



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2020 30 stp.

Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning

Kostnader med en effekttariff for en murgård, hva med energieffektivisering?

Costs with a power-based grid tariff, what about energy efficiency measures?

Knut Nonslid Eriksen

Fornybar energi

Forord

Denne masteroppgaven avslutter mine studier ved Fakultetet for miljøvitenskap og naturforvaltning (MINA) ved Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet (NMBU), sommeren 2020. Oppgaven er en avslutning på en master i fornybar energi og har et omfang på 30 studiepoeng.

Temaet for masteroppgaven er effekttariff og energieffektivisering av husholdninger. Bakgrunnen til temaet var at NVE ønsker å endre nettariffen i løpet av de neste årene, som har blitt mulig nå som husholdningene registrerer elektrisitetsbruken på timesbasis med nye AMS-målere. Det har vært spennende å analysere endringene i energi- og effektbruk som tiltakene førte til, samt hvordan en effekttariff kan endre de økonomiske forutsetningene til kundene. Både effekttariff og energibruk i bygningssektoren har vært lite gjennomgått i studiet, noe som har gjort det spennende å sette meg inn i temaene.

Jeg vil takke Thomas Martinsen for å veilede meg gjennom oppgaven, Kjell Dokka for svar på spørsmål angående SIMIEN. Jeg vil også takke mine medstudenter Tobias og Jonatan for konstruktive samtaler, samt en takk til Mikaela for all støtte og oppmuntring gjennom denne perioden. Og takk til Tore for å sette av tid til å korrekturlese oppgaven.

Sammendrag

Effekttoppene dikterer kapasiteten strømmettet må ha. Formålet med denne oppgaven var å se hvordan en av de tre foreslåtte nettariffene som NVE ønsker å innføre vil påvirke energitiltak i husholdninger økonomisk. Et av formålene med ny kapasitetsbasert tariff er å gi insentiver som fører til bedre utnyttelse av nettet ved å flate ut effekttoppene.

Timesverdier fra en simulert murgård i SIMIEN ble brukt til å beregne prisen med den ene nettariffen. Forbedring av ytterskallet, varmepumpe, nattsinking, varmelagring over natten og solceller var tiltak som ble lagt til murgården. Det ble utført analyser av tiltakenes påvirkning på effektprofilen og endring i nettleiepris.

Murgården hadde originalt et stort varmebehov, som ga en reduksjon i pris med ny tariff før tiltak ble utført. Også versjonene av murgården med lavere oppvarmingsbehov fikk redusert den årlige nettleien. Effektprofilen hadde høye topper om natten, når utetemperaturen var lavest, dette førte til at de tiltak som reduserte oppvarmingsbehovet ved lave utetemperaturer ga best reduksjon i pris. Opp mot dagens nettleie var besparelsene med «målt effekt» noe dårligere, spesielt for varmelagring fordi tiltaket ga høyere effekttopper, og solceller som primært reduserte energibruk.

Murgårdens økonomiske insentiver til å gjennomføre energieffektiviseringstiltak ble redusert siden nettleien ble redusert allerede ved å endre tariffen. Videre analyser med faktiske forbruksprofiler er nødvendig for å se hvordan individuelle husholdninger vil bli påvirket, siden profilen til hver enkelt husholdning har mange påvirkningsfaktorer.

Abstract

The electricity consumption peaks dictate the capacity that the grid must have. The purpose of this study was to see how one of the three power-based grid tariffs that was proposed by the Norwegian water resource and energy directorate (NVE) would impact energy measures in households. One of the intentions of these power-based tariffs is to better utilize the grid by giving incentives to flatten the peaks.

Simulated hourly values of a brick building in SIMIEN was used to calculate the grid fee with one of the proposed tariffs. Improved outer shell, heat pump, night temperature setback, using the building as a heat storage and solar panels were added as energy measures to the brick building. The effects on the buildings profile and fee by the measures were analysed.

The original brick building had a large heating demand, which resulted in a reduction of the fee simply by changing to the power-based tariff. The versions of the brick building with lower heating demand also got a reduced fee. The consumption profiles had its peaks in the night, when the outdoor temperature was lowest. This led to that measures which reduced the heating demand at low outdoor temperatures gave the best price reductions. Up against todays grid fee all the measures gave poorer price reductions with a power-based tariff. Especially the night temperature setback measure which led to increased peaks, also solar panels which mainly lowered the energy consumption lost most of the reduction in grid fees with the power-based tariff.

Financial incentives to implement energy efficiency measures for the brick building was reduced since the power-based tariff resulted in lower fees before any measures were incorporated. Further analyses with real values are needed, since a household's profile has many influencing factors.

Innholdsfortegnelse

Forord.....	II
Sammendrag	IV
Abstract.....	V
1 Innledning	3
2 Teori.....	5
2.1 Nettleie.....	5
2.2 SIMIEN.....	8
2.3 U-verdi	10
3 Metode	12
3.1 Husholdning.....	12
3.2 Tiltak.....	12
3.3 Timesverdier med SIMIEN.....	12
3.4 Timesverdier med Elbygg-app.....	12
3.5 Forbruksprofil	13
3.6 Årlig pris med effekttariff.....	13
4 Case: 1800-talls murgård	14
4.1 Tiltak i murgården.....	15
4.1.1 Gjennomsnittlig.....	15
4.1.2 Lavenergi	16
4.1.3 Mindre separate tiltak.....	17
5 Resultater	19
5.1 Utetemperatur og energibruk	19
5.2 Effektprofiler med tiltak.....	19
5.2.1 Det originale bygget.....	20
5.2.2 Det gjennomsnittlige bygget	22
5.2.3 Lavenergibyget.....	24
5.2.4 Sammenligning av de tre hoved-versjonene	26
5.2.5 Varmepumpe.....	28
5.2.6 Nattsinking	30
5.2.7 Varmelagring	32
5.2.8 Solceller	35
5.3 Årlig nettleiepris	36
5.4 Daglig nettleiepris.....	38
5.4.1 Originalt bygg	39

5.4.2	Gjennomsnittlig bygg.....	40
5.4.3	Lavenergi bygg	40
5.4.4	Sammenligning av tariffene	41
6	Diskusjon	43
6.1	Utetemperatur og energibruk	43
6.2	Effektprofiler med tiltak.....	44
6.2.1	Originalt bygg	44
6.2.2	Gjennomsnittlig bygg.....	45
6.2.3	Lavenergibygg	46
6.2.4	Sammenligning av de tre hoved-versjonene	47
6.2.5	Varmepumpe.....	48
6.2.6	Nattsinking	49
6.2.7	Varmelagring	50
6.2.8	Solceller	51
6.2.9	Originalt bygg	52
6.2.10	Gjennomsnittlig bygg.....	53
6.2.11	Lavenergibygg	54
6.3	Fordeling av nettleien.....	54
6.4	Kritisk refleksjon	55
7	Konklusjon.....	56
8	Forslag til videre arbeid	58
	Referanseliste	59

1 Innledning

Et at verktøyene mot lavutslippssamfunnet er å energieffektivisere bygningsmassen. I EU står bygninger for 40 % av den totale energibruken og har et stort potensiale til energieffektivisering (European Commission, 2019). Som har ført til at hvert land i EU skal etablere en langtidsstrategi som støtter renovering for å gjøre bygg energieffektive (European Commission, 2019). Også Norge gjennom EØS avtalen er forpliktet, og i 2019 ble det i Granavolden-plattformen satt et mål om å redusere energibruken i bygg med 10 TWh innen år 2030, i forhold til 2016-nivået (Granavolden, 2019). Norge skiller seg fra resten av Europa ved at oppvarming av rom og vann i stor grad dekkes av elektrisitet, og rundt 80 % av energibruk i bygg dekkes med elektrisitet (NVE, 2019).

Husholdninger står for rundt 30 % av elektrisitetsbruken i Norge (NVE, 2019). Energibruken har vært stabil i flere år selv med økende antall bygninger, økt standard på nybygg og mer energieffektive apparater er noen av årsakene, i tillegg har 1/3 av husholdninger utført energireducerende tiltak (Statistisk sentralbyrå, 2014b). Nybygg har fått strengere krav med årene, og en husholdning med dagens byggtekniske standard (TEK17) har et energibehov langt under gjennomsnittet. Majoriteten av dagens husholdninger ble reist mellom 1950 og 1990 (Statistisk sentralbyrå, 2019), og har en lav byggteknisk standard i forhold til dagens nybygg. Disse byggene vil fortsatt være i bruk mange tiår fremover og mange vil rehabiliteres med årene.

Utskiftingsraten i bygningssektoren er lav som gjør at dagens husholdninger vil være i bruk tiår fremover der mange vil gjennomgå rehabilitering. Frem til i dag har energieffektivisering hatt et fokus på å redusere energibruken, og har i enkelte tilfeller ført til høyere effektbruk. De fleste som utfører energieffektiviseringstiltak i husholdningen har økonomi som et viktig beslutningsgrunnlag (Statistisk sentralbyrå, 2014b).

Effektbruken øker selv om energibruken har stagnert, noe som gjør effekt til et viktigere fokus i fremtiden. Overføringslinjene må være dimensjonert til å takle effekttoppene, som kun oppstår i enkelte timer av året. For husholdninger har utetemperaturen stor betydning for energibruken, og fører til at de høyeste effekttoppene forekommer på kalde vinterdager.

AMS-målere er en viktig teknologi for å kunne gjøre kundene mer fleksible ved at de registrerer effektbruken. Disse nye strømmålerne har blitt installert i husholdninger de siste årene og gir nå nettselskapene timesdata i stedet for månedsdata. Høyt oppløst data kan åpne muligheter for å gi husholdningene og nettselskapene mer kunnskap og implementering av mer styring. Med

en slik mulighet ønsker NVE å endre nettariffen til å ta hensyn til effektbruk. En ny nettariff skal også føre til at prisen til kundene holdes så lave som mulig i fremtiden ved å redusere behovet for å utvide kapasiteten i overføringslinjene.

Energibruken vil endres i fremtiden. Apparater blir oppfunnet og produsert hvert år, og over tid fører det til endringer i hva energi brukes til. Det er kun i nyere tid at husholdninger har begynt å få et lavt energibruk ved et redusert oppvarmingsbehov. Mange eldre husholdninger har fortsatt et høy energibruk, og burde energieffektiviseres. En nettariff som reduserer prisen per kWh brukt hos husholdningene til 10 % av nettleien kan endre grunnlaget til hvilke energiltak som er økonomiske.

Jeg stiller spørsmålet: Vil effekttariffen «målt effekt» påvirke energieffektivisering av eldre husholdninger? Hvordan vil de økonomiske insentivene til energieffektivisering av en eldre murgård endres? Problemstillingen analyseres gjennom følgende delspørsmål:

1. Vil døgnprofilen og årsprofilen for effekt endres når bygg får en høyere teknisk standard og ved innføring av andre energiltak?
2. Hvordan vil den årlige nettleiekostnaden endres?

Det ble utført en casestudie med en murgård i Oslo, strukturen i oppgaven er dermed noe annerledes. Første kapittel omhandler teori om nettleien, simuleringsprogrammet SIMIEN og U-verdi, før metoden beskrives, så beskrives en case som brukes for å lage resultater, deretter diskuteres resultatene og mulige virkninger av en effekttariff, og til slutt kommer en konklusjon og forslag til videre arbeid. Dessuten ble noen begrensninger gjort: Selv om mange husholdninger har alternative oppvarmingskilder ble det valgt å bare se på elektrisitet som energibærer fordi energiprofilen er det som er interessant å analysere. Kostnadene ved å utføre tiltakene påvirkes ikke av endret tariff og ble dermed ikke tatt med i den økonomiske analysen. Det ble lagt frem tre forslag til nye tariffer av NVE, men kun tariffen «*målt effekt*» ble analysert siden det er den eneste som har et effektledd som differensierer prisen. Tiltakene som Hole et al. (2011) utførte i samme murgården og er også brukt i tiltakene «gjennomsnittlig bygg» og «lavenergibygge» for å få realistiske verdier.

2 Teori

For å utføre oppgaven var det noen temaer med behov for undersøkelser. Temaene som blir gjennomgått er nettleien; hvordan prisstrukturen er, hva NVE ønsker å endre, noen generelle prisstrukturer og en analyse av forslagene til ny nettleiestruktur. Deretter kommer en gjennomgang av simuleringsprogrammet SIMIEN med viktige faktorer som påvirket hvordan effektprofilene ble. Til slutt kommer informasjon om U-verdien, hvordan verdien blir beregnet, hvordan tykkelsen på isolasjon påvirker verdien og endringen av U-verdien i byggeforskriften opp gjennom årene.

2.1 Nettleie

Utformingen av nettariffen kan bestå av et energiledd, et effektledd og et fastledd. Energileddet er en pris for hvor mange kWh som kunden bruker, mens et effektledd er en pris for den høyeste effektbruken målt hos kunden som den timen med høyest energibruk (kWh/h). Fastleddet er en pris som skal dekke kostnadene knyttet til kundeføring samt en andel av øvrige faste kostnader i nettet. Det eksisterer lover og forskrifter for utforming av nettleien, og med dagens gjeldende rett velger de aller fleste nettselskapene å kun bruke energi- og fastleddet (Forskrift om kontroll av nettvirksomhet, 1999). Uansett hvordan nettselskapet fordeler inntektene må totalen være innenfor inntektsrammen. Inntektsrammen gir en øvre grense for hvor mye et nettselskap kan tjene i løpet av året, og blir årlig beregnet og justert av reguleringsmyndigheten for energi (RME). For de fleste nettselskapene utgjør energileddet 70 % av prisen til husholdningene i distribusjonsnettet og de resterende 30 % er på fastleddet.

NVE ønsker en omlegging av strukturen til nettleien. Eriksen et al. (2020) påpeker at kun 10 % av kostnadene er direkte avhengig av energibruken gjennom energitap i overføringslinjene, mens de resterende 90 % er koblet til kapitalkostnader, drift- og vedlikeholdskostnader som i stor grad utføres uansett energimengden. Det er effektbruken som bestemmer hvilken kapasitet overføringsnettet må ha, og dermed utviklingen av nettet på lengre sikt. Fra dette ønsker NVE å endre tariffen slik at kostnadsstrukturen i overføringsnettet blir bedre reflektert. Etter omleggingen er planen at energileddet skal gjenspeile de marginale tapsekostnadene, som er tapet i overføringsnettet ved ekstra kapasitetsbruk. De resterende kostnadene skal legges til effektleddet og fastleddet. Effektleddet, eller eventuelt et påslag på energileddet, skal gi insentiver til å redusere effekttoppene og på den måten utnytte nettet bedre (Eriksen et al., 2020).

Eriksen et al. (2020) hadde tre forslag til ny nettleiestruktur: «Sikringsdifferensiert nettleie», «abonnert effekt» og «målt effekt». «Sikringsdifferensiert nettleie» vil bestå av et energiledd og et fastledd, hvor fastleddet differensieres ved å bruke størrelsen på hovedsikringen i husholdningen for å sette en pris etter hvilken kapasitet kunden maksimalt kan trekke fra nettet. «Abonnert effekt» har også et energiledd og et fastledd. Fastleddet differensieres ved at kunder som velger en høyere effektgrense vil få en høyere pris. Grensen for effektbruk settes mer valgfritt, og i timene hvor grensen overgås kommer det et påslag på energileddet for de timene. «Målt effekt» bruker et effektledd hvor timen i døgnet med høyest forbruk til å beregne effektprisen. Effektleddet skal minimum tidsdifferensieres mellom sommer og vinter (Eriksen et al., 2020). Dette er gjort i «målt effekt» som ble brukt i analysen, se oversikt i Tabell 1. Bakgrunnen til differensieringen er at overføringsnettets kapasitet er mest i bruk om vinteren, hvor de høyeste effektoppene forekommer på kalde vinterdager (Eriksen et al., 2020).

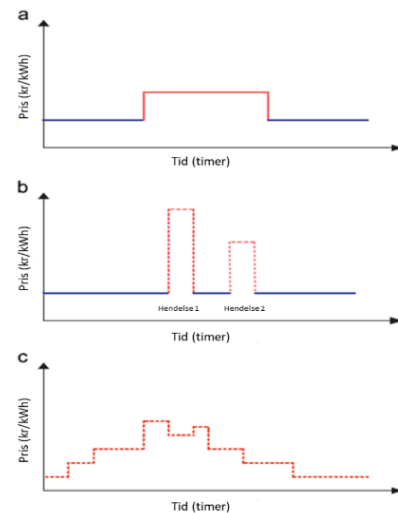
Eriksen et al. (2020) har fastsatt prisene for de tre forslagene med utgangspunkt i data fra Ringerikskraft Nett, hvor 383 husholdningskunder er brukt. Totalt sett gir tariffene den samme årlige inntekten for nettselskapet, jamfør inntektsrammen. Det vil også være tilfellet om strukturen i nettleien endres siden nettselskapene må forholde seg til inntektsrammen.

Tabell 1: Eksempelberegninger som viser priser med dagens nettleie og aktuelle nettatiffer i Norge slik som de fremkommer i høringsdokumentet. Kilde: : (Eriksen et al., 2020).

Tariff	Effektledd (kr/kW) [nov-mars]	Effektledd (kr/kW) [april-okt]	Energipris (kr/kWh)	Fastledd (kr/år)
Dagens nettleie			0,1859	2046
Målt effekt	2,25	1,49	0,05	1850
Sikringsdifferensiert nettleie			0,05	1750 + 343/(kWh/h)
Abonnert effekt	1,00*	1,00*	0,05	1350 + 675/(kWh/h)

*Prisen er et påslag på energileddet

Det er tre tariffer som NVE har foreslått, men det utelukker ikke at andre avregningsmetoder kan brukes i stedet for de tre overnevnte tariffene, så lenge modellen ivaretar de overordnede prinsippene (Eriksen et al., 2020). Det finnes mange utforminger av nettariffer, noen mer populære enn andre. Noen som har blitt forsket på er blant annet «*Time Of Use*» (TOU), «*Critical Peak Pricing*» (CPP) og «*Real Time Pricing*» (RTP). Figur 1 viser hvordan de tre tariffene prinsipielt ser ut.



Figur 1: Skjematisk figur av tariffene (a) *Time-of-use*, (b) *Critical-peak-pricing*, (c) *Real-time-pricing*. Striplet linje betyr at lengde kan variere. Modifisert utgave av (Gyamfi et al., 2013)

TOU er en tidsdifferensiert energitariff. Tariffen har et energiledd som differensieres og økes i forhåndsbestemte perioder, hvor periodene kan være innad i døgnet, uken eller sesongbasert. TOU tariffer er den mest brukte nettariffen for å skape «*demand side management*» (Torriti, 2012). Dette kommer av den enkle oppbygningen hvor det er enkelte faste tidsperioder som har en høyere pris, dermed er det oversiktlig og forutsigbart for forbrukere. Forutsigbarheten gjør det relativt enkelt å tilpasse forbruket rundt disse periodene.

CPP fungerer på et vis på samme måte som TOU tariffer, med at prisen øker i enkelte perioder. Forskjellen er at disse periodene ikke er til faste tidspunkt, men slår inn ved høy belastning i nettet, og prisøkningen er ikke fast. Det er systemoperatøren som bestemmer på forhånd når periodene er, og legger på et effektledd hvor kundene betaler for høyeste effektbruk i de timene. Tariffen kan brukes sammen med styringsteknologi som kobler ut når periodene inntreffer, noe som gir en større reduksjon enn å gjøre det manuelt. Faruqui og Sergici (2010) beskriver et forsøk hvor de kritiske periodene er definert til mellom klokken 14:00 og 19:00 i ukedagene, hvor helger og ferier var unntatt. Kritiske perioder kan også defineres på andre måter, for eksempel hvor enkelte dager vil bli ansett som kritiske og det gis beskjed dagen i forveien til kundene (Faruqui & Sergici, 2010).

RTP vil ha en pris som kontinuerlig endres. RTP har blitt brukt i simuleringer i sammenheng med smarthus, hvor algoritmer optimerer byggets forbruk innenfor visse grenser i forhold til en pris som reguleres kontinuerlig. Optimalisering har vært prøvd ved bruk av lineær programmering og kunstig intelligens. Ofte er prisen eller anslag til prisen gitt dagen i forveien, og avveininger mellom flere variabler gjøres, for eksempel mellom pris og komfort (Finck et

al., 2020; Schreiber et al., 2015). Utstyr som kan bli styrt er el-bil, smartutstyr, elektrisk romoppvarming, kjøling og ventilasjon (Finck et al., 2019).

Det er støtte blant organisasjoner i Norge om at nettariffen skal endres. Det er derimot uenighet om hvordan den nye tariffen skal bli, som kom frem i innspillene til høringsdokumentet (RME, 2020). Uttalelser dreide seg blant annet om at det trengs mer kunnskap og bedre analyser. Det er flere pilotprosjekter som er satt i gang angående ny nettleie og vil om ikke lenge kunne gi mer kunnskap (Enova, u.å.-b; Ringerikskraft Nett, u.å.), også Glitre energi har et prosjekt som startet den 01.04.2020 og går frem til den 31.12.2021 (Glitre Energi Nett, 2020).

Strømsheim-Aamodt (2020) fortalte at Nelfo har gjort analyser med 1000 husholdninger, de delte inn forbrukerne etter mengde strømforbruk: lavt strømforbruk (<10 000 kWh), middels strømforbruk (10 000 – 20 000 kWh) og høyt strømforbruk (>20 000 kWh). Nelfo kom frem til at «effekt tariff» ga mer enn 10 % økning i årlig pris for 13 % husholdningene med et lavt strømforbruk, 29 % av kundene med et middels strømforbruk og 23 % for kundene med et høyt strømforbruk. Strømsheim-Aamodt (2020) påpekte at forbruksprofilen som NVE la frem i høringsdokumentet var for en gjennomsnittskunde og samstemte ikke med de individuelle kundene, som har effekttopper til alle mulige tider av døgnet. Ved at insentivet er å redusere effekttoppene generelt, vil bare de kundene som har en effekttopp som samstemmer med effekttoppen i distribusjonsnettet hjelpe til å redusere disse effekttoppene i nettet. Hadde nettariffen derimot stimulert til målrettet reduksjon eller flytting av forbruket med en TOU tariff ville den totale forbruksprofilen kunne flates ut betydelig. Dette kan gjøres fordi det totale forbruket har en forutsigbar oppførsel med enkelte timer på morgenen og sent ettermiddag som har et høyt forbruk (Strømsheim-Aamodt, 2020).

2.2 SIMIEN

Energisimuleringsprogrammet SIMIEN brukes for bygninger, og kan gi innsikt i hvilke tiltak som vil være mest fornuftig å gjennomføre i eksisterende husholdninger. Programmet bruker rammemetoden og kan dermed ta hensyn til mange faktorer som påvirker energibruken i bygg, slik som solinnstråling, varmetilskudd fra personer og utstyr, og varmetap gjennom både ventilasjon og bygningskonstruksjonen. Den andre metoden, tiltaksmetoden, tar ikke slike hensyn, men benytter en liste med krav som minst må oppfylles (tabell i byggt teknisk forskrift §14-2 (2)) for å oppnå energikravene, og er dermed mindre fleksibel enn tiltaksmetoden. Nybygg og bygninger med vesentlig endring skal tilfredsstillе dagens byggt tekniske standard,

per dags dato TEK17. Ved bruk av rammemetoden er energikravet for boligblokker å holde seg under 95 kWh/m² (Byggteknisk forskrift (TEK17), 2017).

SIMIEN genererer effektbehov med timesoppløsning. Dette effektbehovet er formålsfordelt til romoppvarming, ventilasjonsvarme, romkjøling, ventilasjon kjøling, soltilskudd, belysning, utstyr, vifter og produksjon fra solceller. Samlet gir de et effektbehov per time.

NS 3031 har standardverdier for blant annet energibruk per kvadratmeter til lys, utstyr, vann og varmebidrag fra mennesker. Viktige forutsetninger fra NS 3031 er driftstid, effekt- og energibehov for denne oppgaven. Her er effektbehov beregnet som årlig energibehov dividert på driftstid. Noe som vil si at effektbruken er en gjennomsnittlig verdi og ikke gir en god representasjon på faktisk effektbruk. Driftstiden er mellom klokken 07:00 og 23:00, og det kan settes ulik temperatur som skal opprettholdes innenfor og utenfor driftstiden. Driftstiden bestemmer også når internlastene er på og når det er personer i bygget.

Varme kan tilføres ved flere typer utstyr i programmet. Eksempler er elektriske ovner, varmepumpe, ildsted, vannbåren gulvvarme og elektrisk gulvvarme. Oppvarming fra solinnstråling og varmetilskudd fra belysning, utstyr og personer inkluderes. Tappevann, eller gråvann, kan tas med, men antas å renne ut i avløp uten å gjenbruke varmeenergien i henhold til NS 3031. 100 % av energien til belysning går over til varme. For utstyr går 60 % av energien om til varme, resten av varmen går tapt i sluk og avluft ved bruk av utstyr som vaskemaskin, oppvaskmaskin og tørketrommel (Standard Norge, 2014b). Standardtallene for effekt- og energibruk samt varmetilskuddet fra internlastene er vist i Tabell 2.

Tabell 2: Standard for effekt- og energibehov, samt varmetilskuddet, for belysning, utstyr, varmtvann og personer. Kilde: (Standard Norge, 2014b).

Kategori:	Belysning		Utstyr		Varmtvann		Personer	
	w/ m ²	kWh/(m ² *år)	w/ m ²	kWh/(m ² *år)	w/ m ²	kWh/(m ² *år)	w/ m ²	kWh/(m ² *år)
Effekt- og energibehov	2,9	17	11,3	23	5,1	30		
Varmetilskudd	2,9	17	6,8	14	0	0	1,5	13

Dokka (2020) fra Programbyggerne fortalte at en ny versjon av programmet er under utvikling. Den nye versjonen skal bygge på NSPEK 3031:2020, som også vil være grunnlaget for ny TEK og energimerking. Blant annet vil maksimal elektrisk effekt bli tatt hensyn til i denne versjonen slik at andre mål i byggesektoren vil kunne vurderes ved simulering.

2.3 U-verdi

U-verdi er sentralt i den byggtekniske forskriften og SIMIEN. SIMIEN bruker U-verdier for ytterskallet, og verdiene er brukt til å justere den byggtekniske standarden i samsvar med Hole et al. (2011).

Verdien er et mål på materialers varmegjennomstrømning, ofte kalt varmetap, og måles i watt per kvadratmeter per kelvin (W/m^2K). U-verdien blir beregnet med statiske forhold, konstant temperaturen på hver side av materialet, mens i virkeligheten vil temperaturene variere over tid. Ved målinger i felt antas det dermed at ved tilstrekkelig tid vil gjennomsnittet av varmetapsverdien og temperaturene på hver side vil gi et tilfredsstillende estimat (Standard Norge, 2014a). Det finnes også en metode hvor en varm og en kald boks brukes til å holde forholdene faste, denne metoden brukes vanligvis i laboratorium (Standard Norge, 1997).

Varmetapet reduseres når isolasjonstykkelsen øker. Reduksjonen er ikke et 1:1 forhold, 100 mm ekstra isolasjon gir lavere reduksjon i varmetap om ytterveggen allerede har tykk isolasjon, enn om ytterveggen har lite isolasjon. Etterhvert som kravet til U-verdier skjerpes blir isolasjonstykkelsen upraktisk stor om ikke andre dyrere materialer eller alternative teknikker benyttes.

Når det stilles tekniske krav til for eksempel vinduer brukes gjennomsnittsverdien for enheten. For eksempel inngår glasset, karmen og rammen i vinduer, og alle takpartiene om bygget har flere tak. Konstruksjoner består av flere materialer, som har forskjellige varmegjennomstrømninger og kravene kan ikke være for spesifikke ettersom nye innovasjoner må hensyntas. Minstekravene for de ulike delene av ytterskallet kan sees i Tabell 3 og utviklingen av U-verdiene i Tabell 4.

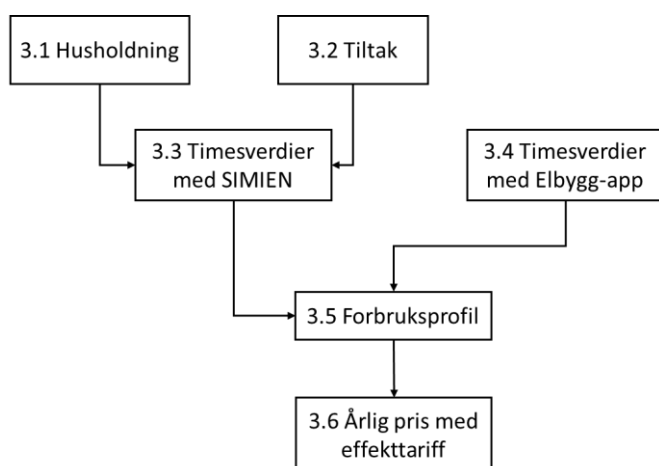
Tabell 3: Krav til U-verdi med tiltaksmetoden og minstekrav for småhus og boligblokk. Kilde: (Byggteknisk forskrift (TEK17), 2017)

Energiltak	Småhus	Boligblokk	Minstekrav
Yttervegg	$\leq 0,18$	$\leq 0,18$	$\leq 0,22$
Tak	$\leq 0,13$	$\leq 0,13$	$\leq 0,18$
Gulv	$\leq 0,10$	$\leq 0,10$	$\leq 0,18$
Vindu og dører	$\leq 0,80$	$\leq 0,80$	$\leq 1,20$
Andel vindus- og dørareal av oppvarmet BRA	$\leq 25 \%$	$\leq 25 \%$	
Årsgjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner i ventilasjonsanlegg (%)	$\geq 80 \%$	$\geq 80 \%$	
Luftlekkasjetall per time ved 50 Pa. trykkforskjell	$\leq 0,6$	$\leq 0,6$	$\leq 1,5$
Normalisert kuldebroverdi	$\leq 0,05$	$\leq 0,07$	

Tabell 4: Utvikling av minimumskrav til U-verdi i byggeforskriften. Kilder: (Byggteknisk forskrift (TEK17), 2017), (KMD, 2000), (Oppslagsverket.dsb.no, referert i SINTEF, 2014)

Byggeforskrift	Tak	Gulv	Yttervegg
2017	0,18	0,18	0,22
1999	0,15	0,30	0,22
1983	0,23	0,30	0,80
1969	0,46	0,70	1,04
1949	1,05		1,16

3 Metode



Figur 2: Metodeoversikt

3.1 Husholdning

Valgte en husholdning og fant tilhørende nødvendige verdier. En del av verdiene som trengtes var: Oppvarmet bruksareal (BRA), U-verdi og areal for de ulike delene av ytterskallet, kuldebroverdi, lekkasjetall per time, antall luftutskiftning i timen med 50 Pa. trykkforskjell, tilluft og avtrekk, type ventilasjon, driftstid, effekt-verdier for internlaste (belysning, teknisk utstyr, tappevann). Flere av verdiene har standarder fra NS 3031:2014.

3.2 Tiltak

Fant et utvalg energitiltak som er vanlige å utføre i norske husholdninger (Enova, u.å.-a). Tiltakene ble lagt til i husholdningen ved å endre på de nødvendige verdiene eller ved å legge de til i energisimuleringsprogrammet SIMIEN. Det var hovedsakelig energitiltak med tilknytning til oppvarmingsbehovet som kunne velges, i tillegg til solceller på taket.

3.3 Timesverdier med SIMIEN

Forbruksprofilene med timesverdier for effektbehov ble generert i SIMIEN ved å kjøre årssimuleringer. Det ble valgt å kun bruke elektrisitet som energiforsyning for å forenkle profilen. Effektverdien til «utstyr» ble justert til å samstemme med 8 statistisk gjennomsnittlige husholdninger (28 000 kWh/år) siden det var 8 boenheter i valgt bygning (Bergesen et al., 2012). Årssimuleringene ble lastet ned som tekstfil og lagt inn i Excel.

3.4 Timesverdier med Elbygg-app

Omfordelte timesverdiene til internlasten «utstyr» i SIMIEN ved bruk av [Elbygg-app]. En omfordeling ble gjort siden SIMIEN bruker gjennomsnittsverdier, som gir dårlig representering av effekt. Trømborg (2019) har i [Elbygg-app] flere valg, hvor verdier for ulike

faktorer velges for å lage en profil. De valgte verdiene var: et bygg fra før 1980 med lokasjon i Oslo, med to voksne og to barn hvor beboerne ikke er hjemme hele dagen, men er hjemme i helgene. Ingen elektrisitetsintensive apparater (el-bil ol.), ingen vedfyring og ingen varmepumpe. Dataene ble deretter lastet ned som Excel-fil, og verdiene for basisforbruket (bas) ble sortert ut til videre bruk.

3.5 Forbruksprofil

Timesverdiene til «utstyr» fra SIMIEN ble omfordelt over året ved å bruke verdiene fra «bas» i [Elbygg-app]. Den totale årlige energibruken for «bas» ble justert ved å prosentvis endre alle timesverdiene til å stemme overens med total årlig energibruk for «utstyr», deretter erstattet «bas» timesverdiene til «utstyr». Timesverdiene for «utstyr» ble erstattet med disse timesverdiene for alle de simulerte versjonene av bygget.

3.6 Årlig pris med effekttariff

Valgt effekttariff ble brukt til å beregne daglig pris, som summertes opp til en årlig pris. Datasettet hadde en rad for hver timesverdi gjennom et år, og først måtte daglig energibruk regnes ut og maks timesverdi lokaliseres for hver dag i året.

Daglig energibruk ble regnet ut ved å bruke HVIS-funksjonen i Excel, hvor input i funksjonen var «dag nummer» i året for aktuell timesverdi, «dag nummer» for foregående timesverdi og effektbehovet i aktuell time. Hvis «dag nummer» for aktuell timesverdi var samme som «dag nummer» i foregående timesverdi ble ingen effektbehov summert sammen. Hvis «dag nummer» for aktuell timesverdi var en annen enn «dag nummer» i foregående timesverdi ble de første 24 radene med effektbehov summert (inkludert aktuell timesverdi). Funksjonen ble benyttet for alle 8761 timene i året.

Maks timesverdi ble lokalisert med en kombinasjon av HVIS-funksjonen og MAKSA-funksjonen i Excel. Først ble HVIS-funksjonen benyttet med samme fremgangsmåte som for daglig energibruk, deretter ble MAKSA-funksjonen benyttet i stedet for å summere. Ved nytt «dag nummer» ble MAKSA-funksjonen benyttet for de neste 24 radene med effektbehov (inkludert aktuell timesverdi), funksjonen returnerte den høyeste verdien innenfor det valgte området. Funksjonen ble brukt for alle 8761 timene.

Deretter ble den daglige prisen regnet ut. Prisen for energileddet ble multiplisert med daglig energibruk, og prisen for effektleddet ble multiplisert med daglig maksimal timesverdi for alle 365 dagene. De daglige prisene ble summert og deretter ble fastleddet lagt til.

4 Case: 1800-talls murgård

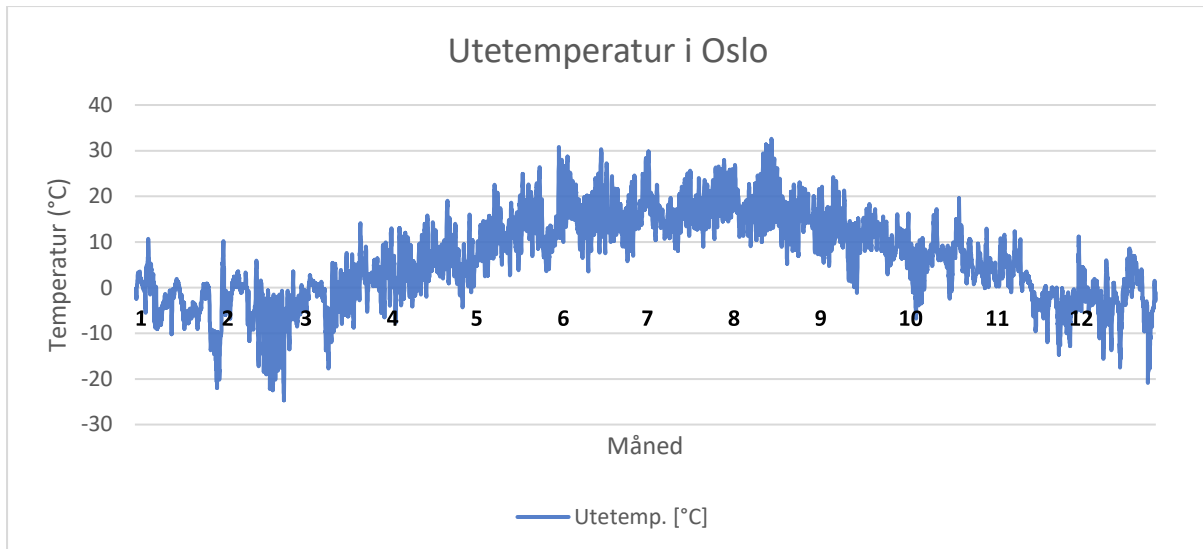
Til å vurdere ulike energieffektiviseringstiltak ble det valgt å bruke en ferdig simulert versjon av en murgård som står i Markveien 13, Oslo. Hole et al. (2011) brukte bygget i sin rapport om energieffektivisering av eksisterende bygningsmasse, og er gjenbrukt her.

Murgården består av 8 boenheter og har et totalt oppvarmet bruksareal på 475 m², med naturlig ventilasjon hvor det skiftes 565 m³ luft per time, som vil si at all luft skiftes ut hver 2,5 time ved normalt trykk. Hole et al. (2011) brukte kun elektrisitet som energibærer, noe som også er blitt gjort her. Bygget bruker 1378 W til belysning, 2876 W til teknisk utstyr og 1615 W til oppvarming av tappevann, dette tilsvarer henholdsvis 2,9 W/m², 4,0 W/m² og 3,4 W/m². U-verdiene for byggets ytterskall samt lekkasjetall er beskrevet i Tabell 5.

Tabell 5: Tekniske tall for den originale murgården. Kilde: (Hole et al., 2011)

Bygningsdel/-komponent	U-verdi (W/(m ² K))
Yttervegg	1,3
Vegg mot portrom	1,3
Tak med kaldt loft	0,8
Gulv med kjellerrom	0,94
Tak i portrom	1,0
Vindu	4,7
Ytterdør	2,9
Lekkasjetall ved 50 Pa trykkforskjell (utskiftninger/h)	4
Kuldebroverdi	0,03

Værdata fra flere steder ligger i SIMIEN, hvor Oslo ble valgt. Gjennomsnittlig årstemperatur er 6,3 °C, om vinteren er middeltemperaturen -20 °C og om sommeren 21,5 °C. Solstråling er i snitt på 110 W/m² på horisontalt plan. Årlig utetemperatur varierer mellom -24,7 °C og 33 °C og er vist i Figur 3. Uken 20. – 26. februar, som er den kaldeste uken i året, er brukt til å sammenligne ukeprofilen til de ulike tiltakene.



Figur 3: Utetemperaturen for Oslo over året, Kilde: SIMIEN v6.014

4.1 Tiltak i murgården

I dette kapittelet blir de ulike tiltakene beskrevet. Tiltakene Gjennomsnittlig og Lavenergi er i henhold til Hole et al. (2011). Murgården er verneverdig og dermed vil flere tiltak være urealistiske å gjennomføre, tiltakene i Gjennomsnittlig er å anse som den maksimale energieffektiviseringen som kan gjennomføres i praksis. De ekstra tiltakene i Lavenergi gjør at bygget oppfyller energikravene til lavenergistandarden (Hole et al., 2011). Det vil også bli testet andre tiltak både enkeltvis og samlet som beskrevet under.

4.1.1 Gjennomsnittlig

Tiltakene ble gjort med hensyn til verneverdien og gjorde at bygget havnet på 190 kWh/m², som er 5 kWh/m² over gjennomsnittet i Norge, bygget kalles derfor «gjennomsnittlig». Tiltakene med vernehensyn er å anse som maksimal energireduksjon innenfor lovverket om verneverdige bygg (Hole et al., 2011). Det er ikke tatt hensyn til at BRA reduseres til 450 m² når det isoleres innvendig.

Tabell 6: Tiltak som ivaretar vernehensyn av murgården. Kilde: (Hole et al., 2011)

Tiltak	Gammel U-verdi (W/m ²)	Ny U-verdi (W/m ²)
Det er satt inn ekstra vevindu med tolags rute, LE-belegg og argongass på innvendig side av eksisterende glass. Lufttettet rundt dører og vinduer, og nye tettelister er montert.	4,7	1,3
Yttervegger, langvegger og gavlvegger mot nabo er isolert med 50 mm isolasjon på innsiden. Dampsperre er montert	1,3	0,53
Etasjeskiller mot kaldt loft tilleggsisoleres fra oversiden. Det isoleres mellom bjelkene samt kontinuerlig isolasjon over bjelkene, totalt isoleres det med 400 mm. Ny dampsperre er montert.	0,8	0,1
Etasjeskiller mot kald kjeller tilleggsisoleres fra undersiden. Det lektes ned og isoleres mellom bjelkene med totalt 400 mm. Vindsperre er montert.	0,94	0,1
Utsiden av vegg mot portrom isoleres med 250 mm.	1,3	0,14
Etasjeskiller mot portrom tilleggsisoleres fra undersiden med totalt 400 mm ved å lekte ned. Vindsperre er montert.	1,0	0,11
Gamle panelovner er erstattet med nye som har termostat og nattsenking. Temperatur settes til 21°C på dagtid (driftstid i SIMIEN), og 19 °C om natten.		

4.1.2 Lavenergi

Tiltakene er uten hensyn til verneverdi og er et tillegg eller en forbedringer i forhold til kapittel 4.1.1. Hole et al. (2011) gikk ut fra energikravene til lavenergi klass 1 for boligbygninger, NS 3700 for disse tiltakene. Enkelte minstekrav er overskredet av praktiske årsaker, verdiene som er oppgitt antas å være de best mulig oppnåelige for murgården.

Tabell 7: Tilleggstiltak som gjør at vernehensyn ikke ivaretas. Kilde: (Hole et al., 2011)

Tiltak	Gammel U-verdi (W/m ²)	Ny U-verdi (W/m ²)
Hele vinduene er byttet ut med nye 3-lags vinduer med isolert karm og ramme, vinduene plasseres lenger ut i vegg for å minimalisere kuldebroverdien ved overgang mellom vindu og vegg. Tettet mellom karm og vegg ved vinduer, tilsvarende rundt dører. Montert nye tettelister på dører og vinduer.	1,3	0,8
Yttervegger er isolert med 200 mm på utsiden i stedet for 50 mm på innsiden.	0,53	0,17
Installert balansert ventilasjon med 80 % gjenvinningsgrad.		

4.1.3 Mindre separate tiltak

Dette er tiltak som ble lagt til det originale bygget, det gjennomsnittlige bygget eller lavenergibyget. Det er spesifisert under hvert tiltak hvilken versjon av bygget de ble utført i.

4.1.3.1 Varmepumpe

Varmepumper har vært et populært tiltak i husholdninger i mange år (Statistisk sentralbyrå, 2014b). Det finnes tre hovedgrupper av varmpumper, luft-til-luft (LL), luft-til-vann (LV) og væske-til-vann (VV). LL-varmpumper er den vanligste typen i Norge og henter energi fra uteluften, og moderne gode varmpumper kan hente varme fra uteluften helt ned til -25 °C og ha en Coefficient Of Performance (COP) på over 2 ved -15 °C (Granås, 2020). En LV-varmpumpe bruker også uteluften, men varmer opp vann til radiatorer, vannbåren gulvvarme eller til å varme opp tappevann. En VV-varmpumpe henter energi fra fjell, jord, vassdrag eller sjø, energien brukes på samme måte som ved en LV-varmpumpe (Enova, u.å.-c). Dessuten kan en varmpumpe brukes i revers, og kjøle bygget på samme måte som et kjøleskap. En slik bruk av varmpumpen er ikke analysert.

Det ble installert en LL-varmpumpe både i originalt bygg og det gjennomsnittlige bygget. COP til LL-varmpumpen ble satt som en årsgjennomsnittlig verdi på 2,37 i henhold til NS 3031 2014. Dekningsgraden, andelen av oppvarmingsbehovet som varmpumpen leverer, er satt til 50 %, som også er gjort av Hole et al. (2011). 50 % er en realistisk andel med tanke på at varmluften fra pumpen blir hindret av romlig utforming, gjenstander og dører.

4.1.3.2 Nattsinking

Den nye nettleien vil flytte fokuset fra energi til effekt, og det var dermed interessant å se på hva nattsinking i bygningen kunne medføre. Et slikt tiltak vil være enkelt å gjennomføre i alle slags husholdninger, enten gjennom en varmpumpe eller panelovner som har temperaturstyring. Dette kan gjøres manuelt om utstyret ikke har tidsstyring, eller automatisk ved bruk av nyere utstyr.

Nattsinking fra 21 °C til 19 °C mellom kl. 23:00 og 07:00 ble utført i den originale versjonen av bygningen.

4.1.3.3 Varmelager

Et varmelager flytter varmeenergi i tid etter behov ved bruk av et medium. Vann har en høy varmekapasitet og kan dermed holde på mye energi. I bygg brukes betong og murverk til å lagre termisk energi, men også teglsten i vedovner blir brukt. Teknikkene ble ikke benyttet i simuleringene, men lagring av varme i bygget uten endring av varmekapasiteten ble utført.

Fra forelesninger og rapporter har det blitt vist at døgnprofilen i husholdninger har et lavpunkt om natten (Statistisk sentralbyrå, 2008). Ved å øke temperaturen om natten når forbruket er lavt vil energibruk til oppvarming om dagen kunne reduseres. Hvor stor tidsperiode effektuttaket kan reduseres kommer an på varmekapasiteten i bygget, varmetapsverdien og utskiftningen av luft i bygget.

Varmelagring ble testet for det originale bygget og lavenergibyget. I stedet for nattsinking fra 21 °C til 19 °C mellom kl. 23:00 og 07:00 øktes temperaturen fra 21 °C til 23 °C. Et annet varmelager som kan benyttes i mange husholdninger er varmtvannsberederen, men her trengs det tilkobling av styring. Enkleste form for styring som kan installeres er en timer som utsetter oppvarmingen etter morgendusjen noen timer til annet forbruk er redusert midt på dagen. SIMIEN kan ikke brukes til slikt og det vil dermed ikke analyseres.

4.1.3.4 Solceller

Ved å installere solceller på bygget vil den tilførte energien reduseres selv om energibehovet forblir uendret. Dermed kan bygget bedre energimerket uten for eksempel å gjøre ytterveggene enda tykkere. Solceller har blitt et mer populært tiltak i bygg de senere årene, en av grunnene er at prisen på solceller har falt mye. Solceller har hatt en høy lærerate, som vil si at enhetsprisen faller relativt mye ettersom den akkumulerte produksjonen øker (NVE, 2015). Solceller fortsetter å falle i pris og vil dermed bli enda mer interessant å installere for huseiere.

Solcellemoduler tilsvarende 56 m² installeres på taket. Det antas at takarealet har tilstrekkelig ledig plass og bæreevne. Med en virkningsgrad på 0,18 har anlegget en effekt på 10 kW, som ble valgt ut fra effekttoppene i simuleringene om sommeren. Helningsvinkelen setter til 35 grader, da dette gir best årlig produksjon i simuleringen. Vinkelen har mye å si for produksjonen, og best produksjon oppnås når solinnstrålingen treffer vinkelrett på modulene. Dessuten vil skygge kunne redusere elektrisitetsproduksjonen drastisk alt etter hvilke moduler som brukes og hvordan modulene er koblet sammen. Skygge antas å ikke være et problem for dette anlegget. Solceller vil ikke produsere stort i vintermånedene, men har fått økende interesse også i Norge, og kan være nødvendig for å oppnå standarder som nullutslippsbygg og lignende.

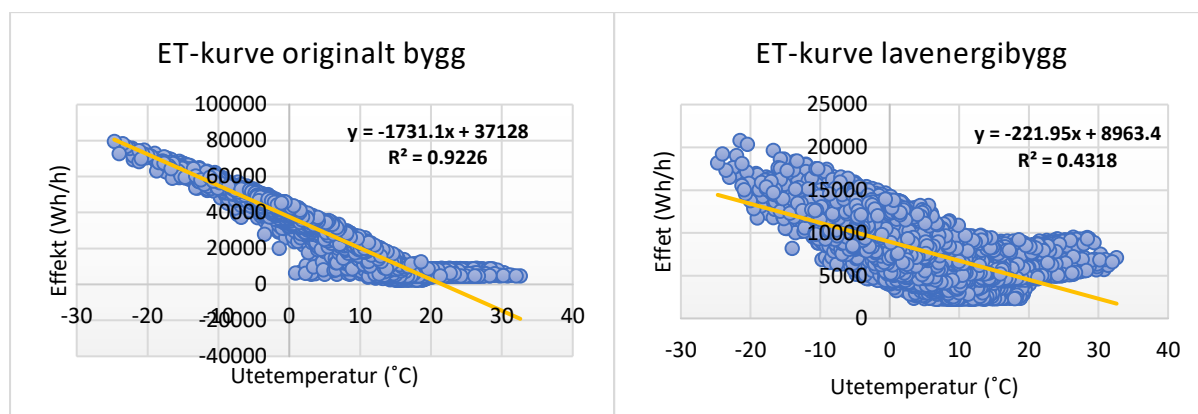
Batterier sammen med solceller er en vanlig måte å lagre energien til timer uten solinnstråling. Da bruk av batterier heller mer mot laststyring er det ikke analysert i denne analysen.

5 Resultater

Ut fra valgene i kapittel 4 er simuleringer utført i SIMIEN og bearbeidet i Excel, resultatene er videre fremstilt ved bruk av figurer og tabeller.

5.1 Utetemperatur og energibruk

Utetemperaturen har stor påvirkning på energibruken. Dette gjelder selv for bygg med høyere teknisk standard, som er vist i Figur 4. Figuren viser at forholdet mellom energibruk og utetemperatur forklarte nesten all energibruk i originalbygget som hadde et høyt oppvarmingsbehov. Figuren viser også at lavenergibygget som hadde et lavt oppvarmingsbehov hadde et mer avkoblet forbruk i forhold til utetemperaturen, andre energiposter fikk større betydning og ga mer variasjon, som ga utetemperaturen en lavere forklaringsverdi (R^2).



Figur 4: Forholdet mellom energibruk og utetemperatur (ET-kurve) i original murgård (venstre) og lavenergibygget (høgre).

5.2 Effektprofiler med tiltak

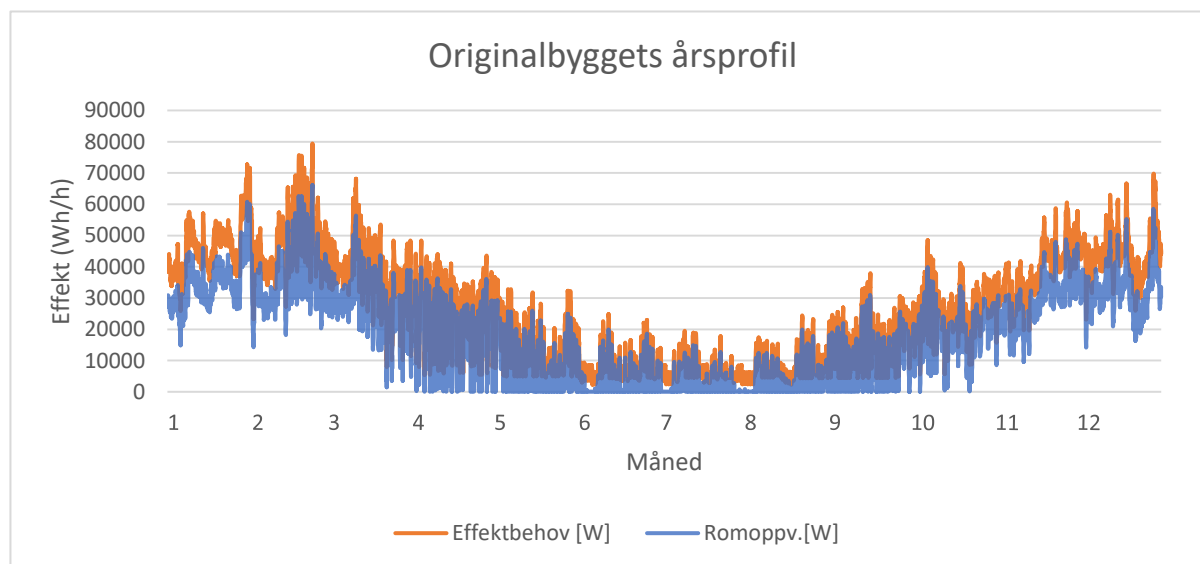
I dette kapittelet gjennomgås tiltakenes effektprofiler. Først er det en sammenstilling i Tabell 8 av energibruken, spesifikk energibruk (årlig energibruk per m^2) og spesifikk energibruk til romoppvarming for tiltakene. Energibruken over året til oppvarming reduseres drastisk i gjennomsnittlig bygg og elimineres nesten i lavenergibygget.

Tabell 8: Energiltak med tilhørende årlige energibruk, endring i forhold til originalt bygg, spesifikk energibruk for hvert tiltak og spesifikk energibruk til romoppvarming.

Energiltak	Årlig energibruk (kWh)	Endring	Spesifikk energibruk (kWh/m ²)	Spesifikk romoppvarming (kWh/m ²)
Original	233 622	0%	443	304
Gjennomsnittlig	100 190	-57%	190	77
Lavenergi	66 340	-72%	126	19
Original med VP	180 887	-23%	343	216
Gjennomsnittlig med VP	86 218	-63%	163	55
Original med nattsinking	222 427	-5%	421	285
Original med nattøking	246 031	5%	466	326
Lavenergi med nattøking	70 303	-70%	133	25
Gjennomsnittlig med solceller	91 163	-61%	173	77

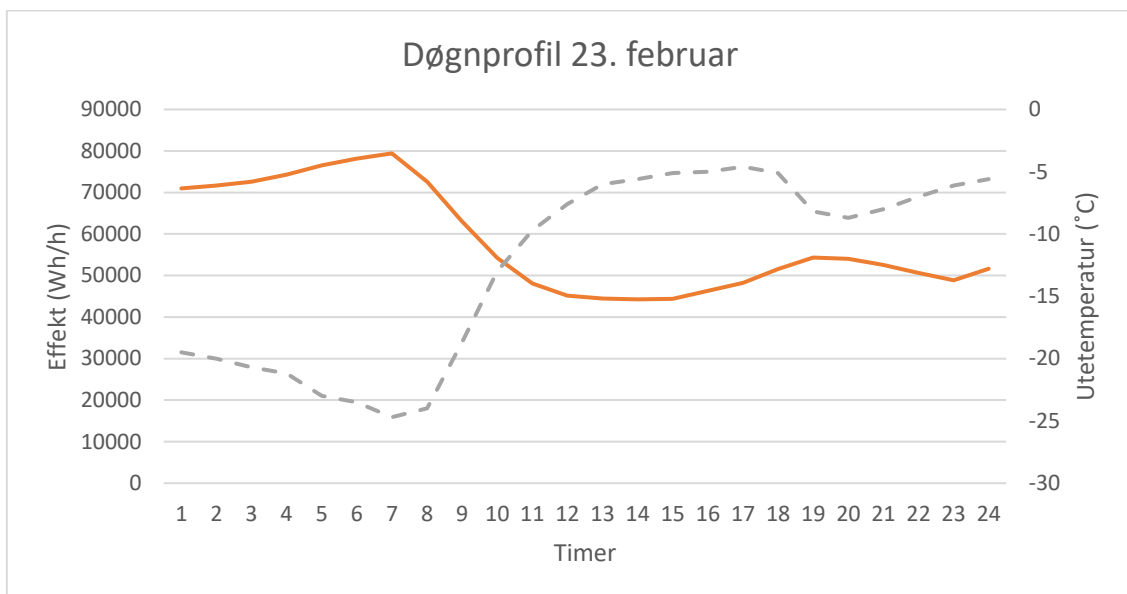
5.2.1 Det originale bygget

For det originale bygget varierte energibruken mye fra sommer til vinter. Effekttoppene gikk fra rundt 20 kW om sommeren, til maksimalt 79 kW om vinteren. Oppvarmingsbehovet var hovedkilden til energibruk i bygget og hadde en andel på 76 % av totalt årlig energibruk, oppvarming trengs også om sommeren på grunn av murgårdens høye varmetap og en utetemperatur som var nede i 10 °C nattestid.



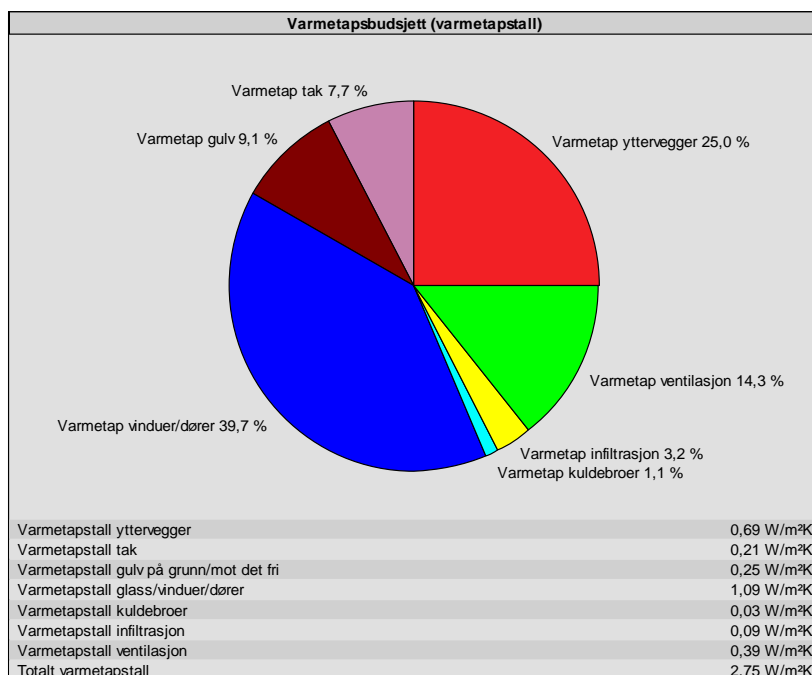
Figur 5: Fordeling av total effektbruk og effektbruk til romoppvarming i det originale bygget over året

For døgnet med årets høyeste effektbruk var effekttoppen nesten dobbelt så stor som effekten midt på dagen. Effekttoppen oppstod klokken syv om morgenen, og utetemperaturen var til samme tid på sitt laveste. Effektbruken sank raskt utover formiddagen som en følge av økt utetemperatur, samtidig som soltilskudd bidro med opp til 5 kW varme midt på dagen, også el-spesifikt utstyr bidro med rundt 6 kW mellom klokken 07:00 og 23:00. På dagtid var forbruket relativt flatt som et resultat av at utetemperaturen ikke sank igjen på kvelden, men det oppstod en mindre effekttopp på 54 kW da utetemperaturen sank noe klokken 19:00.



Figur 6: Profil over effektbruk for den 23. februar i det originale bygget

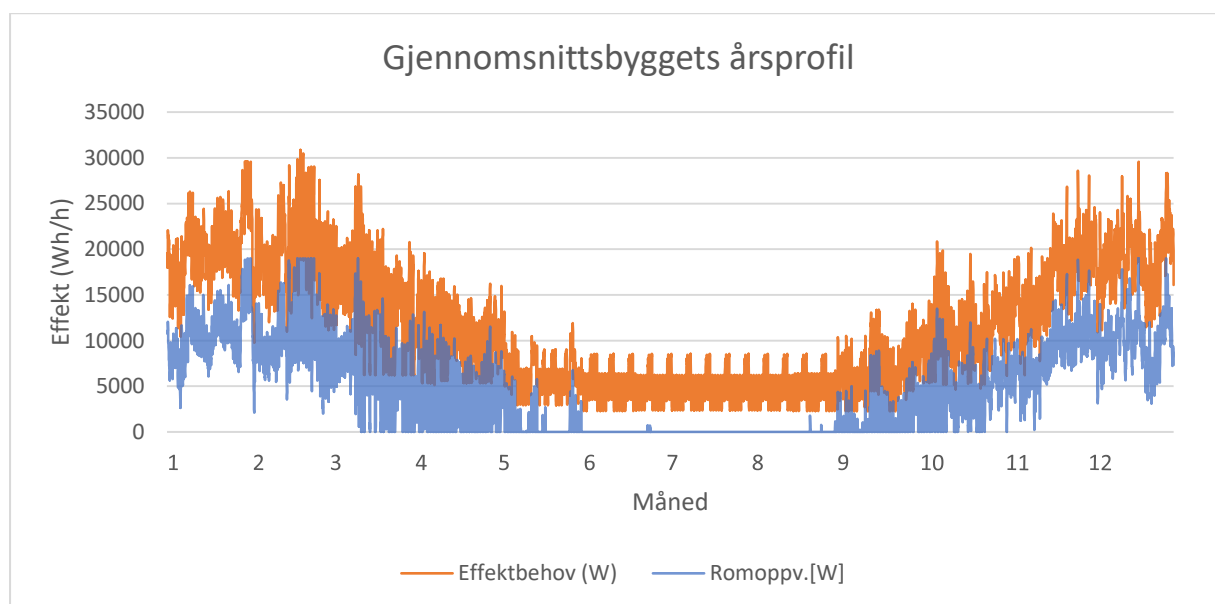
Varmetapet, eller varmegjennomstrømningen, som det originale bygget hadde var på 2,75 W/m²K. Den største andelen kom fra vinduene, som murgården hadde mange av. For hele bygget ble varmetapet på 1,3 kW/K, som tilsier at murgården mistet 59,4 kW varme i den kaldeste timen i året (-24,7 °C) med en innendørs temperatur på 21 °C.



Figur 7: Varmetap gjennom bygningskomponentene i det originale bygget

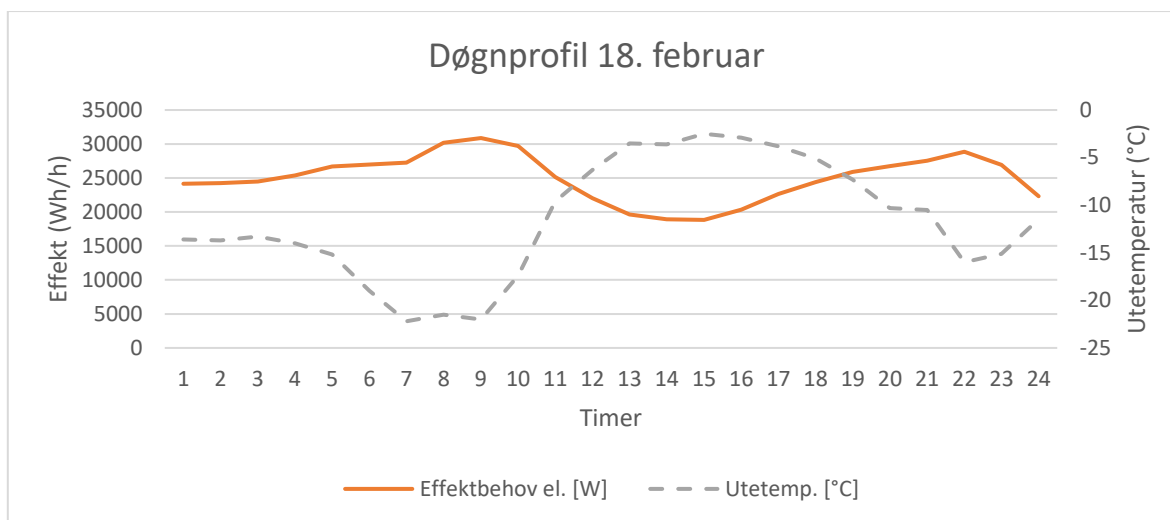
5.2.2 Det gjennomsnittlige bygget

Ved å rehabilitere med tiltakene i kapittel 4.1.1 fikk murgården et spesifikt energibruk på like over en statistisk gjennomsnittlig husholdning. Fra juni til og med august hadde murgården ingen oppvarmingsbehov, som gjorde at effektbruken var nede i 8 kW om sommeren og opp til maksimalt 31 kW om vinteren. For døgnet med årets høyeste effekttopp stod oppvarming for over 60 % av effektbruken.



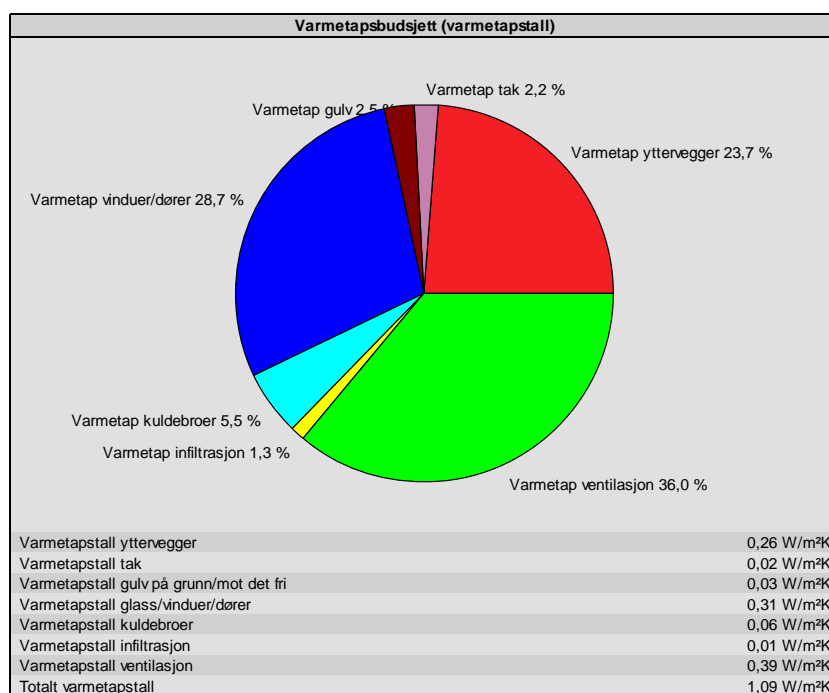
Figur 8: Fordeling av total effektbruk og effektbruk til romoppvarming i det gjennomsnittlige bygget over året

Døgnet med den høyeste effekttoppen forflyttet seg til den 18. februar. Toppen kom da utetemperaturen var på det laveste, som var klokken 09:00 og effektbruken var på 31 kW. Etterpå sank effektbruken med 1/3 til klokken 15:00, for så å stige til 29 kW klokken 22:00.



Figur 9: Profil over effektbruk for den 18. februar i det gjennomsnittlige bygget

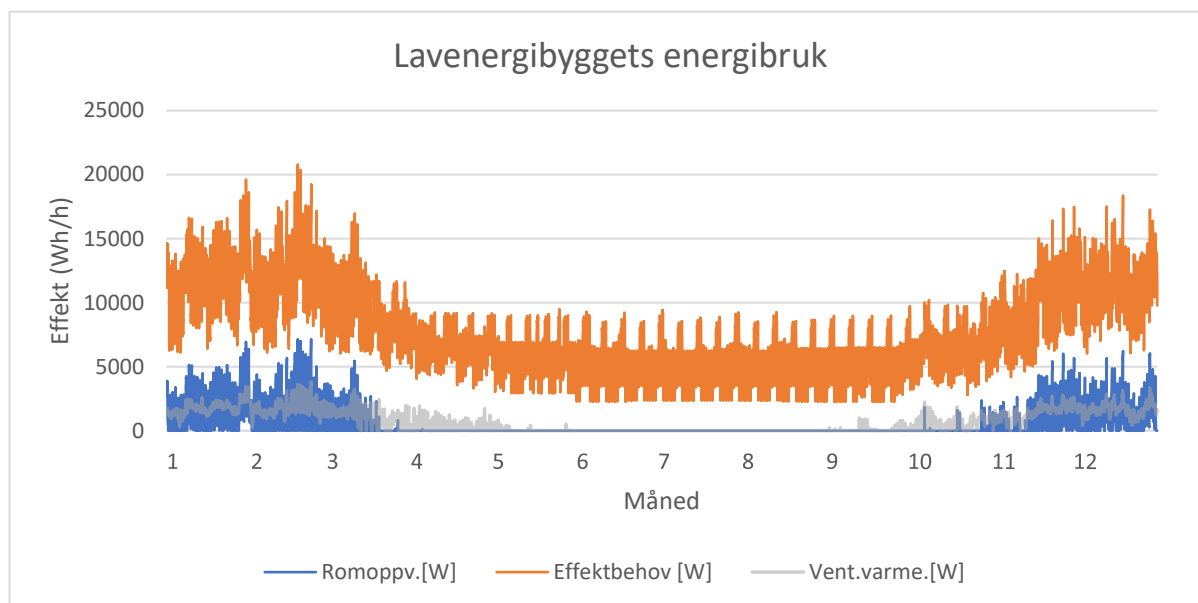
Varmetapet, eller varmegjennomstrømningen, som det gjennomsnittlige bygget fikk var på 1,09 W/m²K. Den største kilden til varmetap var nå den naturlige ventilasjonen. For hele bygget ble varmetapet på 0,52 kW/K, som tilsier at murgården mistet 22,7 kW varme i den kaldeste timen i året (-24,7 °C) ved å ha en innendørs temperatur på 19 °C.



Figur 10: Varmetap gjennom bygningskomponentene i det gjennomsnittlige bygget

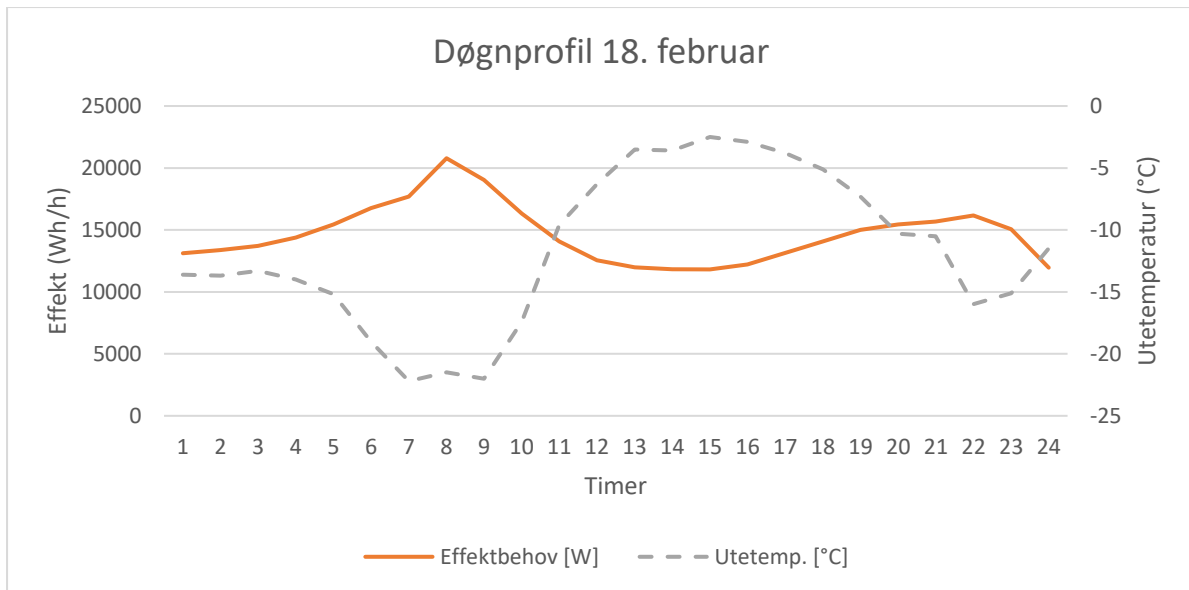
5.2.3 Lavenergibyget

Ved å rehabilitere med tiltakene i kapittel 4.1.2 fikk murgården et spesifikt varmebehov på samme nivå som et lavenergibygget. Årsprofilen flates ytterligere og effekttoppene ble nå på 8 kW fra april til og med september, og maksimal effektbruk på vinteren var kun på 21 kW. Murgården hadde tilnærmet ingen oppvarmingsbehov mellom april og starten av oktober, og på dagen med årets høyeste effektbruk stod oppvarming for 34 % av effektbruken.



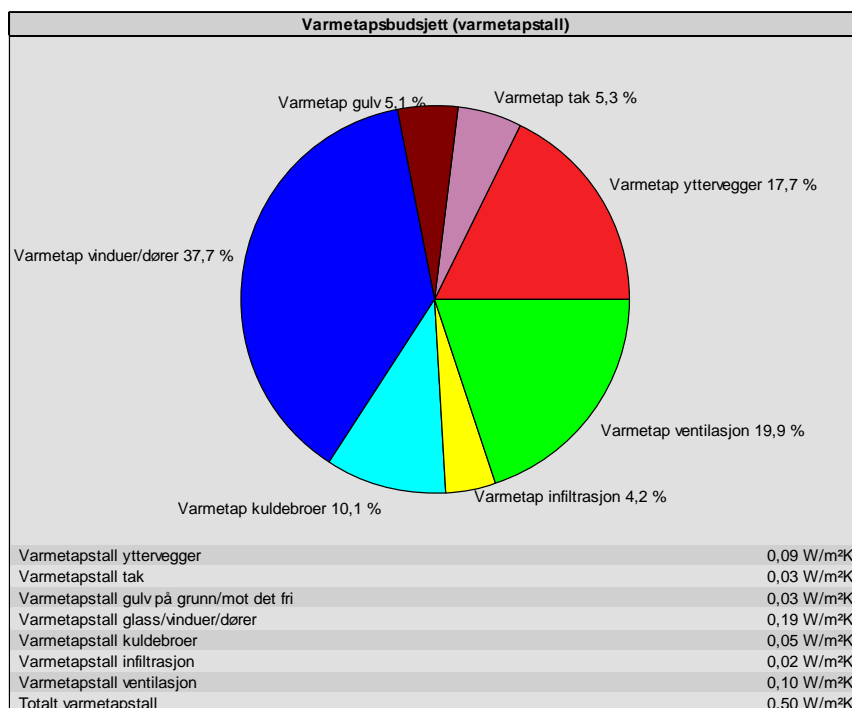
Figur 11: Fordeling av total effektbruk og effektbruk til romoppvarming i lavenergibyget over året

Døgnet med høyest effektbehov ble den 18. februar. Effekttoppen forekom klokken 08:00 og var på 21 kW, mens utetemperaturen i timene rundt var på et lavpunkt. Utover formiddagen sank effektbruken med 43 % til klokken 13:00, deretter var effektbruken flat i tre timer for så å øke til 16 kW klokken 22:00.



Figur 12: Profil over effektbruk for den 18. februar i lavenergibygget

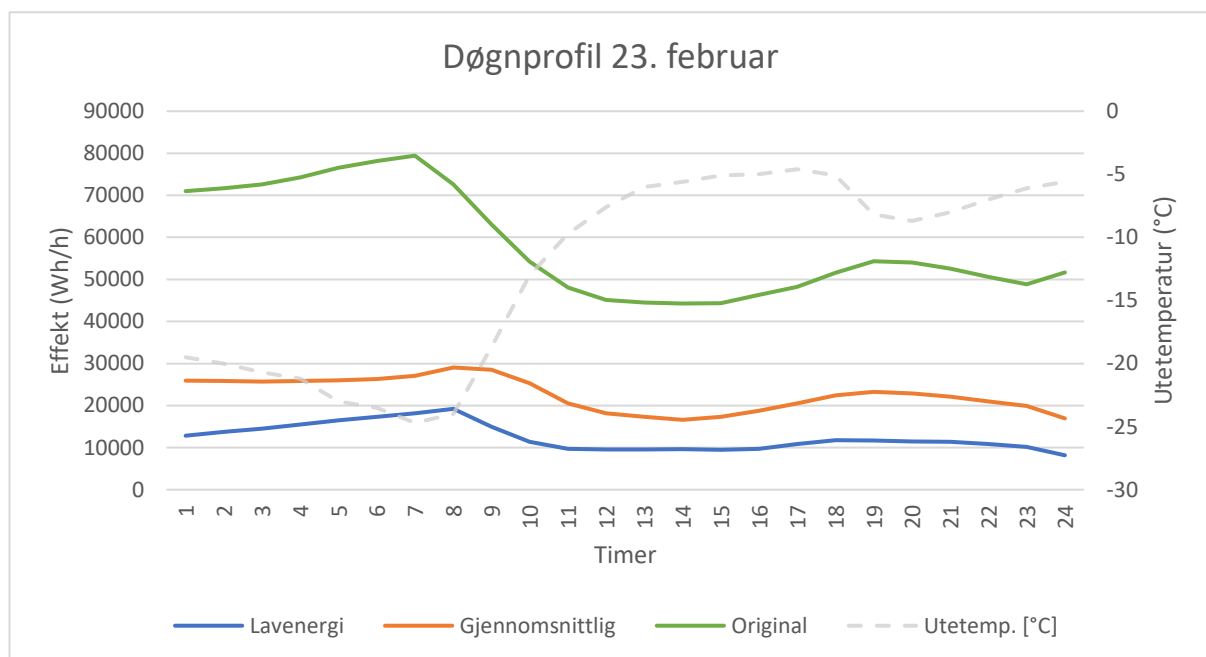
Varmetapet, varmegjennomstrømningen, som lavenergibygget fikk var på $0.50 \text{ W/m}^2\text{K}$. For hele bygget ble varmetapet $0,24 \text{ kW/K}$, som tilsier at murgården mistet 10 kW varme i årets kaldeste time ($-24,7 \text{ }^\circ\text{C}$) ved en innendørs temperatur på $19 \text{ }^\circ\text{C}$.



Figur 13: Varmetap gjennom bygningskomponentene i lavenergibygget

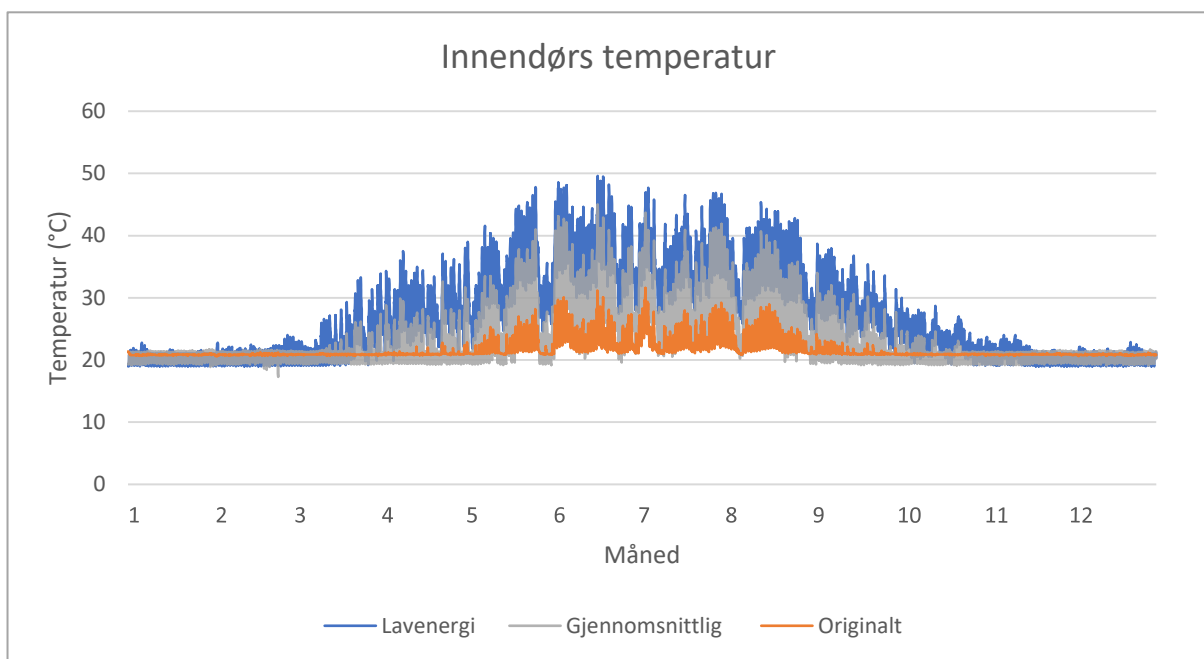
5.2.4 Sammenligning av de tre hoved-versjonene

Døgnprofilen med den kaldeste timen i året ble valgt for å vise forskjellen mellom originalbygget og de to foregående tiltakene. Det gjennomsnittlige bygget og lavenergibyget hadde effekttoppen klokken 8, som er én time etter at utetemperaturen er på sitt bunnpunkt. Originalbygget hadde effekttoppen klokken 07:00, som var tidspunktet hvor utetemperaturen var på sitt laveste. I forhold til originalbygget har de to rehabiliterte byggene en jevn effektbruk over døgnet.



Figur 14: Sammenstilling av effektprofilen til det originale bygget, gjennomsnittsbygget og lavenergibyget for den 23. februar

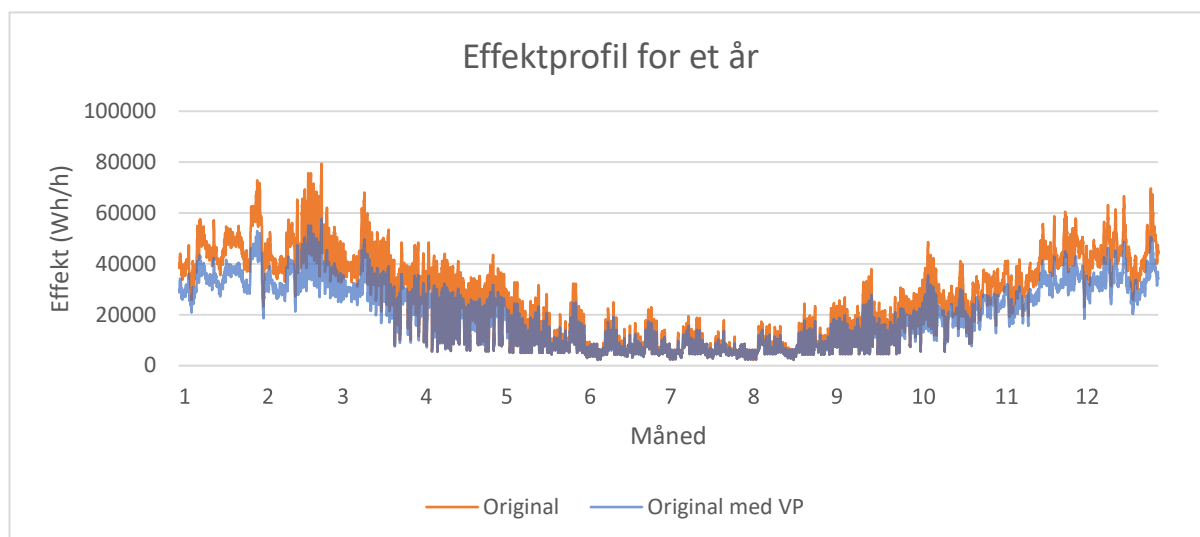
De tre overstående variasjonene av murgården førte til ulike innetemperaturer over året. Originalbygget med et stort varmetap holdt en innetemperatur på 21 °C fra midten av oktober til starten av mai, og en temperatur opp til 30 °C på sommeren. Gjennomsnittsbygget holdt en temperatur på 21 °C (19 °C om natten) fra midten av oktober til starten av april, mens temperaturen hadde et toppunkt i juni på 43 °C. Lavenergibygget hadde en innendørstemperatur på 21 °C (19 °C om natten) fra starten av november til slutten av februar, og et toppunkt i juni på 48 °C.



Figur 15: Endring i innendørs temperatur over året ved økt byggeteknisk standard, ingen kjøling installert

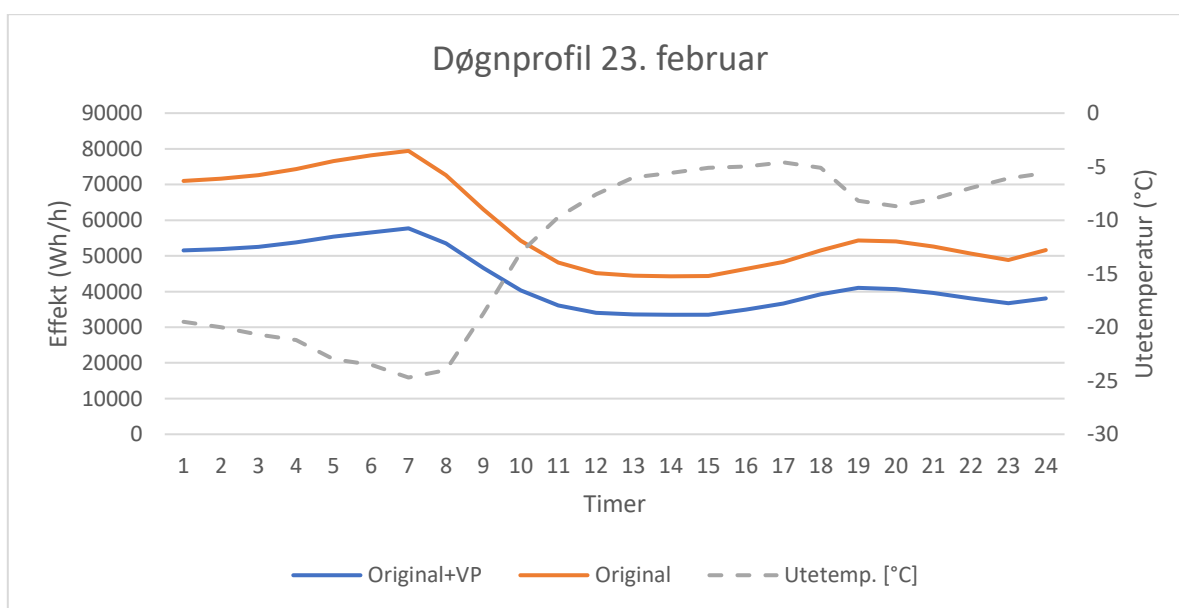
5.2.5 Varmepumpe

En varmepumpe i originalbygget som stod for 50 % av varmebehovet med en konstant COP på 2,37 reduserte effektbruken gjennom hele året og jevnet ut effektprofilen for det originale bygget. Maksimal effekttopp redusertes til 58 kW, som er 27 % lavere enn originalt. Varmebehovet om sommeren var lavt, og effekttoppene om sommeren ble dermed kun redusert med rundt 2 kW.



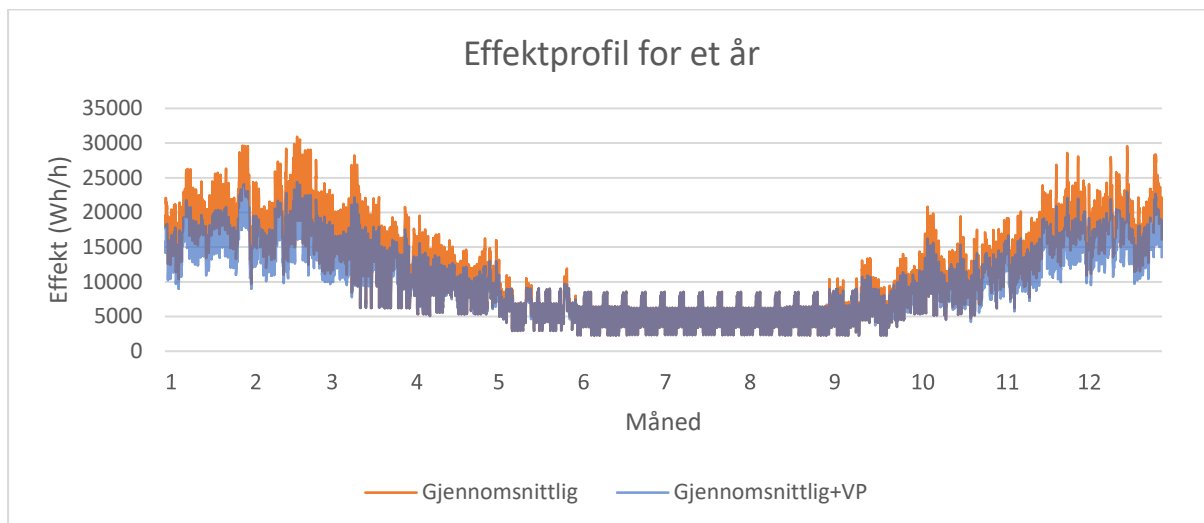
Figur 16: Effektbruk over året i det originale bygget med og uten varmepumpe (VP)

Effektprofilen for det kaldeste døgnet er flatere med en varmepumpe i forhold til den originale murgården med varmeovner. Profilen flyttes nedover ved at varmepumpen dekker halvparten av varmebehovet og reduserer effekttoppen klokken syv med 21 kW, til 58 kW og den mindre effekttoppen klokken 19 på kvelden er redusert med 13 kW til 41 kW.



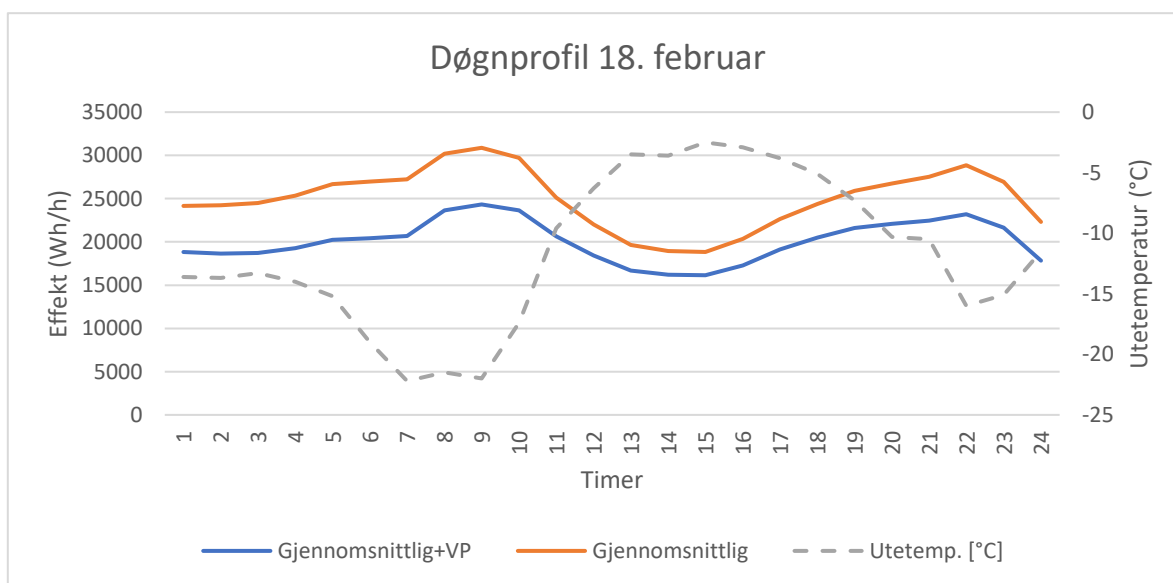
Figur 17: Profil over effektbruk i det originale bygget med og uten varmepumpe (VP) for den 23. februar

For det gjennomsnittlige bygget ga en varmepumpe med samme utgangspunkt en redusert effektbruk mellom september og juni, som hadde et oppvarmingsbehov. Varmepumpen gjør ingen forskjell mellom juni og september siden det ikke er noe oppvarmingsbehov i perioden. Effektbruken over året ble jevnet ut, og årets maksimale effekttopp ble redusert med 7 kW, til 24 kW.



Figur 18: Effektbruk over året i det gjennomsnittlige bygget med og uten varmepumpe (VP)

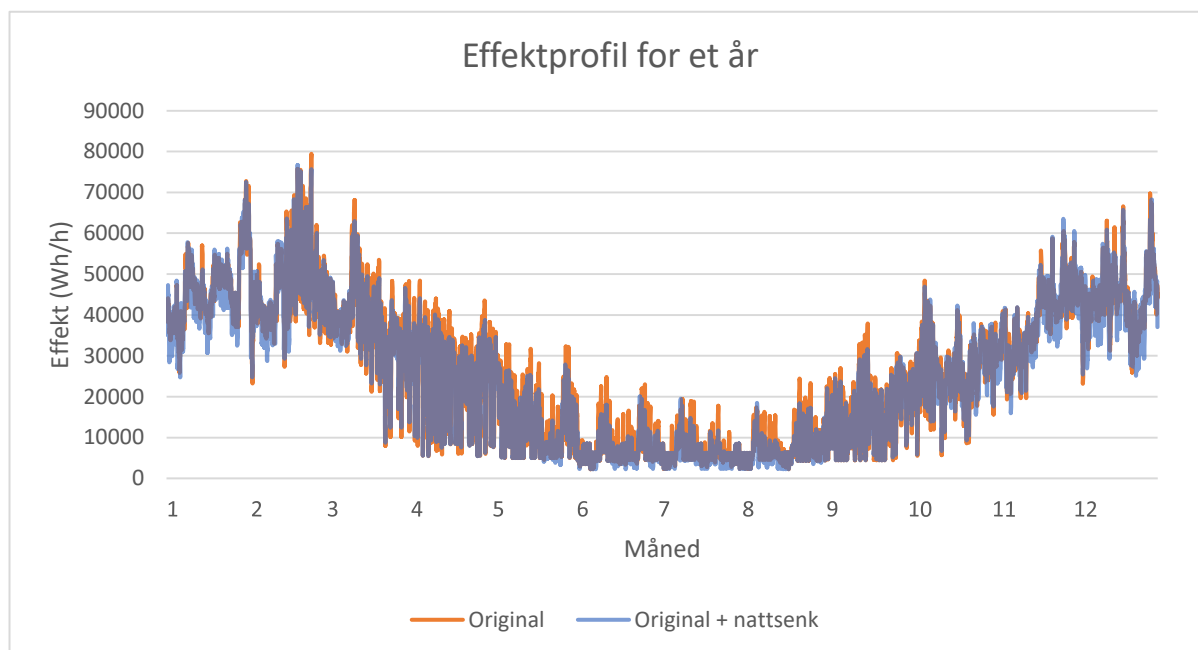
Døgnet med den høyeste effekttoppen var fortsatt den samme med en varmepumpe som uten en varmepumpe. Effekttoppen forekom til samme tid, men profilen ble nå mer utjevnet. Den nye effekttoppen klokken 09:00 var på 24 kW, og den noe mindre effekttoppen klokken 22 på kvelden ble redusert fra 29 kW til 23 kW.



Figur 19: Profil over effektbruk for det gjennomsnittlige bygget med og uten varmepumpe

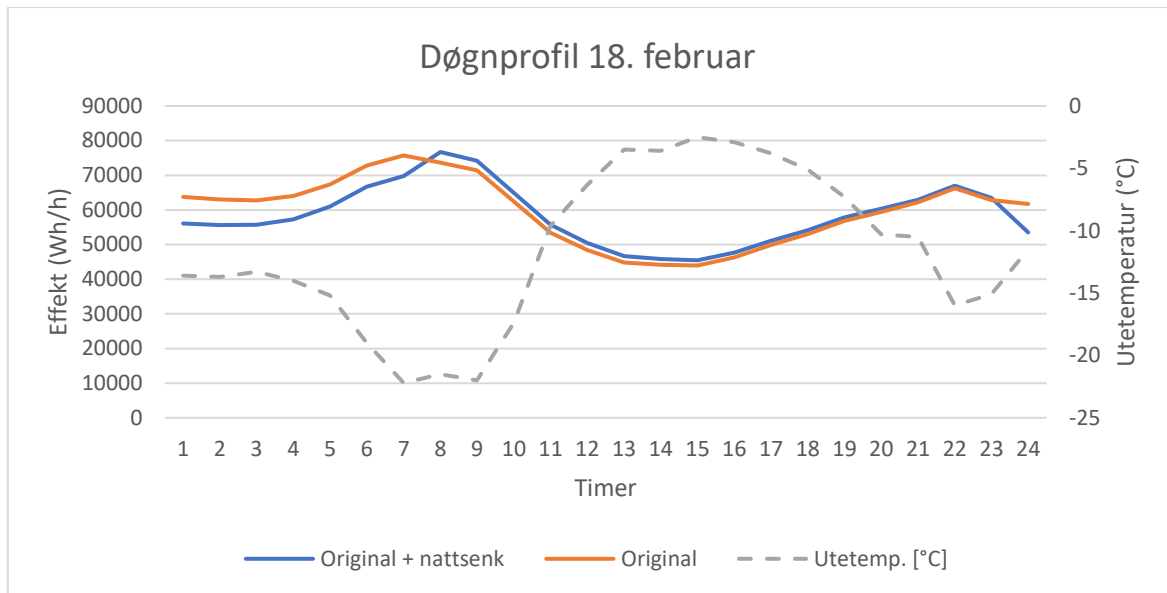
5.2.6 Nattsenking

I simuleringene forekom effekttoppene på natten og tidlig om morgenen, noe som ga nattsenking en effektreduksjon over størsteparten året. Som tidligere nevnt hadde det originale bygget et varmebehov gjennom hele året. Det å senke temperaturen med 2 °C om natten ga størst effektreduksjon på sommeren, mens for enkelte døgn om vinteren økte effekttoppene. Nattsenkingen ga 5 % lavere energibruk over året, og reduserte årets høyeste effektbruk med 2 kW, til 77 kW.



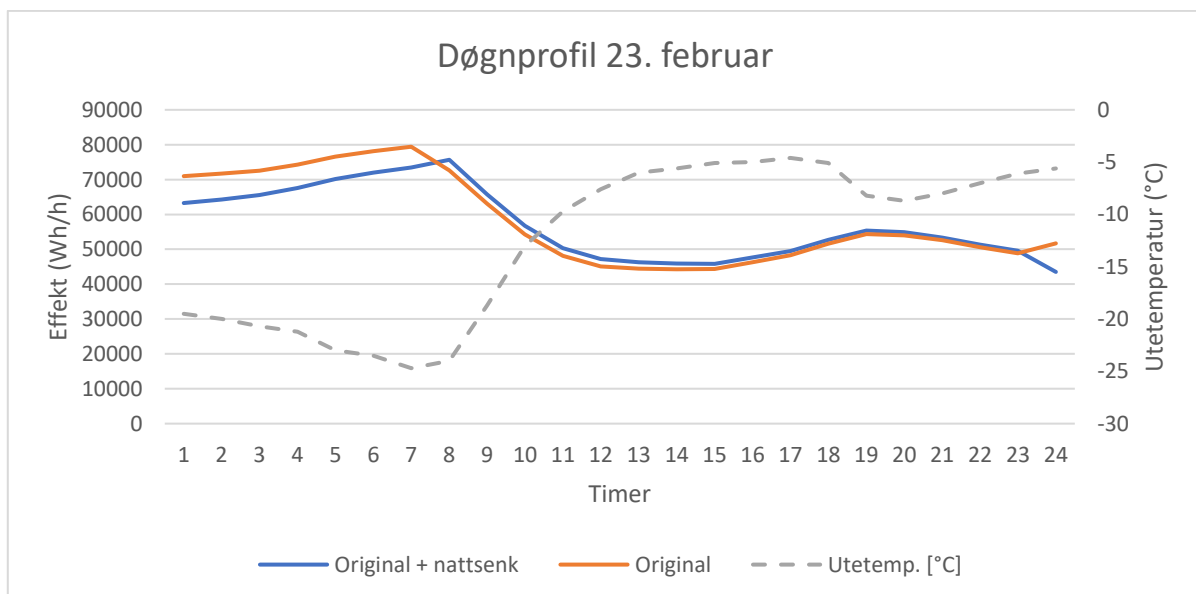
Figur 20: Effektbruk over året i det originale bygget med og uten nattsenking

Det originale bygget hadde årets maksimale effekttopp den 23. februar, med nattsenking flyttes den til 18. februar. Ved ny dato økte effekttoppen med 1 kW med bruk av nattsenking, men flyttet også toppen fra 07:00 til 08:00. Effektbruken var 3 kW høyere klokken 08:00 enn tidligere topp klokken 07:00. Deretter sank effektbruken mot originalt effektbruk utover dagen, men lå noe over helt til klokken 23:00 når neste nattsenking begynte.



Figur 21: Profil over effektbruk for det originale bygget med og uten nattsenking for den 18. februar

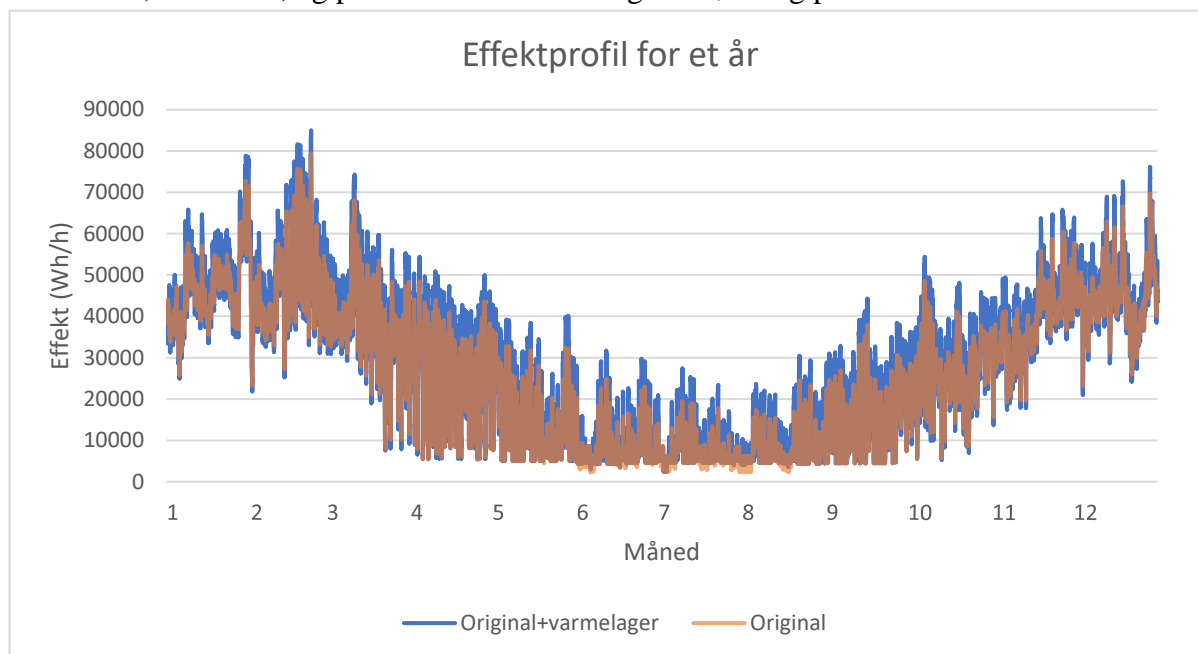
Den 23. februar var døgnet med høyest effekttopp for originalbygget, nattsenking førte ikke til en høyere effekttopp for dette døgnet. Ny effekttopp var 8 kW lavere enn original effekttopp, og ble forskjøvet til klokken 08:00, som var tidspunktet innetemperaturen var tilbake til 21 °C. Utetemperaturen begynte å stige igjen etter klokken 07:00, i motsetning til den 18. februar hvor utetemperaturen hadde en liten opptur klokken 08:00 for så å synke igjen. I tillegg var utetemperaturen 23. februar jevnt synkende over natten. For begge dagene var effektbruken med nattsenking noe høyere i timene etter 08:00 og nærmet seg originalt nivå utover dagen frem til neste natt klokken 23:00 hvor nattsenking startet igjen.



Figur 22: Profil over effektbruk for det originale bygget med og uten nattsenking for den 23. februar

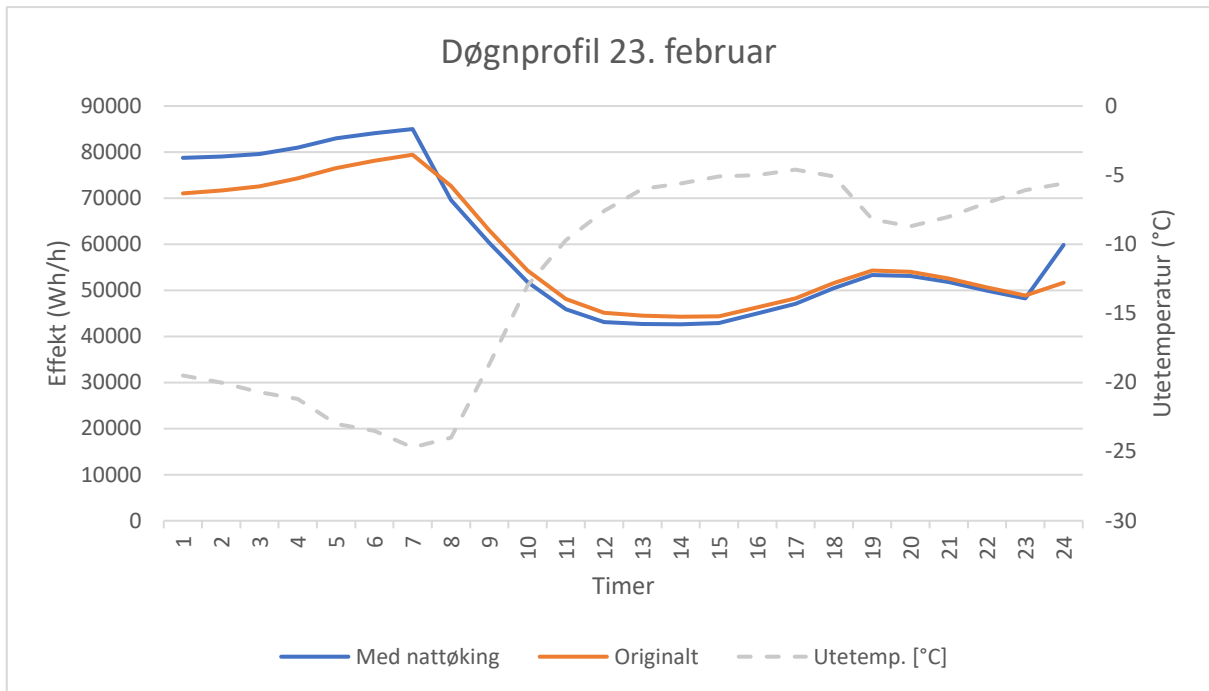
5.2.7 Varmelagring

Effekttoppene gjennom hele året økte ved å bruke originalbygget som et varmelager over natten. På vinteren ble det større forskjell mellom effekttoppene og -bunnene. Mellom april og oktober var effektbunnene hevet noe ved bruk av nattøking. Årets høyeste effekttopp ble økt med 6 kW, til 85 kW, og på sommeren var det også en økning på rundt 6 kW.



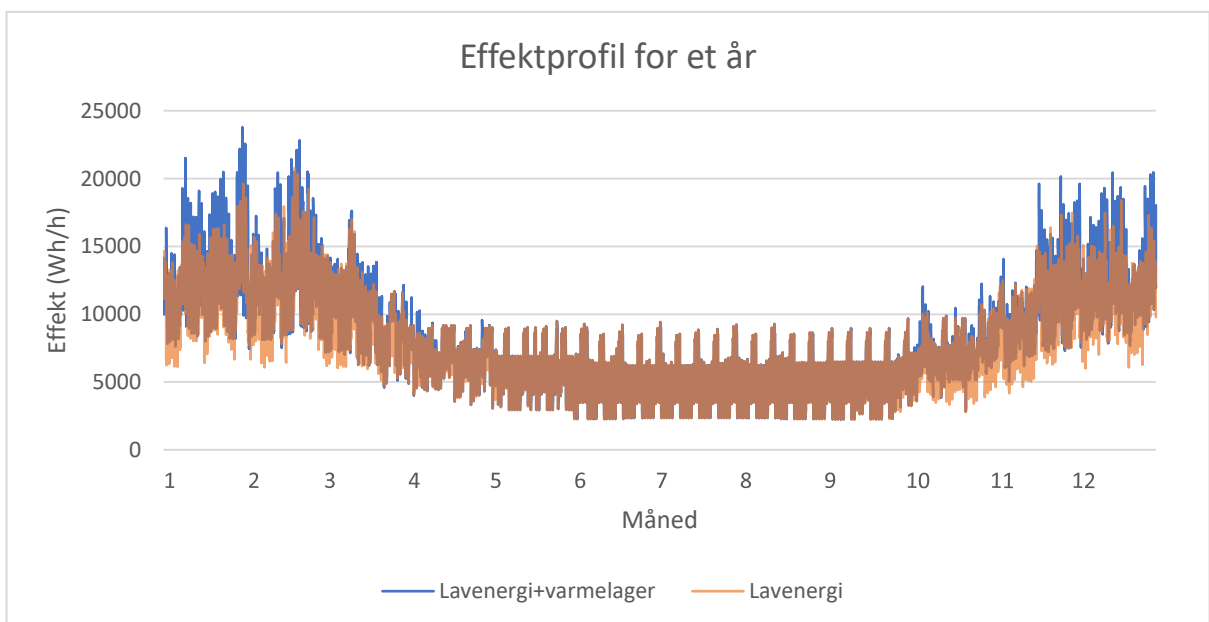
Figur 23: Effektbruk over året i det originale bygget med og uten varmelagring over natten

Døgnet med høyest effekttopp var fortsatt den 23. februar. Effekttoppen var til samme tidspunkt, klokken 07:00, og steg med 6 kW i forhold til det originale bygget hvor innendørstemperaturen var konstant over døgnet. Effektbruken droppet raskere etter klokken 07:00 med varmalagring og holdt seg under profilen til det originale bygget resten av dagen, men nærmet seg samme nivå frem til temperaturen skulle opp 2 °C klokken 23.



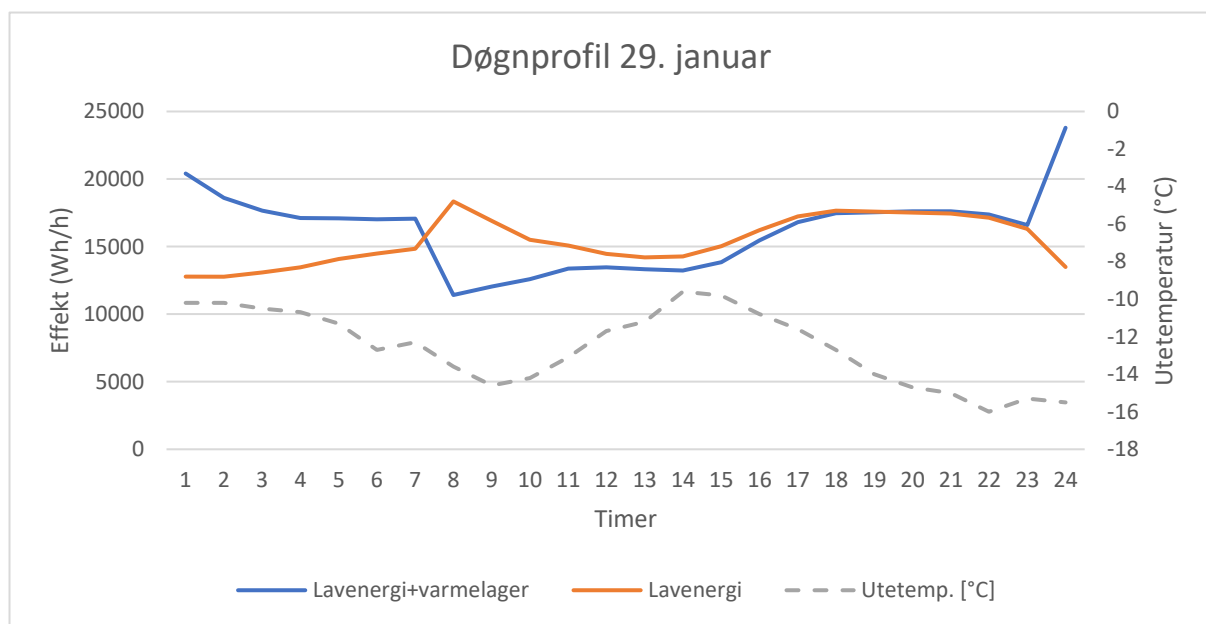
Figur 24: Profil over effektbruk for det originale bygget med og uten varmelagring over natten

Å bruke lavenergibygget som et varmelager om natten ga høyere effekttopper fra oktober til april. Det var noen få enkeltdager hvor effekttoppen ble redusert, men årets høyeste effekttopp økte med 3 kW, til 24 kW. Det var ingen varmebehov i murgården mellom april og starten av oktober, dermed var det heller ingen endring effekttoppene og energibruk i denne perioden.



Figur 25: Effektbruk over året i lavenergibygget med og uten varmelagring over natten

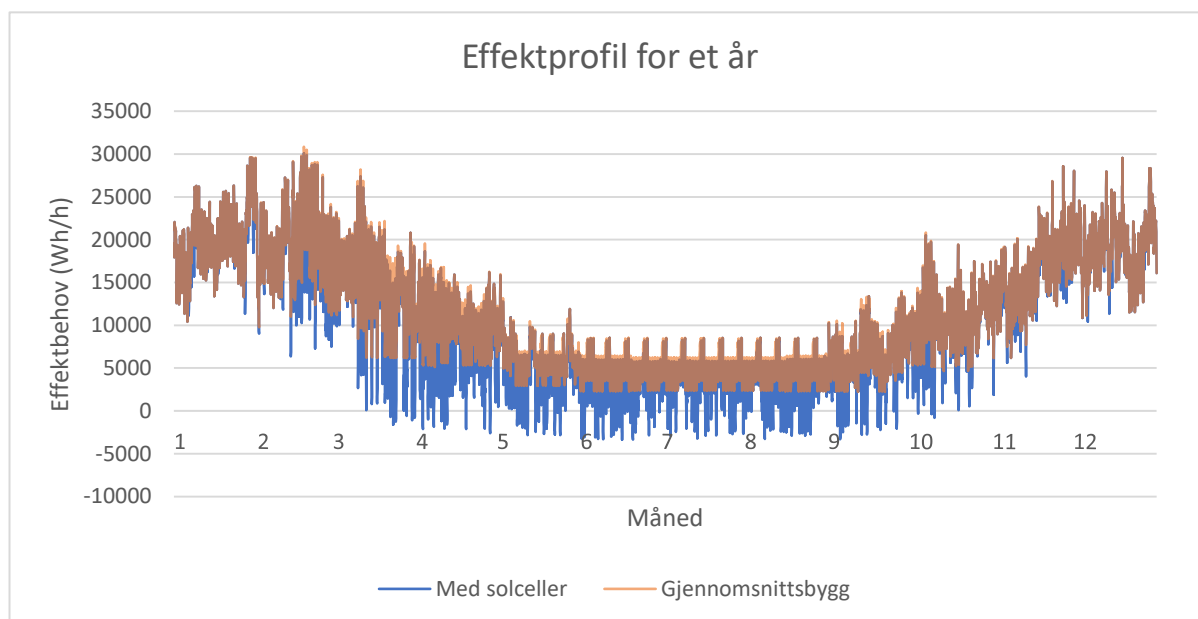
Dagen med høyest effekttopp flyttet seg fra 18. februar til 29. januar i lavenergibygget. Effekttoppen som var klokken 08:00 uten varmelagring ble bunnpunktet for døgnet med varmelagring, og differansen mellom tidligere effekttopp og nytt bunnpunkt var på 7 kW, som tilsvarte 29 % av årets maksimal effekttopp i murgården med varmelagring. Klokken 10:00 var differansen 3 kW, og klokken 12:00 var differansen 1 kW. Effektbruken var høyest da murgården ble varmet opp klokken 23:00 og var synkende utover natten frem til effektbruken falt mellom klokken 07:00 og 08:00. Deretter holdt effektbruken seg under tidligere effektprofil frem til klokken 19:00 hvor effektbruken lå like over frem til klokken 23:00.



Figur 26: Profil over effektbruk for lavenergibygget med og uten varmelagring over natten for den 29. januar

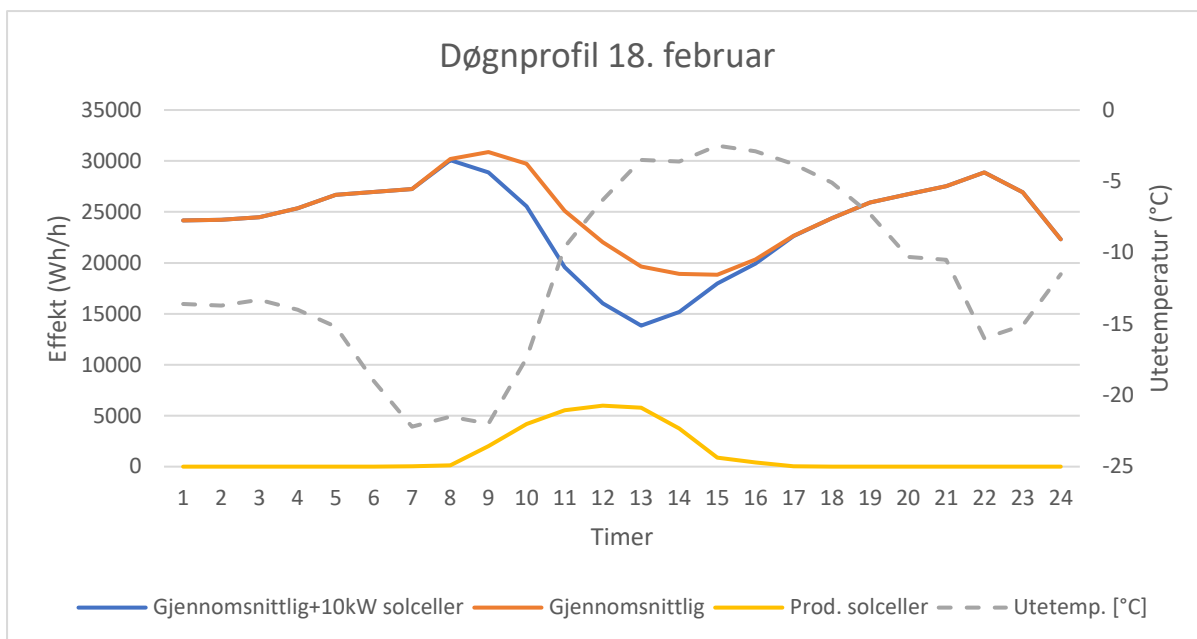
5.2.8 Solceller

Med solceller på taket ble variasjon i effektprofilen større, særlig mellom mars og oktober. Solcelleanlegget produserte elektrisitet på dagtid og senket dermed effektbruken fra nettet på dagtid, som førte til en større differanse i effekttoppene og -bunnene fra februar til november. Maksimal effektbruk fra nettet i løpet av året redusertes med 1 kW, til 30 kW. Fra midten av april til starten av oktober var produksjonen høyere enn forbruket i enkelte timer av døgnet, og bygget sendte dermed elektrisitet ut på nettet.



Figur 27: Effektbruk over året for det gjennomsnittlige bygget med og uten solceller

Døgnet med årets høyeste effekttopp var den 18. februar. Solcelleanlegget produserte elektrisitet fra klokken 08:00 på morgenen til like over klokken 16:00 på ettermiddagen, hvor både den høyeste og laveste effektbruken befant seg. Den tidligere effekttoppen var klokken 09:00 med 31 kW, men solcellene reduserte effektbehovet fra nettet med 2 kW og ny effekttopp ble nå klokken 08:00 og var på 30 kW. Solcellenes elektrisitetsproduksjon reduserte og flyttet bunnpunktet, som ved ingen solceller var på 19 kW klokken 15:00 og ble nå på 14 kW klokken 13:00.



Figur 28: Profil over effektbruk for det gjennomsnittlige bygget med og uten solceller for den 18. februar

5.3 Årlig nettleiepris

All data er presentert i Tabell 9 og Tabell 10 under. Med «dagens nettleie» hadde det originale bygget en årlig nettleiepris på 45 476 kr. Prisen ble redusert med 55 % ved å restaurere murgården til et gjennomsnittlig bygg. Restaureres originalbygget i stedet til et lavenergibygg redusertes prisen med 68 %. Ved innføring av nattsenking i originalbygget redusertes prisen med 5 %, innførtes det i stedet en varmepumpe i originalbygget redusertes prisen med 25 %. Varmelagring om natten i originalbygget førte til 5 % økning i pris. Var murgården allerede restaurert til et gjennomsnittlig bygg ga varmepumpen 13 % reduksjon i årlig pris, mens solceller ga 8 % reduksjon. Restaurertes murgården fra et gjennomsnittlig bygg til et lavenergibygg redusertes den årlige prisen med 30 %, og varmelagring om natten i lavenergibygg ga 5 % økning.

Da tariffen ble byttet til «målt effekt» ble årlig nettleiepris for det originale bygget 16 % lavere enn med «dagens nettleie», som vil si en årlig pris på 38 097 kr. Rehabiliteres murgården til et gjennomsnittlig bygg reduseres prisen med 53 % i forhold til originalbygget med samme tariff, og rehabiliteres bygget til et lavenergibygg i stedet redusertes prisen med 67 %. Nattsenking i det originale bygget ga 5 % reduksjon i årlig pris, en varmepumpe ga 26 % reduksjon og varmelagring om natten ga 15 % økning i årlig pris. I det gjennomsnittlige bygget

ga varmepumpen 14 % reduksjon og solceller 3 % reduksjon i årlig nettleiepris. Rehabiliteres det gjennomsnittlige bygget til et lavenergibygg redusertes den årlige nettleieprisen med 30 %, mens varmelagring om natten i lavenergibygget ga 7 % øking.

Når det bare ses på prisendring ved endret nettariff ga «målt effekt» en lavere årlig pris uansett versjon av bygget i forhold til «dagens nettleie». Endringen var størst i det originale bygget og minst for lavenergibygget og det gjennomsnittlige bygget med solceller. Nattsenkning og varmepumpe var de enkelttiltakene hvor målt effekt relativt sett førte til størst reduksjon på 17 %, mens solceller på det gjennomsnittlige bygget og varmelagring i det originale bygget ga minst relativ prisreduksjon på 10 %.

Tabell 9: Årlig nettleie med tiltakene, samt differansen mellom årlig kostnad for de to tariffene, alle priser i kr.

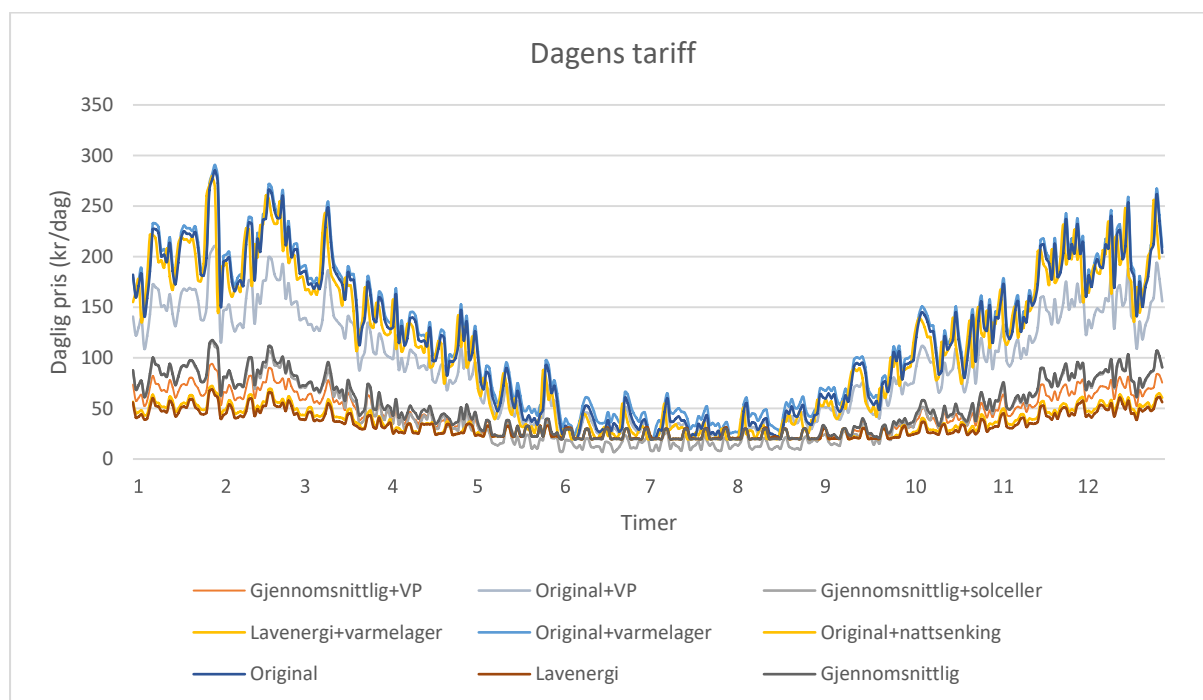
Energiltak	Målt effekt	Dagens nettleie	Differanse
Original	38,097	45,476	-7,379
Original med nattsenkning	36,168	43,395	-7,227
Original med varmelagring	43,203	47,783	-4,580
Original med varmepumpe	28,326	34,207	-5,880
Gjennomsnittlig	17,761	20,671	-2,910
Gjennomsnittlig med varmepumpe	15,265	18,074	-2,808
Gjennomsnittlig med solceller	17,159	18,993	-1,834
Lavenergi	12,424	14,379	-1,955
Lavenergi med varmelagring	13,249	15,115	-1,866

Tabell 10: Endring i årlig kostnad med «målt effekt» i forhold til originalt bygg (kolonne 1) og gjennomsnittlig bygg (kolonne 2). Endring i årlig kostnad med «dagens nettleie» i forhold til originalt bygg (kolonne 3) og gjennomsnittlig bygg (kolonne 4) og prosentvis reduksjon i årlig kostnad med «dagens nettleie» for tiltakene i forhold til originalbygget (kolonne 5)

Energiltak	% endring, målt effekt	% endring, målt effekt	% endring, dagens nettleie	% endring, dagens nettleie	% endring, overgang ny tariff
Original	0%	114%	0%	120%	-16%
Original med nattsenkning	-5%	104%	-5%	110%	-17%
Original med nattøkning	13%	143%	5%	131%	-10%
Original med varmepumpe	-26%	59%	-25%	65%	-17%
Gjennomsnittlig	-53%	0%	-55%	0%	-14%
Gjennomsnittlig med varmepumpe	-60%	-14%	-60%	-13%	-16%
Gjennomsnittlig med solceller	-55%	-3%	-58%	-8%	-10%
Lavenergi	-67%	-30%	-68%	-30%	-14%
Lavenergi med nattøkning	-65%	-25%	-67%	-27%	-12%

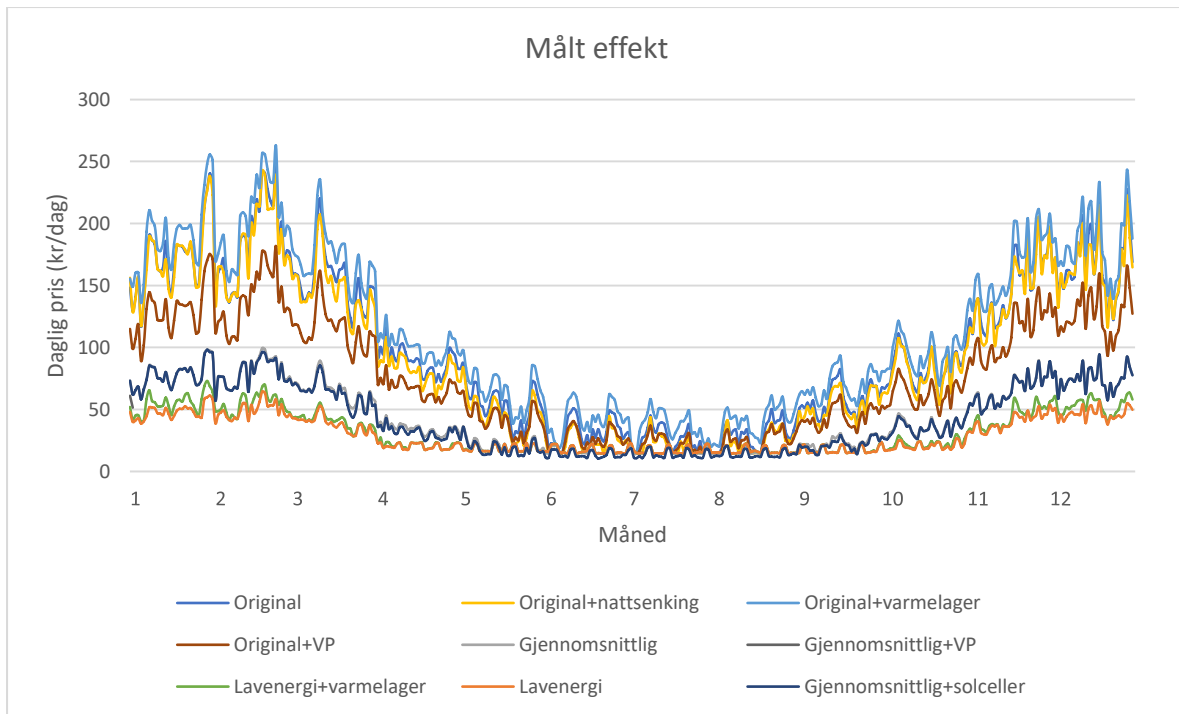
5.4 Daglig nettleiepris

Med «dagens nettleie» for tiltakene var det opp til 250 kr/dag differanse i pris om vinteren, og tilnærmet lik pris om sommeren (juni-august). Alle tiltakene ga lavere daglig pris utenom nattøking i originalbygget, som lå like over hele året. Det største fallet i daglig pris om vinteren skjedde da murgården gikk fra originalt til gjennomsnittlig bygg og var på rundt 150 kr, videre til lavenergi reduserte daglig pris videre med rundt 50 kr/dag. Solceller ga en lavere daglig pris mellom starten av mai og slutten av august i forhold til resten av tiltakene.



Figur 29: Pris for tiltakene over året med dagens tariff, kr/dag

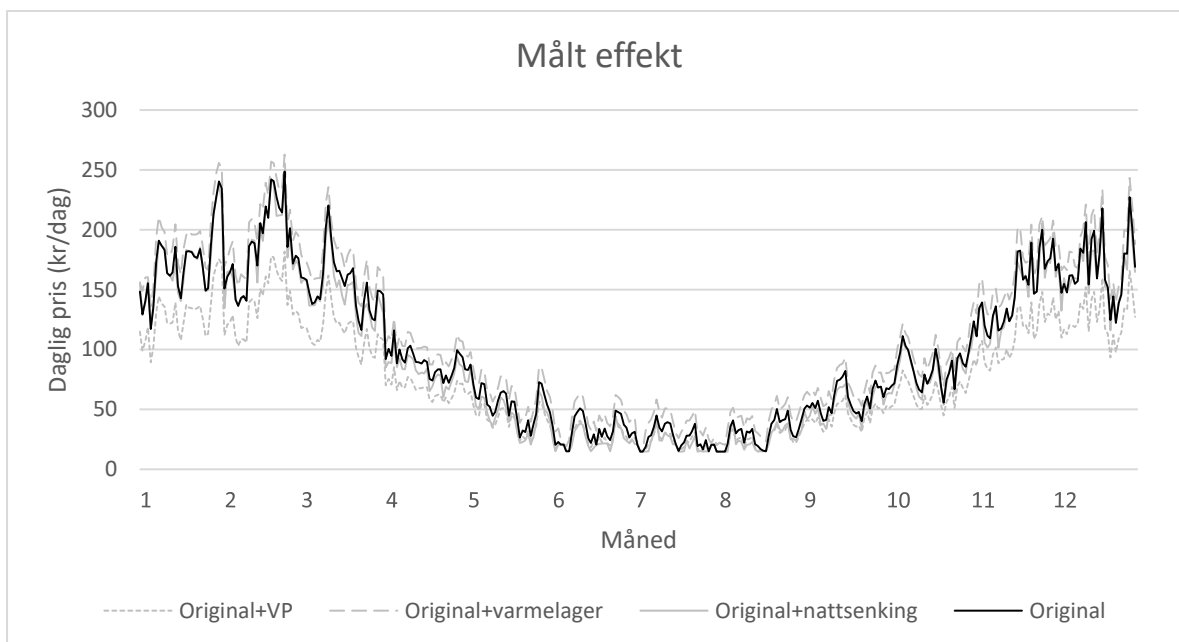
Den daglige prisen med «målt effekt» hadde noe lavere pristopper om vinteren enn «dagens nettleie». «Målt effekt» ga opp mot 200 kr/dag differanse i daglig pris for beste og dårligste tiltak om vinteren. Mellom juni og august var prisen tilnærmet lik, men enkelte tiltak ga en større differanse. Også med «målt effekt» ga alle tiltakene utenom nattøking i originalt bygg en lavere daglig pris, men nå ga varmepumpen en markant større prisreduksjon om vinteren, nesten 50 kr/dag reduksjon i det originale bygget. Gjennomsnittlig bygg fikk en daglig prisreduksjon på noe under 150 kr/dag om vinteren i forhold til originalt bygg, og lavenergibygget reduserte daglig pris videre med rundt 40 kr/dag. For tiltak innenfor hvert av de nevnte byggene er det mindre differanser og er gjennomgått med egne grafer under, figurene er inndelt etter originalt bygg, gjennomsnittlig bygg og lavenergibygg, og er med tariffen «målt effekt».



Figur 30: Pris for tiltakene over året med «målt effekt», kr/dag

5.4.1 Originalt bygg

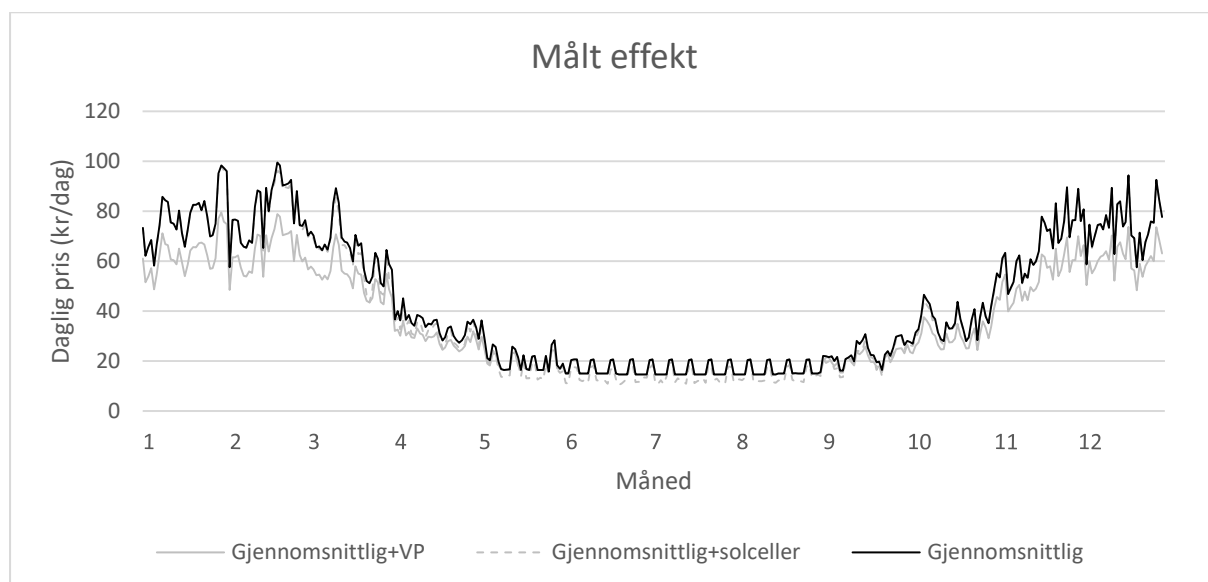
Varmepumpen ga en reduksjon på rundt 50 kr/dag i vintermånedene og 3-4 kr/dag om sommeren. Varmelagring ga rundt 10-15 kr/dag høyere pris gjennom året i forhold til originalbygget. Nattsenking ga liten endring i pris om vinteren og en liten reduksjon om sommeren. Fra april til november var differansen i pris lav for alle tiltakene.



Figur 31: Pris for tiltakene i det originale bygget med «målt effekt», kr/dag

5.4.2 Gjennomsnittlig bygg

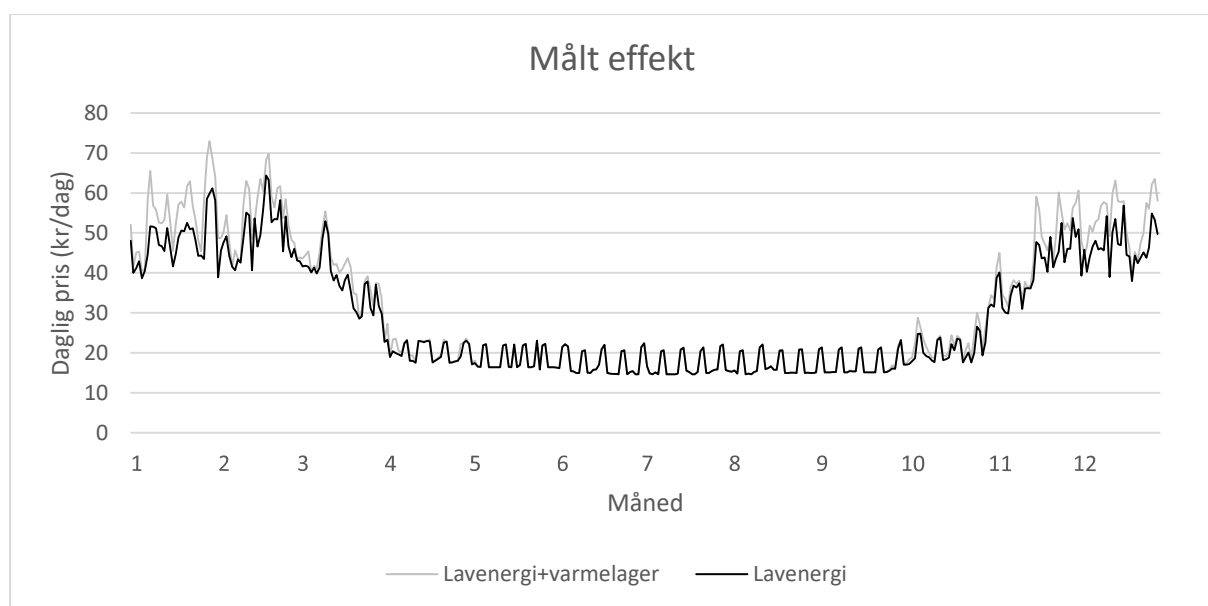
Det gjennomsnittlige bygget hadde mindre nytte av varmepumpen og sparte rundt 10 kr/dag om vinteren, og ingenting mellom mai og september. Solceller ga rundt 3-4 kr reduksjon i daglig pris mellom mai og september, men var ellers tilnærmet lik gjennomsnittlig bygg.



Figur 32: Pris for tiltakene i det gjennomsnittlige bygget med «målt effekt», kr/dag

5.4.3 Lavenergi bygg

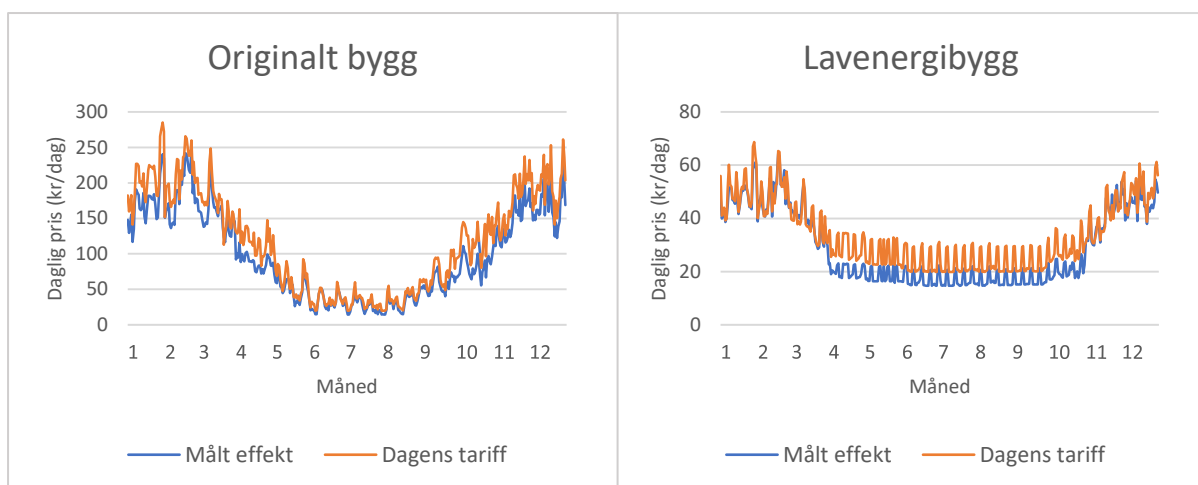
I lavenergibygget ga varmelagring en økning i daglig pris inntil 13 kr/dag. Fra starten av mai til starten av oktober var det ingen forskjell i pris siden murgården ikke hadde noe oppvarmingsbehov i denne perioden.



Figur 33: Pris for tiltaket i lavenergibygget med «målt effekt», kr/dag

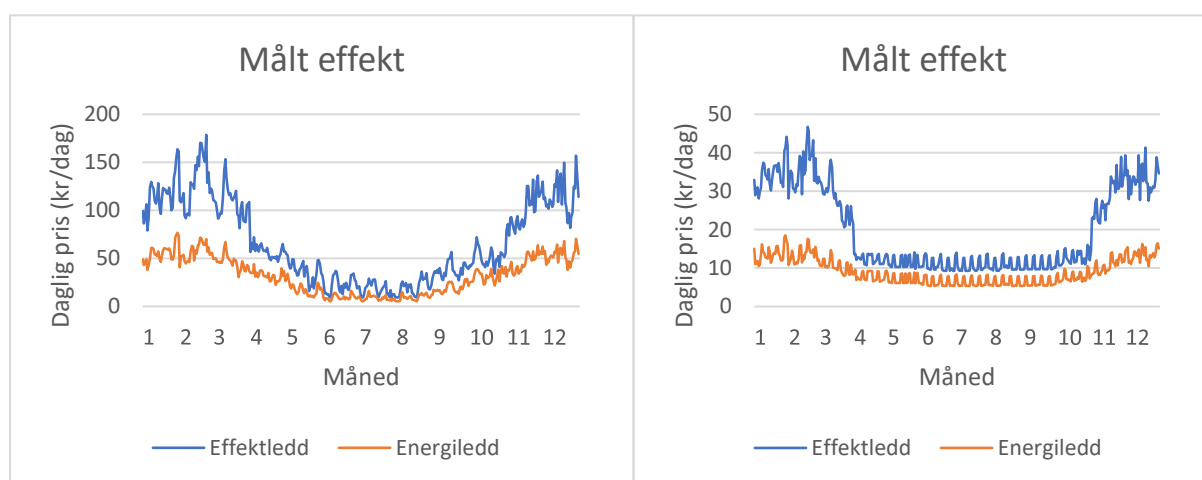
5.4.4 Sammenligning av tariffene

De to tariffene ga tilsvarende samme fordeling av daglige priser over året da de ble stilt mot hverandre med samme tiltak. «Målt effekt» ga lavere priser om sommeren og var nær «dagens nettleie» om vinteren hvis murgården hadde bedre byggteknisk standard, mens i det originale bygget var det motsatt. Trenden kunne bli sett for alle tiltakene, var tiltakene utført i det originale bygget var daglig pris tilnærmet lik om sommeren og lavere resten av året, mens om tiltakene var utført i det gjennomsnittlige bygget eller lavenergibyggget var prisen lavere om sommeren.



Figur 34: «Målt effekt» mot dagens tariff over året i det originale bygget (venstre) og i lavenergibyggget (høgre), kr/dag

Ved å splitte opp prisstrukturen til «Målt effekt» vises fordelingen mellom energileddet og effektleddet, og hvordan de varierte over året. For det originale bygget endret effektprisen per dag seg med nesten 50 kr/dag i overgangen mars/april og 20 kr/dag i overgangen oktober/november. Ved overgangen om våren endret utetemperaturen seg fra rundt 0 °C til 5-10 °C, mens utetemperaturen holdt seg rundt 5-10 °C ved overgangen på høsten, ref. Figur 3. For lavenergibyget var endringen litt over 10 kr/dag både vår og høst. Den generelle strukturen av prissammensetningen var gjeldende for alle tiltak, desto bedre byggteknisk standard desto flatere og jevnere var prisen i perioden uten et oppvarmingsbehov.



Figur 35: Fordelingen av prisen mellom effektleddet og energileddet i «målt effekt» gjennom året for lavenergibyget (venstre) og det gjennomsnittlige bygget (høyre), kr/dag

6 Diskusjon

6.1 Utetemperatur og energibruk

Ved lav byggteknisk standard, originalbygget, økte effekten med 1,7 kW for hver grad utetemperaturen sank, og utetemperaturen forklarte 92 % av energibruken i murgården, ref. Figur 4. Ved en utetemperatur på $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ mistet det originale bygget 60 kW som varmetap gjennom ytterskallet, hvis strømprisen antas å være 1 kr vil det koste 60 kr hver time temperaturen er så lav. Det var ikke ofte utetemperaturen kom ned mot slike verdier, men det var ved slike utetemperaturer de største effekttoppene i murgården forekom.

Ved høy byggteknisk standard, lavenergi, økte effekten til oppvarming med 0,2 kW for hver grad utetemperaturen sank, og utetemperaturen forklarte 43 % av energibruken i murgården, ref. Figur 4. Ved en utetemperatur på $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ mistet lavenergibygget 11 kW som varmetap gjennom ytterskallet.

ET-kurvene, Figur 4, fra simuleringene kan derimot ikke overføres helt til virkelige situasjoner. Beregningene bygger på simuleringer og vil dermed være forenklinger av virkeligheten, dessuten ble kurvene slakere enn de burde være siden murgården nådde et punkt hvor høyere utetemperatur ga høyere enn ønsket innendørstemperatur. For det originale bygget virker dette punktet å ligge rundt $17\text{ }^{\circ}\text{C}$ og for lavenergibygget rundt $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, ref. Figur 4: Forholdet mellom energibruk og utetemperatur (ET-kurve) i original murgård (venstre) og lavenergibygget (høgre). Figur 4. Ved disse utetemperaturene synker ikke de maksimale timesverdiene i ET-kurvene. Altså var $1,7\text{ kW/K}$ og særlig $0,2\text{ kW/K}$ noe lavt.

Bergesen et al. (2012) sa at Norge sparer 2-3 TWh/år ved at den gjennomsnittlige utetemperaturen er høyere enn den var på 1980-tallet. En høyere utetemperatur fører til at differansen mellom inne- og utetemperaturen er mindre og dermed brukes det mindre energi for å oppnå den ønskede innetemperaturen. Med en lav byggteknisk standard spares det mer energi enn for bygg med høy standard, av den enkle grunn at varmegjennomstrømningen er høyere i byggene med lav standard. Ved høyere utetemperaturer minskes varmetapet, og isolasjonsgraden av bygget får mindre betydning, men Norge er fortsatt et land med kalde vintre og isolering av bygg er viktig for reduksjon i energi og effektbruk.

6.2 Effektprofiler med tiltak

Endringene i energibruk, effektbruk over året og effektprofilen til døgnet med høyest effektbruk i løpet av året blir gjennomgått og diskutert i etterfølgende underkapitler.

6.2.1 Originalt bygg

Originalbygget ble brukt som utgangspunkt for å vurdere de ulike tiltakene. Murgården fikk et svært høyt årlig energibruk hvor spesifikt energibruk var rundt 2,5 ganger høyere enn en statistisk gjennomsnittlig husholdning (Statistisk sentralbyrå, 2014a). Oppvarmingsbehovet stod for 69 % av den totale energibruken, som prosentmessig er nær hva Bergesen et al. (2012) kom frem til. Prosentandelen ville vært noe høyere om ikke energibruken til utstyr ble justert opp til 28 000 kWh/år for å stemme overens med el-spesifikt utstyr, ekskludert belysning, for å samstemme med Bergesen et al. (2012). Varmetilførselen fra utstyr inkludertes ikke i beregningene for energibruk til oppvarming i SIMIEN, men avga 60 % av energibruken som varme. For belysning var det 100 % av energibruken som endte opp som varme, ref. kapittel 2.2.

Over året varierte effekttoppene fra 20 kW om sommeren til maksimalt 79 kW i februar, men for mesteparten av vinteren var effekttoppene under 60 kW. Varmebehovet utgjorde rundt 80 % av effekttoppene gjennom hele året, noe som gav store variasjoner i effektbruk som en følge av variasjonene i utetemperaturen.

Originalbygget var mye påvirket av utetemperaturen med over 2/3 av årlig energibruk for romoppvarming. Siden originalbygget hadde et høyt varmetap økte effektbruken markant når utetemperaturen falt, og motsatt når utetemperaturen økte om morgenen. Dagen som hadde den kaldeste timen, var også dagen med den høyeste effekttoppen, ref. Figur 6. Effekttoppen kom klokken 07:00 da utetemperaturen var på sitt laveste, deretter sank effektbruken raskt ettersom utetemperaturen steg. Så lenge været er stabilt gjennom døgnet vil utetemperaturen være lavest om morgenen før solen begynner å varme opp omgivelsene, og murgården vil måtte øke effektbruken til oppvarming utover natten for å opprettholde innendørstemperaturen, som for originalbygget den 23. februar, ref. Figur 6. Den byggtekniske standarden, isolasjon og lufttetting, til murgården var så lav at det originale bygget også trengte oppvarming om sommeren selv om utetemperaturen var opp mot 30 °C på dagtid. Da utetemperaturen falt under 14-15 °C på sommernetene startet oppvarmingen for å opprettholde den satte innetemperaturen på 21 °C. Innendørstemperaturen i murgården kunne på dagtid være opp mot 30 °C, men falt såpass raskt om kvelden at oppvarming var nødvendig om natten.

6.2.2 Gjennomsnittlig bygg

Romoppvarming var blitt en betydelig redusert energipost i det gjennomsnittlige bygget. Her gikk 41 % av total energibruk til romoppvarming. Murgården brukte 57 % mindre total energi over året enn originalt bygg, ref. Tabell 8, som hovedsakelig kom fra lavere varmetap ved bedre isolasjon i ytterskallet. For det gjennomsnittlige bygget var den største enkeltkilden til varmetap den naturlige ventilasjonen med 36 %, ref. Figur 10. Naturlig ventilasjon gjør at varmen i luften kontinuerlig forsvinner ut av murgården, og tilført luft må varmes opp. Oppvarming bidro fortsatt med så mye som 2/3 av effekttoppene mellom september og mai. Årets største effekttopp var derimot ikke lenger på døgnet med den laveste utetemperaturen, noe nattsenkning med 2 °C bidro til siden senkning av innendørstemperaturen fører til lavere varmetap.

Murgårdens effektprofil for døgnet hvor årets maksimale effekttopp forekom var mer varierende over døgnet. Profilen hadde en effekttopp da klokken var 09:00 og en noe mindre effekttopp klokken 22:00. Effektbruken over døgnet var stort sett fortsatt en speiling av utetemperaturen, som vil si at effektbruken økte når utetemperaturen sank og motsatt. En høyere utetemperatur på natten frem til klokken 05:00, sammen med senket innendørstemperatur, hadde nok en påvirkning på at effektbruken var lavere om natten enn effekttoppen, ref. Figur 9. Profilen fikk en skarp oppgang i effektbruk fra klokken 07:00 til 08:00, da innendørstemperaturen var på vei opp igjen til 21 °C. Siden utetemperaturen var stabil i tidsrommet hvor effekttoppen forekom kunne det bety at temperaturøkningen i bygget førte til at effekttoppen ble høyere. Derimot viste timesverdiene en økning for utstyr med 1,5 kW fra klokken 07:00 til 08:00, og enda 0,7 kW fra klokken 08:00 til 09:00, og oppvarmingen var konstant på 19 kW fra klokken 06:00 til 09:00. Selv om effektbruken til utstyr fortsatte å øke de neste timene sank effektbruken til oppvarming, som netto gav en nedgang i effektbruk etter klokken ni.

Fra september til mai ble effekttoppene styrt av oppvarmingsbehovet. Det virket som om også gjennomsnittsbygget brukte en såpass stor andel av energien til oppvarming at annet energibruk bare ble krusninger i bølgene som oppvarmingen lager. Effektbruk til utstyr gav effekttoppen den 18. februar 2,5 kW ekstra, ref. Figur 9, som utgjorde 8 % ekstra økning. 8 % økning er fortsatt en del, men utenom laststyring av varmtvann etter bruk av dusjen vil mesteparten av utstyret som brukes av personer ikke være praktisk mulig eller interessant for beboerne å flytte. Dette vil være utstyr som brukes for daglige rutiner om morgenen, og vil oppleves som en kostnad å endre på.

Gjennomsnittsbygget holdt bedre på varmeenergien enn det originale bygget. Nå måtte utetemperaturen synke til under 10 °C om natten for at oppvarmingen skulle starte. Dette hadde også med at murgården benyttet nattsinking, som en forenkling kan det sies at terskelen flyttes like mange grader som nattsinkingen ble stilt inn til å redusere innendørstemperaturen. Dermed ville gjennomsnittsbygget uten nattsinking benyttet oppvarming ved utetemperaturer under 12 °C. Innendørstemperaturen steg derimot til litt over 30 °C på dagtid, noe som i virkeligheten ville vært en høyere temperatur enn beboere ville tolerert. Beboerne ville nok åpnet vinduer for å luften utetemperaturen på dagtid var ikke mer enn 20 °C, og ville da byttet ut inneluften med kjøligere luft. Murgården var blitt noe sensitiv for overoppheting, og moderate utetemperaturer på over 13 °C førte til at innendørstemperaturen økte over 21 °C. Temperaturøkningen hadde et stort bidrag fra soltilskudd og varmetilførsel fra internlast, solen gav opp mot 10 kW og utstyr gav 6 kW. Med mer solskjerming og/eller mindre energibruk til utstyr ville utetemperaturen måtte være høyere for at innendørstemperaturen skulle øke uten varmetilførsel fra oppvarmingsapparater.

6.2.3 Lavenergibygget

Romoppvarming ble nå en liten del av energibruken for lavenergibygget. 15 % av årlig energibruk gikk til romoppvarming, og den totale energibruken ble redusert med 72 % i forhold til originalt bygg eller 34 % i forhold til det gjennomsnittlige bygget, ref. Tabell 8. En stor andel av energieffektiviseringen kom fra varmegjenvinningen i det balanserte ventilasjonsanlegget. Romoppvarmingen utgjorde rundt 50 % av effekttoppene om vinteren, mens det var ingen oppvarming mellom mai og starten av oktober som gjorde at det kun var el-spesifikt utstyr som laget disse toppene.

Døgnet med høyest effekttopp var det samme som for det gjennomsnittlige bygget, 18. februar. Her kom effekttoppen klokken åtte, og fikk en spissere effekttopp. At toppen ble spiss kom av at effektbruken fra oppvarming begynte å synke drastisk etter klokken 08:00, effektbruken til oppvarming var på 10 kW klokken 08:00 og sank 3 kW til neste time samtidig som utstyr hadde en liten økning på 0,5 kW hver time frem til klokken 11:00, samtidig bidro belysning med 1,4 kW fra klokken 08:00. Romoppvarming var nå 50 % av effektbruken i stedet for 80 % som originalbygget hadde, som gav andre energiposter større mulighet til å påvirke profilen ved for eksempel å være mer bevisst på utstyret som brukes samtidig i husholdningen.

Lavenergibygget hadde et svært lavt varmetap. Fra starten av mai stoppet oppvarmingen nesten helt, selv ved utetemperaturer nede i 5-6 °C om natten brukte ventilasjonsvarmen under 1 kW.

Oppvarmingen var lavere enn hva den burde være fordi utetemperatur på 10-12 °C om dagen førte til innendørstemperaturer på 30 °C, som vil være varmere enn beboerne vil tolerere og ventilasjonsanlegget ville blitt styrt til å holde en jevnere temperatur ved å gi kjøling på dagtid. Dermed ville ikke murgården hatt like mye varmeenergi på kvelden og varme ville måtte tilføres for å opprettholde 19 °C om natten. Et annet interessant funn var hvor sensitivt bygget ble for å overopphetes, internlastene og soltilskudd fikk en stor betydning for innendørstemperaturen. Lavenergibyggget fikk innendørstemperaturer over 21 °C ved utetemperaturer på 6 °C, da var soltilskuddet på 5-6 kW og internlastene på 7 kW. Temperaturdifferansen var på 13 °C og bygget mistet da 13 kW, trekkes internlastene fra gjenstår 6 kW som dekkes av soltilskuddet. Siden scenarioet med en utetemperatur på 6 °C var klokken 8 om morgenen ville byggets kjølesystem i virkeligheten kunne slå inn, og bunnen i effektbruk om dagen ville vært hevet, samtidig som effektbruken om natten ville vært noe høyere på grunn av mindre varme i bygget på kvelden.

6.2.4 Sammenligning av de tre hoved-versjonene

Effekttoppen ved årets kaldeste time fikk en stor reduksjon ved å renovere murgården. Renovering fra originalt til gjennomsnittlig bygg førte til en reduksjon i maksimal effektbruk på 61 %, og en videre renovering fra gjennomsnittlig til lavenergibygg førte til 32 % reduksjon i maksimal effektbruk. Siden begge renoveringene hadde nattsinking var effektbruken om natten flatere enn for det originale bygget. Lavenergibyggets oppvarming hadde fortsatt en effekttopp til samme tid som originalbygget, men toppen var mindre markant og reduksjonen etterpå mindre bratt.

Utsiktet ble maksimal effektbruk til oppvarming for gjennomsnittsbygget satt til 19 kW. Den 23. februar nådde oppvarmingen denne grensen og førte til at murgårdens innendørstemperatur i stedet falt under 19 °C og var på 17 °C klokken 07:00. Det gjennomsnittlige bygget tilførte dermed 19 kW varme frem til klokken 09:00 før innendørstemperaturen var tilbake til 21 °C. Dette vises i Figur 14 der effektbruken om natten var flat frem til klokken 07:00, hvor effektbruken økte med 1 kW og enda 2 kW til klokken 08:00. Simuleringen starter internlastene klokken 08:00 og tilfører 6 kW effektbehov, 4 kW av disse ble avgitt igjen som varme til murgården og netto effektøkning var 2 kW fra klokken 07:00 til 08:00. Solen begynte å varme opp bygget fra klokken 08:00 den 23. februar og bidro til å senke effektbruken.

Den 23. februar hadde særlig lavenergibygget en flat profil på dagtid. Lavenergibygget opprettholdt 21 °C ved en effektbruk til direkte romoppvarming på rundt 2 kW ved utetemperaturer på -5 til -9 °C. Gjennomsnittsbygget økte oppvarmingen fra rundt 10 kW til 13 kW da utetemperaturen sank til -9 °C, mens originalbygget måtte øke effektbruken fra 35 kW til 40 kW.

6.2.5 Varmepumpe

Installeres en varmpumpe i originalbygget senkes energiandel til romoppvarming noe, fra 69 % til 63 %, og for gjennomsnittsbygget førte en varmpumpe til at romoppvarmingens energiandel redusertes fra 41 % til 34 %. Reduksjonen i prosentandelen kom av at varmpumpen tilførte murgården mer energi enn den brukte. Varmepumpen førte til en reduksjon i energibruk for originalbygget og gjennomsnittsbygget på henholdsvis 23 % og 14 %.

At varmpumpen hadde en årlig gjennomsnittlig COP var et problem da hensikten var å se på effektbruken. I virkeligheten varierer en varmpumpes COP ettersom temperaturen til mediet den henter varmeenergi fra varierer, dette gjelder særlig for luft-til-luft varmpumper hvor temperaturen kan synke så lavt at varmpumpen er tilnærmet som en elektrisk ovn. For en varmpumpe som henter varme fra jorden eller havet vil temperaturen og COP være mye mer stabil over året. Siden det er antatt en LL-varmpumpe antas det at i virkeligheten reduseres årets høyeste effekttopp kun marginalt, og effektreduksjonen i simuleringene på 21 kW i originalbygget og 7 kW i gjennomsnittsbygget kan neglisjeres. Døgnprofilen for den 18. februar ville dermed hatt en større variasjon ved at toppen ble som med ingen varmpumpe, mens på dagtid da utetemperaturen økte med 20 °C gav varmpumpen reduksjonen i effektbruk som simuleringen viste. Med en COP som følger utetemperaturen ville effekttoppene på vinteren stort sett vært som for murgården uten varmpumper, og tilsier at alternative oppvarmingsteknologier må stå som back-up store deler av året.

En varmpumpe kan også brukes som aircondition og kjøle ned bygget. Siden fokuset var vinterhalvåret er ikke dette utført i simuleringene, men ville i virkeligheten gitt et høyere effektbehov om sommeren da innendørstemperaturen steg til 30 °C for originalbygget og over 40 °C for gjennomsnittsbygget. Originalbygget fikk høye innendørstemperaturer fra starten av mai til slutten av august, mens gjennomsnittsbygget fikk høye innendørstemperaturer fra slutten av mars til starten av oktober, ref. Figur 15. I simuleringene bruktes kun varmpumpen til oppvarming, som vil si at alle effekttoppene med varmpumpe i murgården er på grunn av

oppvarming. Sammenlignes de høye innendørstemperaturene og årsprofilen for det gjennomsnittlige bygget kan det se ut som profilen ville fått høyere effektbruk om sommeren, men også noe flatere forbruk. Effekttoppene som forekom tidlig om morgenen i originalbygget ville blitt noe høyere siden murgården ville hatt et mindre varmereservoar fra dagtid. Gjennomsnittsbygget som ikke hadde noe varmebehov om sommeren i simuleringene ville nok fått enkelte døgn hvor oppvarming ble nødvendig for å holde innendørstemperaturen over 19 °C. Dette kommer av at varmepumpen ville brukt energi til å kjøle bygget på dagtid, effektbruken ville dermed økt gjennom hele døgnet om sommeren. Å bruke varmepumpen til kjøling fører dessuten til at den sparte energien til oppvarming raskt brukes opp ved bruk av kjøling på varme dager. En slik bruk av varmepumpen vil derimot ikke øke årets største effekttopper som forekommer på kalde dager.

6.2.6 Nattsinking

Nattsinking var inkludert i gjennomsnittsbygget og lavenergibyget, men ble sett på separat i originalbygget for å se eksplisitt på dens virkning. Å senke innendørstemperaturen med 2 °C, alt annet likt, førte til at varmetapet redusertes med 2,6 kW.

Effekttoppene i originalbygget forekom stort sett rundt klokken 07:00 om morgenen, men varierte noe alt etter om utetemperaturen var lavest tidligere på natten eller senere på morgenen. Utover morgenen gav solen varme til bygget og ville uansett vært med å bringe effektbruken ned. Nattsinkingen i simuleringene reduserte innendørstemperaturen med 2 °C fra klokken 23:00 til og med klokken 07:00, i timen etterpå brukte varmesystemet noe ekstra effekt i forhold til nattestimene for å øke innendørstemperaturen igjen og forskjøv dermed effekttoppen.

Ses det kun på romoppvarmingen, som nattsinkingen endret på, viser dataene at effekttoppene redusertes med 1-4 kW for de kaldeste døgnene. Effektbruken var fortsatt svært avhengig av utetemperaturen. Og sank utetemperaturen tidlig på natten gjorde nattsinking at effektøkningen var mindre bratt enn det originale bygget, mens om utetemperaturen falt senere på natten ble det en avkobling der effektbruken sank i timen hvor nattsinkingen slo inn og en forskyvning av effektbruken frem til klokken 08:00 hvor murgården var tilbake til 21 °C. Nattsinkingen gav en flatere profil ved å senke effektbruken om natten og øke den på dagtid.

Selv om effekttoppen fra oppvarming var lavere på morgenen enn ved originalt bygg var nå effekten i den nye effekttoppen høyere enn tidligere. Summen gav som regel en samlet lavere effekttopp, men om utetemperaturen ikke steg i de timene hvor innendørstemperaturen skulle opp igjen ble effekttoppen lik som for det originale bygget.

6.2.7 Varmelagring

Å bruke originalbygget som et varmelager ved å øke temperaturen om natten fungerte ikke i simuleringen. Tanken var at effekttoppen om morgenen kunne senkes nok til å veie opp for den økte energibruken i løpet av natten, men energibruken til oppvarming var en for stor del av total energibruk. Nattsinking førte til en økning i innendørstemperatur i tidsperioden hvor utetemperaturen var raskt synkende og førte dermed til en brattere og høyere effektøking fra klokken 22:00 til 23:00, som var samme tid hvor internlastene i murgården skrur av og dermed reduseres varmetilførselen fra disse postene. Effekttoppene flyttet seg ikke i tid og var opp til 6 kW høyere. Nattøking gjorde motsatt av nattsinking og forsterket i stedet profilen ved å øke toppene og senke bunnene, på den måten ble endringen i effekt større ved klokkeslettene 23:00-24:00 og 07:00-10:00. Tiltaket fungerte delvis som forventet ved at effektbruken etter klokken åtte om morgenen ble redusert i forhold til originalt bygg.

Det originale bygget slapp ut store mengder varmeenergi på kort tid når det var kaldt ute. Hadde tidspunktet hvor innendørstemperaturen ble satt ned vært en time tidligere ville effektbruken klokken syv vært lavere, men døgnets effekttopp ville fortsatt vært forhøyet.

Lavenergibyget fikk også større effekttopper i løpet av døgnet. Disse toppene forekom derimot ved midnatt for deretter å synke noe utover natten. Deretter ville effektbruken stige igjen om morgenen, der størrelsen på denne effekttoppen var i nærheten av det vanlige lavenergibygets effekttopp. Effekttoppene om morgenen var forskjøvet en time frem i tid og gav en markant reduksjon i effekt for hele formiddagen, som kunne gi rom til mer effektbruk fra utstyr, belysning, oppvarming av vann og lignende. Derimot reduserte nattøking ikke murgårdens effekttopper og varmetapet måtte være lavt for å kunne flytte effekttoppen. Å senke effekttoppen om morgenen i timene etter at temperaturen ble satt ned igjen til 21 °C hadde en konsekvens i simuleringene, det oppstod en enda høyere effekttopp da innendørstemperaturen økte kl 23:00. Denne konsekvensen ødela bakgrunnen til å utføre tiltaket, siden motivasjonen var å senke døgnets høyeste effekttopp.

Å drive varmesystemet slik at oppvarming slås av ved tider av døgnet som har et høyt effektbruk fungerte. For at det skal virke hensiktsmessig må det først kartlegges hvor i løpet av døgnet husholdningen har sin effekttopp, slik at ikke en ny og større effekttopp skapes. Andre apparater som bruker mye effekt kan også styres for å senke effektbruken, men det er varmelaster som er lettest å styre da det tar noe tid før kunden vil legge merke til en reduksjon i temperatur. Le Dreau og Heiselberg (2016) testet å bruke et gjennomsnittlig 80-talls murhus

og et passivhus som et varmelager. De så på to ulike varmekilder, gulvvarme og radiatorer. Gulvvarme innehar mer varmeenergi enn radiatorer og kan holde en komfortabel innendørstemperatur over lengre tid. Et bygg med lav byggteknisk standard har en stor mengde varmeenergi som kan forskyves i tid, men over få timer, passivhuset har liten mengde varmeenergi som kan forskyves, men kan til gjengjeld forskyves i mange timer om beboerne er hjemme (Le Dreau & Heiselberg, 2016).

I simuleringene av originalbygget og lavenergibyget vist det også at ulik byggteknisk standard ga forskjeller i hva varmelagring i husholdninger kunne utrette. Det originale bygget hadde større effektbruk og kunne i to timer redusere effektbruken med over 10 kW før innendørstemperaturen sank to grader. Lavenergibyget hadde et mindre effektbehov til oppvarming og ville dermed ikke kunne redusere samme mengden effekt. Derimot holdt lavenergibyget bedre på varmen, så lenge solen tilførte varme sammen med annet utstyr kunne innendørstemperaturen opprettholdes uten at varmeanlegget var på. Selv ved -10 °C trengtes kun 2 kW varme i tillegg til varmetilførsel fra el-spesifikt utstyr, som ble tilført fra solen på dagtid.

6.2.8 Solceller

Solcellene omformet lite effekt fra solen om vinteren, som var da de største effekttoppene forekom. Det viste seg også at effektbruken i simuleringene fulgte utetemperaturen, som sank hver natt og var også da solen ikke skinte. I tillegg til et økt oppvarmingsbehov om natten var det også tidsperioden hvor belysningen var på. På vinteren konverterte solcellene mindre energi og til feil tidspunkt av døgnet. Solcellene forsterket hovedsakelig variasjonen i effektuttaket fra nettet over døgnet på vinteren.

Derimot kom solen opp tidlig nok fra slutten av februar til å kunne redusere effekttoppene som kom om morgenen. Starter personer dagen etter at solen er oppe vil solcellene produsere deler av elektrisitetsbruken som gir høyere effektbruk og kommer fra bruk av elektrisk utstyr. Solcellene reduserte effektbehovet fra nettet hele formiddagen, litt på samme måte som varmelagringen om natten gav et lavere effektbehov på formiddagen. Med batterier kunne energien fra solcellene blitt brukt til å redusere effekttoppene i store deler av året.

Vinklingen på solcellene har generelt stor betydning. I simuleringen står de rett sør, som gir mest energiproduksjon over døgnet. Hadde solcellene stått litt mot øst ville solstrålene truffet mer normalt på modulene, som gir best produksjon. En slik vinkling gjør derimot at ettermiddagssolen treffer dårligere.

Nettleiepris

Å legge til et effektledd i nettleien som beregner størsteparten av den daglige prisen gir mer rom for variasjon i pris fra dag til dag om størrelsen på effekttoppen varierer mye. I alle simuleringene stod oppvarming for minst 50 % av murgårdens effektbruk. Utetemperaturen var dermed faktoren som førte til variasjon i den daglige prisen med «målt effekt». «Målt effekt» kan dermed sies å gi et økonomisk insentiv til å redusere elektrisk oppvarming når utetemperaturen synker, eller å bruke alternativ oppvarming. Spesielt eldre bygg som bruker mye effekt for oppvarming vil kunne spare penger ved å tilpasse oppvarmingen.

6.2.9 Originalt bygg

Det originale bygget brukte spesielt mye energi til oppvarming. Siden effekttoppene kom fra oppvarming har effekttoppene en buet topp som ikke er spiss, som vil si at murgården også bruker mye energi, noe som er blitt billigere med «målt effekt». Den årlige nettleien til det originale bygget redusertes med flere tusen kroner fordi energibruken ble billigere enn hva effekttoppene kostet.

Varmepumpe ga en lavere pris gjennom hele året da originalbygget hadde et oppvarmingsbehov også om sommeren. Energien varmepumpen hentet fra uteluften vil i virkeligheten minke ettersom utetemperaturen blir svært lav, og derfor blir prisreduksjonen i simuleringene kunstig store. Selv om en varmepumpe reduserer både effektbruk og energibruk store deler av året i virkeligheten, når vintertemperaturene ikke er for lave, vil effektbruken på de kaldeste vinternettene være tilnærmet lik det originale bygget siden varmepumpen enten ikke kan drives så lavt eller om den virker så vil den ha en lav COP. På den andre siden ville en varmepumpe kunne tilføre mer enn 50 % av varmebehovet ved moderate utetemperaturer. Hvor stor effekt det har på den årlige prisen er vanskelig å si, men siden varmepumpen uansett vil redusere effekt- og energibruken på våren, sommeren og høsten blir prisen lavere enn uten en varmepumpe.

Nattsinking førte til moderate prisreduksjoner over året. Siden murgården trengte oppvarming hele året gav en senkning av temperaturen om natten mest utslag på pris i det originale bygget. Hadde varmetilskudd fra solen og utetemperaturen steget før innendørstemperaturen ble hevet ville effekttoppen, og dermed prisen, vært lavere. Derimot vil ikke det la seg gjøre på vinteren siden soloppgangen er etter at folk har dratt til arbeid, og de ønsker ikke å stå opp i en kjølig husholdning om det er mulig å unngå.

Å bruke den originale murgården som et varmelager om natten ga høyere priser. Med «dagens nettleie» lå prisen like over det originale bygget gjennom hele året, men med «målt effekt» ble avstanden større. Dette kom av at effekttoppene økte mye, selv om den totale energibruken kun økte med 5 %, som har bakgrunn i at effektbruken økte i tidsrommet hvor det allerede var effekttopper. Den årlige nettleien økte dermed med 13 % i forhold til det originale bygget. Om en husholdning har en profil med effekttopper på morgenen og hvor natten er lite utnyttet kunne det å bruke bygget som et varmelager over natten fungere for å redusere effekttoppen. Siden effektleddet har en mye større pris en energileddet vil en økning i energibruk lønne seg om effekttoppen reduseres tilstrekkelig.

6.2.10 Gjennomsnittlig bygg

Det gjennomsnittlige bygget fikk en betraktelig lavere årlig nettleie enn det originale. Å tette ytterskallet gav lavere energi og effektbruk på vinteren hvor effektprisen var dyrere. Siden effektleddet hadde størst betydning for prisen og effekttoppene redusertes relativt mer enn energibruken, var etterisolering og generell forbedring av ytterskallet sammen med nattsenkning gode tiltak også med «målt effekt». Energi og effekt var tett sammenkoblet i simuleringene, da energibruken ble redusert med 57 % ble også effektbruken redusert med rundt 60 %. Disse reduksjonene ga en reduksjon i årlig nettleie på 53 % i forhold til originalt bygg, hvor effektreduksjonen hadde størst betydning siden effektleddet stod for minimum 65 % av prisen om vinteren.

Varmepumpen i gjennomsnittsbygget ga lavere pris på vinteren, og siden det ikke var noe varmebehov på sommeren ble det ingen endring da. Som for originalbygget vil en varmepumpe i virkeligheten gi mindre prisreduksjoner midt på vinteren når det er kaldest, og heller gi mer reduksjon på vår og høst når det er moderat kaldt ute slik at varmepumpens COP fortsatt er høy og varmepumpen brukes i stedet for annen elektrisk oppvarming. Forskjellen fra originalbygget er at varmepumpen ikke var i bruk om sommeren og dermed heller ikke gav noen reduksjon i pris i den perioden. Perioden hvor varmepumpen bidro til å redusere nettleien ble dermed begrenset av tidsperioden med et oppvarmingsbehov.

Solceller kom dårligst ut med en endring fra dagens nettleie til målt effekt. Ved å legge til solceller på det gjennomsnittlige bygget var innsparingen like under 1700 kr med dagens nettleie, innsparingen sank til 600 kr med målt effekt. Det kom av at solcellene reduserte hovedsakelig energibruken, men ikke effekttoppene. Tariffen fokuserte på effekt mens tiltaket reduserte energibruken, noe som gjorde at kompatibiliteten var lav. Hadde effekttoppen vært

på dagtid ville solcellene gitt en høyere innsparing med målt effekt, men fortsatt gitt små reduksjoner om vinteren når prisen var høyest. Selv med batterier vil ikke effekttoppen om vinteren kunne reduseres mer enn noen få kW i noen timer siden batterier er designet for å lagre energi over dager og energitilskuddet fra solcellene var på rundt 20 kWh i simuleringen i februar, ref. Figur 28. Den ekstra besparelsen i nettleien må dessuten veies opp mot den ekstra kapitalkostnaden og vedlikeholdskostnaden ved innkjøp av batterier og tilhørende system.

6.2.11 Lavenergibygg

Det var fortsatt en del å hente med bedre isolering og varmegjenvinning av ventilasjonen til murgården. Siden den største kilden til varmetap i det gjennomsnittlige bygget var den naturlige ventilasjonen var det varmegjenvinningen som hadde størst utslag. Også her var energi og effekt tett sammenkoblet, og den årlige energibruken ble redusert med 34 % samtidig som årets høyeste effekttopp ble redusert med 32 % i forhold til det gjennomsnittlige bygget. Reduksjonen i energibruk og effektbruk førte til at årlig nettleie med «målt effekt» ble redusert med 30 %, som var den samme prosentmessige reduksjonen som med «dagens nettleie». Prisreduksjonen var nok lik fordi effekttoppene allerede var lave og energibruken ble redusert noe mer enn effekttoppen.

Varmelagring gav også en prisøkning for lavenergibygg. Økningen var mindre enn i det originale bygget, som kom av at lavenergibygg trengte mindre effekt til oppvarming, og var denne gangen kun 1,5 prosentpoeng høyere med «Målt effekt» enn med «Dagens nettleie». Differansen kom nok fra at også her fikk murgården høyere effekttopper. Siden oppvarmingsbehovet var begrenset til mellom oktober og april var det kun den delen av året som fikk en høyere pris, men til gjengjeld økte prisen i enkelte døgn med over 20 %.

6.3 Fordeling av nettleien

Eriksen et al. (2020) så for seg at fastleddet og effektleddet skulle stå for 90 % av prisen. Ut fra mine beregninger stod de for 77-88 % forutsatt at hver boenhet i murgården betaler hver sin nettleie og dermed har egne fastledd. Desto større oppvarmingsbehov murgården hadde desto mer av andelen kom på energileddet, men det var kun 1-2 prosentpoeng forskjell mellom gjennomsnittsbygget og lavenergibygg. Noe som kan tyde på at «målt effekt» ikke traff helt som tilsiktet for husholdninger med et stort energibehov. Originalbygget fikk en stor prisreduksjon ved å kun bytte tariff, som reduserer økonomiske insentiver til å energieffektivisere.

6.4 Kritisk refleksjon

SIMIEN ble utviklet med bakgrunn i å bruke gjennomsnittsverdier, og enkelte utfordringer dukket dermed opp. Energibruken til utstyr var formålsfordeling innen internlastene som det ble antatt hadde stor påvirkning på profilen. Dermed ble den omfordelt, og kan ha fått feil verdier. Verdiene ble hentet fra statistisk gjennomsnittlige husholdninger, men murgården inneholder åtte leiligheter som i snitt er mindre enn 60 m² store. Andre inndata som fikk stor betydning for effektbruken var at SIMIEN hadde gjennomsnittsverdier for varmepumpens COP og en antakelse om at varmepumpen dekker 50 % av oppvarmingsbehovet. Det var for forenklet og gav ikke en god gjengivelse av virkelig bruk. Det er dermed antatt i vurderingen av dataene at effektbruken på de kaldeste nettene ville gitt like høy effektbruk som uten varmepumpen, men effektbruken med en varmepumpe kan ha blitt redusert noe også ned mot -25 °C.

Belysning var også antatt å ha en konstant effektbruk gjennom brukstiden, men vil i virkeligheten variere over døgnet og året ettersom sollyset gir mer eller mindre opplysning av rommene. På den andre siden brukes det nesten utelukkende LED-pærer som gjør at belysning gir et svært lavt bidrag til effekt.

Det ble antatt at energibruken til utstyr var likt uansett byggeteknisk standard, men det kan tenkes at bygg med en høyere standard vil ha en tendens til å inneholde annen type elektriske apparater. Uansett vil aldri to husholdninger ha nøyaktig samme profil på grunn av menneskelig aktivitet. Selv om menneskelig påvirkning ble forsøkt å fjernes ved å bruke SIMIEN måtte folks bruk av utstyr inkluderes.

Beregningene i Excel var mange, og det kan ha forekommet feil i utrekningene som ikke ble oppdaget. Datamengden var såpass stor at ikke alle utrekninger kunne sjekkes, noen feil i formler ble funnet og rettet underveis.

7 Konklusjon

Effekttariffen ga sterke insentiver om å forhindre enkelte høye effekttopper i løpet av døgnet siden effektleddet var hoved bidragsyteren til prisen med minimum 65 % av totalen om vinteren. Størstedelen av effektbruken stammet fra oppvarming som gjorde at energi og effekt var nært koblet sammen i murgården. Tiltak som reduserte energibruk til oppvarming reduserte også effekttoppene om vinteren, som er de høyeste effekttoppene murgården laget. Etterisolering, tetting av murgårdens ytterskall og energigjenvinning i ventilasjonen førte til at både energi og effekt ble redusert med tilnærmet samme prosentmessige størrelse. Varmepumpen ga reduksjon i energibruk, men ikke nødvendigvis effektbruk ved kalde utetemperaturer. Nattsinking reduserte effektbruken om natten, men ikke døgnetts effekttopp som uansett var tidlig om morgenen når innendørstemperaturen ble satt opp igjen og utetemperaturen var lav. Varmelagring over natten forsterket formen til profilen ved å gi økt effektbruk i tidspunktet hvor det allerede ble brukt mye effekt. Solcellene reduserte effektbruken på dagtid, som allerede hadde et lavt effektbruk i forhold til natten og ga dermed større variasjon i profilen.

Det ble mindre lukrativt å utføre energieffektiviseringstiltak ved å bytte ut dagens nettleie med «målt effekt». Dette kom hovedsakelig av at årlig nettleiepris ble redusert med over 7000 kr kun ved bytte. Ved ny nettleie fikk alle tiltakene en lavere årlig pris hver for seg, men ses det på rehabilitering og utførelse av tiltak med tariffene opp mot hverandre ga dagens nettleie større reduksjoner. I relative verdier var forskjellen derimot ikke stor. Innad i året ga «målt effekt» lavere pris for originalbygget om vinteren og tilnærmet lik pris om sommeren, mens for gjennomsnittsbygget og lavenergibyget var det om sommeren prisreduksjonen forekom. Å etterisolere, tette ytterskallet og installere varmegjenvinning ga en jevnere pris over året, for det gjennomsnittlige bygget varierte den daglige prisen fra 20 kr/dag om sommeren til 100 kr/dag om vinteren. Lavenergibyget hadde samme pris om sommeren siden begge versjonene ikke hadde et varmebehov, og om vinteren var prisen i lavenergibyget opp til 65 kr/dag. Hadde det blitt gjort simuleringer med kjøling ville prisen vært høyere over sommeren, hvor lavenergibyget hadde den høyeste innendørstemperaturen og antageligvis den største økningen i pris i forhold til utførte beregninger. Oppvarming ved kalde utetemperaturer ble dyrere med «målt effekt» siden det kreves mer effekt ved stor temperaturforskjell enn lav forskjell. Nattsinking ga kun 152 kr mindre reduksjon i året for «målt effekt» i forhold til dagens nettleie, mens varmelagring over natten ga over dobbelt så stor økning i pris med «målt

effekt» på grunn av de økte effekttoppene. Solceller ble mindre lukrative og mistet 1100 kr av 1700 kr i spart årlig nettleiekostnad.

Om et bygg har et stort oppvarmingsbehov vil hovedsakelig oppvarmingen diktere effektbruken. Dermed vil energieffektivisering som etterisolering og installasjon av en god varmepumpe som ikke har en lav COP ved kalde utetemperaturer være gode tiltak for å redusere effekttoppene i bygget. Desto bedre byggteknisk standard bygget har desto mer vil bruk av utstyr kunne gi relativt store økninger i effekt, laststyring vil dermed være et godt tiltak for å holde effekten nede om bygget har store internlaster.

At husholdningen sparte mindre i året ved å utføre tiltak med «målt effekt» gjør at det sannsynligvis vil bli utført mindre energieffektiviseringstiltak i sin helhet, siden økonomi er en stor grunn til at personer utfører energieffektiviseringstiltak. Allerede er det kun forventet en energireduksjon i bygningssektoren på 1 TWh, dermed vil målet om 10 TWh reduksjon bli et enda fjernere mål uten sterkere insentiver fra politisk side. Tilgang på billig elektrisitet er en av hovedfaktorene til at det sløses på daglig basis i Norge, men nettleien alene driver ikke prisen og energiprisen for fremtiden vil alltid være usikker.

8 Forslag til videre arbeid

Å se på faktiske tall og kjøre statistiske analyser ville være en interessant studie, noe som vil være mulig fremover med timesverdier fra husholdninger som samles i Elhub. Ved en slik analyse vil formålsfordelingen måtte bli antatt siden AMS målerne kun samler inn totalt energibruk på timesbasis, formålsfordeling kan for eksempel antas fra tidligere studier eller ved stikkprøver fra tilfeldige husholdninger.

Strømsheim-Aamodt (2020) la frem hvordan faktiske døgnprofiler varierer fra kunde til kunde, og at det kun er for gjennomsnittet av mange kunder at det fremkommer en antydning til en effekttopp om morgenen og sent ettermiddag. Det ville vært interessant å se om en statistisk analyse hvor forskjellige parametere kunne sammenlignes ville gitt fellestrekk i energiprofilen for lignende husholdninger.

Hadde mer tid vært tilgjengelig ville varighetskurver vært interessant å se på, om kurven ble flatere ettersom den byggetekniske standarden øker og/eller ved andre installerte tiltak. Hvor mange timer som utgjør 10 % høyeste effektbruken, og avstanden fra gjennomsnittlig effektbruk til årets høyeste er andre faktorer som kunne vært interessant å se på. Det å sette et tak på effektbruken til oppvarming som gjør at oppvarmingsanlegget ikke klarer å opprettholde innendørstemperaturen i de kaldeste timene er noe som burde vært vurdert, siden husholdninger vil kun ha en begrenset mulighet til oppvarming.

Det jobbes med en ny versjon av SIMIEN som bygger på NSPEK3031:2020 (Dokka, 2020). Med mer fokus på effekt i energibransjen kan det tenkes at den nye versjonen er bedre tilrettelagt for å simulere effektbruk. Fokuset til NSPEK3031:2020 er energibehov og energiforsyning, og inndataene for varmtvann, teknisk utstyr og belysning er oppdatert, men vil fortsatt være normerte (Standard Norge, 2020).

Referanseliste

- Bergesen, B., Groth, L. H., Langseth, B., Magnussen, I. H., Spilde, D. & Toutain, J. E. W. (2012). *Energibruksrapporten 2012 - Energibruk i husholdninger*, 30/2012. Oslo.
- Byggteknisk forskrift (TEK17). (2017). *Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift)*. Tilgjengelig fra: https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2017-06-19-840#KAPITTEL_14 (lest 01.04.2020).
- Dokka, K. A. (2020). *Utvikling av SIMIEN* (e-post fra Kjell A. Dokka 30.04.2020).
- Enova. (u.å.-a). *Energiltak i bolig*. Tilgjengelig fra: https://www.enova.no/privat/?gclid=CjwKCAjwztL2BRATEiwAvnALckq-xiFvO9LyAC7aWfWmi0QJ-1X_0Z6TICGJNQvtUlyQ4MBUeNX93BoCrT8QAvD_BwE (lest 31.04.2020).
- Enova. (u.å.-b). *Pilotene - disse går foran*. Tilgjengelig fra: <https://www.enova.no/privat/smartestrommalere-ams/pilotene--disse-gar-foran/> (lest 20.05.2020).
- Enova. (u.å.-c). *Varmepumper*. Tilgjengelig fra: <https://www.enova.no/privat/alle-energiltak/varmepumper/> (lest 17.04.2020).
- Eriksen, A. B., Hansen, H., Hole, J., Jonassen, T., Mook, V., Steinnes, S. & Varden, L. (2020). *Endringer i nettleiestrukturen*, Høringsdokument nr. 01/2020. Oslo: NVE.
- European Commission. (2019). *Energy performance of buildings directive*. Tilgjengelig fra: https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en (lest 13.05.2020).
- Faruqui, A. & Sergici, S. (2010). Household response to dynamic pricing of electricity: a survey of 15 experiments. *Journal of Regulatory Economics*, 38 (2): 193-225. doi: 10.1007/s11149-010-9127-y.
- Finck, C., Li, R. L. & Zeiler, W. (2019). Economic model predictive control for demand flexibility of a residential building. *Energy*, 176: 365-379. doi: 10.1016/j.energy.2019.03.171.
- Finck, C., Li, R. L. & Zeiler, W. (2020). Optimal control of demand flexibility under real-time pricing for heating systems in buildings: A real-life demonstration. *Applied Energy*, 263: 15. doi: 10.1016/j.apenergy.2020.114671.
- Forskrift om kontroll av nettvirkosomhet. (1999). *Forskrift om økonomisk og teknisk rapportering, inntektsramme for nettvirkosomheten og tariffen*. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/1999-03-11-302> (lest 25.03.2020).
- Glitre Energi Nett. (2020). *Smart nettleie*. Tilgjengelig fra: <https://www.glitreenergi-nett.no/smart-nettleie/> (lest 21.05.2020).
- Granås, S. (2020, 14. mai). Luft-vann-varmepumper kan levere en COP på over 2 på kalde dager. *EnergiRapporten*, s. 4.
- Granavolden. (2019). *Politisk plattform for en regjering utgått av Høyre, Fremskrittspartiet, Venstre og Kristelig Folkeparti*. Oslo: Regjeringen. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/contentassets/7b0b7f0fcf0f4d93bb6705838248749b/plattform.pdf> (lest 22.04.2020).
- Gyamfi, S., Krumdieck, S. & Urmee, T. (2013). *Residential peak electricity demand response*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 25 (2013) Tilgjengelig fra: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032113002578?via%3Dihub> (lest 04.04.2020).
- Hole, I., Martinsen, T., Ullimoen, I. O. & Kjeldsen, G. (2011). *Mer kunnskap om energieffektivisering i eksisterende bygningsmasse*. Rapport fra Norconsult og Miljøanalyse 01/2011. Tilgjengelig fra: https://ra.brage.unit.no/ra-xmlui/bitstream/handle/11250/284695/Energieffektivisering_eksisterendebygg.pdf?sequence=1&isAllowed=y (lest 16.03.2020).

- KMD. (2000). *Forskrift om krav til byggverk og produkter til byggverk*. Tilgjengelig fra: https://dibk.no/globalassets/byggeregler/tidligere_regelverk/tekniske_forskrifter_1999.pdf (lest 31.05.2020).
- Le Dreau, J. & Heiselberg, P. (2016). Energy flexibility of residential buildings using short term heat storage in the thermal mass. *Energy*, 111: 991-1002. doi: 10.1016/j.energy.2016.05.076.
- NVE. (2015). *Kostnader i energisektoren*. Rapport nr 2/2015 del 1. Tilgjengelig fra: http://publikasjoner.nve.no/rapport/2015/rapport2015_02a.pdf (lest 31.05.2020).
- NVE. (2019). *Effektiv og fossilfri energibruk i norske bygninger*. Tilgjengelig fra: <https://www.nve.no/energibruk-effektivisering-og-teknologier/energibruk/energibruk-i-bygg/?ref=mainmenu> (lest 12.05.2020).
- Ringerikskraft Nett. (u.å.). *Pilotprosjekt for ny prismodell*. Tilgjengelig fra: <https://www.ringerikskraftnett.no/pilot/> (lest 20.05.2020).
- RME. (2020). *Høring - Forslag til endring i utforming av nettleien*. Tilgjengelig fra: <https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten/nytt-fra-rme/saker-pa-horing-reguleringsmyndigheten-for-energi-rme/horing-forslag-til-endringer-i-utformingen-av-nettleien/> (lest 30.05.2020).
- Schreiber, M., Wainstein, M. E., Hochloff, P. & Dargaville, R. (2015). Flexible electricity tariffs: Power and energy price signals designed for a smarter grid. *Energy*, 93: 2568-2581. doi: 10.1016/j.energy.2015.10.067.
- SINTEF. (2014). *Energiplan - tre trinn for tre epoker*. Tilgjengelig fra: https://www.sintefbok.no/book/index/1027/energiplan_tre_trinn_for_tre_epoker (lest 20.04.2020).
- Standard Norge. (1997). *NS-EN ISO 8990:1996 Varmeisolering - Bestemmelse av stasjonære varmeoverføringsegenskaper*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=145666> (lest 05.05.2020).
- Standard Norge. (2014a). *ISO 9869-1:2014 Thermal insulation — Building elements — In-situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance — Part 1: Heat flow meter method*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=714465> (lest 05.05.2020).
- Standard Norge. (2014b). *NS 3031:2014 Beregning av bygningers energiytelse - Metode og data*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=702386> (lest 03.02.2020).
- Standard Norge. (2020). *Beregning av bygningers energibehov og energiforsyning – Norsk Spesifikasjon*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/nyheter/nyhetsarkiv/energi-og-klima/2020-nyheter/beregning-av-bygningers-energibehov-og-energiforsyning-norsk-spesifikasjon/> (lest 19.05.2020).
- Statistisk sentralbyrå. (2008). *Kortsiktige variasjoner i strømforbruket i alminnelig forsyning*. Rapport fra Statistisk sentralbyrå 2008/50. Tilgjengelig fra: https://www.ssb.no/a/publikasjoner/pdf/rapp_200850/rapp_200850.pdf (lest 08.04.2020).
- Statistisk sentralbyrå. (2014a). *Energibruk i husholdningene, 2012*. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/energi-og-industri/statistikker/husenergi/hvert-3-aar/2014-07-14> (lest 05.05.2020).
- Statistisk sentralbyrå. (2014b). *Stadig flere anskaffer varmepumpe*. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/energi-og-industri/artikler-og-publikasjoner/stadig-flere-anskaffer-varmepumpe> (lest 24.05.2020).
- Statistisk sentralbyrå. (2019). *Boliger, etter bygningstype og byggeår (K) 2006 - 2019*. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/statbank/table/06266/> (lest 19.03.2020).
- Strømsheim-Aamodt, A. (2020). *Ny nettleie* (web seminar fra Solenergiklyngen 20.05.2020).

- Torrìti, J. (2012). *Price-based demand side management: Assessing the impacts of time-of-use tariffs on residential electricity demand and peak shifting in Northern Italy*. Energy volum 44, 08/2012. Tilgjengelig fra: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2012.05.043> (lest 22.03.2020).
- Trømborg, E. (2019). *Elbygg-app V0.1*. Tilgjengelig fra: <https://aki-navit.shinyapps.io/elbyggv01/> (lest 15.02.2020).



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

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway