energi.

Arbeidet med oppgaven har vært lærerik og utfordrende. I starten fikk jeg utdelt tabeller med data, som sammen med noen programmer skulle gi en modell. Lenge trodde jeg at datagrunnlaget var resultatet fra modellen som skulle brukes manuelt, siden den gang har det vært mange aha-opplevelser. Mye av arbeidet har handlet om å lære å bruke modellen, og feilsøking — mye feilsøking. Hele reisen til sluttresultatet representerer så lite av prosessen som ligger bak. Sider blir til avsnitt, og avsnitt til noen setninger, til slutt forstår du at det ikke er nødvendig for oppgaven.

Jeg vil rette en stor takk til Aleksandra Roos for forklaring av modellen og tolking av resultater. Videre ønsker jeg å takke Thomas Marthinsen for en utrolig relevant oppgave for omstillingen av energibruk og veilending til å løse oppgaven. Stor takk til familie for korrekturlesing. Til slutt går den største takken til kjæresten min Kayleigh, du har vært utrolig forståelsesfull og støttende i prosessen, jeg elsker deg.

Norges miljø og biovitenskapelige universitet

Ås, 15. juni 2021

Brage Guttormsen

Sammendrag

Målet med oppgaven var å utforske hvordan sammenlagt energibehov for yrkesbygg endres når byggmassen blir mer energieffektiv. For å undersøke hvilke tiltak som ble innført ble Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) sin kostnadsoptimaliseringsmodell TIMES-Norge brukt. Datagrunnlaget for energibehov var fremskrevet av LEAP-Norge. Forbruksprofiler for besparingspotensial og kostnader for tiltak, samt forbruksprofiler for energibehovene var laget av Multiconsult, og levert av NVE.

Lindberg, Bakker og Sartori (2019) undersøkte hvordan forbruksprofiler til varme- og strømbehov i yrkesbygg utvikles når bygg blir energieffektive. Resultatene viste at energibehovet for energieffektive kontorer og skoler ble redusert med hhv. 27 og 55 prosent. Kun 6 prosent av besparelsen kom fra redusert strømbehov.

TIMES valgte kun å investere i tiltak som kan redusere systemkostnaden for det norske kraftsystemet. Totalt ble det investert 7.56 mrd. NOK i tiltak, som ga en energibesparelse på 3.3 GWh/år. Systemkostnaden ble redusert med 11.4 mrd. NOK. Energibesparingen besto av 2.55 TWh/år redusert elspesifikk behov, 0.8 TWh/år redusert romvarmebehov og resterende fra redusert kjøling- og varmtvannsbehov. Prosentvis tilsvarer det en reduksjon i strøm- og varmebehov på hhv 16 og 5 prosent. Av 3.3 GWh/år kom 2.1 TWh/år fra to tiltak i en byggruppe; forbedret SFP (specific fan power) og behovsstyring av ventilasjon i forretningsbygg.

Belastningen i både varme- og lavspennetnettet ble redusert som følge av tiltakene. Årlig- og maksbelastning fra yrkesbygg på strømmettet ble redusert med 10 prosent. For fjernvarmenettet ble belastningen redusert med 6 prosent.

Analysen og resultatene var helt avhengig av NVE sitt arbeid med TIMES og deres datagrunnlag. Endringen av behovet kan brukes i planlegging av fremtidig energiproduksjon og utbygging av infrastruktur. Resultatene kan også brukes for å belyse potensialet av energieffektiviseringstiltak.

Abstract

The aim of this thesis was to investigate how total energy demands of commercial buildings are affected when the building stock becomes more energy efficient. The Norwegian Water Resources and Energy Directorate's (NVE) cost optimization model, TIMES-Norway, was used to investigate which energy-efficiency measures should be implicated. The background data for energy demands were projected by LEAP-Norway. Consumption profiles for saving potential and measurement costs, as well as consumption profiles for energy demands, were constructed by Multiconsult, and provided by NVE.

Lindberg mfl. (2019) investigated how consumption profiles for heat and electricity demands in commercial buildings are affected as buildings become more energy efficient. Their results showed that energy demands for energy-efficient office buildings and schools were reduced by 27 and 55 percent, respectively. Only 6 percent of the savings resulted from reduced electricity demands.

TIMES chose to only invest in measures that can reduce the system cost of the Norwegian power system. A total of NOK 7.56 billion was invested, which resulted in energy savings of 3.3 GWh/year. The system cost was reduced by NOK 11.4 billion. The energy savings consisted of 2.55 TWh/year resulting from reduced energy-specific demands, 0.8 TWh/year from reduced space heating demands and the remainder from reduced cooling and warm water demands. This corresponds to a reduction in electricity and heat demands of 16 and 5 percent, respectively. Of the 3.3 GWh/year savings, 2.1 TWh/year resulted from two measures; improved specific fan power (SFP) and demand-management of ventilation in business buildings.

Both heating and low-voltage grids had reduced loads as a result of the invested measures. The annual and maximum load of commercial buildings on the power grid was reduced by 10 percent, while the load of the district heating network was reduced by 6 percent.

The analysis and results were completely dependent on NVE's work with TIMES and their background data. Changes in demands can be used in planning future energy production and infrastructure developments. The results also shed light on the potential of energy efficient measures.

Innhold

1	Innledning	2
2	Litteraturstudie	4
3	Modeller	7
3.1	TIMES-Norge	8
3.2	VEDA2.0	9
4	Datagrunnlag	10
4.1	Energibehov i yrkesbygg	10
4.2	Forbruksprofiler for energipostene	13
4.3	Potensial for energibesparing i yrkesbygg	14
4.4	Energibesparende tiltak	15
5	Metode	18
5.1	Installasjon	18
5.2	Oppsett av scenarier	19
5.3	Tolking og uthenting av resultatene	19
5.4	Bergening av LCOE fra datagrunnlag	20
5.5	Testing og feilsøking	21
6	Resultater	22
6.1	Årlig energibesparelse fra enøk-tiltak	22
6.1.1	Spredning av årlig energibesparelse fra enøk-tiltak	24
6.2	Redusert formålsinndelt energibehov	24
6.3	Reduserte lastprofiler	25
6.3.1	Forbruksprofil for romvarme	26
6.3.2	Forbruksprofil for elspesifikk	28

6.3.3	Forbruksprofil for varmtvann	29
6.3.4	Forbruksprofil for kjøling	30
6.4	Produksjonsprosesser for yrkesbygg	30
6.5	Produksjonsmiks fra råvarer	32
6.6	Strøm levert til yrkesbygg	33
6.7	Objektfunksjon	33
6.8	Investeringskostnader for tiltak	34
7	Diskusjon	37
7.1	Energibehov i yrkesbygg	37
7.2	Investerte tiltak	38
8	Konklusjon	39
8.1	Videre arbeid	39
9	Vedlegg - A	I
9.1	Forutsetninger for LEAP	I
9.2	Fordelingsprofiler for varmtvann, elspesifikk og kjøling	III
9.3	Kostnader og antagelser for tiltakene.	V
9.4	Investert ny kapasitet i øvre regioner.	XIX
9.5	Baseline - scenario	XXIII

Tabeller

4.1	Liste av alle tiltak og hvilke behov de påvirker (Denne studien, 2021).	16
6.1	Energibesparelse fra enøk-tiltak i region NO1 TIMES velger å investere i. EOS står for Energioppfølgingssystem og SFP er specific fan power.	23
6.2	Nytt formålsinndelt energibehov (GWh/år) for yrkesbygg per region i 2025.	25
6.3	Prosentvis redusert formålsfordelt energibehov for alle regioner.	25
6.4	Energiproduksjon fra råvarene vann, vind og varme for region NO1	32
6.5	Verdi av objektfunksjon for Baseline og Baseline + enøk.	34
9.1	Energibesparelse fra enøk-tiltak i region NO2 TIMES velger å investere i.	XX
9.2	Energibesparelse fra enøk-tiltak i region NO3 TIMES velger å investere i.	XXI
9.3	Energibesparelse fra enøk-tiltak i region NO4 TIMES velger å investere i.	XXII
9.4	Årlig energibesparelse fra enøk-tiltak i region NO5 TIMES velger å investere i	XXIII

Figurer

2.1	Parametre som påvirker varme- og elspesifikk behov, og hvilke teknologier som brukes for å møte behovene Lindberg, Bakker og Sartori (2019)	4
2.2	Energisignatur kurve, hvor CPT_oppvarming/kjøling viser økt behov ved lave/høye temperaturer og Temp_uavhengig er temperaturuavhengig behov.	5
3.1	Oversiktsbilde av dataflyt fra underlagsmodeller LEAP bygger på, til inngangsdata for TIMES, med VEDA2.0 som brukergrensesnitt for styring av inngang og utgangsdata fra TIMES-estimeringene (NVE, 2018a).	7
3.2	Oversiktsfigur av inngangsdata som etterspørsel, energipriser og ressurser med prosesser TIMES bruker for å nå objektfunksjonen, hvor verdiene i hver prosess ved optimal løsning er resultatene modellen leverer (Rosenberg & Espegren, 2014).	8
3.3	Komponenter og prosessgang for TIMES modellering i VEDA2.0 og illustrerer dataflyt fra inngangsdata til resultat (Goldstein, Kanudia, Lehtilä, Remme & Wright, 2016). .	9
4.1	Arealfordeling av total byggmasse etter gruppe yrkesbygg (ENOVA, 2012b).	11
4.2	Formålsinndelt energibehov for eksisterende bygg i 2025 (Denne studien, 2021). Figuren viser forholdet mellom fordelte behov per region.	12
4.3	Geografisk inndeling av Norge etter Nord Pool sine prisområder (IFE, 2020).	12
4.4	Grafisk fremstilling av datagrunnlag til forbruksprofil for energibehov til romvarme i sesong S01 i yrkesbygg (Denne studien, 2021).	13
4.5	Grafisk fremstilling av datagrunnlag til årlig forbruksprofil for energibehov til romvarme i yrkesbygg (Denne studien, 2021).	14
4.6	Potensial per tiltakskategori for de tre energiprisene (ENOVA, 2012a).	15
4.7	Fordelingsrate for CSV07 - Energioppfølgingssystem (EOS) i region NO1 (Denne studien, 2021).	17
5.1	Prosessgang for estimert virkning av økonomisk gjennomførbare enøk-tiltak.	20

6.1	Spredning av innførte tiltak for yrkesbygg i alle regioner. Totalt står forbedret SFP og behovsstyring ventilasjonsanlegg fra forretningsbygg for 64 prosent av besparingspotensialet.	24
6.2	Årlig fordeling av energibehov til romvarme i sesong S01 i region NO1.	26
6.3	Årlig fordeling av energibehov til romvarme for region NO1.	27
6.4	Årlig fordeling av energibehov til elspesifikk i sesong S01 i region NO1.	28
6.5	Årlig fordeling av energibehov til varmtvann i sesong S01 i region NO1.	29
6.6	Årlig fordeling av energibehov til varmtvann i sesong S06 til S09 i region NO1. . . .	30
6.7	Strømbehov for region NO1 fordelt til produksjonsprosesser i yrkesbygg. Figuren viser at det reduserte behovet har fungert mot tjenester som kun kan dekkes av strøm som energibærere, som er det ønskelige utfallet Denne studien (2021).	31
6.8	Varmebehov for region NO1 fordelt på produksjonsprosesser i yrkesbygg. Figuren viser at det reduserte behovet har fungert mot tjenester som dekkes av varme som energibærere, som er det ønskelige utfallet Denne studien (2021).	31
6.9	Årlig levert lavspent strøm til yrkesbygg i region NO1. Viser belastningsbidraget yrkesbyggene har mot lavspent nettet.	33
6.10	Totale investeringskostnader for enøk-tiltak per region.	35
6.11	Totale investeringskostnader for enøk-tiltak per region.	36
9.1	Forbruksprofil for energibehov til elspesifikk over et år.	III
9.2	Forbruksprofil for energibehov til varmtvann over et år.	IV
9.3	Forbruksprofil for energibehov til kjøling over et år.	IV
9.4	LCOE for CSV01 i alle yrkesbygg i NO1 i år 2025.	VI
9.5	LCOE for CSV02 i alle yrkesbygg i NO1 i år 2025.	VII
9.6	LCOE for CSV03 i alle yrkesbygg i NO1 i år 2025.	VIII
9.7	LCOE for CSV04 i alle yrkesbygg i NO1 i år 2025.	IX
9.8	LCOE for CSV05 i alle yrkesbygg i NO1 i år 2025.	X
9.9	LCOE for CSV06 i alle yrkesbygg i NO1 i år 2025.	XI
9.10	LCOE for CSV07 i alle yrkesbygg i NO1 i år 2025.	XII
9.11	LCOE for CSV07 i alle yrkesbygg i NO1 i år 2025.	XIII
9.12	LCOE for CSV08 i alle yrkesbygg i NO1 i år 2025.	XIV
9.13	LCOE for CSV09 i alle yrkesbygg i NO1 i år 2025.	XV
9.14	LCOE for CSV10 i alle yrkesbygg i NO1 i år 2025.	XVI
9.15	LCOE for CSV11 i alle yrkesbygg i NO1 i år 2025.	XVII

9.16 LCOE for CSV12 i alle yrkesbygg i NO1 i år 2025. XVIII

9.17 LCOE for CSV13 i alle yrkesbygg i NO1 i år 2025. XIX

Forkortelser og definisjoner

Energibehov	Nyttiggjort energi uten hensyn til systemets virkningsgrad. Teoretisk størrelse for energibehov uten tap.
Energibruk	Mengden energi sluttbruker må kjøpe eller produsere lokalt med hensyn til tap.
LCOE	Levelized cost of energy, summen av kostnader knyttet til energiproduksjon / mengde energi produsert.
ENØK	Energiøkonomisering - bruk av energi så økonomisk som mulig.
CSV	Energibesparende tiltak.
Teknisk levetid	Tiden anlegget/installasjonen kan fungere rent teknisk, uavhengig av lønnsomhet.
Økonomisk levetid	Tiden det er mest økonomisk å drive anlegget/installasjonen.
Topplast / spisslast	Det maksimale effektbehovet over et døgn eller en periode.
Forbruksprofil	Grafisk fremstilling av effektbehovet over et døgn eller en periode.
TEK	Byggteknisk forskrift.
EOS	Energioppfølgingssystem.
SFP	Specific fan power.
GAMS	General Algebraic Modeling System.
CHP	Kombinert varme-og strømkraftverk.
Passivhusstandarden	Kriterier for energibehov og bruk i bygg som setter krav til varmetapstall, oppvarmingsbehov, energiforsyning, bygningsdeler og komponenter.
NS3031	En Norsk Standard for metode og data for energiytelse i bygg.

1. Innledning

Etterspørselen for energi i Norge har siden 1990 økt fra 185 TWh til 214 TWh. I 2019 ble om lag halvparten av energibehovet dekket av elektrisitet (SSB, 2019). Behovet for strøm er forventet å øke med 24 TWh mot 2035 (NVE, 2018b), som følge av elektrifisering, nye kraftintensive næringer, økonomisk vekst og tiltak for reduksjon av klimagassutslipp. For husholdninger og tjenesteytende næring er behovet forventet å gå ned, som følge av mer energieffektive bygg (NVE, 2018b).

Som en del av FNs (De forente nasjoner) bærekraftsmål skal vi strebe etter ansvarlig forbruk og produksjon, ren energi til alle og å stoppe klimaendringene. Et av tiltakene for å nå disse er å bruke energi mer effektivt. Norge er et av landene som bruker mest strøm per innbygger. Byggmassen av yrkesbygg i Norge hadde et energibehov på 36 TWh i 2018 mot 26 TWh i 2000 (NVE, 2019). Effektivt energibruk innebærer mer effektive apparater som oppvaskmaskin, oppvarmingsteknologier med bedre virkningsgrad og konserveringsteknologier. Konserveringsteknologier bidrar til et redusert tap av brukt energi, som etterisolering av tak og vegger. ENOVA (2012a) viser at økonomisk potensial for konserveringsteknologier i yrkesbygg er ca 9 TWh/år, mens det reelle kun er 3.1 TWh/år. Lindberg mfl. (2019) kommer frem til at energieffektivisering av skoler og kontorer reduserer spisslast og årlig energibehov med opp mot hhv. 50 og 60 prosent på enkeltbygg.

Fremskriving av energibehov gjør det mulig for produsenter og distributører å planlegge utviklingen av deres teknologier. I lang tid har estimering av fremtidig behov bygd på historisk forbruksdata, som fungerer godt på kort sikt. Utbygging av ny produksjon- og overføringskapasitet har ofte store investeringskostnader med lang levetid. Estimering av langtidsprognoser er mer komplisert og krever bruk av makroøkonomiske trender, som utvikling av sektorer. NVE (Norges vassdrags- og energidirektorat) skal ha god innsikt i utviklingen av energibruk og hvordan det blir påvirket. En av metodene deres er bruk av TIMES; en kostnadsoptimaliseringsmodell for det norske kraftsystemet.

TIMES modellen skal velge energibærere til produksjon-, overføring-, og sluttbrukerteknologier for å møte norsk energibehov. Som en del av løsningen kan modellen investere i energieffektiviserende tiltak som reduserer energibehov. Denne modellen skal brukes for utforske hvilke tiltak som er lønnsomme i systemperspektivet. Det reduserte tapet som følge av tiltakene skal brukes for å analysere utviklingen av behov i yrkesbygg.

Forskningspørsmål

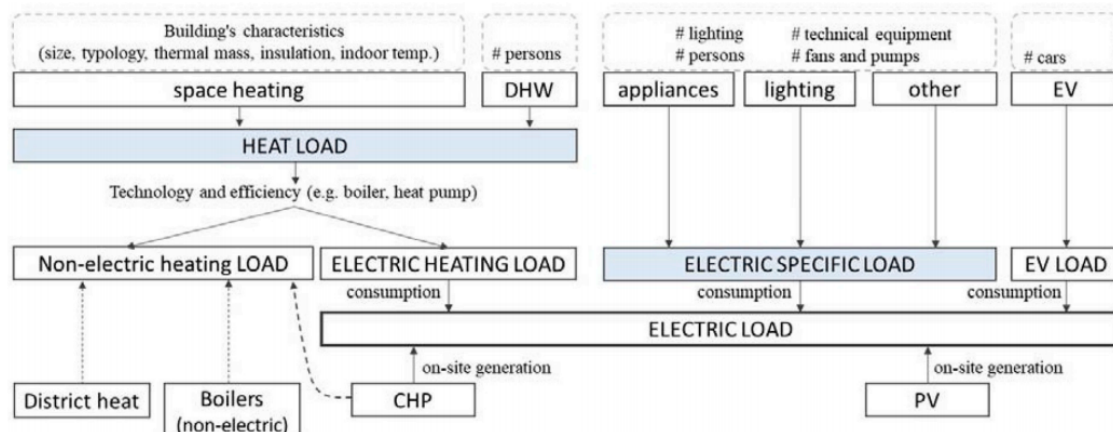
Vil innføringen av enøk-tiltak fra TIMES gi like resultater som (Lindberg mfl., 2019) kommer frem til?

Er innføringen av tiltakene knyttet til kostnaden for bespart energi?

2. Litteraturstudie

Tidligere studier om effekten til innføring av energieffektivisering i yrkesmassen bygger på forskjellige grunnlag. Lindberg mfl. (2019) ser på energibehovet for strøm og varme for yrkesbygg, og lager en regresjonsmodell fra datagrunnlaget. Deres arbeid viser effekten fra et prosjektperspektiv for enkeltbygg, som skal aggregeres til et systemperspektiv som kan brukes av TIMES.

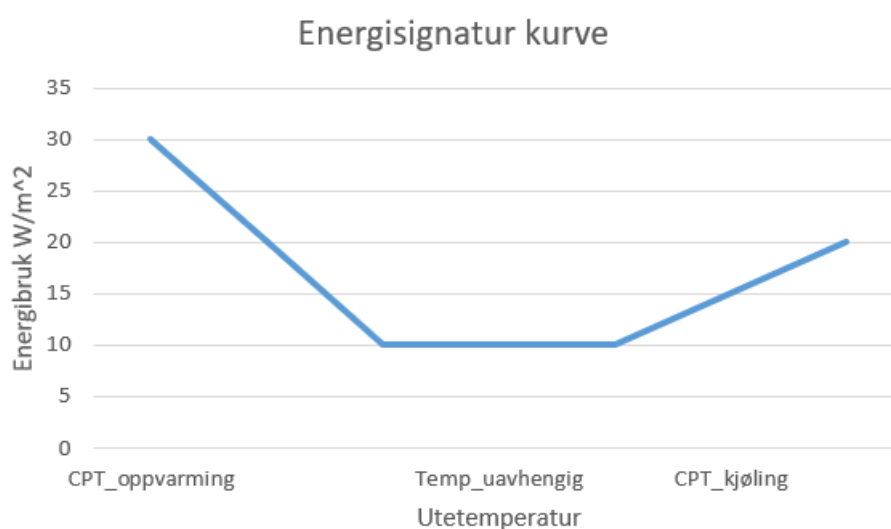
Fremskriving av fremtidige forbruksprofiler for energibruk har i lang tid blitt estimert fra historisk forbruksdata. Utviklingen av både sentraliserte og desentraliserte systemer i energisektoren, som produksjon hos forbruker, fjernvarme, batterilagring o.l. har endret karakteristikken til forbruksprofilene. Videre skal det også tas høyde for langsiktige makroøkonomiske trender som bidrar til økt kompleksitet. Lindberg mfl. (2019) har laget modeller som estimerer sammensatte årlige forbruksprofiler med timesverdier for elspesifikk- og varmebehov i yrkesbygg, som bygger på deres tidligere arbeid (Lindberg & Doorman, 2013; Lindberg, Doorman, Chacon & Fischer, 2015). Modellene de har laget bygger på regresjonsanalyse av forbruksdata fra en rekke forskjellige yrkesbygg, hvor enkelte bygg har utført energieffektiviseringstiltak og oppfyller kravet for passivhusstandarden.



Figur 2.1: Parametre som påvirker varme- og elspesifikk behov, og hvilke teknologier som brukes for å møte behovene Lindberg, Bakker og Sartori (2019)

Figur 2.1 illustrerer et energisystem med produksjon og forbruk, med parametre og drivere. Energibruk til varme og elspesifikke tjenester er representert med blå rektangler. Elspesifikk behov er tjenester som kun kan tilfredstilles med strøm som energibærer, som lys, vifter, pumper, osv. Behovet avhenger hovedsaklig av antall personer og deres adferd samt hvor mange og hvilke type elektriske apparater som brukes. Energibehovet for kjøling dekkes av elektriske maskiner, og går derfor under elspesifikk. Varmebehovet er energien som kreves for å tilfredstille byggets behov for romvarme og varmtvann, uansett hvilken energibærer det kommer fra. Både behovet for varmtvann og romvarme er sterkt avhengig av antall personer i bygget, og deres adferd. Romvarme er også avhengig av form, størrelse og byggets fysiske egenskaper. Oppdelingen av behovet gir et bedre grunnlag for analyse av effekten tiltakene gir. I modelleringen deres er det ingen data for antall personer eller byggeår.

Datasettet fra Lindberg mfl. (2019) er delt inn i syv forskjellige næringsbygg: kontorer, skoler, hoteller, butikker, barnehager, sykehjem og sykehus, og to forskjellige varianter: vanlige og energieffektive. Oppdelingen tar dermed hensyn til forskjellig behov som følge av ulik drift av byggkategoriene. For hver kombinasjon estimeres en modell som forklarer behovet som en funksjon av tid og utetemperatur. Parameterestimatene per time danner en karakteristikk for byggets gjennomsnittlige energisignatur; en kurve som beskriver temperaturavhengig energibruk. Dette gjøres for hver byggtipe, variant og periode, normalisert for gulvareal (m^2) som vist i figur 2.2. Dette gjør det mulig å lage bruksprofiler for typiske dager, uker og år, og samle profilene for et område.



Figur 2.2: Energisignatur kurve, hvor CPT_opppvarming/kjøling viser økt behov ved lave/høye temperaturer og Temp_uavhengig er temperaturuavhengig behov.

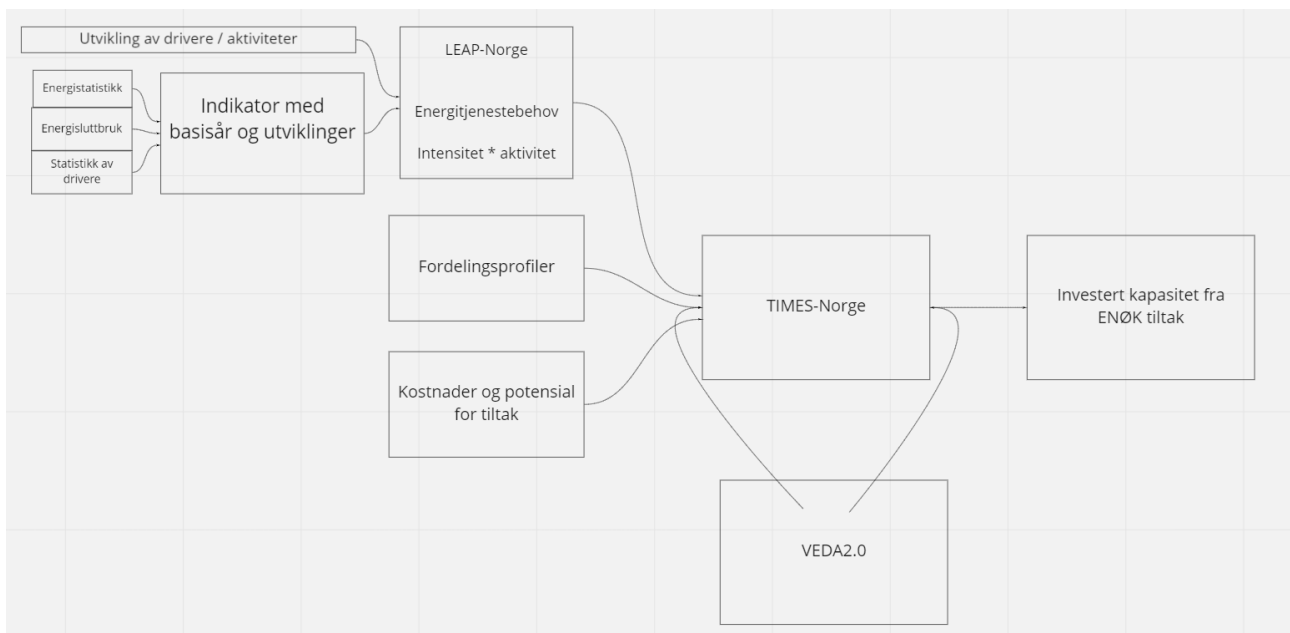
Lindberg mfl. (2019) lager en generell regresjonsmodell som bygger på data fra 116 bygg hvor tre er energieffektive: to kontorer, og en skole. De forklarende variablene for den beste modellen er gjeldende utetemperatur og 24 timers glidene snitt. Modellene skal brukes til å lage en fremskriving av lastprofiler for hele bygningsmassen, korrigert med gulvareal.

Modellene som lages for varmebehov i Lindberg og Doorman (2013) brukes til å estimere parameterne for temperaturavhengig og temperaturuavhengige behov, i vanlige og energieffektive bygg. Modellene viser at energieffektivisering reduserer begge. Dette fører til lavere årlig energibehov, og spisslast (maksimalt energibehov over i periode). Det passer godt med teorien; godt isolerte bygg har lavere varmebehov og reagerer tregere på endring i utemperaturen. Modellene for strømbehov Lindberg mfl. (2015) estimerer at energieffektive kontorer har lavere kjølebehov. Behovet i skoler blir ikke påvirket.

Studiene kommer frem til at totalt energibehov for energieffektive kontorer og skoler er redusert med hhv 27 prosent og 55 prosent. For skolen er kun varmebehovet redusert, for kontorer er det også 6 prosent redusert strømbehov. Spisslasten for varmebehov er redusert med hhv 50 og 60 prosent. Spisslasten for strømbehovet er kun redusert med 10 prosent for kontorer. Videre er behovet for energieffektive bygg mindre temperaturavhengig, hvor stigningstallet til energisignatur kurven også reduseres. De konkluderer med at energieffektivisering av skoler og kontorer reduserer årlig behov og spisslast, hvor varmebehovet er mest påvirket.

3. Modeller

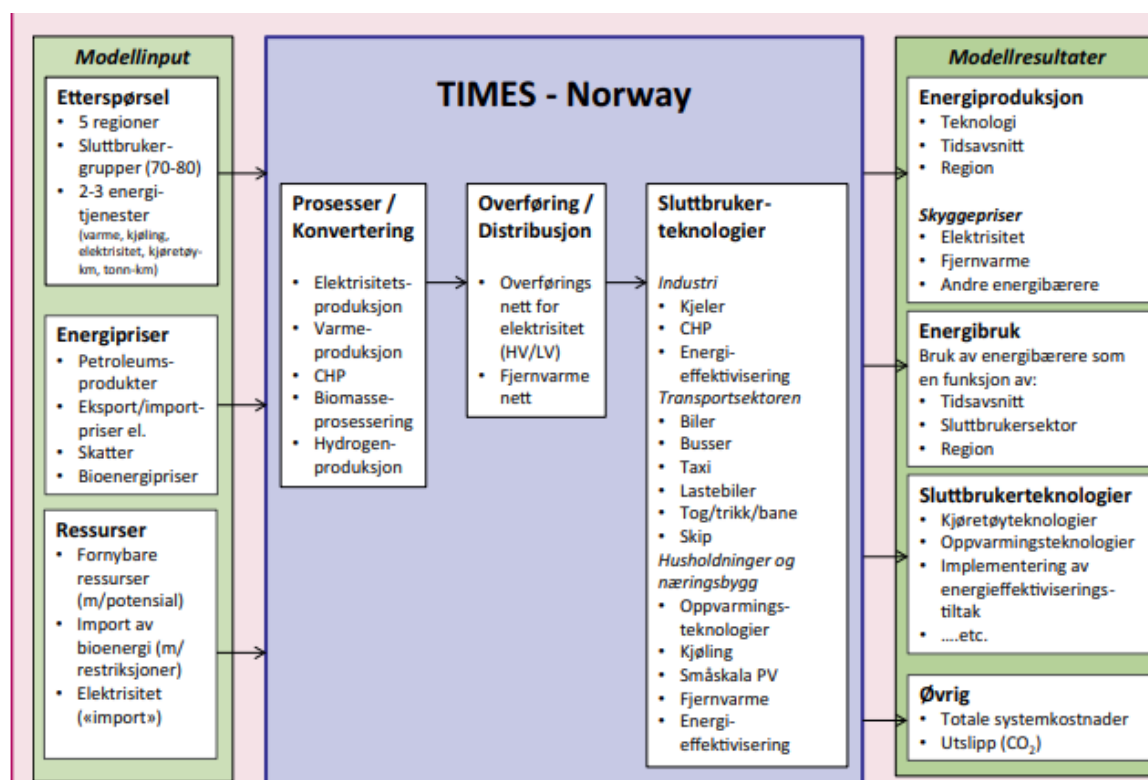
Etterspørsel av energi er framskrevet med LEAP-Norge, som bygger på flere undermodeller i hver sektor. TIMES-Norge brukes til å møte etterspørselen til lavest systemkostnad. Ved å innføre potensial med kostnader for enøk-tiltak kan TIMES investere i disse for å møte behovet. Figur 3.1 viser hvordan utgangen fra LEAP og resterende TIMES-datainnganger nøstes sammen med VEDA2.0 og dataflyten mellom modellene.



Figur 3.1: Oversiktsbilde av dataflyt fra underlagsmodeller LEAP bygger på, til inngangsdata for TIMES, med VEDA2.0 som brukergrensesnitt for styring av inngang og utgangsdata fra TIMES-estimeringene (NVE, 2018a).

3.1 TIMES-Norge

TIMES-Norge er en teknisk-økonomisk optimeringsmodell med likevektsmodeller for det norske energisystemet. Den har en rik teknologibeskrivelse for valg av teknologier for produksjon, overføring og sluttbruk. Hver av teknologiene er lagt inn med tilhørende kostnader, virkningsgrader, brukstid og kapasiteter. Modellens objektfunksjon er å nå et kostnadsoptimalt nivå som innfrir energibehovet for systemet. I estimeringene antar TIMES blant annet fullstendig forutsigbarhet. For å korrigere for adferd er det lagt inn begrensninger for utskifting av teknologi.

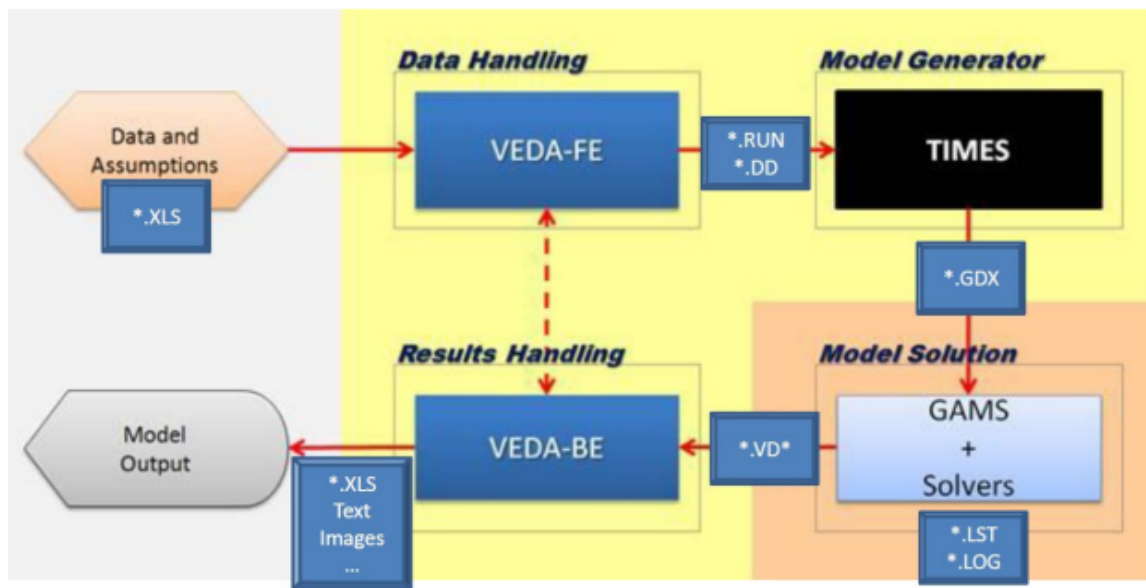


Figur 3.2: Oversiktsfigur av inngangsdata som etterspørsel, energipriser og ressurser med prosesser TIMES bruker for å nå objektfunksjonen, hvor verdiene i hver prosess ved optimal løsning er resultatene modellen leverer (Rosenberg & Espegren, 2014).

Inngangsdata til TIMES består av energietterspørsel i (GWh/år), energipriser per enhet (KNOK/GWh) med tilhørende kostnader, og tilgjengelig energipotensial med fordelingsprofiler over året med kostnader og virkningsgrader knyttet til prosessene. Modellen endrer variablene (modelligningene) for prosessene for konvertering, distribusjon og sluttbrukerteknologier som representerer teknologibeskrivelsene tilgjengelig for å løse objektfunksjonen. Modellresultatene / beslutningsvariablene er verdiene TIMES kom frem til som ga lavest systemkostnad, herunder energiproduksjon, andel energibærere for sluttbrukerteknologi, strømpris og utslipp, som vist i figur 3.2.

3.2 VEDA2.0

VEDA2.0 er et brukergrensesnitt som brukes for enkelt å kunne velge hvilke inngangsdata og parametre som skal brukes i simuleringer for energisystemet. I VEDA2.0 kan vi gå direkte inn på prosesser for å undersøke bakgrunnsdata som er knyttet til prosessen. Figur 3.3 illustrerer en eldre versjon av VEDA2.0 der inngangs og utgangsdata ble håndtert hver for seg. VEDA2.0 kan brukes til begge deler og fungerer på samme måte.



Figur 3.3: Komponenter og prosessgang for TIMES modellering i VEDA2.0 og illustrerer dataflyt fra inngangsdata til resultat (Goldstein, Kanudia, Lehtilä, Remme & Wright, 2016).

4. Datagrunnlag

Simulering av det norske energisystemet bygger på langt mer enn kun potensial og kostnad for enøk-tiltak. Istedenfor å undersøke hele energisystemet, kan vi se på datagrunnlaget som endres i estimeringene. Endringen skal innføre enøk-tiltak til eksisterende yrkesbygg. For dette trenger vi data for energibehov i yrkesbygg, og potensial med kostnader for innføring av tiltakene og fordelingsprofiler. Multiconsult har på oppdrag fra NVE estimert energipotensial per tiltak ved bruk av energiberegningsprogrammet SIMIEN fra Programbyggerne ANS (ENOVA, 2012b). For estimering av kostandene er det definert en rekke betingelser for bygg med øvre og nedre sjikt, som gir en mest sannsynlig kostnad. Årlig energibehov for yrkesbygg kommer fra LEAP-Norge; en modell for fremskriving av energibehov i Norge. Det årlige energibehovet blir fordelt over året ved hjelp av forbruksprofiler TIMES bruker.

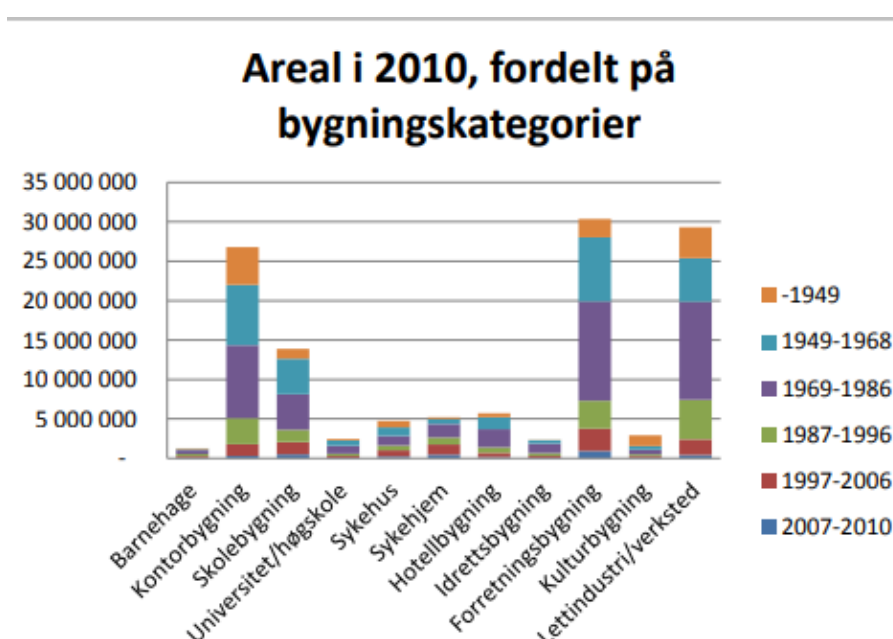
Siden TIMES-Norge ikke kan investere i tiltak før 2022 ser vi på hvordan energibehovet i 2025 blir påvirket. Potensialet for energibesparing fra enøktiltak og energibehov for hver region er proporsjonale med hverandre. Derfor vil kun data fra region NO1 bli gjennomgått.

4.1 Energibehov i yrkesbygg

Årlig energibehov for eksisterende yrkesbygg genereres av LEAP som et bottom-up og top-down scenariobasert program som brukes til energisystemplanlegging. LEAP-Norge-modellen kan brukes til å analysere effektene av energipolitiske tiltak på nasjonalt plan, energibruk, klimagassutslipp og annen forurensing. I analysen brukes kun fremskrevet årlig energibehov for 2025.

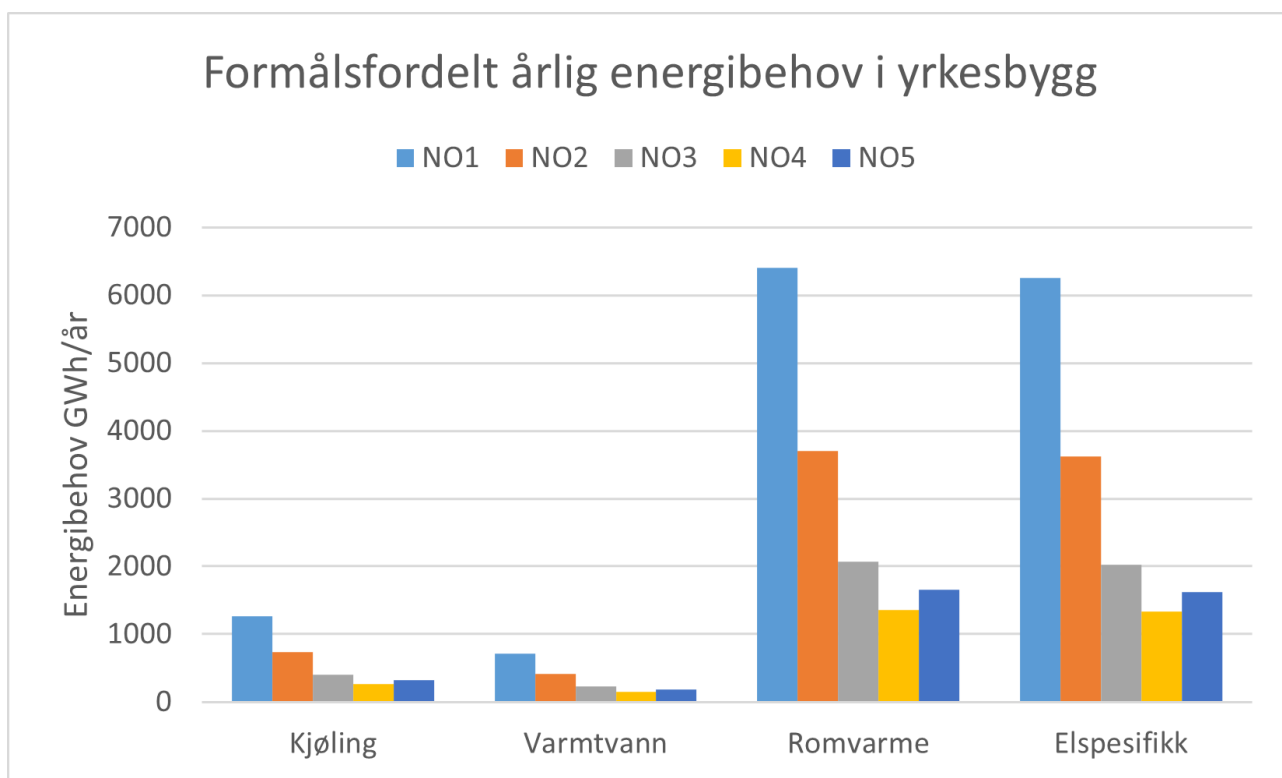
Basert på energiintensitet [$kWh/m^2/y$] og aktivitetsnivå [m^2] fremskrives totalt energibehov for byggmassen av yrkesbygg i Norge. Byggmassen deles etter NS3031 inn i 11 kategorier: barnehage, kontorbygg, skole, universitet/høgskole, sykehus, sykehjem, hoteller, idrettsbygg, forretningsbygg, kulturbygg og lett industri & verksted (Standard Norge, 2014). Hver yrkesbyggskategori deles opp etter

aldersgruppe (teknisk standard — TEK) og standardgrupper: uberørt, gjennomgått enøk, rehabiliter, gjennomgått enøk og rehabilitert og revet. Figur 4.1 viser totalt areal av yrkesbygg i Norge med fordeling av TEK. Teknisk standard er antatt å være den gjeldene for byggeåret. Utviklingen av arealet er avhengig av befolkningsfremskriving og rater for rivning, rehabilitering og nybygging. En endring i raten for rehabilitering og enøk vil derfor endre resultatet til LEAP, og er ikke påvirket av innføringen av energieffektiviseringstiltak TIMES bruker. Energiintensiteten blir påvirket av blant annet byggefor-skrifter, drift og energipriser.



Figur 4.1: Arealfordeling av total byggmasse etter gruppe yrkesbygg (ENOVA, 2012b).

Energibehov for byggene deles inn etter tjenestestene: elektrisk utstyr, belysning, vifter og pumper, kjøling, oppvarming av varmt tappevann, rom og ventilasjonsluft. Energitjenestene som elektrisk utstyr, belysning, kjøling, vifter og pumper kan kun tilfredstilles med bruk av strøm som energibærer. Oppvarming av varmtvann, rom og ventilasjonsluft kan også dekkes av elektrisitet men også andre energibærere som fjernvarme eller varmeveksler. Datagrunnlaget fra LEAP er allerede allokert etter fordelingen i TIMES, som vist i figur 4.2. Elspesifikk består av energibehovet til elektrisk utstyr, belysning, vifter og pumper. Resterende behov er likt for TIMES og LEAP. Hvert formålsfordelte behov estimeres for elspot-regionene fra Nord Pool, illustrert som region NO1, NO2, NO3, NO4 og NO5 i figur 4.3. Energibærerne som blir levert til byggene deles kun etter strøm og varme. Energitjenestene blir møtt av produksjonsprosesser i byggene, som varmepumpe, direkte varming, lys, osv. Ved å undersøke produksjonsnivåene til disse prosessene, kan det reduserte behovet knyttes til belastning på varme- og strømnettet.



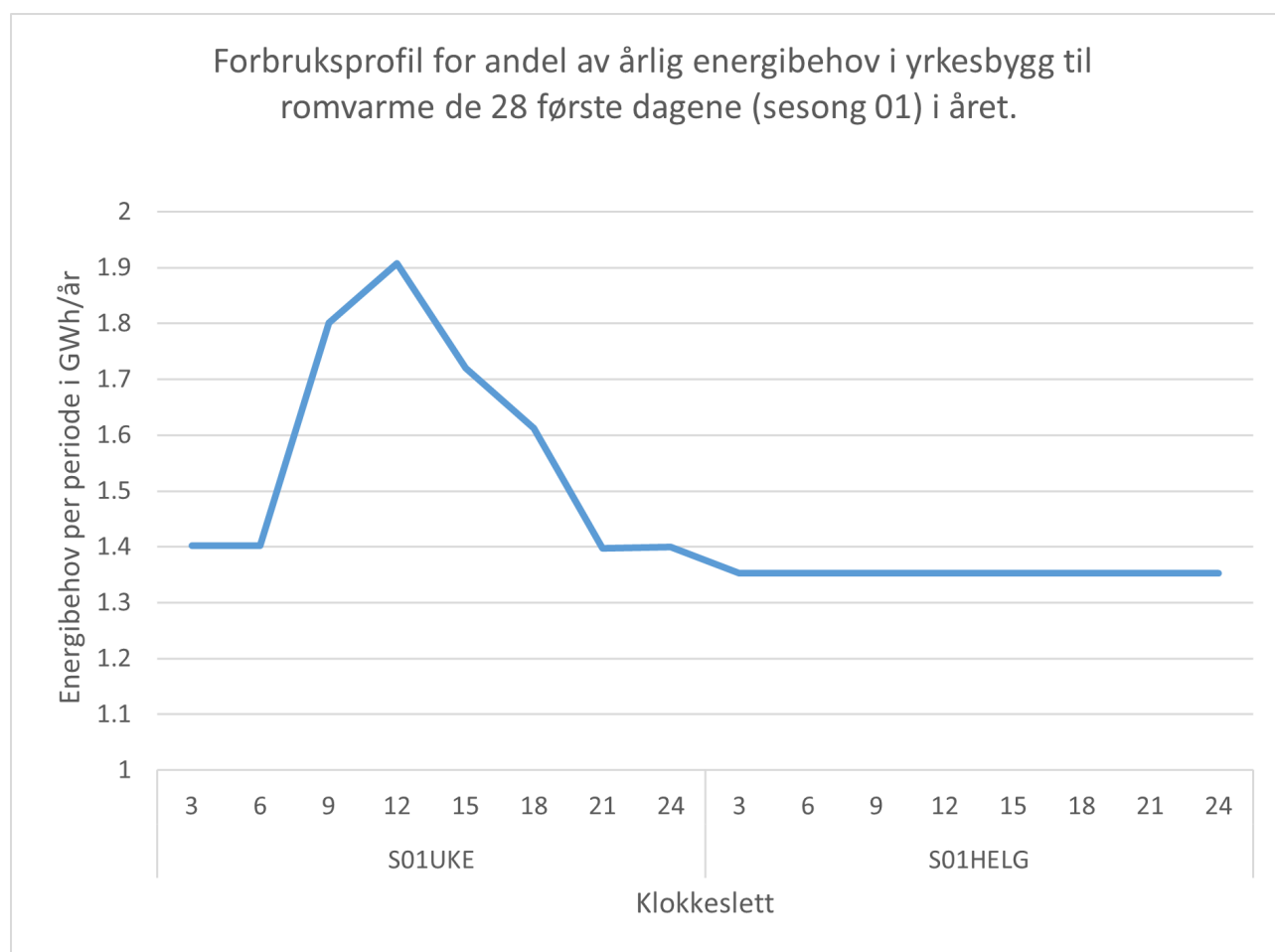
Figur 4.2: Formålsinndelt energibehov for eksisterende bygg i 2025 (Denne studien, 2021). Figuren viser forholdet mellom fordelte behov per region.



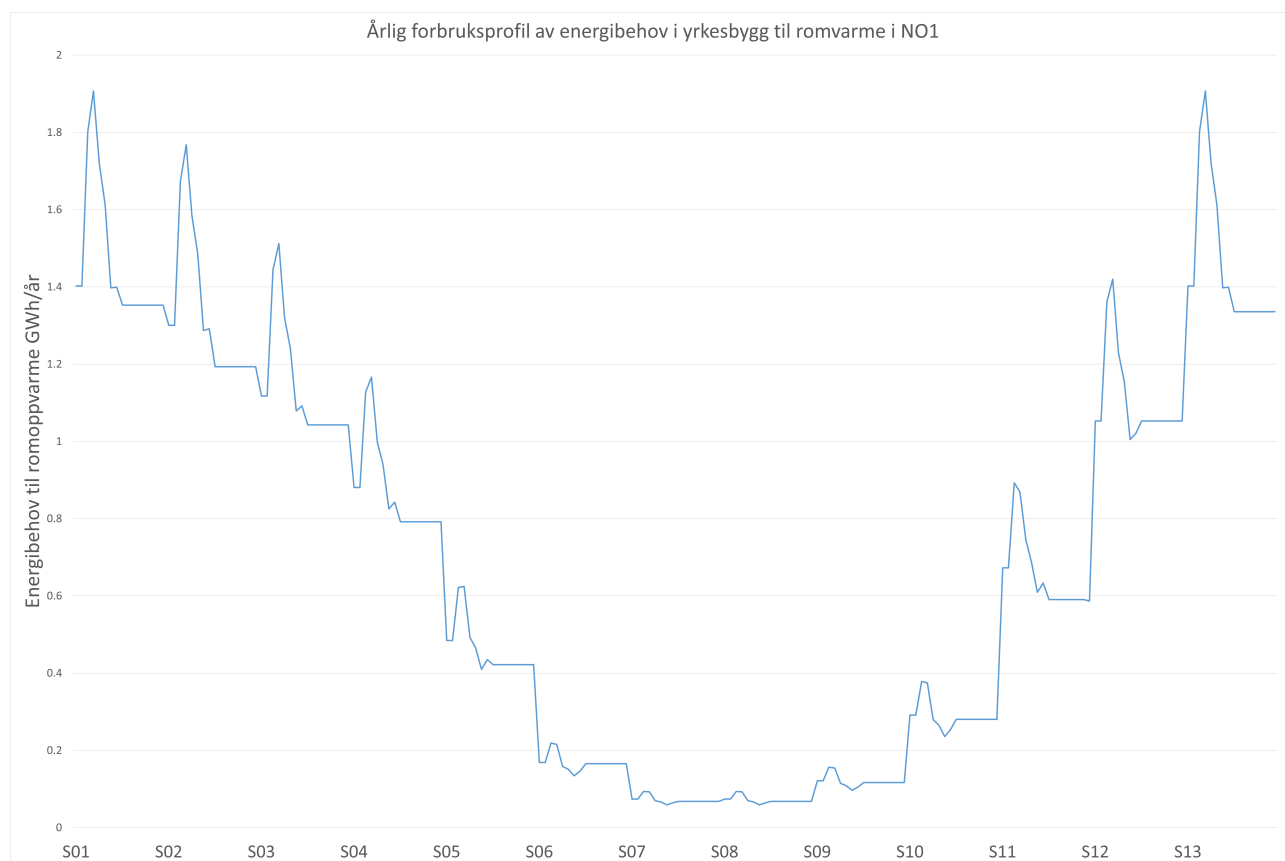
Figur 4.3: Geografisk inndeling av Norge etter Nord Pool sine prisområder (IFE, 2020).

4.2 Forbruksprofiler for energipostene

TIMES-Norge bruker egne forbruksprofiler for energibehovene romvarme, varmtvann, elspesifikk og kjøling. Det årlige behovet fra LEAP blir fordelt over 13 like store sesonger. Hver sesong er inndelt etter 20 ukedager og åtte helgedager med intervaller på tre timer, som er lik for hver region. Intervallene er gjennomsnittet av 60 og 24 timer for hhv. ukedager og helger. Behovet i time 1-3 for sesong S01 er snittet av de 60 første tre timene over 20 dager. For helg er det snittet av 24 timer over 8 dager. Figur 4.4 viser fordelingen av energibehovet til romvarme over en uke, per time i sesong S01. I ukedagene er det økt behov mellom klokken 03:00 og 21:00. For helg er det ingen endring over dagen. Figur 4.5 viser variasjonen i behovet for energi til romvarme for sesongene gjennom hele året, med klart størst behov om vinteren. For fordelingsprofilene for resterende energiposter se seksjon 9.2 i Vedlegg - A.



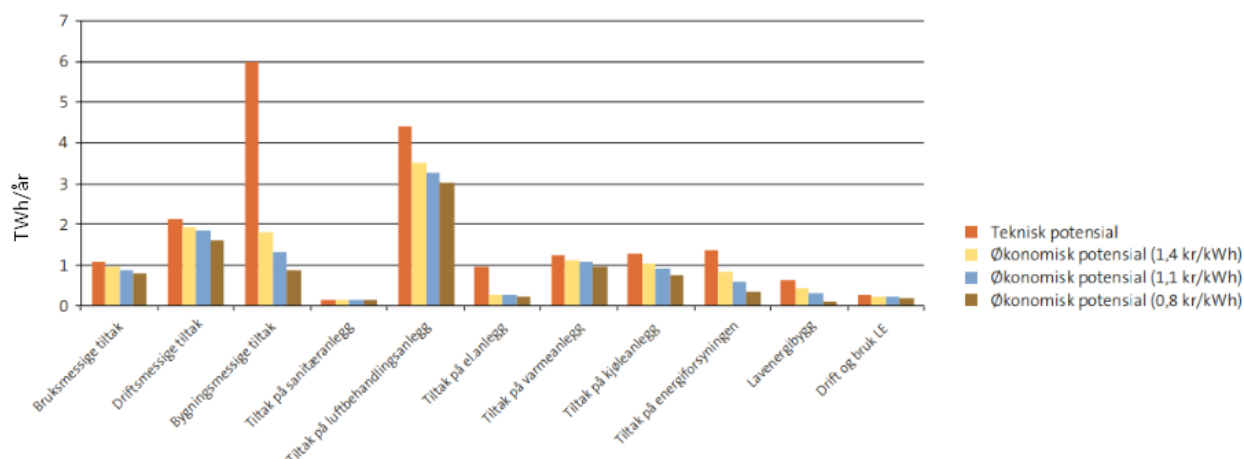
Figur 4.4: Grafisk fremstilling av datagrunnlag til forbruksprofil for energibehov til romvarme i sesong S01 i yrkesbygg (Denne studien, 2021).



Figur 4.5: Grafisk fremstilling av datagrunnlag til årlig forbruksprofil for energibehov til romvarme i yrkesbygg (Denne studien, 2021).

4.3 Potensial for energibesparing i yrkesbygg

Potensialet avhenger av hva som er mulig å gjøre, og hvor mye det koster. Et teknisk potensial sier noe om hvor mye av potensialet som er teknisk gjennomførbart og økonomisk potensial er det som er økonomisk lønnsomt å gjennomføre. Bygg med gammel TEK kan ha større vinning av å innføre samme tiltak sammenlignet med nyere bygg. ENOVA (2012a) kommer frem til at yrkesbygg i Norge har et teknisk potensial på rundt 19.4 TWh/år, og et økonomisk potensial på 9 TWh/år med en strømpris på 0.8 NOK/kWh eks. mva. Figur 4.6 viser oversikt over potensial for tiltakene ved forskjellige prispunkter. Det er tydelig størst økonomisk potensialet for tiltak på luftbehandlingsanlegg, og driftsmessige tiltak som kan gjøres samtidig. Inngangsdata i TIMES for potensialet av energibesparing i yrkesbygg er ca 16.8 TWh/år, hvor region NO1 står for ca 8 TWh/år.



Figur 4.6: Potensial per tiltakskategori for de tre energiprisene (ENOVA, 2012a).

Barrierer og reelt potensial

Barrierer fører til at ikke alle tiltak som er økonomisk lønnsomme utføres. Det skyldes generelt lite kunnskap om potensial, driftssystemer og for liten vilje til å gjennomføre tiltak. Videre er det høye investeringskostnader, rigide rammeverk for offentlige aktører, ele-leie forhold, osv. Det reelle potensialet for tiltak er ca 3128 GWh/år hvor forretningsbygg og kontorer har det største potensialet (ENOVA, 2012a).

4.4 Energibesparende tiltak

Energibehov fra yrkesbygg bestemmes av LEAP-Norge, og løses av TIMES-Norge. Som en del av løsningen for å dekke behovet i eksisterende yrkesbygg, kan TIMES investere i enøk-tiltak. Tiltakene modelleres som produksjonsenheter for å møte behovet, men har ingen innvirkning på behovutviklingen LEAP lager.

Potensialet til tiltakene som brukes i modellen kommer fra energiberegningsprogrammet SIMIEN. For hver byggkategori er det satt en gjennomsnittlig teknisk standard for byggmassen som oppgraderes til standard for passivhusnivå (NVE, 2015). Etter oppgraderingen simuleres den årlige energibruken for et normalår mot behovet ved gjennomsnittlig teknisk standard. Differansen mellom målingene representerer årlig energibesparelse i GWh/år (ENOVA, 2012a). En begrensning som følge av metoden av utregning i SIMIEN er at tiltakene er beregnet som enkeltstående tiltak. Dermed kan det ikke tas

hensyn til eventuelle effekter av tidligere tiltak, eller tiltak som gjennomføres samtidig. Samtidig er det ikke sikkert at summering av alle potensialene gir riktig representasjon av virkelig potensial. Redusert varmetap fra etterisolering bidrar til redusert nytte for forbedret SFP og behovsstyrt ventilasjon.

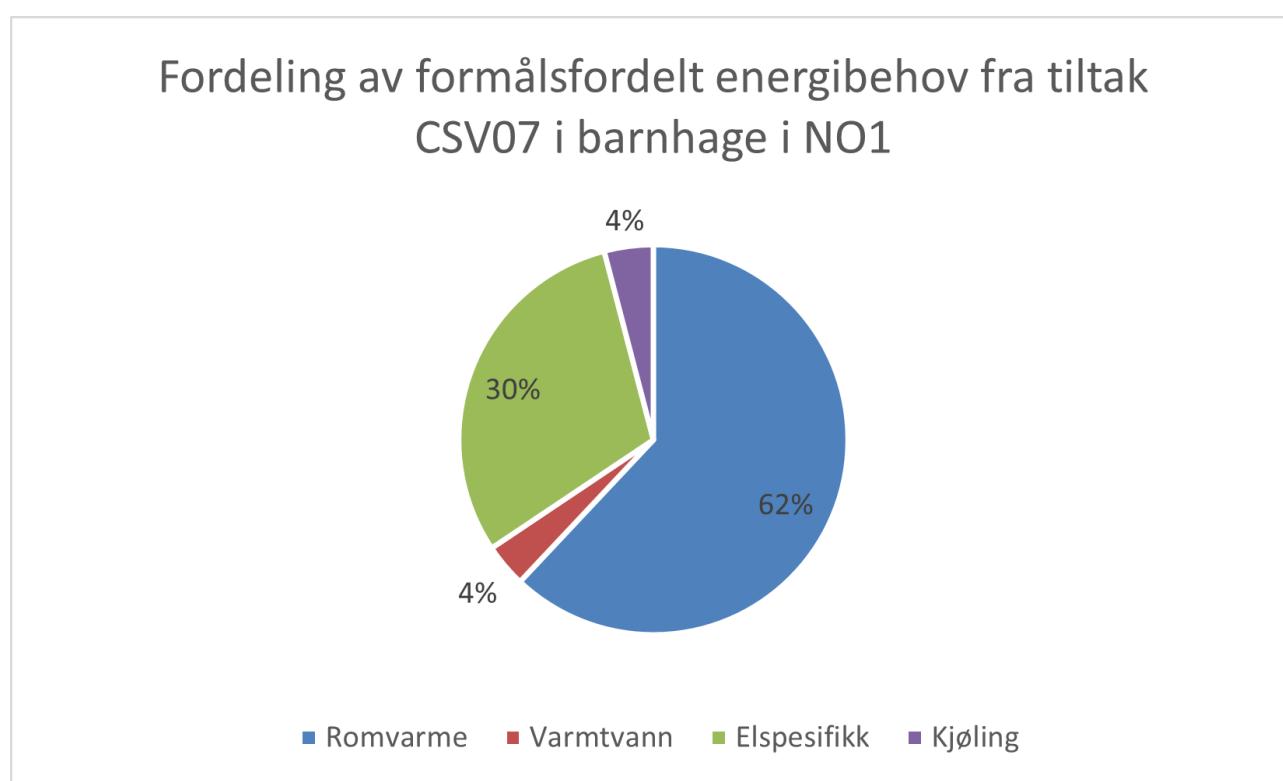
Tabell 4.1: Liste av alle tiltak og hvilke behov de påvirker (Denne studien, 2021).

Prosesskode	Beskrivelse	Påvirker behov			
		Romvarme	Varmtvann	Elspesifikk	Kjøling
COM-CSV01	Etterisolering vegg	ja	nei	ja (noe)	nei
COM-CSV02	Etterisolering tak/loft	ja	nei	ja (noe)	nei
COM-CSV03	Etterisolering gulv	ja	nei	ja (noe)	nei
COM-CSV04	Skifte vinduer og dører	ja	nei	ja (noe)	nei
COM-CSV05	Varmegjenvinning, ventilasjon	ja	nei	ja (noe)	nei
COM-CSV06	Natt- og helgesenking	ja	nei	ja (noe)	nei
COM-CSV07	Energioppfølgingssystem (EOS)	ja	ja	ja	ja
COM-CSV08	Forbedring SFP	ja (noe)	nei	ja	ja (noe)
COM-CSV09	Behovsstyring ventilasjon	ja	nei	ja	ja
COM-CSV10	Energieffektivt belysningsutstyr	ja	nei	ja	ja
COM-CSV11	Styringssystem belysning	ja	nei	ja	ja
COM-CSV12	Automatisk solskjerming	ja (noe)	nei	ja (noe)	ja
COM-CSV13	SD-anlegg	ja	nei	ja	ja

Tabell 4.1 viser alle tiltakene som kan innføres, og hvilke behov de påvirker. Etterisolering i vegg, tak, gulv og skifting av vinduer og dører modelleres med kun innvirkning på varmebehovet. I virkeligheten vil lavere lekkasje av oppvarmet luft føre til mindre elspesifikk behov for varmegjenvinning og spesifikk vifte effekt (Specific Fan Power - SFP). Forbedret varmegjenvinning og ventilasjon som øker virkningsgraden til systemet som øker varmegjenvinning per elspesifikk enhet. natt- og helgesenking fører til redusert varmebehov og økt elspesifikk behov som følge av elektriske installasjoner nødvendig for å utføre reguleringen. Energioppfølgingssystem (EOS) kan redusere alle behov etter som de gir godt grunnlag til å avdekke besparingspotensial i forbruk. Forbedring SFP reduserer elspesifikk behov til vifter, som øker effekten per energienhet for romoppvarming og kjøling. Behovsstyring ventilasjon sørger for riktig bruk av energien til riktig tid, øker virkningsgraden ved å kutte driftstid når områder ikke er i bruk, og reduserer energibehovet til romvarme, elspesifikk og kjøling. Energieffektivt belysningsutstyr og styringssystem for belysning fører til redusert elspesifikk behov. Mindre energikrevende lys og utkobling i områder som ikke brukes kan øke varmebehovet og redusere kjølebehovet. Automatisk solskjerming fører til redusert kjølebehov og økt elspesifikk behov

som følge av nødvendige installasjoner for utføring av tiltak. Sentral driftstasjon (SD-anlegg) vil føre til økt oppfølging og tilgjengelighet av tekniske installasjoner i bygget. Tiltaket gir økt systemvirkningsgrad for alle energibehov. For forklaring av tiltak og kostnader se Kostnader og antagelser for tiltakene.

Figur 4.7 viser CSV7 - energioppfølgingssystem (EOS) i barnehager i region NO1. Tiltaket påvirker flere behov, hvor årlig besparelse fordeles ved hjelp av en fordelingsrate. 62 prosent av den årlige sparingen tiltaket gir kommer fra redusert behov til romoppvarming, 30 prosent fra redusert elektrisitetsbehov og resterende fra varmtvann og kjøling. I inngangsdata for TIMES er det kun tiltak 7, 9, 10, 11, 12, 13 fra tabell 4.1 som påvirker fler behov, som fordeles på samme måte med egne fordelinger.



Figur 4.7: Fordelingsrate for CSV07 - Energioppfølgingssystem (EOS) i region NO1 (Denne studien, 2021).

5. Metode

TIMES-modellen brukes som et verktøy for å undersøke hvilke energieffektiviseringstiltak som er lønnsomme å innføre. Baseline-scenariet bygger på en rekke inngangsdata med egne filer for regelverk i modellen osv. alle filene brukes for å representere energisystemet i Norge. Estimeringene gir resultater for produksjon fra tiltakene som brukes for å redusere årlig formålsdelt energibehov fra LEAP. Effekten av tiltakene finner vi ved å sammenligne behovsdata fra LEAP, mot nytt redusert behov, fordelt over forbruksprofilene. Analysen og resultatene er helt avhengig av NVE sitt arbeid med TIMES og deres datagrunnlag.

5.1 Installasjon

For å gjennomføre denne simuleringen er det behov for noen programmer. GAMS (General Algebraic Modeling System) er et modelleringsspråk for matematisk optimering. CPLEX er en solver for lineære, ikke-lineære og blandede heltallsoptimaliseringer. For å forenkle simuleringene for sluttbrukeren (oss), brukes VEDA2.0 som brukergrensesnitt. VEDA2.0 brukes for å lage scenarier basert på tilgjengelig inngangsdata, og for å lage pivottabell for resultatene. Oppsettet kan kun kjøres på Windows operativsystem, fra versjon 7 og nyere. Apple kan bruke emulator mens det er ingen støtte for Linux/Unix. Til slutt anbefales det å installere programmene med “recommended settings” slik at eventuell “path” legges riktig inn for mappestrukturen.

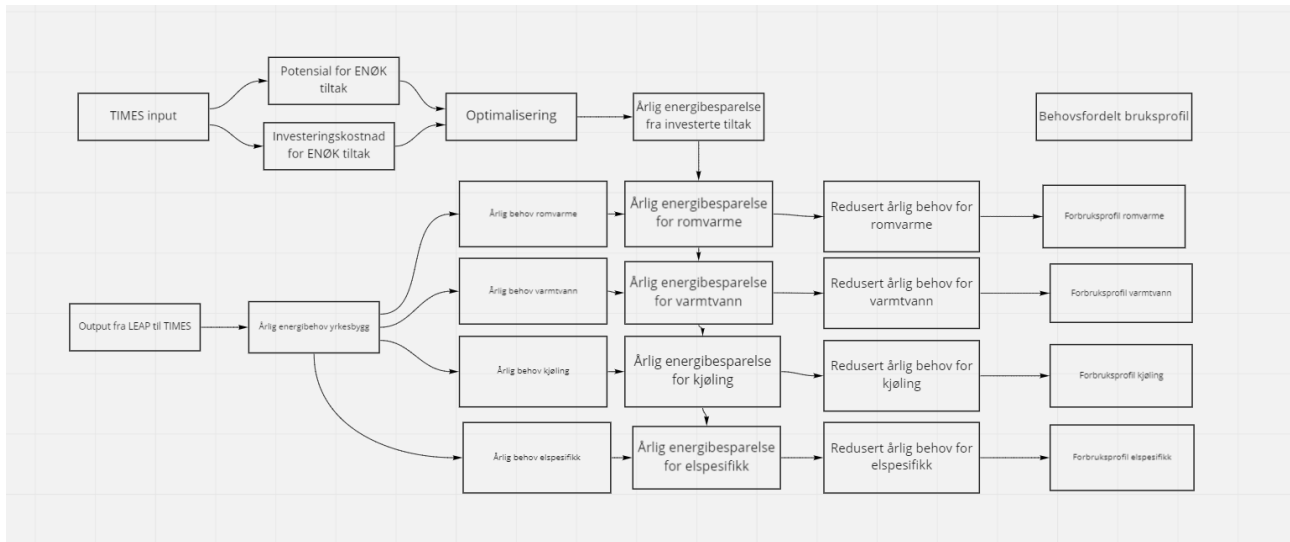
5.2 Oppsett av scenarier

VEDA2.0 brukes for å lage scenariene som skal gjennomføres. Det første scenariet er en Baseline som skal brukes som en referansebane for systemkostnaden. Inngangsdata for scenariet er listet opp i Baseline - scenario. I Baseline scenariet ekskluderes inngangsdata for potensial og kostnadene for tiltakene. Scenariet Baseline + enøk inkluderer inngangsdata for potensial og kostnadene for tiltaket. For å kjøre analyse av scenariene må vi velge scenario, bestemme sluttår, hvilken solver som skal brukes og for hvilke regioner. Når alt er valgt løses objektfunksjonen ved å trykke “solve”.

5.3 Tolking og uthenting av resultatene

Det årlig besparingspotensialet fra tiltakene er modellert som produksjonsnivå fra tiltakene. For å hente resultatene trenger vi derfor å se på aktivitetsnivået til prosessene tiltakene representerer. I VEDA2.0 er levert energi fra produksjonsnivå kodet til VAR_Fout, som også brukes for å se hvor mye strøm som blir levert til yrkesbygg.

Etter optimeringen leverer TIMES verdiene for potensialet [GWh/år] fra hvert tiltak som er innført. Den nye produksjonen fordeles på formålsfordelt behov og type bygg og brukes til å redusere behovene fra LEAP. Redusert formålsfordelt energibehov blir deretter allokert for tilhørende forbruksprofiler gjennomgått i kapittel 9.5. For å finne effekten av innføring av tiltakene plottes energibehovet fra LEAP mot redusert energibehov. Figur 5.1 viser hvordan behovet fra LEAP blir påvirket av produksjonen fra enøk-tiltakene.



Figur 5.1: Prosessgang for estimert virkning av økonomisk gjennomførbare enøk-tiltak.

5.4 Bergening av LCOE fra datagrunnlag

Berening av LCOE gjøres for å undersøke om det er en sammenheng mellom innførte tiltak og LCOE. For å beregne LCOE brukes ligning 9.1 hvor I er investeringskostnad per enhet, OM er drifts- og vedlikeholdskostnader, F er faste kostnader og E er produsert energi over levetid. For årlig anskaffelseskostnad brukes ligning 9.2, hvor r er diskonteringsrenten på 11 prosent og n er levetiden for tiltaket. Siden investeringskostnaden allerede er per installerte enhet kan ligningene forenkles til $LCOE = I * \alpha$.

$$\alpha = \frac{r}{1 - (1 + r)^{-n}} \quad (5.1)$$

$$LCOE = \frac{\alpha * I + OM + F}{E} \quad (5.2)$$

5.5 Testing og feilsøking

Alle simuleringer frem til siste som produserte resultatene som gjennomgås i oppgaven hadde umulige løsninger. Produksjonen fra tiltakene overskred det øvre potensialet. For å undersøke om resultatene kunne stemme testet jeg ekstreme situasjoner; en simulering med investeringskostnaden som brukes i resultatene, og en hvor det var gratis (null kostnad). Begge simuleringene ga like resultater. Det kunne være slik at dette var riktig, at innføringen ikke hadde effekt på modellens objektfunksjon. For å forstå at svaret er feil måtte jeg lære meg modellen og hvordan arbeidsområdet blir modellert. ETSAP (Energy Technology Systems Analysis Program) har fire håndbøker for TIMES som forklarer om prosessene og funksjonen. Da jeg testet simuleringene på nytt viste det seg at TIMES ikke leverte noen strømpris. Med hjelp fra Aleksandra og VEDA2.0 support klarte vi å finne feilene i modellen som forårsaket disse problemene.

Første problemet var at jeg hadde laget fler SubRES filer for scenarier med forskjellige potensialer fra tiltakene. SubRES filer brukes til å definere teknologier. For å teste for andre potensialer må man lage nye scenariofiler (SuppXLS). Når man først har gjort feilen med SubRES må hele modellen kjøre “start from scratch” uten de nye SubRES filene.

Det neste som er viktig å følge med på er at alle Excel datafiler som inngår i TIMES har samme tidsoppdeling. Det er usikkert hvordan denne feilen oppsto da tabellene settes opp med skripting. Denne feilen gir logisk tilbakemelding om hvilke filer som ikke stemmer med SysSettings filen, som bestemmer oppsettet til modellen.

Det største problemet var at det manglet en tabell fra originalt datasett for fordelingsprofilen til tiltakene. Tabellen brukes til å tilføye nye egenskaper og verdiene til modellen (deklarerer nye egenskaper). Det førte til kritisk modellfeil og umulige resultater.

6. Resultater

Det er kun gjennomgått resultater fra TIMES som tilhører oppgavens omfang, herunder årlig energibehov for yrkesbygg og årlig energibesparing per energipost fra tiltakene. Alle resultatene fra innføring av tiltak kommer fra scenario Baseline + enøk. Kun objektfunksjonen fra Baseline er brukt i resultatene. Resultatene fra hver av regionene (NO1, NO2, NO3, NO4 og NO5) er proporsjonale med energibehovet og potensialet. Kostnadene er normalisert mot gjennomsnittlig teknisk standard for regionene. Grunnet proporsjonaliteten i behov og potensial gjennomgås de fleste resultatene kun fra region NO1, se Vedlegg - A for øvre regioner.

6.1 Årlig energibesparelse fra enøk-tiltak

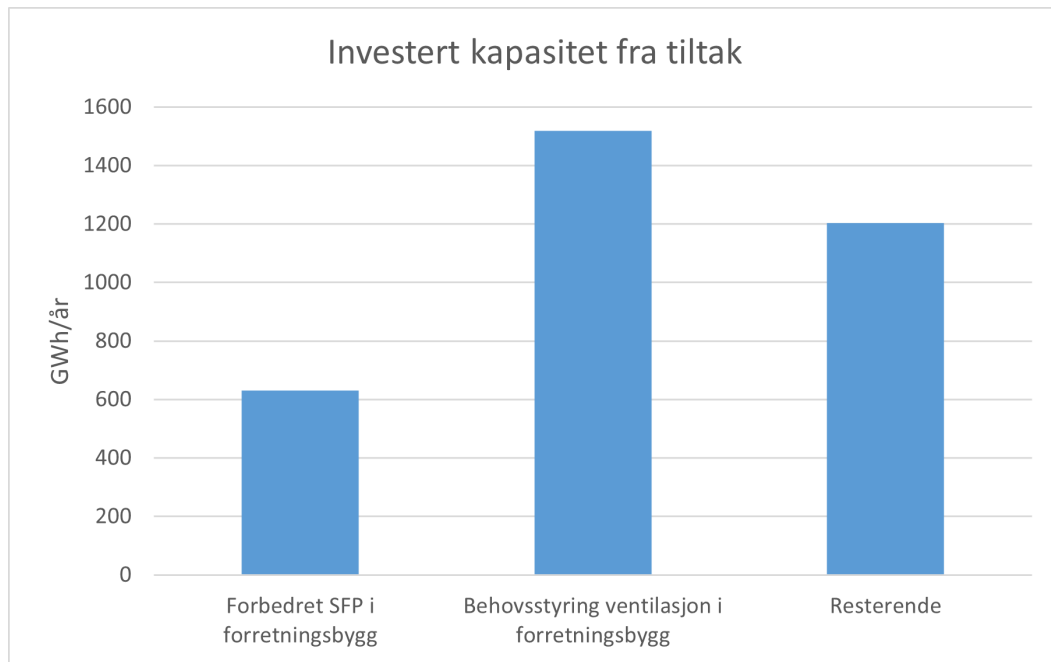
Basert på modell-ligninger for hver prosess i TIMES skal modellen møte energibehovet til lavest systemkostnad. Basert på dette har modellen valgt å investere i tiltakene i tabell 6.1. Totalt har TIMES investert i 3354.08 GWh/år med ny kapasitet av det totale potensialet på 3539 GWh/år. Det er kun investert i tiltak 5, 7, 8 og 9. Totalt er det 1032 GWh/år fra elspesifikk, 374 GWh/år fra romvarme, 61 GWh/år fra kjøling og 2.39 GWh/år fra varmtvannsbehovet.

Tabell 6.1: Energibesparelse fra enøk-tiltak i region NO1 TIMES velger å investere i. EOS står for Energioppfølgingssystem og SFP er specific fan power.

Årlig produksjon [GWh/år] i 2025 for region NO1				
Prosess	Kjøling	Elspesifikk	Romvarme	Varmtvann
Bedre varmegjenvinning i sykehus			60.42	
Energioppfølgingssystem (EOS) i forretningsbygg	5.35	26.79	23.51	1.60
Energioppfølgingssystem (EOS) i kontor				
Energioppfølgingssystem (EOS) i sykehjem				
Energioppfølgingssystem (EOS) i sykehus	0.70	6.21	4.02	0.72
Energioppfølgingssystem (EOS) i universitet	0.33	1.87	1.41	0.07
Forbedring (SFP) i barnehage		4.44		
Forbedring (SFP) i forretningsbygg		263.63		
Forbedring (SFP) i hoteller		38.04		
Forbedring (SFP) i idrettsbygg		7.96		
Forbedring (SFP) i lett industri / verksted		54.31		
Forbedring (SFP) i kulturbygg		12.97		
Forbedring (SFP) i kontorbygg		103.84		
Forbedring (SFP) i sykehjem		41.27		
Forbedring (SFP) i skoler		56.57		
Forbedring (SFP) i sykehus		51.14		
Forbedring (SFP) i universitet _UNI		11.74		
Behovsstyring ventilasjon i forretningsbygg	51.51	339.34	274.35	
Behovsstyring ventilasjon i idrettsbygg	3.24	11.99	10.38	
Totalt	61.13	1032.11	374.09	2.39

6.1.1 Spredning av årlig energibesparelse fra enøk-tiltak

Figur 6.1 viser fordelingen av besparingspotensialet fra tiltakene fordelt etter de største andele mot resterende. Resterende er samling av alle tiltakene bortsett fra forbedret SFP og behovsstyring ventilasjon i forretningsbygg.



Figur 6.1: Spredning av innførte tiltak for yrkesbygg i alle regioner. Totalt står forbedret SFP og behovsstyring ventilasjonsanlegg fra forretningsbygg for 64 prosent av besparingspotensialet.

6.2 Redusert formålsinndelt energibehov

Tabellene 6.2 og 6.3 viser det reduserte behovet som følge av produksjon fra tiltakene. Innføringen av tiltakene førte til størst effekt for elspesifikk behov, som ble redusert med 16 - 17 prosent i hver region. Behovet for energi til romvarme er noe mer spredt, med lavest effekt for region NO2 med 3.85 prosent og størst effekt for NO4 med 7.8 prosent. Videre er behovet for energi til varmtvann redusert med under 0.5 prosent per region. Energiforbruket til kjøling er redusert med ca 5, 2.2, 0.5 og 0.03 prosent for NO1, NO2, NO3, NO4 og NO5.

Tabell 6.2: Nytt formålsinndelt energibehov (GWh/år) for yrkesbygg per region i 2025.

	Totalt redusert formålsfordelt energibehov				
Region	NO1	NO2	NO3	NO4	NO5
Kjøling	1201	714	405	268	323
Varmtvann	705	408	228	150	183
Romvarme	6027	3560	1958	1254	1590
Elspesifikk	5227	3020	1681	1102	1352

Tabell 6.3: Prosentvis redusert formålsfordelt energibehov for alle regioner.

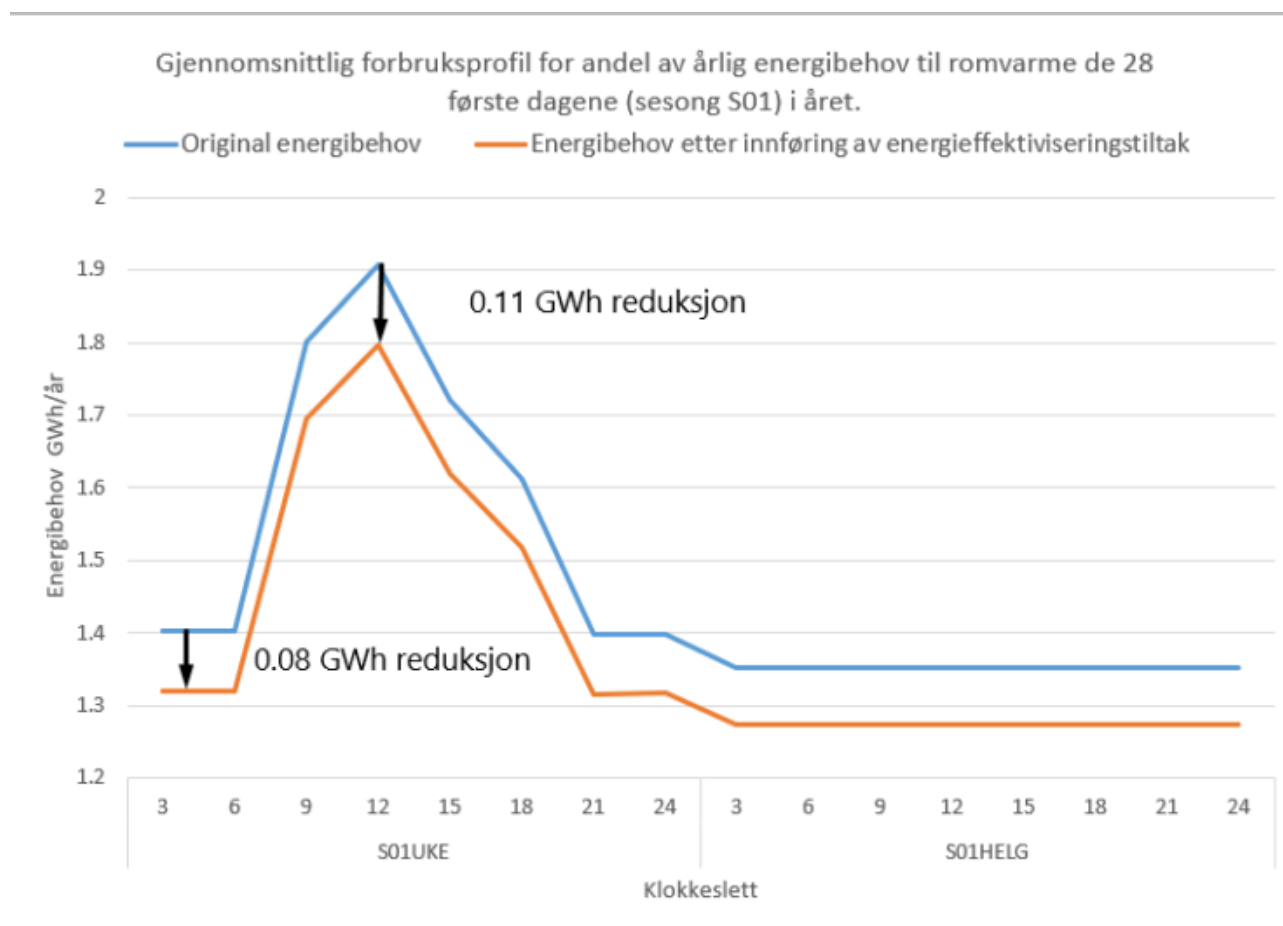
	Prosentvis redusert formålsfordelt energibehov				
Region	NO1	NO2	NO3	NO4	NO5
Kjøling	4.84 %	2.20 %	0.51 %	0.03 %	1.06 %
Varmtvann	0.34 %	0.34 %	0.33 %	0.35 %	0.33 %
Romvarme	5.84 %	3.85 %	5.16 %	7.80 %	4.15 %
Elspesifikk	16.49 %	16.57 %	16.73 %	17.13 %	16.65 %

6.3 Reduserte lastprofiler

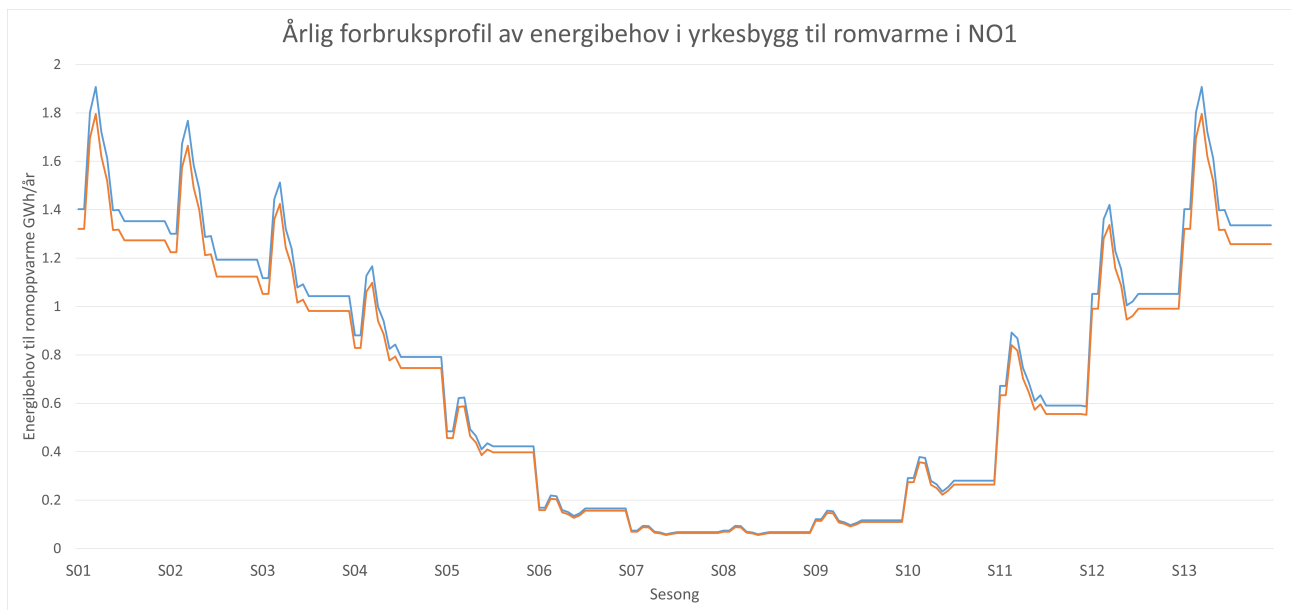
Sesongprofilene for alle energipostene (romvarme, elspesifikk, varmtvann og kjøling) har lik fordeling over alle regionene NO1, NO2, NO3, NO4 og NO5. Behov og besparingspotensial fra enøk-tiltakene er proporsjonalt mellom prisområdene. Dermed vil formen til forbruksprofilen være lik for alle regionene, mens verdiene for behovet varierer med regionene.

6.3.1 Forbruksprofil for romvarme

Figur 6.2 viser forbruksprofilen for energibehov til romvarme i region NO1. Spisslasten mellom klokken 09:00 og 15:00 ble redusert med ca 0.11 GWh/år mens lasten resten av tiden og i helgene ble redusert med ca 0.08 GWh/år. Forbruksprofilen for romvarme i region NO1 varierer over året som vist i figur 6.3.



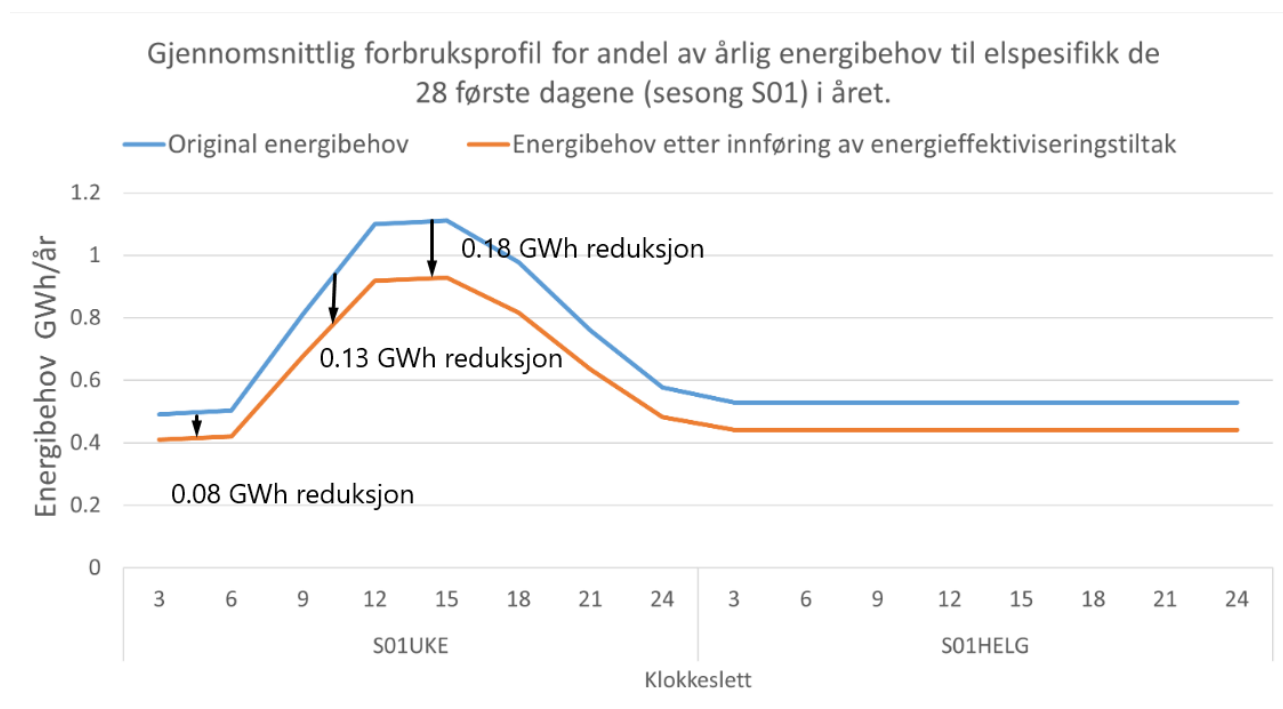
Figur 6.2: Årlig fordeling av energibehov til romvarme i sesong S01 i region NO1.



Figur 6.3: Årlig fordeling av energibehov til romvarme for region NO1.

6.3.2 Forbruksprofil for elspesifikk

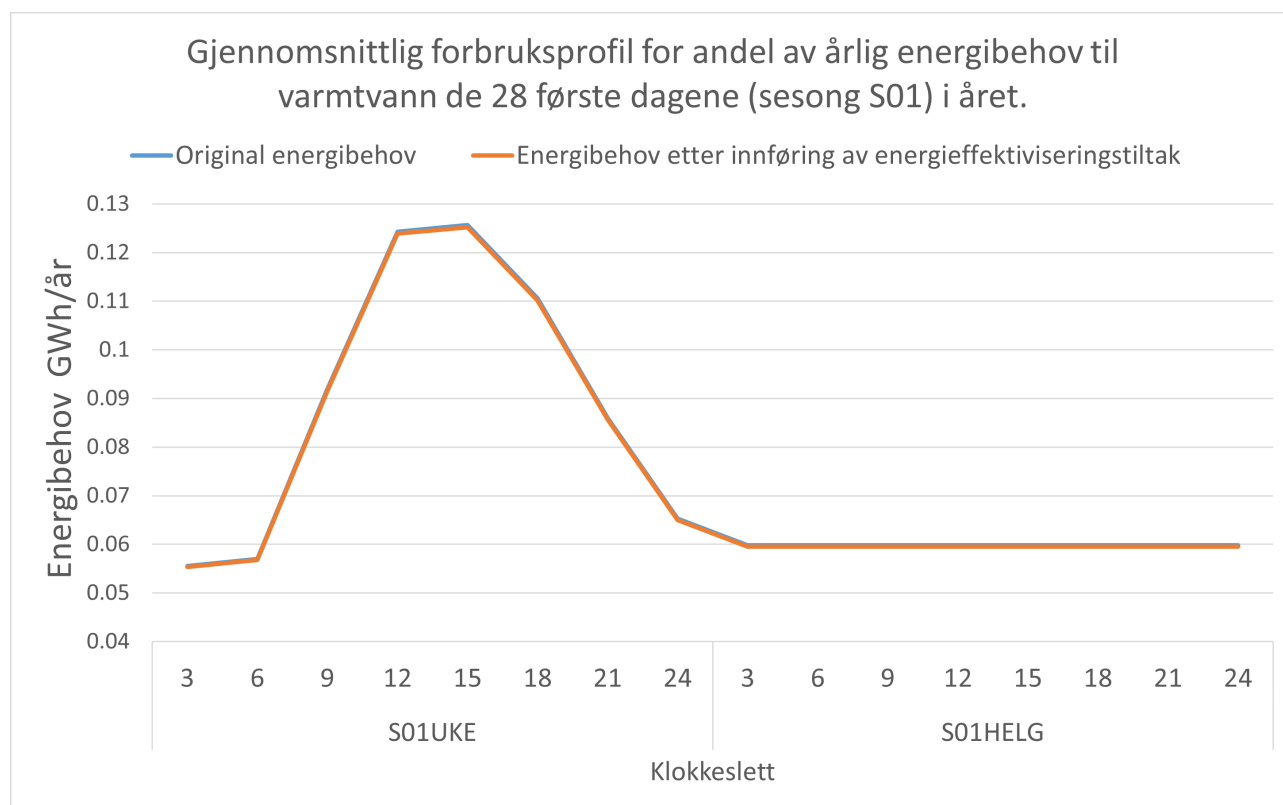
Forbruksprofilen for elspesifikk er lik over hele året. Figur 6.4 viser forbruksprofilen for energibehov til elspesifikke formål i region NO1. Spisslasten mellom 09:00 og 15:00 er redusert med 0.13 til 0.18 GWh/år mens lasten resten av tiden og i helgene er redusert med 0.087 GWh/år.



Figur 6.4: Årlig fordeling av energibehov til elspesifikk i sesong S01 i region NO1.

6.3.3 Forbruksprofil for varmtvann

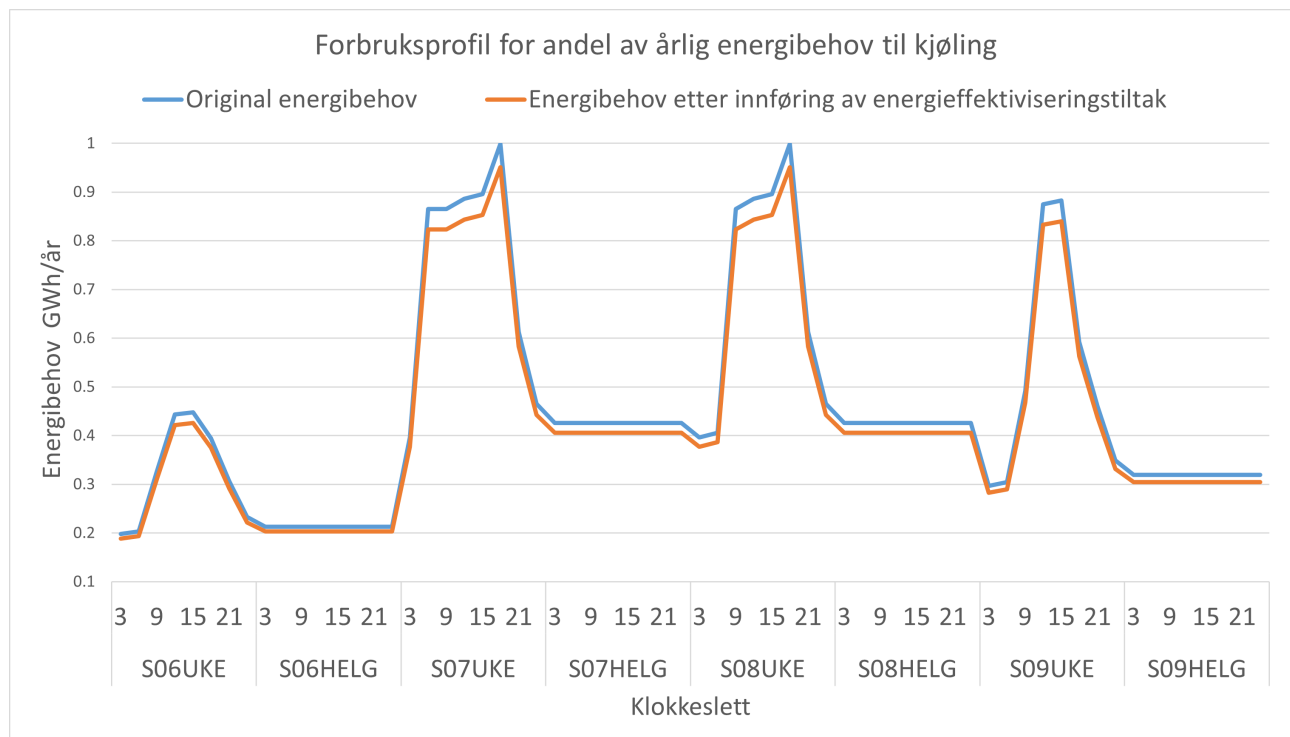
Forbruksprofilen for varmtvann er lik over hele året. Figur 6.5 viser forbruksprofilen for energibehov til varmtvann i region NO1, i sesong S01. Totalt årlig behov er redusert med 0.34 prosent. Det er dermed vanskelig å se utslaget i forbruksprofilen.



Figur 6.5: Årlig fordeling av energibehov til varmtvann i sesong S01 i region NO1.

6.3.4 Forbruksprofil for kjøling

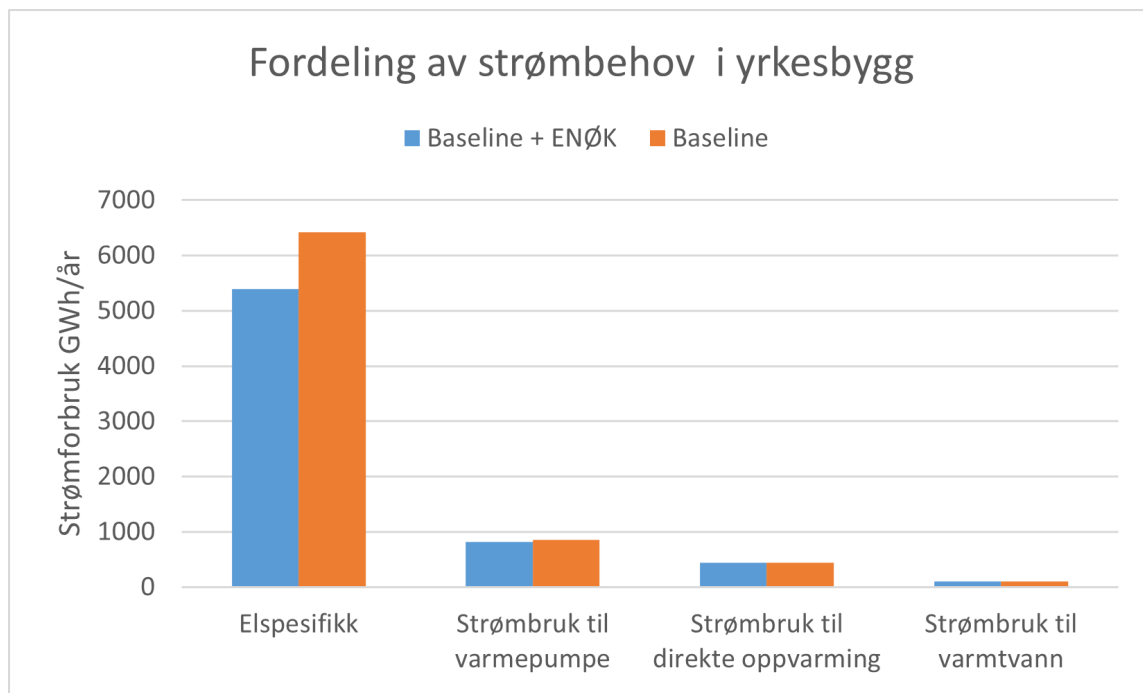
Det er kun kjølebehov i sesong S06-S08. Figur 6.6 viser forbruksprofilen for energibehov til kjøling i region NO1. Spisslasten mellom klokken 06:00 til 18:00 i sesong S07 er redusert med 0.044 GWh/år mens lasten resten av tiden er redusert med 0.02GWh/år



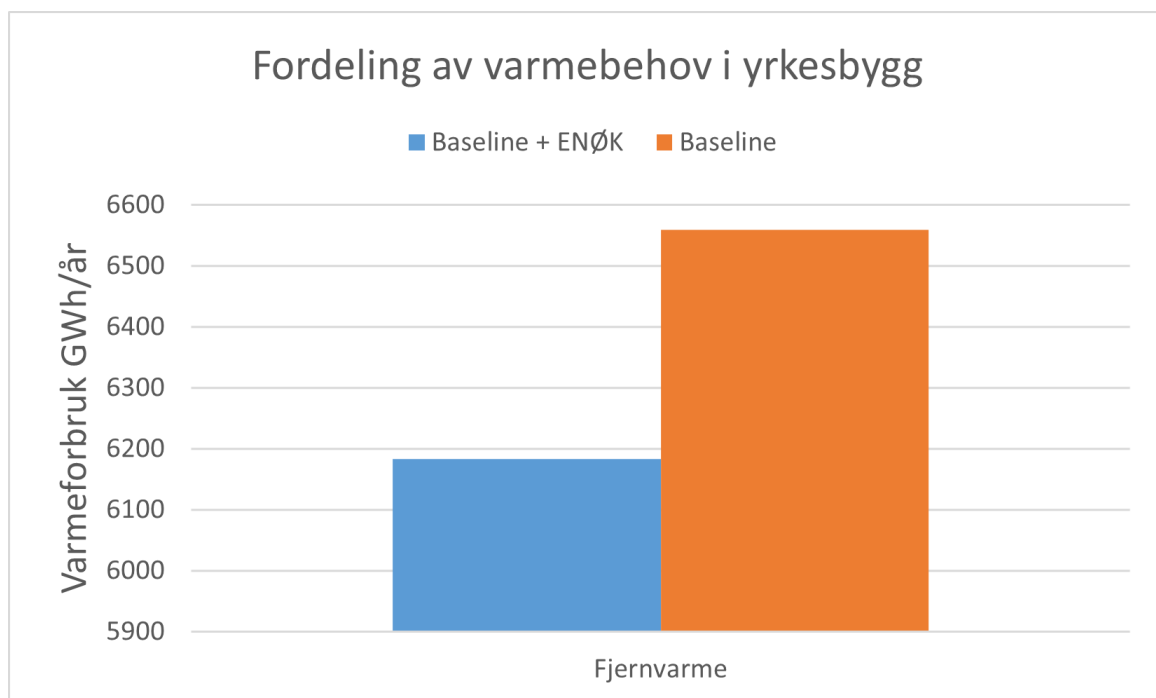
Figur 6.6: Årlig fordeling av energibehov til varmtvann i sesong S06 til S09 i region NO1.

6.4 Produksjonsprosesser for yrkesbygg

Prosessene som skal møte behovene for yrkesbygg skiller kun mellom strøm og varme som energibærere. Figur 6.7 og 6.8 viser hvilke teknologier som ble brukt for å møte energibehovet dekket av strøm/varme i yrkesbygg. Innføring av energieffektiviseringstiltakene gir 16 prosent redusert elspe-sifikk behov og 5 prosent redusert strømforbruk til varmepumper. For varmebehovet er andelen som dekkes av fjernvarme redusert med 6 prosent.



Figur 6.7: Strømbehov for region NO1 fordelt til produksjonsprosesser i yrkesbygg. Figuren viser at det reduserte behovet har fungert mot tjenester som kun kan dekkes av strøm som energibærer, som er det ønskelige utfallet Denne studien (2021).



Figur 6.8: Varmebehov for region NO1 fordelt på produksjonsprosesser i yrkesbygg. Figuren viser at det reduserte behovet har fungert mot tjenester som dekkes av varme som energibærer, som er det ønskelige utfallet Denne studien (2021).

6.5 Produksjonsmiks fra råvarer

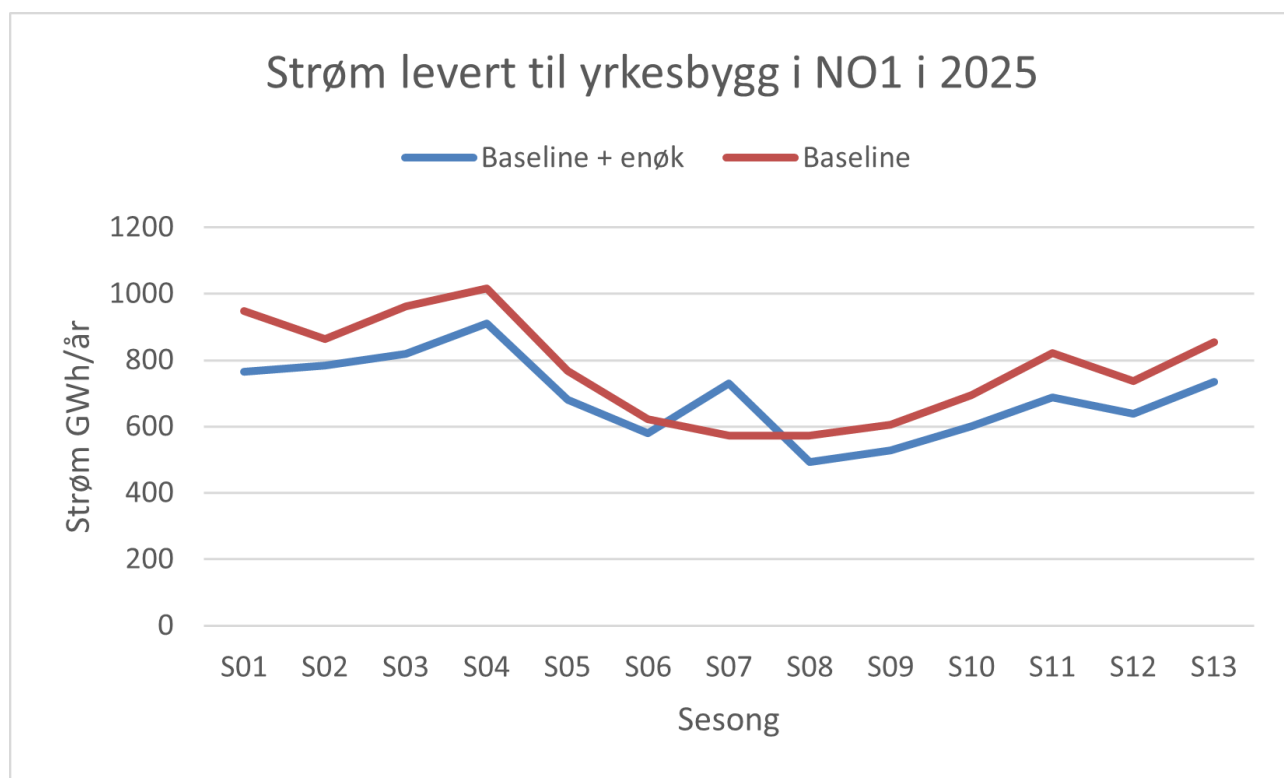
Tabell 6.4 viser energiproduksjon fra region NO1. Kun kombinert varme- og strømkraftverk (CHP) får endret produksjon som følge av innføring av lønnsomme energieffektiviseringstiltak i yrkesbygg. Eksisterende CHP anlegg reduserer varmeproduksjonen med 29.3 GWh/år og strømproduksjon med 9.15 GWh/år. Nye CHP får økt varmeproduksjon med 0.64 GWh/år og strømproduksjon med 0.2 GWh/år.

Tabell 6.4: Energiproduksjon fra råvarene vann, vind og varme for region NO1

Produksjonsmiks for produksjonsprosesser som bruker råvarene: vind, vann og varme i GWh/år for 2025		
Baseline + endr.	Baseline	Produksjonsteknologi
163.2	172.4	Strømproduksjon fra eksisterende kombinert varme- og strømkraftverk
151.9	151.7	Strømproduksjon fra nye kombinert varme- og strømkraftverk
4850.9	4850.9	Strømproduksjon fra eksisterende reservoar vannkraftverk
12774.5	12774.5	Strømproduksjon fra eksisterende elv vannkraftverk
122.3	122.3	Strømproduksjon fra nye termiske kraftverk
277.6	277.6	Strømproduksjon fra vindkraftverk 1
767.6	767.6	Strømproduksjon fra vindkraftverk 2
522.3	551.5	Varmeproduksjon fra kombinert varme og strømkraftverk
486.2	485.5	Varmeproduksjon fra nye kombinert varme og strømkraftverk

6.6 Strøm levert til yrkesbygg

Figur 6.9 viser hvor mye lavspent strøm som er levert til yrkesbygg i region NO1 i 2025. Dette gjelder ikke høyspent strøm levert til industri. Det leveres mest strøm til yrkesbygg i sesong S04, og minst i sesong S08. For Baseline + enøk er det økt strømbehov i sesong S07 mot Baseline scenariet. I snitt ble det levert 10 prosent mindre strøm per måned. Størst reduksjon var for sesong S01 med 19 prosent. For sesong S07 økte behovet med 27 prosent.



Figur 6.9: Årlig levert lavspent strøm til yrkesbygg i region NO1. Viser belastningsbidraget yrkesbyggene har mot lavspent nettet.

6.7 Objektfunksjon

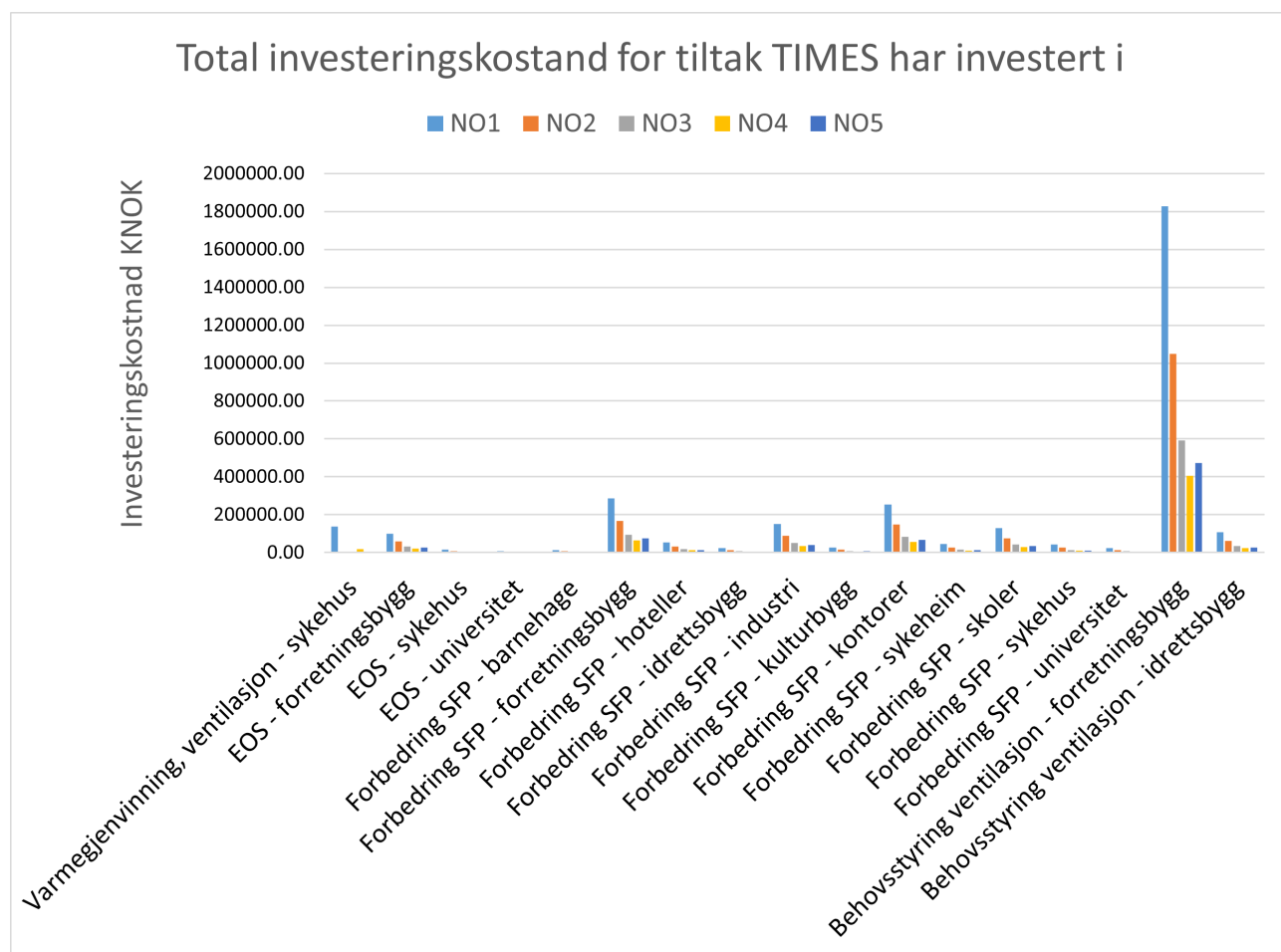
Tabell 6.5 viser at simuleringene fra Baseline og Baseline + enøk viser at systemkostnaden ble lavere etter innføring av tiltakene. Ved Baseline scenariet ble systemkostnaden 2461.99 mrd. NOK. For Baseline + enøk ble systemkostnaden 2450.55 mrd. NOK; en reduksjon på ca 11.4 mrd. NOK.

Tabell 6.5: Verdi av objektfunksjon for Baseline og Baseline + enøk.

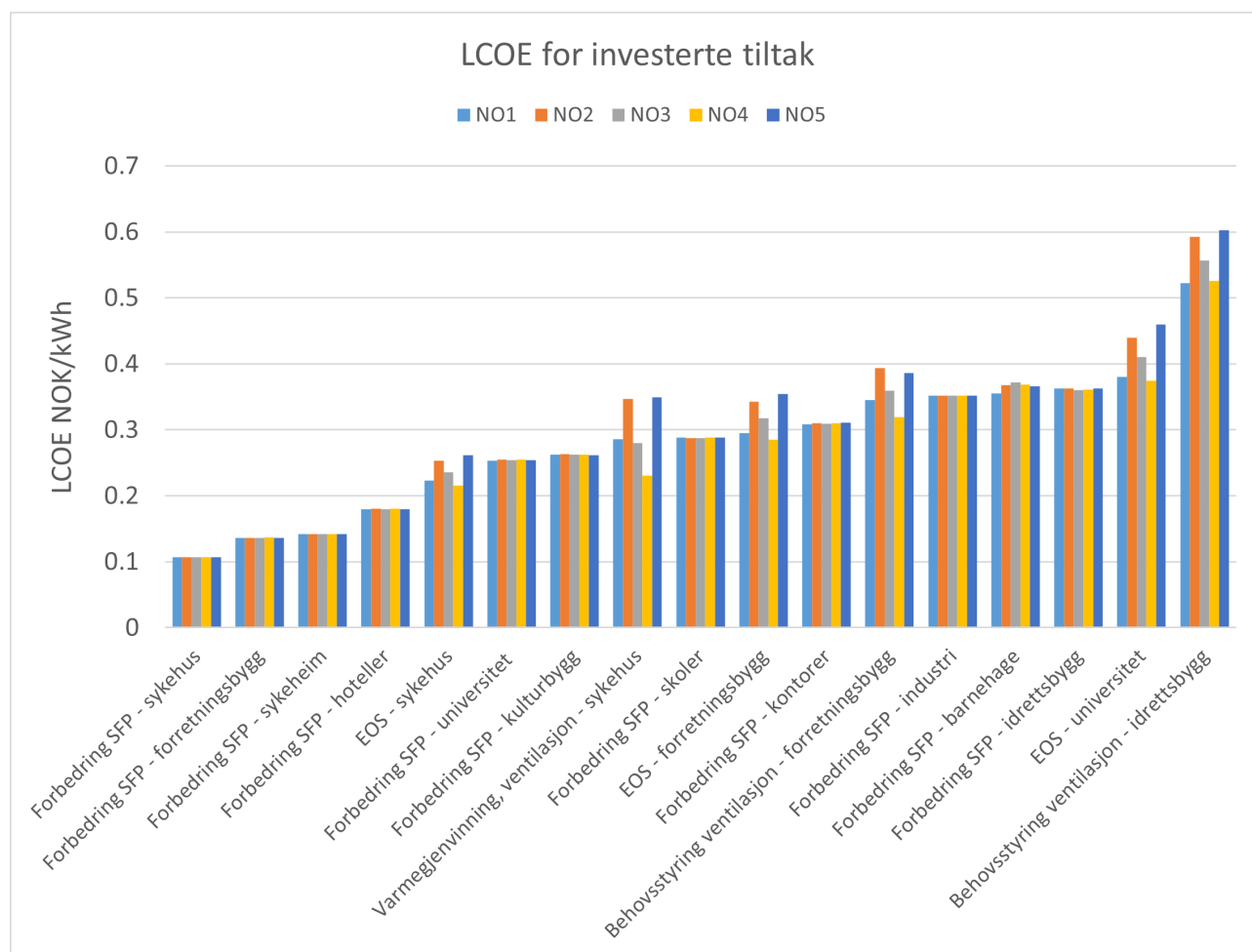
Scenario	Objektfunksjon	Benevning
Baseline + enøk	2450.5	mrd. NOK
Baseline	2461.9	mrd. NOK

6.8 Investeringskostnader for tiltak

Figur 6.10 viser investeringskostnadene TIMES har valgt i scenario Baseline + enøk. Totalt har TIMES investert i tiltak for 7.56 mrd. NOK. Det er investert mest i behovssyring ventilasjonsluft i forretningsbygg for alle regioner. Figur 6.11 viser LCOE for hvert av de investerte tiltakene. Forbedring SFP i sykehus har lavest LCOE på ca 0.1 NOK/kWh og høyest for bevhosstyring ventilasjon i idrettsbygg.



Figur 6.10: Totale investeringskostnader for enøk-tiltak per region.



Figur 6.11: Totale investeringskostnader for enøk-tiltak per region.

7. Diskusjon

7.1 Energibehov i yrkesbygg

Når vi skal modellere virkeligheten må mye antas og forenkles. På prosjekt og byggnivå er det mulig at rehabilitering av bygg påvirker varmebehovet mest. Fra et kostnadsoptimalt systemperspektiv med sammenslåtte forbruksprofiler for en større byggmasse vil strømbehovet bli påvirket mest. Vi kan derfor konkludere at skiftet i byggmassen vil påvirke strømbehovet mest.

Det er tydelig at både strøm og varmebehovet blir redusert når byggmassen blir mer energieffektiv. Den totale energibesparelsen fra enøk-tiltakene over landet var på ca 3.3 TWh/år mot ENOVA (2012a) sitt reelle potensial på 3.1 TWh/år. I region NO1 ble elspesifikk behov redusert med 16.5 prosent, romvarme med 5.8 prosent, kjøling med 4.8 prosent og med 0.34 prosent for varmtvann. For elspesifikk gir det en reduksjon på 1032 GWh/år som stemmer bra med det reduserte strømbehov fra figur 6.7. Det betyr at reduksjonen av elspesifikk behov virket mot tjenester som kun kan dekkes av strøm. Varmebehovet ble redusert med 374 GWh/år som med figur 6.8 tilsier at tidligere behov ble dekt av fjernvarme. Det reduserte behovet hadde stor virkning på total energiproduksjon fra råvarer i Norge. Som ble redusert med 37.6 GWh/år eller ca 0.18 prosent.

Innføringen av tiltakene reduserte mengden levert strøm til yrkesbygg, som både reduserer belastning på nettet og hos produsent. Totalt ble det levert 10 prosent mindre strøm over året og maksbelastningen ble redusert, med 10 prosent, som vist i figur 6.9. Fra resultatene ser vi at forbruksprofilene for de formålsfordelte energibehovene reduseres med lik prosentsats over hele året. Det tilsier at absoluttverdien til reduksjonen er størst ved spisslasten. Elspesifikk effektbehov ble redusert mest i sesong S01 hvor det gikk fra 1.1 GWh/år til 0.92 GWh/år. I samme periode ble varmebehovet til romvarme redusert fra 1.9 GWh/år til 1.79 GWh/år, som ble dekket av fjernvarme.

7.2 Investerte tiltak

Potensialet fra tiltakene baserer seg på en gjennomsnittlig TEK. Dermed kan lønnsomheten for ytterpunktene avvike fra estimeringene. For bygg med eldre standard, kan en oppgradering gi større energibesparing per år, kontra oppgradering av relativt nyere bygg. Om den faktiske kostnaden er lik for eldre og nyere bygg vil tiltaket få en lavere LCOE (Levelized cost of energy). Det er også stor sannsynlighet for at flere av tiltakene utføres samtidig, som det kun er tatt høyde for i utregning av LCOE for etterisolering i vegg og tak/loft. Under en renovering med innføring av flere tiltak, vil investeringskostnaden per tiltak bli lavere. Videre brukes teknisk levetid for utregning av LCOE, som ofte er lenger enn økonomisk levetid. Dette bidrar til at hvert tiltak produserer fler enheter [GWh] over levetiden. Med lik investeringskostnad per installerte kapasitet vil dette gi en lavere LCOE.

Figur 6.11 viser LCOE i stigende rekkefølge for hvert av tiltakene TIMES har valgt i scenario Baseline + enøk. Det rimeligste tiltaket Forbedret SFP i sykehus har LCOE på ca 0.1 NOK/kWh og høyest LCOE for behovsstyring ventilasjon i idrettsbygg med mellom 0.52 - 0.6 NOK/kWh. Sammen med figur 6.10 for totale investeringskostnader ser det ut til at LCOE ikke er styrende for hvilke tiltak som innføres. Av 7.56 mrd. NOK investert er 4.34 mrd. NOK til behovsstyring ventilasjon i forretningsbygg. Dette tiltaket koster i snitt for landet 0.36 NOK/kWh. For forbedring SFP i sykehus til 0.1 NOK/kWh er det kun investert totalt 0.53 GWh/år ny produksjon av 122 GWh/år tilgjengelig.

Totalt investerte TIMES i enøk-tiltak for 7.56 mrd. NOK, samtidig ble systemkostnaden redusert med 11.4 mrd. NOK mot Baseline scenariet. Uten videre analyse av resultatene for hele energisystemet kan det kun konkluderes med at innføring av energieffektiviseringstiltak reduserer systemkostnaden.

8. Konklusjon

TIMES estimerer effekten på en hel sammensatt byggmasse, men skiller mellom type behov. Innføringene av tiltakene viser at energibehov for tjenester som dekkes av strøm vil reduseres med 16 prosent og varmebehovet med 5 prosent. Fra figur 6.10 og 6.1 ser vi at endring i forretningsbygg står for 63 prosent av hele energibesparelsen. Fra figur 4.1 ser vi at totalt består areal for forretningsbygg er under 30 prosent. Én byggkategori står for over halvparten av besparingen og under 30 prosent av arealet. Det er usikkert om endringen i byggmassen TIMES kommer frem til er representativ for alle grupper yrkesbygg.

Endringen i forbruksprofilene som følge av tiltakene i TIMES har lik form som Lindberg mfl. (2019). Begge viser til prosentvis lik reduisering for spisslast og baselast, men forskjellige absoluttverdier gjennom perioden. Der Lindberg mfl. (2019) reduserer varmebehovet med 50 prosent reduserer TIMES med 6 prosent, mot tidligere verdier. For strømbehov er reduksjonen 6 prosent mot TIMES sine 16 prosent.

8.1 Videre arbeid

LEAP-Norge tar for seg rater for rehabilitering og nybygg, som passer bedre med modellene fra Lindberg mfl. (2019), siden bygget må oppgraderes til passivhusstandard. Innføringen i TIMES vil kun legge inn tiltak som reduserer systemkostnaden, som ikke trenger å være nok til en fullverdig oppgradering. Ved å bruke modellene i LEAP, kan forbruksprofilene inkluderes der, slik at TIMES mottar behov for hver gruppe yrkesbygg. Dette ville ført til flere prosesser per energipost, som øker simuleringstiden for TIMES. Scenariene som er kjørt tar ca 15 minutter, om flere prosesser hadde økt kjøretiden betraktelig ville det vært interessant å se om resultatene blir mer nøyaktige. I første omgang

ville det vært ønskelig med forbruksprofiler for forretningsbygg siden de står for det største potensialet.

Sammenslåingen av forbruksprofiler i TIMES, med snitt over 60 timer per 3 timer-intervall, glatter ut topper ved ekstremt kalde dager. Istedenfor å lage et snitt over 60 timer, kunne det vært et snitt av f.eks 60 nærliggende bygg med lik teknisk standard og oppvarmingsteknologi. En slik tilnærming kunne gitt større vekt på temperaturen. Sammen med modellene fra Lindberg mfl. (2019) kunne resultatet mulig blitt mer temperaturavhengig.

Referanseliste

Denne studien. (2021). TIMES analysen i oppgaven.

ENOVA. (2012a). Potensial- og barrierestudie Energieffektivisering i norske bygg. Hentet 15. februar 2021, fra <https://www.enova.no/om-enova/om-organisasjonen/publikasjoner/>

ENOVA. (2012b). Potensial- og barrierestudie Energieffektivisering i norske yrkesbygg, bakgrunnsrapport 2/3. Hentet 10. februar 2021, fra <https://www.enova.no/om-enova/om-organisasjonen/publikasjoner/>

Goldstein, G., Kanudia, A., Lehtilä, A., Remme, U. & Wright, E. (2016). Documentation for the TIMES Model PART III. *ETSAP*. Hentet 4. januar 2021, fra https://iea-etsap.org/docs/Documentation_for_the_TIMES_Model-Part-III_July-2016.pdf

IFE. (2020). Documentation of IFE-TIMES-Norway v1. Hentet 12. januar 2021, fra <https://ife.brage.unit.no/ife-xmlui/handle/11250/2681685>

Lindberg, K. B., Bakker, S. J. & Sartori, I. (2019). Modelling electric and heat load profiles of non-residential buildings for use in long-term aggregate load forecasts. *Utilities Policy*, 58, 63–88.

Lindberg, K. B. & Doorman, G. (2013). Hourly load modelling of non-residential building stock. *2013 IEEE Grenoble Conference*, 1–6.

Lindberg, K. B., Doorman, G., Chacon, J. E. & Fischer, D. (2015). Hourly electricity load modelling of non-residential passive buildings in a nordic climate. *2015 IEEE Eindhoven PowerTech*, 1–6.

NVE. (2015). Kostnader i energisektoren Kraft, varme og effektivisering. Hentet 22. februar 2021, fra https://publikasjoner.nve.no/rapport/2015/rapport2015_02a.pdf

NVE. (2018a). LEAP-NORGE 2016. Hentet 15. februar 2021, fra https://publikasjoner.nve.no/rapport/2018/rapport2018_88.pdf

NVE. (2018b). Strømforbruk i Norge mot 2035. Hentet 14. februar 2021, fra https://publikasjoner.nve.no/rapport/2018/rapport2018_43.pdf

- NVE. (2019). Energibruk i bygg. <https://www.nve.no/energibruk-effektivisering-og-teknologier/energibruk/energibruk-i-bygg/?ref=mainmenu>
- Rosenberg, E. & Espegren, K. A. (2014). *CenSES-energiframskrivninger mot 2050*. Institutt for energiteknikk.
- SSB. (2019). 11561: Energibalansen. Tilgang og forbruk, etter energibalanseposter, energiprodukt, statistikkvariabel og år. <https://www.ssb.no/statbank/table/11561/tableViewLayout1/>
- Standard Norge. (2014). NS 3031:2014. Hentet 14. juni 2021, fra <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=702386>

9. Vedlegg - A

9.1 Forutsetninger for LEAP

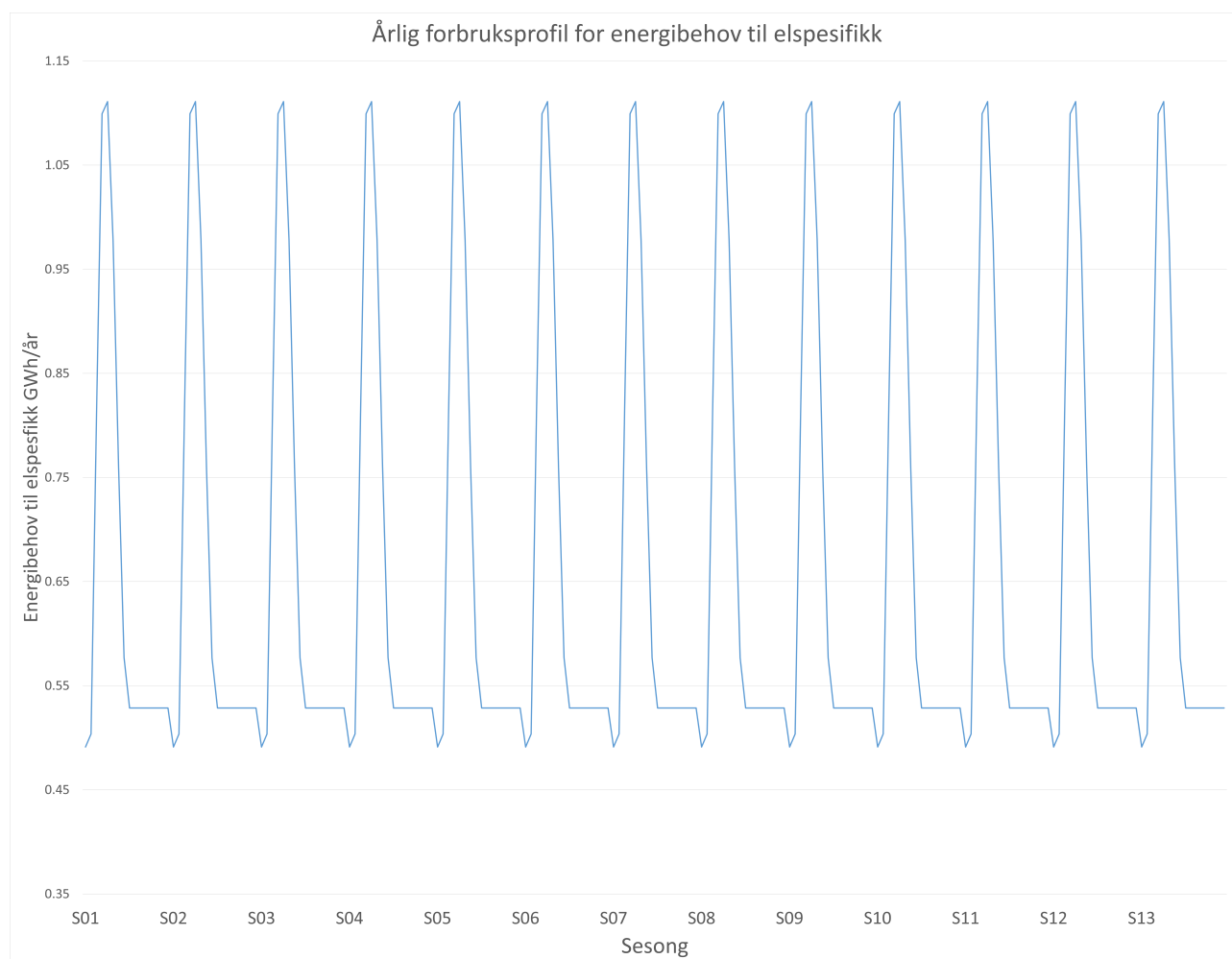
Viktige forutsetninger i fremskrevet energibehov i LEAP NVE (2018b)

- Energibehovet til bygg er framskrevet i LEAP. Samlet energibruk til bygg er framskrevet i TIMES-NO.
- Befolkningen vokser som MMMM alternativet i SSB, og dette er den viktigste driveren for utvikling av arealet.
- Hvilke oppvarmingsteknologier byggene benytter i startåret er basert på data fra Energi-merkedatabasen og er kalibrert mot energibalansen.
- Bygg rives og rehabiliteres over en S-kurve basert på når de ble bygget. Alderen byggene er i når dette skjer er avhengig av bygningskategorien
- Bygg kan rehabiliteres i 3 nivåer som tilsvarer en reduksjon i oppvarmingsbehovet på 7, 15 og 20 %
- Det er forutsatt at lavenergibygge klasse 2 for bygg konstruert etter TEK20.
- Det er forutsatt en generell diskonteringsrente på 11 % i næringsbygg og 15 % i husholdningene gjennom hele perioden.
- Det er forutsatt diskonteringsrente på 30 % for gass til oppvarming, 5 % for solcelleanlegg, 8% for varmepumper i næringsbygg og 10 % for varmepumper i husholdningene
- Det er forutsatt at maksimalt 8 % av yrkesbyggene og 4 % av husholdningene vil skifte oppvarmingssystem per år, og at maksimalt 4 % av næringsbyggene og 1 % av husholdningene med vannbåren oppvarming kan bytte ut eller installere vannbårne distribusjonssystem i året. For elektrisk oppvarming med panelovner og for elkjeler er det fortsatt at maksimalt 1 % av både næringsbygg og husholdninger vil kvitte seg med disse i året.
- Det er forutsatt øvre og nedre begrensninger for hvor mye ulike oppvarmingsteknologier kan brukes i bygg.
- Elprisen i omkringliggende land som Norge utveksler kraft mot er basert på Kraftmarkedsanalysen 2017-2030 (NVE, 2017a)
- Teknologi og brenselpriser er i hovedsak basert på NVEs rapporter og overslag for kostnader i energisektoren (NVE, 2017b)
- Utvikling i energibehovet til fritidsboliger følger befolkningsutviklingen

9.2 Fordelingsprofiler for varmtvann, elspesifikk og kjøling

Fordelingsprofil for elspesifikk behov.

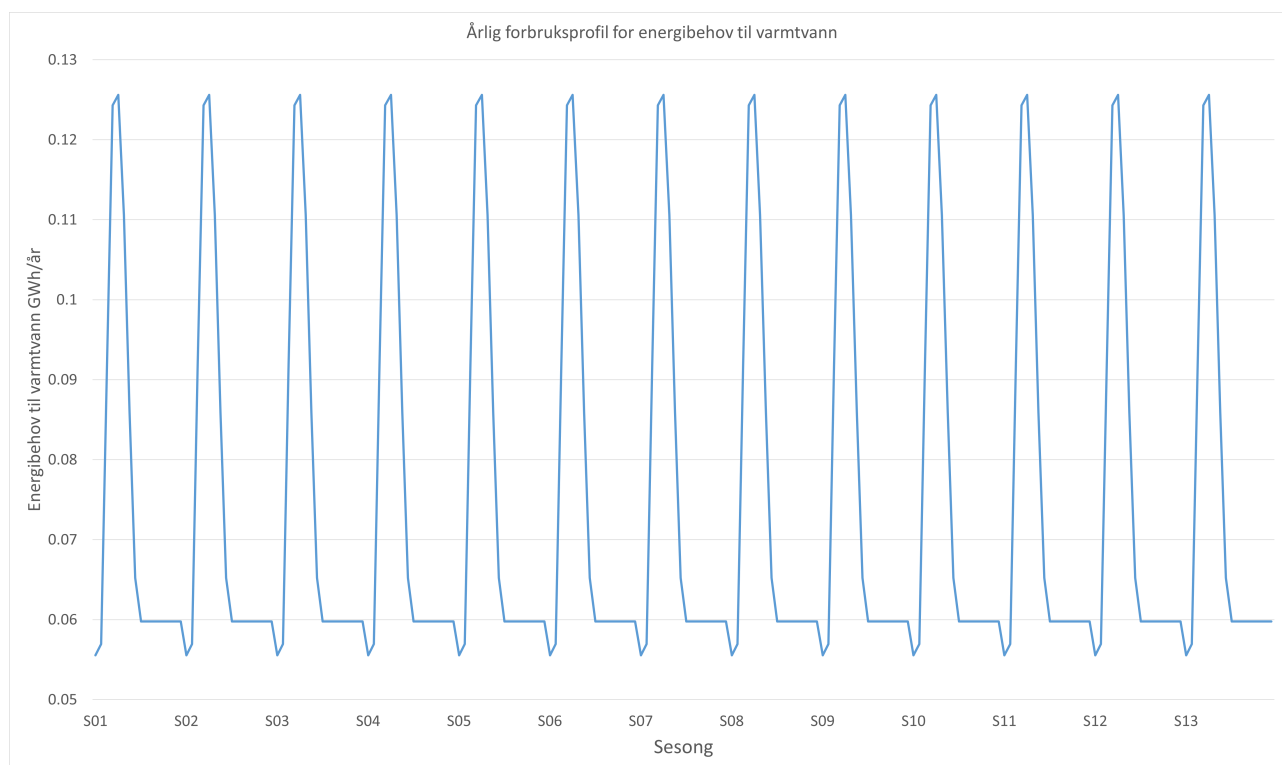
Forbruksprofil for energibehov til elspesifikk over et år. viser årlig forbruksprofil for energibehovet til tjenester som kun kan møtes av strøm varierer over året. Behovet er likt gjennom hele året med spissbelastning mellom klokken 12:00-18:00 i ukedager.



Figur 9.1: Forbruksprofil for energibehov til elspesifikk over et år.

Fordelingsprofil for energibehov til varmtvann.

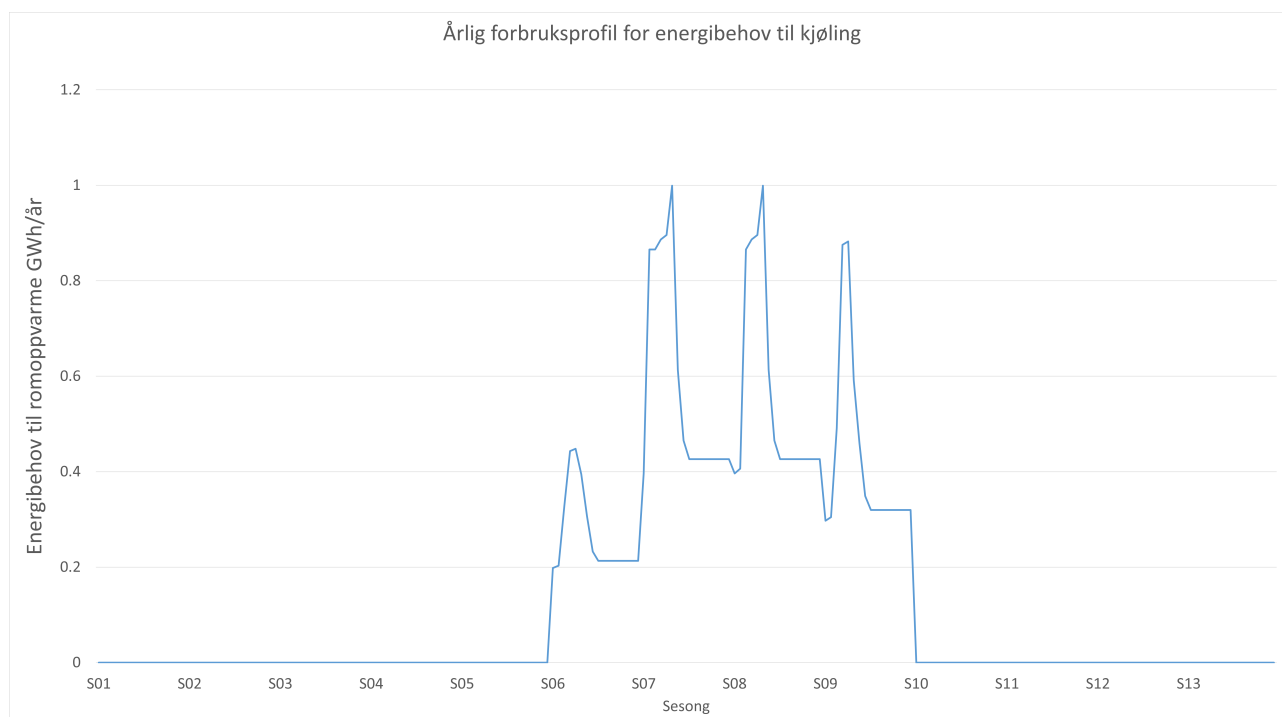
Forbruksprofil for energibehov til varmtvann over et år. viser årlig forbruksprofil for energibehovet til varmtvann. Behovet er likt gjennom hele året med spissbelastning mellom klokken 09:00-21:00 i ukedager.



Figur 9.2: Forbruksprofil for energibehov til varmtvann over et år.

Fordelingsprofil for energibehov til kjøling.

Forbruksprofil for energibehov til varmtvann over et år. viser årlig forbruksprofil energibehov til kjøling. Behovet er likt gjennom hele året med spissbelastning mellom klokken 09:00-21:00 i ukedager.



Figur 9.3: Forbruksprofil for energibehov til kjøling over et år.

9.3 Kostnader og antagelser for tiltakene.

Investeringskostnadene er gitt per ny installert kapasitet i GWh og er delt inn i lav, medium og høy LCOE. Bygg med eldre teknisk standard vil ha en relativ høy energibesparing per investering og dermed en lavere LCOE. Bygg med nyere teknisk standard vil ha mindre energibesparing som gir en høy LCOE. Driftstid og innetemperatur følger lav energisparing fra NS 3031. median energibesparelse øker driftstid med 1.5 time/døgn og setpunkt for oppvarming og kjøling med hhv. $\pm 1^\circ\text{C}$, høy energibesparelse +3 timer/døgn og $\pm 2^\circ\text{C}$. Virkelig driftstid og innetemperatur for alle byggkategorier kan variere. Høyere innetemperatur og driftstid vil derfor gi et større potensial for energibesparing. Videre er Norge delt inn i tre klimasoner, fra lav energibesparelse til høy: Bergen-, Oslo- og Narviksklima. I simuleringene er det brukt en mediankostnad for å finne den mest sannsynlige verdien.

Kostnadene er modellert for 2020, 2030, 2040 og 2050, parallelt med potensialene. Det er antatt en kostnadsreduksjon på 10 prosent mellom 2020 og 2030 som følge av teknologiutvikling og en diskonteringsrente på 11 prosent. Investeringskostnadene i NOK/m^2 er like for hver region og vektet mot andel av byggkategori og TEK for tiltaket, som fører til ulik kostnad per installerte kapasitet.

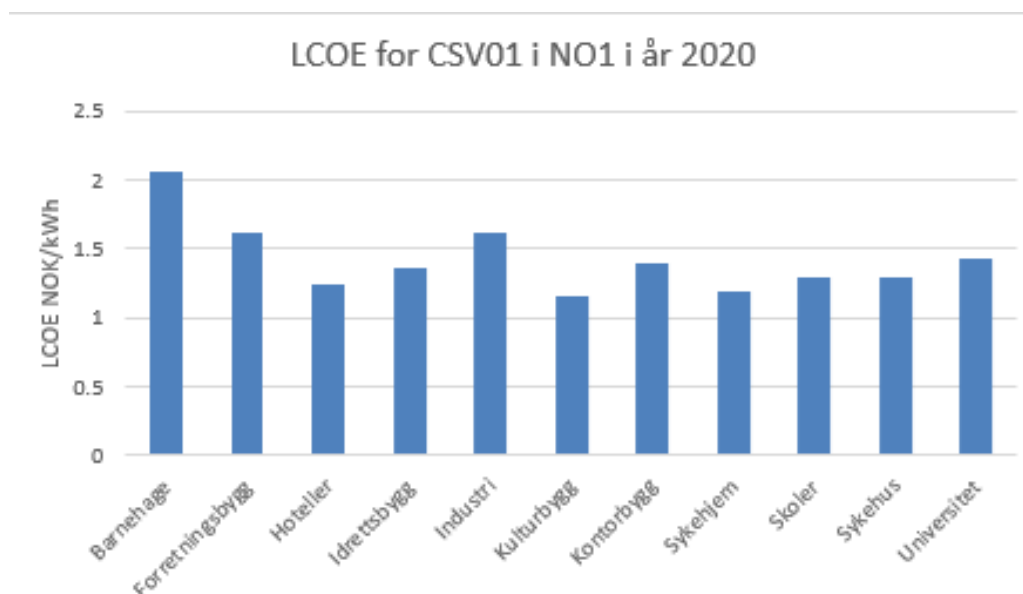
For å beregne LCOE brukes ligning 9.1 hvor I er investeringskostnad per enhet, OM er drifts- og vedlikeholdskostnader, F er faste kostnader og E er produsert energi over levetid. For årlig anskaffelseskostnad brukes ligning 9.2, hvor r er diskonteringsrenten og n er levetid, som varierer per tiltak. Siden investeringskostnaden allerede er per installerte enhet kan ligningene forenkles til $\text{LCOE} = I * \alpha$.

$$\text{LCOE} = \frac{\alpha * I + OM + F}{E} \quad (9.1)$$

$$\alpha = \frac{r}{1 - (1 + r)^{-n}} \quad (9.2)$$

Etterisolering vegg (CSV01).

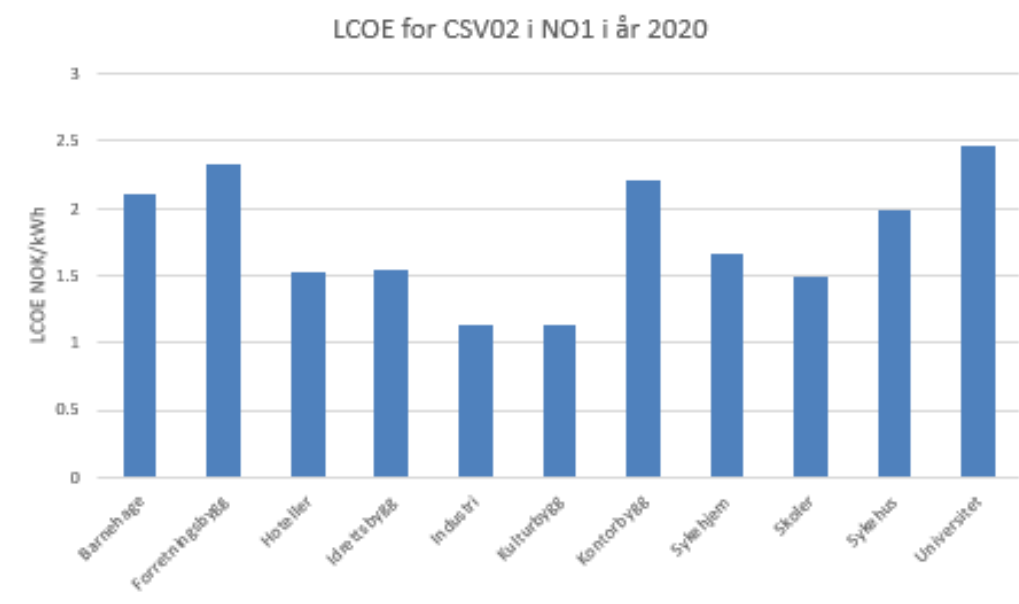
U-verdi reduseres til $0.14 - 0.16 \text{ W/m}^2\text{K}$, levetid 60 år. Det beregnes kun en merkostnad (kostnader der man samtidig utfører annen rehabilitering) og er avhengig av tidligere teknisk standard. Dette gir en relativt lav kostnad i forhold til bruk av totalkostnaden for utførelse av tiltaket. Figur 9.4 viser LCOE for tiltaket i hvert yrkesbygg for NO1 i 2020. For de fleste yrkesbygg ligger LCOE mellom 1 - 1.5 NOK/kWh, for barnehager er LCOE litt over 2 NOK/kWh.



Figur 9.4: LCOE for CSV01 i alle yrkesbygg i NO1 i år 2025.

Etterisolering tak / loft (CSV02).

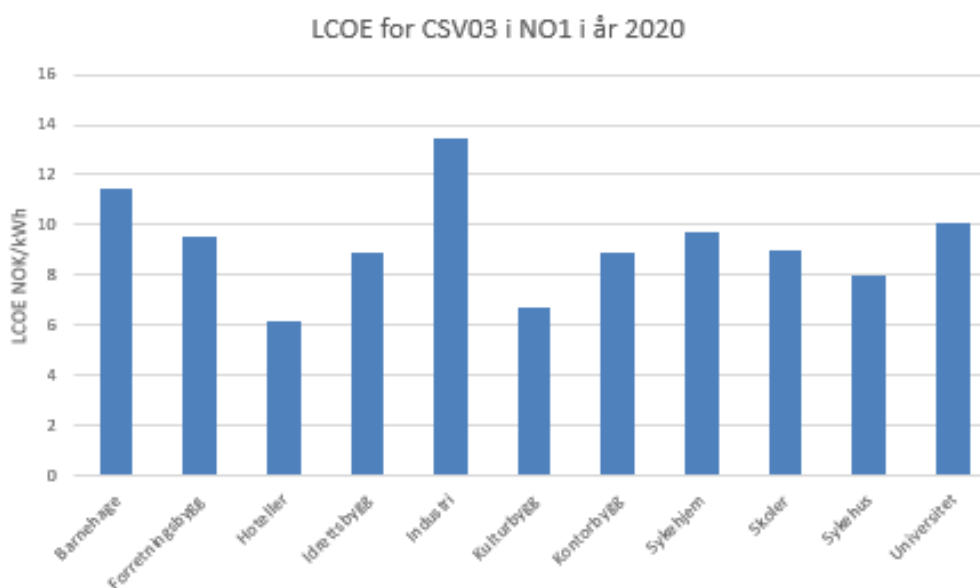
U-verdi reduserer til $0.10 - 0.13 \text{ W/m}^2\text{K}$, levetid 60 år. Det beregnes kun en merkostnad (kostnader der man samtidig utfører annen rehabilitering) og er avhengig av tidligere teknisk standard. Dette gir en relativt lav kostnad i forhold til bruk av totalkostnaden for utførelse av tiltaket. Figur 9.5 viser LCOE for tiltaket i hvert yrkesbygg for NO1 i 2020. Industri og kulturbygg har lavest LCOE rundt 1 NOK/kWh og universitet har høyest på nesten 2.5 NOK/kWh



Figur 9.5: LCOE for CSV02 i alle yrkesbygg i NO1 i år 2025.

Etterisolering gulv (CSV03).

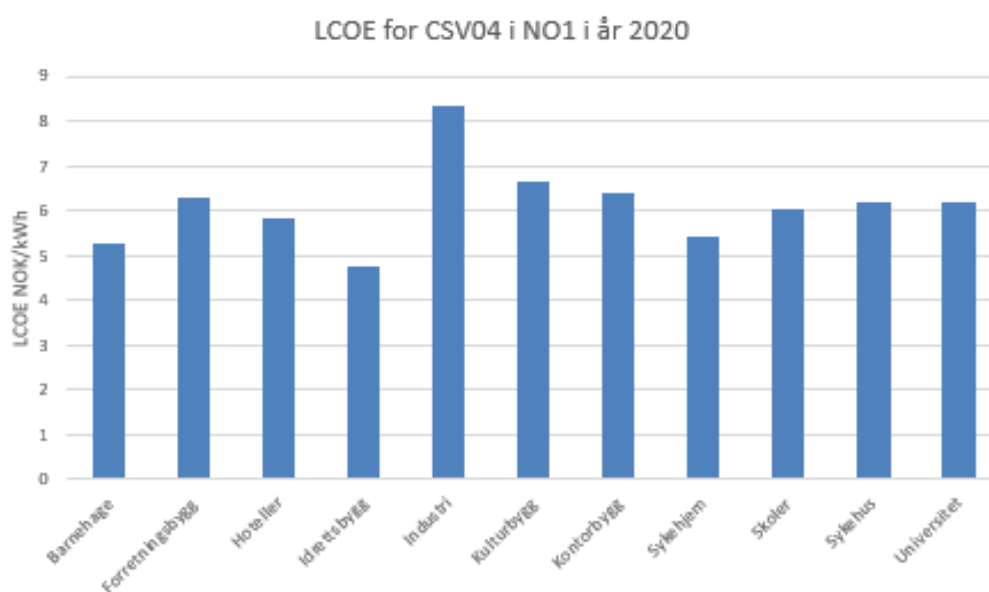
U-verdi reduseres til $0.09 - 0.11 \text{ W/m}^2\text{K}$, levetid 60 år. Beregnes med totalkostnad for innføringen av tiltaket, hvor kostnaden for utførelse varierer med TEK. Figur 9.6 viser LCOE for tiltaket i hvert yrkesbygg for NO1 i 2020. Langt høyere LCOE enn CSV01 og CSV02. bruk av totalkostnad for utførelse av tiltaket bidrar sterkt til den store økningen. Hoteller har den laveste LCOE på rundt 6 NOK/kWh, gjennomsnittlig LCOE på ca 8 NOK/kWh og høyeste pris for energibesparelse er i industrien.



Figur 9.6: LCOE for CSV03 i alle yrkesbygg i NO1 i år 2025.

Skifte vinduer og dører (CSV04).

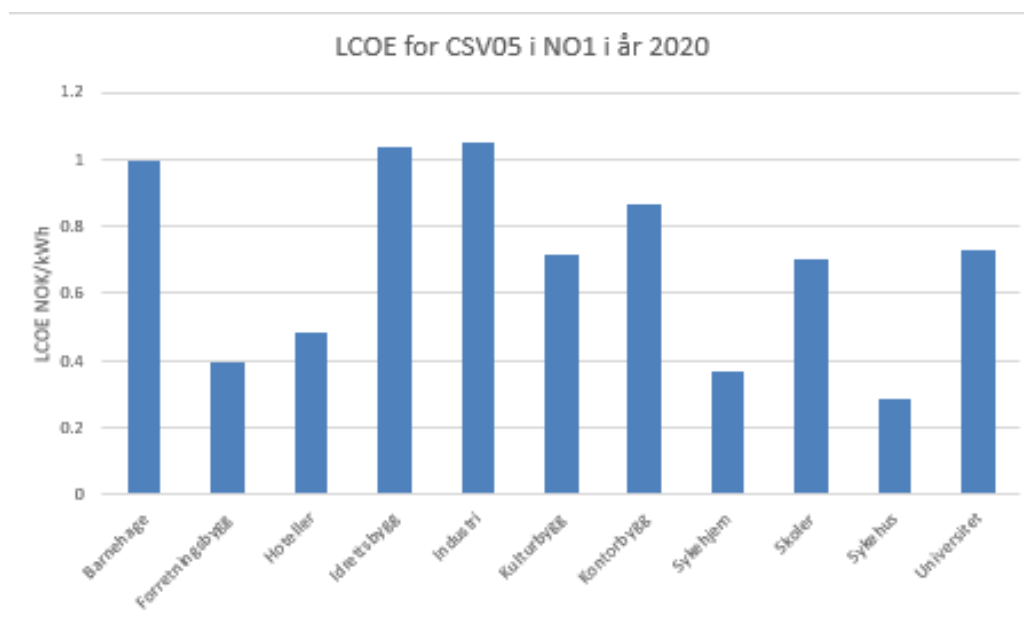
U-verdi reduseres til $0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$, levetid 30 år. LCOE beregnes med totalkostnaden for innføring av tiltaket, hvor kostnaden for utførelse av tiltaket varierer med TEK. Figur 9.7 viser LCOE for tiltaket i hvert yrkesbygg for NO1 i 2020. Langt høyere LCOE enn CSV01 og CSV02 men lavere enn CSV03. bruk av totalkostnad for utførelse av tiltaket bidrar sterkt til den store økningen. Lavest LCOE for idrettsbygg og barnehage med ca 5 NOK/kWh, snitt på ca 6 NOK/kWh og industri med den høyeste LCOE på litt over 8 NOK/kWh.



Figur 9.7: LCOE for CSV04 i alle yrkesbygg i NO1 i år 2025.

Varmegjenvinning og ventilasjon (CSV05).

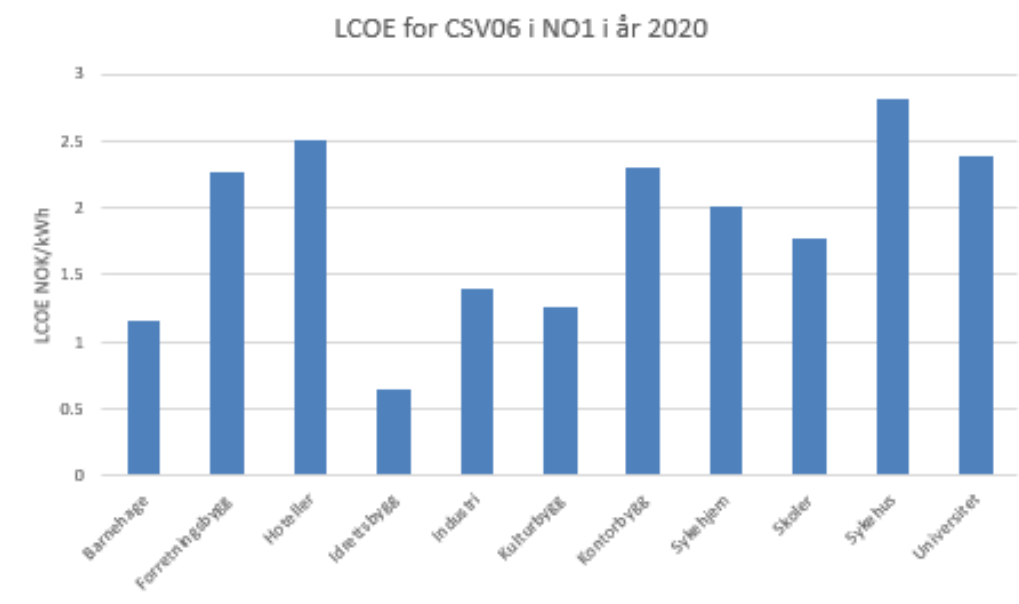
For alle yrkesbygg gjelder det ombygging/utskifting av system som gir ny varmegjenvinningsgrad på 80 prosent, levetid 20 år. LCOE regnes fra en normal markedspris som er uavhengig av TEK. Figur 9.8 viser LCOE for tiltaket i hvert yrkesbygg for NO1 i 2020. Dette tiltaket er relativt rimelig i forhold til CSV01 og CSV02. For forretningsbygg, sykehjem og sykehus ligger LCOE under 0.4 NOK/kwh, idrettbygg, industri og barnehage har igjen høyest LCOE.



Figur 9.8: LCOE for CSV05 i alle yrkesbygg i NO1 i år 2025.

Natt- og helgesenking (CSV06).

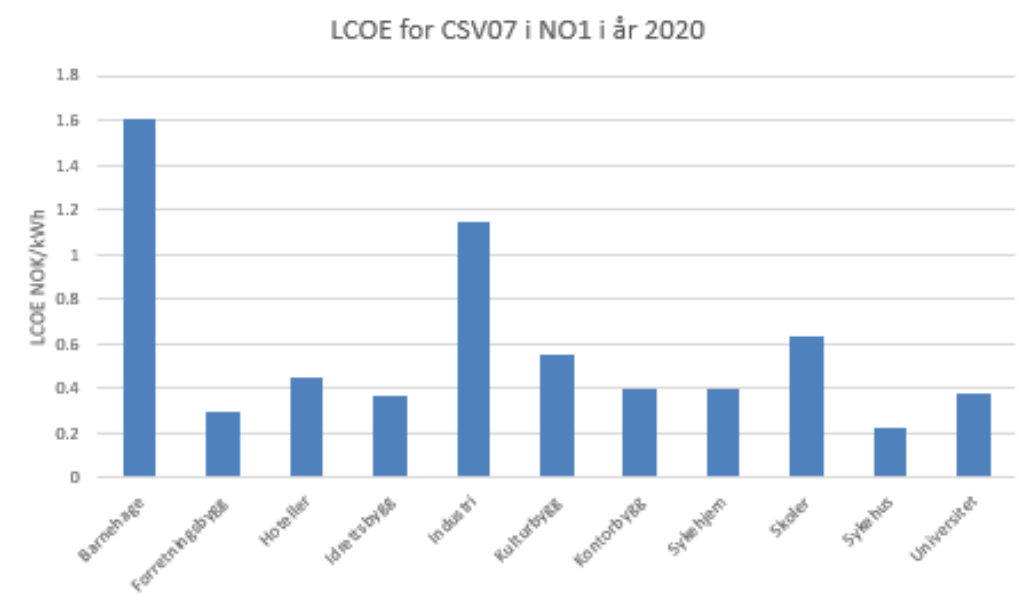
Tiltaket betyr innføring av nattsenkingsautomatikk for eksisterende varmeanlegg uten nattsenking. Levetid 15 år. LCOE regnes fra en normal markedspris som er uavhengig av TEK. Figur 9.9 viser LCOE for tiltaket i hvert yrkesbygg for NO1 i 2020. LCOE varierer mellom 0.6 - 2.7 NOK/kWh hvor idrettsbygg har lavest LCOE på 0.6 NOK/kWh, og sykehus har den høyest LCOE.



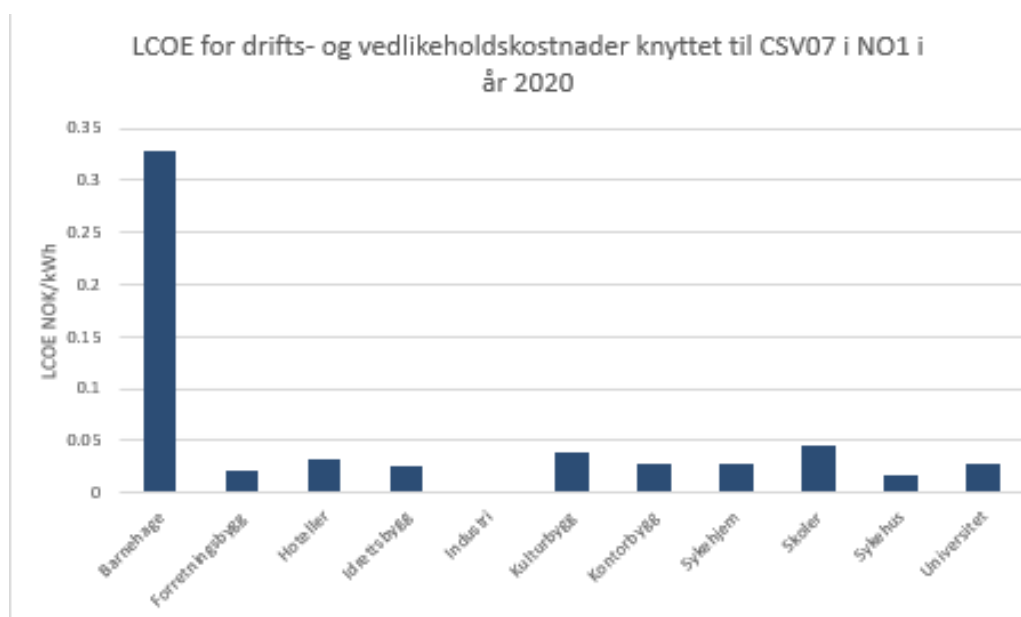
Figur 9.9: LCOE for CSV06 i alle yrkesbygg i NO1 i år 2025.

Energioppfølgingssystem (EOS) (CSV07).

Tiltaket innebærer etablering av EOS, levetid 10 år. LCOE regnes fra en normal markedspris som er uavhengig av TEK. Dette tiltaket har også drifts- og vedlikeholdskostnader knyttet til per installerte enhet kapasitet i henhold til året det ble installert. Figur 9.10 viser LCOE for tiltaket i hvert yrkesbygg for NO1 i 2020. LCOE under 0.6 NOK/kWh for de fleste yrkesbygg, for barnehager og industri er LCOE mellom 1 - 1.6 NOK/kWh. Figur 9.11 viser drifts- og vedlikeholdskostnader i hvert yrkesbygg i NO1 for 2020. Barnehage har de høyeste LCOE drifts- og vedlikeholdskostnadene på litt over 0.3 NOK/kWh, hvor barnehage også hadde de høyeste investeringskostnadene for innføringen av tiltaket. Resterende yrkesbygg har LCOE for drifts- og vedlikeholdskostnader under 0.05 NOK/kWh



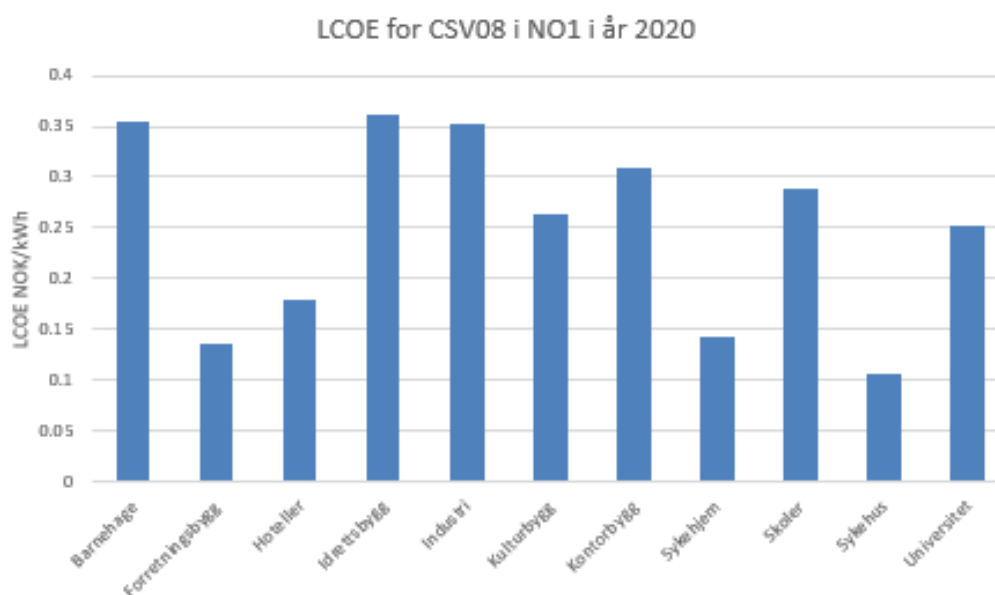
Figur 9.10: LCOE for CSV07 i alle yrkesbygg i NO1 i år 2025.



Figur 9.11: LCOE for CSV07 i alle yrkesbygg i NO1 i år 2025.

Forbedring SFP (CSV08).

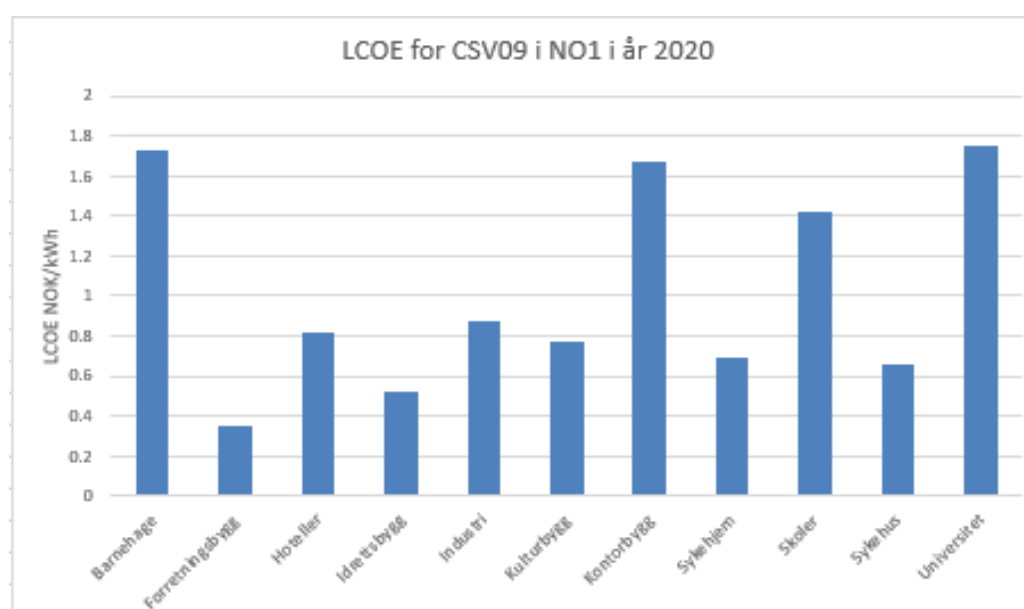
Tiltaket erstatter eksisterende ventilasjonsanlegg med normale luftmenger og gamle reimdrevne vifter, med direktdrevne vifter. Kanalnettet endres ikke, levetid ca 20 år. LCOE regnes fra en normal markedspris som er uavhengig av TEK. Figur 9.12 viser LCOE for tiltaket i hvert yrkesbygg for NO1 i 2020. Lave LCOE sammenlignet med tidligere tiltak. LCOE mellom 0.1 - 0.35 NOK/kWh hvor lavest er sykehus og forretningsbygg, høyest hos barnehage, idrettsbygg og industri.



Figur 9.12: LCOE for CSV08 i alle yrkesbygg i NO1 i år 2025.

Behovsstyring ventilasjon (DCV) (CSV09).

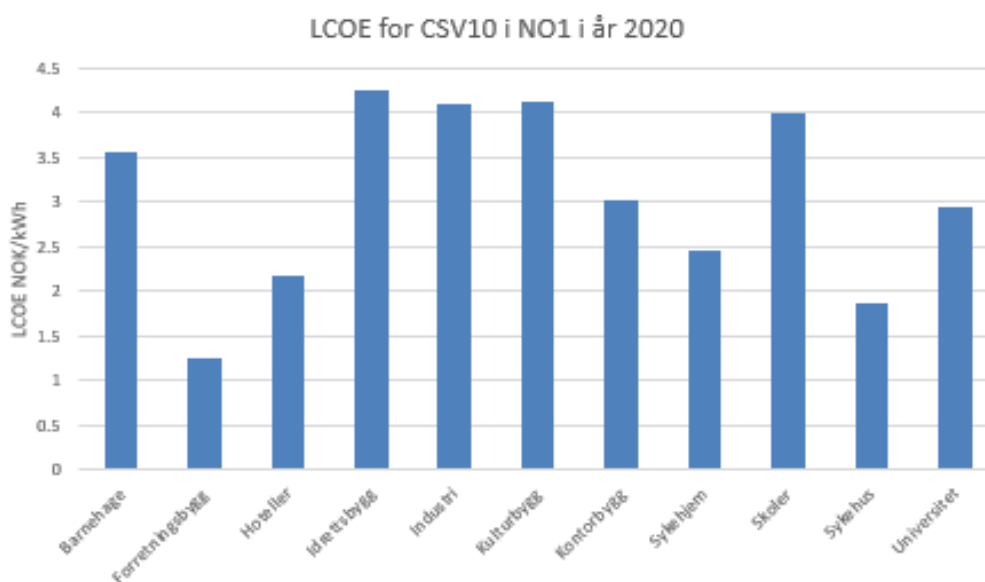
Tiltaket innebærer å oppgradere eksisterende ventilasjonsanlegg med normale luftmengder til full behovsstyring. Vifter og kanalnett endres ikke, levetid 20 år. Ventilasjonsmengden styres per rom/sone ut fra tilstedeværelse / CO_2 -mengde / temperatur. I driftstiden reduseres gjennomsnittlig luftmengde med ca 40 - 50 prosent i forhold til tidligere normal drift. Den reduserte luftmengden forbedrer også varmegjenvinning og SFP. Energibesparelsen og virkningen av tiltaket er avhengig av SFP og grad av varmegjenvinning. For å isolere effekten av DCV måles hele energibesparelsen for DCV inkludert SFP lik 2.0 og 85 prosent varmegjenvinning, for så å reduseres med effekten med bidraget fra SFP og varmegjenvinning. LCOE regnes fra en normal markedspris som er uavhengig av TEK. Figur 9.13 viser LCOE for tiltaket i hvert yrkesbygg for NO1 i 2020



Figur 9.13: LCOE for CSV09 i alle yrkesbygg i NO1 i år 2025.

Energieffektivt belysningsutstyr (CSV10).

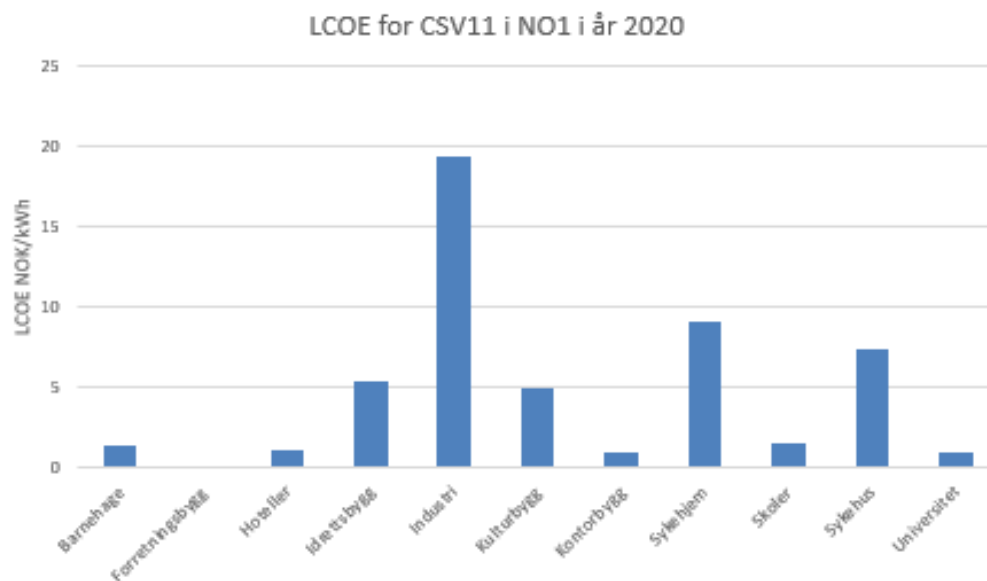
Tiltaket innebærer utskifting av eksisterende belysningsutstyr som er antatt å være lysrørarmaturer T8, levetid 15 år. LCOE regnes fra en normal markedspris som er uavhengig av TEK. Figur 9.14 viser LCOE for tiltaket i hvert yrkesbygg for NO1 i 2020. Stor variasjon i LCOE fra 1.3 NOK/kWh i forretningsbygg til 4 NOK/kWh for idrettsbygg, industri og kulturbygg.



Figur 9.14: LCOE for CSV10 i alle yrkesbygg i NO1 i år 2025.

Styringssystem belysning (CSV11).

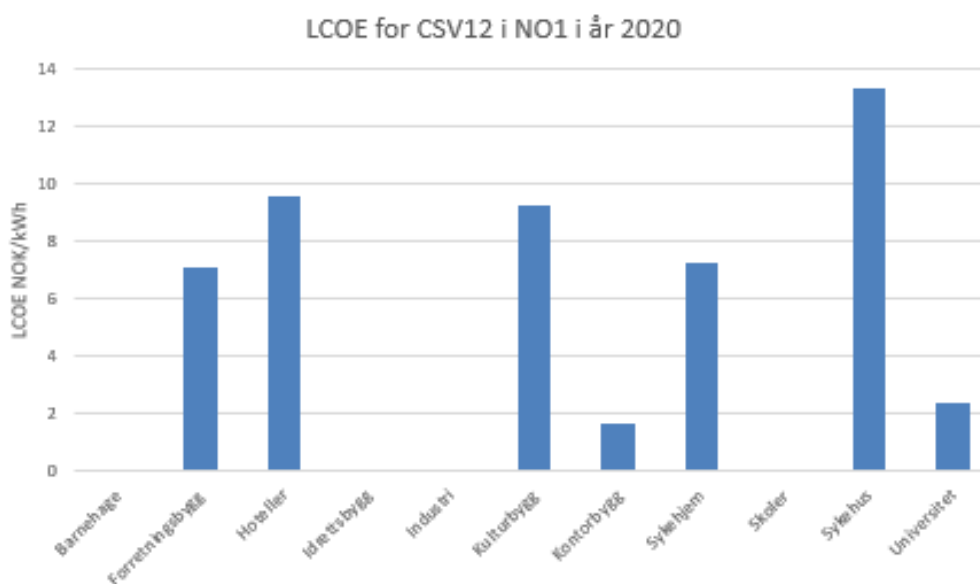
Tiltaket innebærer montering av bevegelsessensorer og konstantlyssensroer som korrigerer for innkommende dagslys, med nødvendig automatikk, levetid 12 år. Alle beregningene antar eksisterende belysning type lysrørarmaturer T8. LCOE regnes fra en normal markedspris som er uavhengig av TEK. LCOE varierer fra 1 - 1.4 NOK/kWh til 19 NOK/kWh for industri. Gjennomsnittlig LCOE på ca 4.7 NOK/kWh.



Figur 9.15: LCOE for CSV11 i alle yrkesbygg i NO1 i år 2025.

Automatisk solskjerming (CSV12).

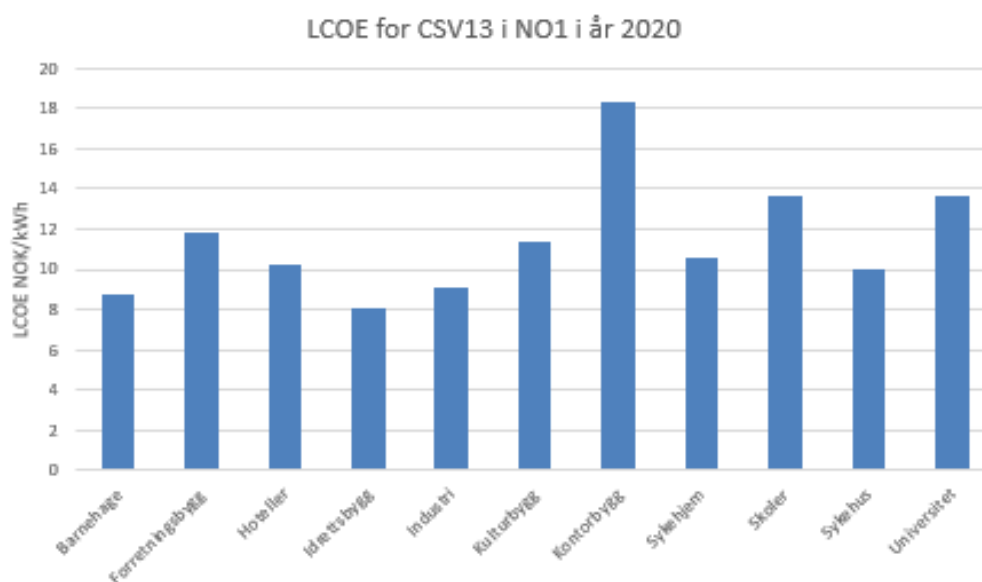
Her skal det installeres automatikk for styring av solskjerming etter solflux, levetid 15 år. Gir kun energibesparelse for bygg som normalt behov for romkjøling. LCOE regnes fra en normal markedspris som er uavhengig av TEK. Mange bygg har ikke kjølebehov og dermed ikke potensial for energibesparing. Laveste LCOE er for kontorbygg og universiteter med LCOE rundt 2 NOK/kWh, høyest for sykehus med LCOE på litt over 13 NOK/kWh. Gjennomsnittlig LCOE på 7.2 NOK/kWh.



Figur 9.16: LCOE for CSV12 i alle yrkesbygg i NO1 i år 2025.

SD-anlegg (sentral driftskontroll) (CSV13).

Forutsetter mange tekniske installasjoner, plassert på flere steder med lang avstand fra driftskontoret. Tiltaket innebærer installering av SD-anlegg som er tilpasset byggets varmeanlegg og ventilasjon. Tiltaket øker tilgjengeligheten for driftsansvarlig, åpner opp for kontroll, oppfølging og justering etter driftsparametre. Erfaringsmessig energibesparing for SD-anlegg er på ca 2-10 prosent med levetid 15 år. LCOE regnes fra en normal markedspris som er uavhengig av TEK. LCOE for samtlige byggkategorier ligger over 8 NOK/kWh som, innføring av tiltaket i kontorbygg ligger på litt over 18 NOK/kWh.



Figur 9.17: LCOE for CSV13 i alle yrkesbygg i NO1 i år 2025.

9.4 Investert ny kapasitet i øvre regioner.

Tabell 9.1 viser mengden energi hvert tiltak produserer for de respektive behovene i NO2. Det er kun investert i tiltak 7, 8 og 9. Totalt formålsfordelt bidrag for tiltakene: Kjøling 16,04 GWh/år, elspesifikk 599.88 GWh/år, romvarme 142.4 GWh/år, varmtvann 1.4 GWh/år.

Tabell 9.1: Energibesparelse fra enøk-tiltak i region NO2 TIMES velger å investere i.

Årlig produksjon i GWh/år i 2025 for region NO2				
Prosess	Kjøling	Elspesifikk	Romvarme	Varmtvann
Energioppfølgingssystem (EOS) i forretningsbygg	1.91	15.40	10.42	0.93
Energioppfølgingssystem (EOS) i kontor				
Energioppfølgingssystem (EOS) i sykehjem				
Energioppfølgingssystem (EOS) i sykehus	0.25	3.56	1.74	0.42
Energioppfølgingssystem (EOS) i universitet	0.13	1.06	0.62	0.04
Forbedring (SFP) i barnehage		2.49		
Forbedring (SFP) i forretningsbygg		153.37		
Forbedring (SFP) i hoteller		22.04		
Forbedring (SFP) i idrettsbygg		4.63		
Forbedring (SFP) i industri		31.58		
Forbedring (SFP) i kulturbygg		7.52		
Forbedring (SFP) i kontor		60.13		
Forbedring (SFP) i sykehjem		24.02		
Forbedring (SFP) i skoler		32.97		
Forbedring (SFP) i sykehus		29.67		
Forbedring (SFP) i universitet		6.79		
Forbedring (SFP) i forretningsbygg	12.62	197.65	124.60	
Forbedring (SFP) i idrettsbygg	1.14	6.98	5.01	
Totalt	16.04	599.88	142.4	1.4

Tabell 9.2 viser mengden energi hvert tiltak produserer for de respektive behovene i NO3. Det er kun investert i tiltak 7, 8 og 9. Totalt formålsfordelt bidrag for tiltakene: Kjøling 2.09 GWh/år, elspesifikk 337.87 GWh/år, romvarme 106.53 GWh/år, varmtvann 0.76 GWh/år.

Tabell 9.2: Energibesparelse fra enøk-tiltak i region NO3 TIMES velger å investere i.

Årlig produksjon i GWh/år i 2025 for region NO3				
Prosess	Kjøling	Elspesifikk	Romvarme	Varmtvann
Energioppfølgingssystem (EOS) i forretningsbygg	0.45	8.68	7.78	0.53
Energioppfølgingssystem (EOS) i sykehus	0.05	2.01	1.32	0.24
Energioppfølgingssystem (EOS) i universitet				
Forbedring (SFP) i barnehage		1.39		
Forbedring (SFP) i forretningsbygg		86.50		
Forbedring (SFP) i hoteller		12.46		
Forbedring (SFP) i idrettsbygg		2.62		
Forbedring (SFP) i industri		17.81		
Forbedring (SFP) i kulturbygg		4.26		
Forbedring (SFP) i kontor		33.97		
Forbedring (SFP) i sykehjem		13.53		
Forbedring (SFP) i skoler		18.61		
Forbedring (SFP) i sykehus		16.74		
Forbedring (SFP) i universitet		3.84		
Forbedring (SFP) i forretningsbygg	1.27	111.53	93.81	
Forbedring (SFP) i idrettsbygg	0.32	3.92	3.63	
Totalt	2.09	337.87	106.53	0.76

Tabell 9.3 viser mengden energi hvert tiltak produserer for de respektive behovene i NO4. Det er kun investert i tiltak 5, 7, 8 og 9. Totalt formålsfordelt bidrag for tiltakene: Kjøling 0.08 GWh/år, elspesifikk 227.74 GWh/år, romvarme 106.04 GWh/år, varmtvann 0.53 GWh/år.

Tabell 9.3: Energibesparelse fra enøk-tiltak i region NO4 TIMES velger å investere i.

Årlig produksjon i GWh/år i 2025 for region NO4				
Prosess	Kjøling	Elspesifikk	Romvarme	Varmtvann
Varmgjenvinning og ventilasjon i sykehus			10.14	
Energioppfølgingssystem (EOS) i forretningsbygg	0.04	5.81	6.90	0.36
Energioppfølgingssystem (EOS) i sykehus	0.00	1.36	1.15	0.16
Energioppfølgingssystem (EOS) i universitet	0.00	0.40	0.40	0.01
Forbedring (SFP) i barnehage		0.95		
Forbedring (SFP) i forretningsbygg		58.24		
Forbedring (SFP) i hoteller		8.39		
Forbedring (SFP) i idrettsbygg		1.77		
Forbedring (SFP) i industri		12.02		
Forbedring (SFP) i kulturbygg		2.87		
Forbedring (SFP) i kontor		22.87		
Forbedring (SFP) i sykehjem		9.14		
Forbedring (SFP) i skoler		12.53		
Forbedring (SFP) i sykehus		11.28		
Forbedring (SFP) i universitet		2.58		
Forbedring (SFP) i forretningsbygg		74.89	84.48	
Forbedring (SFP) i idrettsbygg	0.02	2.63	2.98	
Totalt	0.08	227.74	106.04	0.53

Tabell 9.4 viser mengden energi hvert tiltak produserer for de respektive behovene i NO5. Det er kun investert i tiltak 5, 7, 8 og 9. Totalt formålsfordelt bidrag for tiltakene: Kjøling 0.08 GWh/år, elspesifikk 227.74 GWh/år, romvarme 106.04 GWh/år, varmtvann 0.53 GWh/år.

Tabell 9.4: Årlig energibesparelse fra enøk-tiltak i region NO5 TIMES velger å investere i

Prosess	Kjøling	Elspesifikk	Romvarme	Varmtvann
Varmgjenvinning og ventilasjon i sykehus				
Energioppfølgingssystem (EOS) i forretningsbygg	0.39	6.92	4.71	0.42
Energioppfølgingssystem (EOS) i sykehus	0.05	1.60	0.77	0.19
Energioppfølgingssystem (EOS) i universitet				
Forbedring (SFP) i barnehage		1.13		
Forbedring (SFP) i forretningsbygg		69.02		
Forbedring (SFP) i hoteller		9.94		
Forbedring (SFP) i idrettsbygg		2.08		
Forbedring (SFP) i industri		14.20		
Forbedring (SFP) i kulturbygg		3.40		
Forbedring (SFP) i kontor		26.95		
Forbedring (SFP) i sykehjem		10.79		
Forbedring (SFP) i skoler		14.79		
Forbedring (SFP) i sykehus		13.34		
Forbedring (SFP) i universitet		3.06		
Forbedring (SFP) i forretningsbygg	2.68	89.69	61.11	
Forbedring (SFP) i idrettsbygg	0.35	3.13	2.32	
Totalt	3.46	270.05	68.91	0.61

9.5 Baseline - scenario

	Filtype/Mappe	Scenario	Beskrivelse
V	B/VT_fil	BASE	Basisfiler i modellen (alle VT_filer)
	SR/SubRES	Domestic_prod_BIO	Beskranking om at biomasse skal bare produseres i Norge
	SR/SubRES	Dummy_techs_buildings	Ekstra teknologier hvis det ikke er nok med definert inst. kapasitet for å dekke energibehov
	SR/SubRES	Energy_efficiency	Endogen modellering av ENØK tiltak
V	SS	SysSettings	Systeminnstillinger
	TS/TradeScenarios	Trade_Parameters	Parametere for handel med naboland
V	TS/TradeScenarios	Trade_Prices_BASELINE	Strømpriser i naboland
	TS/TradeScenarios	Trade_Prices_«scenario_navn»	Brukes for andre strømpriser i naboland enn i baseline
V	RS/Regular scenario	Scen_0_demand_buildings_baseline_LA21.xlsx	Energibehov i bygninger
V	RS/Regular scenario	Scen_0_discount_rates.xlsx	Individuelle diskonteringsrater for teknologier
V	RS/Regular scenario	Scen_0_grid_fees.xlsx	Nettariffer
V	RS/Regular scenario	Scen_0_profile_CAR_charging_208_COM_FR.xlsx	Profiler for el-bil lading
V	RS/Regular scenario	Scen_0_profile_COM_208.xlsx	Profiler for næringsbygg
V	RS/Regular scenario	Scen_0_profile_EE-HYD-REG_208.xlsx	Profiler for vannkraft med magasin
V	RS/Regular scenario	Scen_0_profile_EE-HYD-RUN_208.xlsx	Profiler for vannkraft uten magasin
V	RS/Regular scenario	Scen_0_profile_EE-WIND_208.xlsx	Profiler for vindkraft
V	RS/Regular scenario	Scen_0_profile_EPV_208.xlsx	Profiler for solkraft
V	RS/Regular scenario	Scen_0_profile_RES_208.xlsx	Profiler for husholdninger
V	RS/Regular scenario	Scen_0_UC_BIO_resources.xlsx	Tilgjengelig mengde biomasse (høsting)
V	RS/Regular scenario	Scen_0_UC_DistrHeating.xlsx	Beskrankninger for fjernvarme
V	RS/Regular scenario	Scen_0_UC_tech_replacement.xlsx	Beskrankninger for teknologiutskifting
V	RS/Regular scenario	Scen_0_UC_tech_shares.xlsx	Beskrankninger for sammensetninger av teknologier
	RS/Regular scenario	Scen_CO2_cap_IND_10pst2030.xlsx	CO2 tak for industri 10 % reduksjon i 2030
	RS/Regular scenario	Scen_CO2_cap_IND_40pst2030.xlsx	CO2 tak for industri 40 % reduksjon i 2030
	RS/Regular scenario	Scen_CO2_cap_tot_50pst2030.xlsx	CO2 tak for hele systemet 50 % reduksjon i 2030
V	RS/Regular scenario	Scen_CO2_price_BASELINE.xlsx	CO2 pris i basis scenario
	RS/Regular scenario	Scen_CO2_price_«scenario_navn».xlsx	CO2 pris i andre scenarier
	RS/Regular scenario	Scen_EnEff_mediumCOST.xlsx	Kostnaden for enøk tiltak (hvis modelleres endogent)
V	RS/Regular scenario	Scen_ENOVA.xlsx	Enova støtte for teknologier
	RS/Regular scenario	Scen_GridTax_increase.xlsx	Økende nettariffer
	RS/Regular scenario	Scen_GridTax_TimeOfUse.xlsx	Nettariffer med ToU struktur
	RS/Regular scenario	Scen_IND_boundaries_100pst.xlsx	Andel elektrifisering i industri (bare varme) – opptil 100%
	RS/Regular scenario	Scen_IND_boundaries_25pst.xlsx	Andel elektrifisering i industri (bare varme) – opptil 25%
V	RS/Regular scenario	Scen_IND_boundaries_50pst.xlsx	Andel elektrifisering i industri (bare varme) – opptil 50%
	RS/Regular scenario	Scen_TRN_fixed_shares_Klimakur.xlsx	Elektrifisering av transport – Klimakur 3030 scenario
	RS/Regular scenario	Scen_UC_BIO_IMP_reduction.xlsx	Reduksjon av biomasse import til Norge
	RS/Regular scenario	Scen_UC_DistrHeating_relaxed.xlsx	Beskrankninger for fjernvarme – mindre strenge
	RS/Regular scenario	Scen_Wind_power.xlsx	Endogen modellering av vindkraftinvesteringer



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway