



Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

**Masteroppgave 2024 30 stp**

Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning

# **Utforskningen av Aerogels potensial for energieffektivisering i Norge**

Exploring the Potential of Aerogel for Energy  
Efficiency in Norway

**René Tyse Staub**

Master i fornybar energi

## Forord

Denne masteroppgaven representerer slutten på mitt femårige studieforløp innen fornybar energi, tre fine år ved HVL i Sogndal, og to fantastiske år ved NMBU i Ås.

Jeg vil først og fremst takke min veileder, Thomas Martinsen, for utrolig god veiledning og tilbakemeldinger i løpet av hele prosessen.

En spesiell takk går til Per Jæger fra Isokalk AS, som ikke bare ga tilgang til verdifull data, men som også var alltid tilgjengelig for å besvare mine spørsmål.

Til slutt vil jeg takke min samboer, Elisabeth, for støtte og oppmuntring gjennom hele prosessen med å skrive denne oppgaven. Jeg må også nevne vår kjære hund, Arya, som med sine entusiastiske hilsener og behov for lange turer tvang meg til nødvendige pauser som klarerte tankene og ga påfyll av energi.

## Sammendrag

Med masteroppgaven ønsker jeg å bidra til å nå energieffektiviseringsmålene som Norge har satt. Jeg utforsker det tekniske og økonomiske potensialet til aerogel-basert isolasjon i Norge. Spesifikt fokuserer oppgaven på isolasjonstypen Isokalk, fordi den er den eneste mørtel-baserte isolasjonstypen med aerogel i Norge. Videre foretar jeg en sammenligning av energieffektiviserings potensialet til aerogel-baserte isolasjonstyper i Norge, sett opp mot andre isolasjonstyper. Til slutt vurderer jeg det gjennomførbare potensialet til Isokalk.

Det tekniske potensialet til Isokalk er basert på tre forskjellige bygningskategorier: murgårder fra perioden før 1900-tallet, leiegårder fra førkrigsperioden og boligblokker mellom 1950 til 1970. Det ble beregnet energireduksjon i spesifikk energibehov for de forskjellige byggene, gjennomsnittlig energireduksjon, og et estimat på total energireduksjon ved påføring av Isokalk. Det økonomiske potensialet er estimert gjennom bruk av læringskurver. Økonomisk data brukt i estimeringen av det økonomiske potensialet er hovedsakelig innhentet fra Isokalk AS, og læringskurvene i oppgaven er derfor kun basert på salgsprisen til Isokalk.

Sammenligningen av forskjellige isolasjonstyper fokuserer på de termiske egenskapene til isolasjonstypene, samt kostnad og bruk.

Funnene angående det tekniske potensialet for Isokalk viser et estimert totalt energisparingspotensial på omtrent 71 GWh fra å bruke gjennomsnittlig energibruk for boliger i boligblokker sammen med en energireduksjon på 34 %. Energisparingspotensialet basert på reduksjonen i spesifikk energibehov er 133,9 og 248,7 GWh med en 32 % energireduksjon. Hvis 20 % av boligene i de tre nevnte bygningskategoriene påfører Isokalk, er det anslått at det totale energisparingspotensialet er mellom 71 og 248,7 GWh hvert år. Funnene viser at det ikke finnes tegn til kostnadsreduksjon som følge av teknologilæring, til tross for å både inflasjonsjustere og valuta-korrigere prisene. Læringskurvene er derimot kun basert på salgsprisen til Isokalk i Norge, og gir ikke grunnlag til å vise hvordan produksjonskostnaden til isolasjonstypen utvikler seg. Sammenligningen med andre isolasjonstyper viser at Isokalk er dyrt, men at produktet kan være gunstig å benytte på bygg med antikvarisk verdi. Det gjennomførbare potensialet vil trolig ligge innenfor det tekniske potensialet, men kan bli begrenset av det økonomiske potensialet og konkurrerende isolasjonstyper.

## Abstract

With this master thesis, I aim to contribute to reaching the energy efficiency goals Norway has set. I explore the technical and economic potential of aerogel-based insulation in Norway. Specifically, the thesis focuses on the insulation type Isokalk, as it is the only mortar-based insulation type with aerogel in Norway. Then, I conduct a comparison of the energy efficiency potential of aerogel-based insulation types in Norway against other insulation types. Finally, I consider the achievable potential of Isokalk.

The technical potential of Isokalk is based on three different building categories: Brick buildings from the pre-1900s, apartment buildings from the pre-war period, and residential blocks from 1950 to 1970. The reduction in specific energy demand for the different buildings, the average energy reduction, and an estimate of the total energy reduction from applying Isokalk were calculated. The economic potential is estimated using learning curves. The economic data used in estimating the economic potential is mainly obtained from Isokalk AS, and the learning curves in the thesis are therefore only based on the sale price of Isokalk. The comparison of different insulation types focuses on the thermal properties of the insulation types, as well as cost and usage.

The findings regarding the technical potential of Isokalk show an estimated total energy-saving potential of approximately 71 GWh from using the average energy consumption for residential buildings in apartment blocks, along with a 34 % energy reduction. The energy-saving potential based on the reduction in specific energy demand is 133,9 and 248,7 GWh, with a 32 % energy reduction. If 20 % of the homes in the three mentioned building categories apply Isokalk, it is estimated that the total energy-saving potential is between 71 and 248,7 GWh annually. The findings show no signs of cost reduction due to technological learning, despite adjusting for inflation and currency. However, the learning curves are only based on the sales price of Isokalk in Norway and do not provide a foundation to show how the production cost of the insulation type develops. The comparison with other insulation types shows that Isokalk is expensive, but the product can be advantageous to use on buildings with historical value. The achievable potential is likely to lie within the technical potential, but may be limited by the economic potential and competing insulation types.

# Innholdsfortegnelse

<b>1. Innledning.....</b>	<b>6</b>
<b>2. Energieffektivisering i Norge.....</b>	<b>7</b>
2.1 Eksisterende bygg .....	7
2.2 Verneverdige bygg.....	8
2.3 Isolasjon med aerogel.....	8
2.4 Norge versus internasjonalt.....	11
2.5 Teknologiløring .....	12
2.6 Bygg innenfor potensialet .....	16
2.7 Alternative isolasjonstyper.....	17
<b>3. Materiale og metode .....</b>	<b>18</b>
3.1 Datagrunnlag.....	18
3.2 Analyse av det tekniske potensialet for Isokalk.....	19
3.3 Beregninger for økonomisk potensial .....	22
3.4 Sammenligning av isolasjonstyper.....	25
<b>4. Resultater .....</b>	<b>27</b>
4.1 Datainnsamling.....	27
4.2 Teknisk potensial.....	28
4.3 Læringskurver.....	29
4.4 Sammenligning av Isokalk og Kingspan.....	30
<b>5. Diskusjon .....</b>	<b>32</b>
5.1 Isokalk sitt tekniske potensial .....	32
5.2 Isokalk sitt økonomiske potensial .....	34
5.3 Isokalk og Kingspan Kooltherm .....	35
5.4 Isokalk sitt gjennomførbare potensialet.....	36
<b>6. Konklusjon .....</b>	<b>38</b>
<b>Referanseliste .....</b>	<b>39</b>

## FIGURER

FIGUR 1: EN PRØVE AV FIXIT 222 (ISOKALK) HVOR AEROGEL GRANULATENE ER SYNLIGE (STAHL ET AL., 2017).	9
FIGUR 2: DIAGRAMMET VISER EN GRAF SOM SYMBOLISERER SAMMENHENGEN MELLOM U-VERDI I FORHOLD TIL ISOLASJONSTYKKELSE MED FIXIT 222 (ISOKALK) (FIXIT, 2024; SOLHEIM, 2018)	11
FIGUR 3: VALUTAKURS FOR SVEITSISK FRANC (CHF) (NORGESBANK, 2024)	12
FIGUR 4: EKSEMPEL PÅ HVORDAN LÆRINGSRATEN VISER KOSTNADSREDUKSJON FOR HVER DOBLING AV PRODUSERTE ENHETER. DIAGRAMMET ER INSPIRERT AV STAKE (2016).	14
FIGUR 5: FORHOLDET MELLOM PRIS OG KOSTNAD FOR EN NY TEKNOLOGI (BCG, 1968; BERGMAN & JARDINE, 2009).	15
FIGUR 6: ILLUSTRASJON OVER KINGSPAN KOOLTHERM K5 (KINGSPAN, 2024B)	17
FIGUR 7: DIAGRAMMET VISER REDUKSJONEN I SPESIFIKK ENERGIBEHOV FOR ALLE TRE BYGNINGSKATEGORIENE. DEN SAMMENLIGNER REDUKSJONEN I FRA GJENNOMSNTTLIG OVERSIKT FRA SSB (ORANSJE) OG FRA EKSEMPELBYGGET TIL MARTINSEN ET AL. (2011) (BLÅ)	28
FIGUR 8: LÆRINGSKURVE FOR ISOKALK (INFLASJONSJUSTERT). BASISÅRET FOR INFLASJONSJUSTERINGEN ER 2023. GRAFEN VISER INGEN TEGN TIL KOSTNADSREDUKSJON I FORHOLD TIL LÆRING, OG DET ER NØDVENDIG MED VALUTAKORRIGERING.	29
FIGUR 9: LÆRINGSKURVE FOR ISOKALK (VALUTAKORRIGERT OG INFLASJONSJUSTERT). BASISÅRET FOR DEN VALUTAKORRIGERTE LÆRINGSKURVEN ER 2015. GRAFEN VISER INGEN TEGN TIL KOSTNADSREDUKSJON I FORHOLD TIL LÆRING.	30
FIGUR 10: DIAGRAMMET VISER TEORETISK BEREGNET U-VERDI AV ISOKALK OG KINGSPAN KOOLTHERM. GRAFENE VISER AT ISOKALK OG KINGSPAN KONVERGERER I U-VERDI.	31

# 1. Innledning

Energieffektivisering har fått et økt fokus i Europa. For å redusere klimautslipp og fremme en mer bærekraftig fremtid har Europa satt ambisiøse klimamål. I tillegg ble «Energy Efficiency First-prinsippet» iverksatt. Prinsippet går ut på at energieffektivisering skal komme før nye utbygginger og investeringer i strømmett og energiproduksjon og brukes i dag til å utforme nye EU-direktiver og generell politikk (European-Commission, 2023; Sandberg et al., 2023). I tråd med EU sine prinsipper har Norge utformet egne politiske mål innen energieffektivisering.

Et av målene Norge har satt seg er å redusere energibruk innenfor bygningsmassen med 10 TWh innen 2030, sammenlignet med nivået fra 2015 (Regjeringen, 2015). Ifølge NVE (2022) sin underlagte strategi for energieffektivisering har etterisolering på vegg det klart største tekniske potensialet for bygningsmassen og anses å være det mest effektive tiltaket innen energisparing i både småhus og boligblokk.

I Norge, og særlig i hovedstaden Oslo, karakteriseres mange eldre bygninger av bruk av tegl og betong. Denne typen bygg lider ofte av utilstrekkelig isolasjon på grunn av deres alder. I forbindelse med rehabilitering av slike bygninger, er det imidlertid regulatoriske krav som dikterer at bygningens utseende må opprettholdes i tråd med det opprinnelige utseendet.

Innenfor tegl -og betongbygg er det flere gode måter å etterisolere, men aerogel-baserte isolasjonstyper som Isokalk viser til betydelig høy isolasjonsevne og en unik evne til å ikke forandre bygningens ytre utseende. I Norge finnes det begrenset litteratur angående potensialet for isolasjonstypen. Karim et al. (2020) viser til at det i Sverige finnes et energisparingspotensial på omtrent  $74 \pm 48$  GWh, dersom kun 10 % av landets flerfamiliehus påfører den aerogel-baserte isolasjonstypen.

Nye teknologier har en tendens til å ha en høy startkostnad, men etter hvert som produktet etableres, reduseres denne kostnaden. Isokalk har for øyeblikket en høy salgspris, og dermed er det naturlig for oppgaven å utføre en kostnadsprognose. Prognosen vil være en læringskurve og vil gi mulighet for å estimere hvordan salgsprisen til Isokalk vil endre seg i fremtiden og om teknologilæring kan gi produktet en lavere pris. Alt i alt, bringer dette frem problemstillingen som vil bli utforsket i denne oppgaven.

## **Oppgavens problemstilling:**

*Hva er det tekniske, økonomiske og gjennomførbare potensialet for aerogel i eksisterende tegl- og betongbygg i Norge?*

## **2. Energieffektivisering i Norge**

Energieffektivisering handler hovedsakelig om å redusere energibruk, og er dermed svært viktig for det norske kraft- og energisystemet. På grunn av begrensede energiresurser er det avgjørende å se på eksisterende bygninger for å maksimere effektiviteten. Byggesektoren representerer et område for energieffektivisering, med et potensial på omtrent 13 TWh til en pris på rundt 1 krone per kWh. Av dette beløpet er omtrent 4 TWh knyttet til småhus og blokker (NVE, 2023). Den betydelige mengden potensiell energieffektivisering i bygningssektoren understreker behovet for målrettede tiltak og strategier for å realisere disse besparelsene. Implementering av energieffektiviseringstiltak i bygg vil ikke bare bidra til å redusere energiforbruket, men også gi positive ringvirkninger for miljøet, samt minske behovet for utbygging av strømnnettutbygging med reduksjon i topplast (Sandberg et al., 2023). Ringvirkningene understreker viktigheten av å integrere energieffektivisering som en sentral del av bærekraftige prinsipper i planleggingen og utviklingen av bygg og infrastruktur i Norge.

### **2.1 Eksisterende bygg**

Den pågående overgangen mot bærekraftig urban utvikling og nødvendigheten av å redusere karbonavtrykket, står eksisterende bygg overfor presserende utfordringer knyttet til energieffektivisering. Det understreker behovet for målrettede strategier og tiltak for å forbedre energiytelsen til eksisterende strukturer. I denne sammenhengen representerer eksisterende bygningsmasse ikke bare et potensielt betydelig bidrag til global energieffektivitet, men man kan anta at det også spiller en rolle i oppnåelsen av bærekraftsmål på internasjonalt nivå. I løpet av de siste 50 årene har det blitt stilt flere krav til bygg, blant annet er mer komfort og mindre varmetap i fokus. (NVE, 2022).

I følge Statistisk sentralbyrå (2024b) består den eksisterende bygningsmassen i Norge av omtrent 37 % boligbygg. De resterende 63 % representerer andre typer bygninger. Bolig-



andelen er det delt opp i flere deler hvor det er størst andel eneboliger, tomannsboliger og rekkehus.

Eldre eksisterende bygninger har som regel lav energieffektivitet og har et stort behov for energi for oppvarming. Det vil derfor være viktig å gjøre tiltak for at eldre eksisterende bygninger kan bevare på denne energien og øke isolasjonsevnen.

## 2.2 Verneverdige bygg

I følge Riksantikvaren (2024) kan eksisterende bygninger være juridisk vernet gjennom to hovedtyper av reguleringer i Norge: Plan- og bygningsloven eller kulturminneloven. Ved et slikt juridisk vern har kulturminnemyndigheten eller kommunen oversikt over alle reguleringer som er gjeldende. Etersom enkelte bygninger kan være bevaringsverdige, er det viktig å være klar over de aktuelle restriksjonene som gjelder, før planleggingen av energieffektiviseringen begynner.

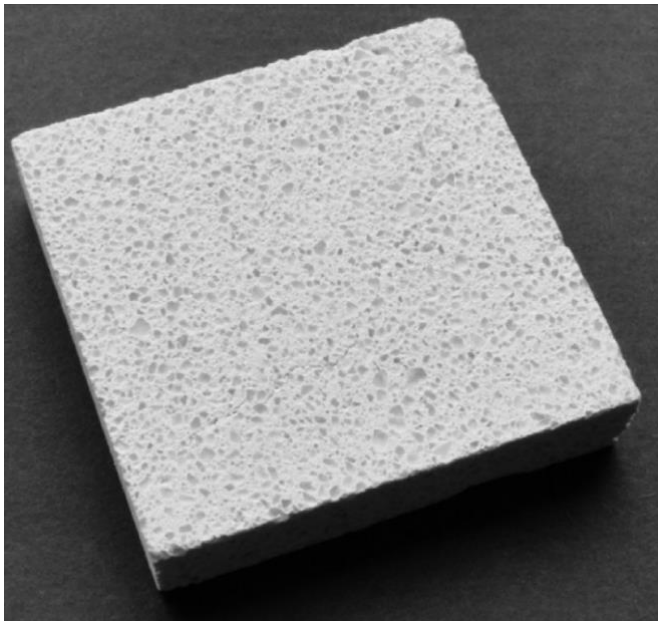
I henhold til MurbyenOslo (2019) bør det ved rehabilitering av tradisjonelle murgårder fra 1800-tallet brukes tradisjonelle materialer og metoder i renovering, slik at bygningens historiske integritet og estetiske verdi sikres, samt opprettholder byggets struktur. Den opprinnelige mørtelen som ble brukt var dampåpen, noe som tillot eventuell fuktighet å slippe ut av bygningen. Det er nødvendig at ny mørtel som blir brukt innenfor renovering også er dampåpen.

## 2.3 Isolasjon med aerogel

Aerogeler utgjør en gruppe faste materialer som regnes for å være en av de letteste materialene som eksisterer, med lavest massetetthet. Materialet ble først laget av Steven Kistler i 1931, der han erstattet væsken i en gel med gass, som førte til et svært lett og porøst material (Acharya et al., 2013). På grunn av det svært lave væskeinnholdet og den minimale tettheten, besitter aerogeler god termisk isolasjonsevne (Solheim, 2018). Aerogel har flere ulike anvendelsesområder, men grunnet sin ekstremt gode isolasjonsevne benyttes det ofte som isolasjon. Stoffet kan brukes i en rekke isolasjonstyper som tepper, plater, mørtel og

paneler. Aerogel blir også flittig brukt som isolasjon iblant annet romfart, noe som gjør det svært tilpasningsdyktig og allsidig i isoleringsapplikasjoner.

Den mest brukte aerogel-baserte isolasjonstypen i Norge er Isokalk. Det er en form for dampåpen, isolerende kalkmørtel som inneholder rundt 50 % silikat-aerogel granulat. Granulatform betyr at aerogelen er delt opp i små, løse partikler eller korn (Buratti et al., 2017), slik Figur 1 viser. Isokalk kjennetegnes som Fixit222 i Europa. I Norge blir Isokalk solgt av Isokalk AS, som er den eneste importøren av produktet i landet (IsokalkAS, 2023). Andre isolasjonstyper med aerogel som brukes på bygg finnes, men blir ofte brukt i form av tepper som dekker kuldebroer eller områder med vanskelig tilgang (Glava, 2023).



*Figur 1: En prøve av Fixit 222 (Isokalk) hvor aerogel granulatene er synlige (Stahl et al., 2017).*

Produktet ble utviklet av det sveitsiske instituttet EMPA, og er i dag kommersielt solgt i Europa. Materialet har en varmeledningsevne på 0,028 W/m.k (Ali et al., 2022). Ifølge IsokalkAS (2023) skal produktet være henholdsvis en av de beste isolasjonstypene som kan brukes på eksisterende tegl- og betongbygg. Isolasjonstypen kan brukes både på ytterfasade og innervegg. Energieresultatet blir ofte bedre enn det som vanligvis er forventet grunnet dens evne i å være hydrofobisk. I følge Stahl et al. (2017) som har utført hygro-termiske simuleringer, vil selv vegger som er våte tørke ut på grunn av den dampgjennomtrengelige egenskapen som Isokalk har. Isolasjonstypen skiller seg ut i mengden på grunn av dens mulighet til å renovere historiske bygninger uten å endre uteseende på deres ytre fasade (FIXIT, 2024).

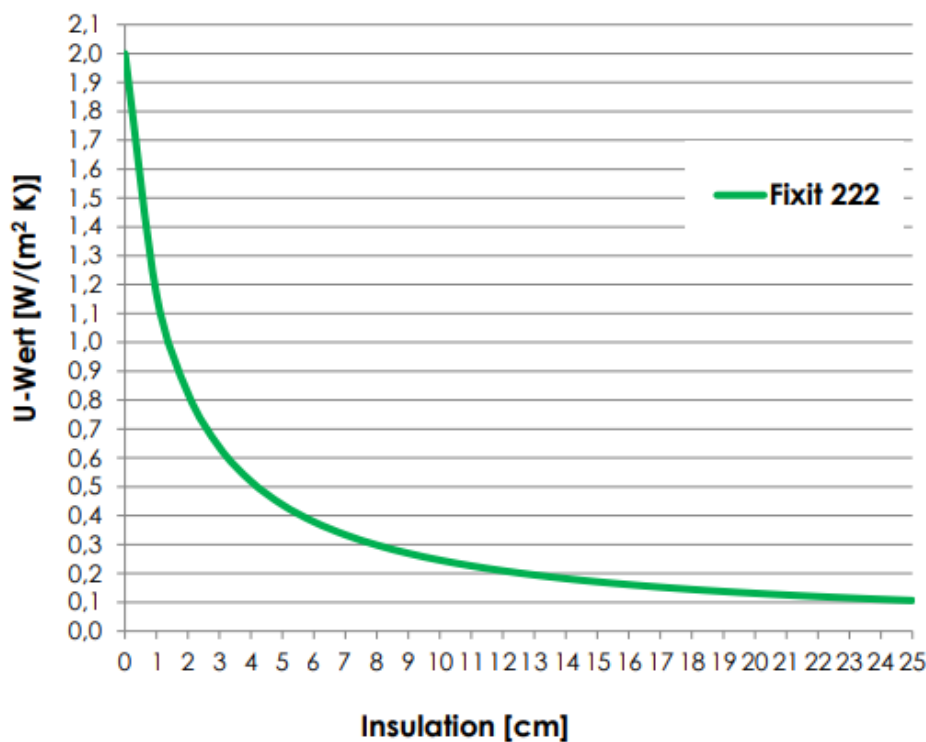
Ifølge IsokalkAS (2021) skal påføringen av Isokalk krever kun grunnleggende ferdigheter innen muring, og de fleste retningslinjer som gjelder for anvendelse av tradisjonell kalkmørtel er tilsvarende. En forenklet beskrivelse av en standard påføringsprosess for Isokalk presenteres i de følgende trinnene. Første trinn inkluderer rengjøring av underlaget for å fjerne støv, løs puss, og maling, hvor underlaget skal være stabilt og tørt. I det andre trinnet påføres det en grunningsmørtel med lim (Fixit 211). Det er viktig å merke seg at eventuelle stillaser bør tildekkes for å beskytte mot regn, sol, og vind. I overensstemmelse med vanlig praksis for kalkmørtel, må i tillegg utetemperaturen være over 5°C. Det tredje trinnet omfatter påføring av en isoleringsmørtel som skal spesielt påføres på hjørner (Fixit 228), som må herde før neste lag påføres. I det fjerde trinnet påføres Isokalk (Fixit 222) ved hjelp av en mørtelsprøyte, som gjør det mulig å påføre opptil 8 centimeter i isolasjonstykkelse i ett steg. Isokalken bør deretter tørke i omtrent en uke, i tråd med standard praksis for kalkmørtel. Det femte trinnet handler om å styrke Isokalkens overflate ved hjelp av en overflatestabilisator (Fixit 493). I det sjette trinnet påføres det et lag med kalkmørtel for utjevning (Fixit 223) og forsterkning ved bruk av et armeringsnett. Avslutningsvis påføres det en slutt puss og silikatmaling. Sluttpussen og silikatmalingen kan variere og er valgfritt til hvilken som passer bygget best (IsokalkAS, 2021).

Det største problemet for potensialet til Isokalk i Norge er kostnaden. Kostnaden setter en stopper for byggherrene som har lyst å etterisolere bygningene sine på en bærekraftig og effektiv måte. I litteraturen er det lite nevnt hvordan og hvorfor kostnaden til stoffet er så betydelig høy. Tilbake i 2012 ble det omtalt av Koebel et al. (2012) at kostnaden til aerogel-baserte isolasjonstyper var omtrent tjue ganger så mye som standard isolasjonstyper. Det er derimot ikke aerogel-mørtel det er snakk om, men en annen form for isolasjon som oftest brukes til oljeindustrien og diverse. I følge Stahl et al. (2017) skal kostnaden på aerogel-mørtel ha gått ned med 50 % siden 2016. Årsaken til nedgangen i kostnad er usikker. Likevel er det et steg i riktig retning for å bli et konkurransedyktig produkt i forhold til andre isolasjonstyper.

Som tidligere nevnt er det begrenset med litteratur om aerogel-basert isolasjon fra Skandinavia. Imidlertid har Karim et al. (2020) publisert en vitenskapelig artikkel som utforsker potensialet for energisparing i Sverige gjennom bruk av Isokalk/Fixit222. Studien avdekket at omtrent 27% av Sveriges flerfamiliebygg har en ytre fasade som egner seg for påføring av Isokalk. Videre konkluderer studien med at dersom omtrent 10% av disse

bygningene implementerer den aerogel-baserte isolasjonen, kunne Sveriges årlige energibruk potensielt reduseres med omtrent  $74\pm 48$  GWh.

En tidligere masterstudent ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU) gjennomførte en case-studie som undersøkte effekten av å påføre Isokalk på et murbygg datert til 1890-tallet. I studien, som Solheim (2018) utførte, ble bygningens energiforbruk målt både før og etter at et 7 centimeters tykt lag av Isokalk var påført. Resultatene indikerte at kurven som Isokalk (Fixit222) produsenten har utviklet, basert på tidligere prosjekter i sveits for å illustrere sammenhengen mellom U-verdien og isolasjonstykkelen, indikerte resultatene av studien at kurven som isokalk produsenten har utviklet, også er anvendbar på murbygg i Norge med tilsvarende presisjon, slik vist i Figur 2. I tillegg viste analysen at Isokalk ga en 34 % reduksjon i netto energietterspørsel for bygget og en 32 % reduksjon i spesifikk energibehov.



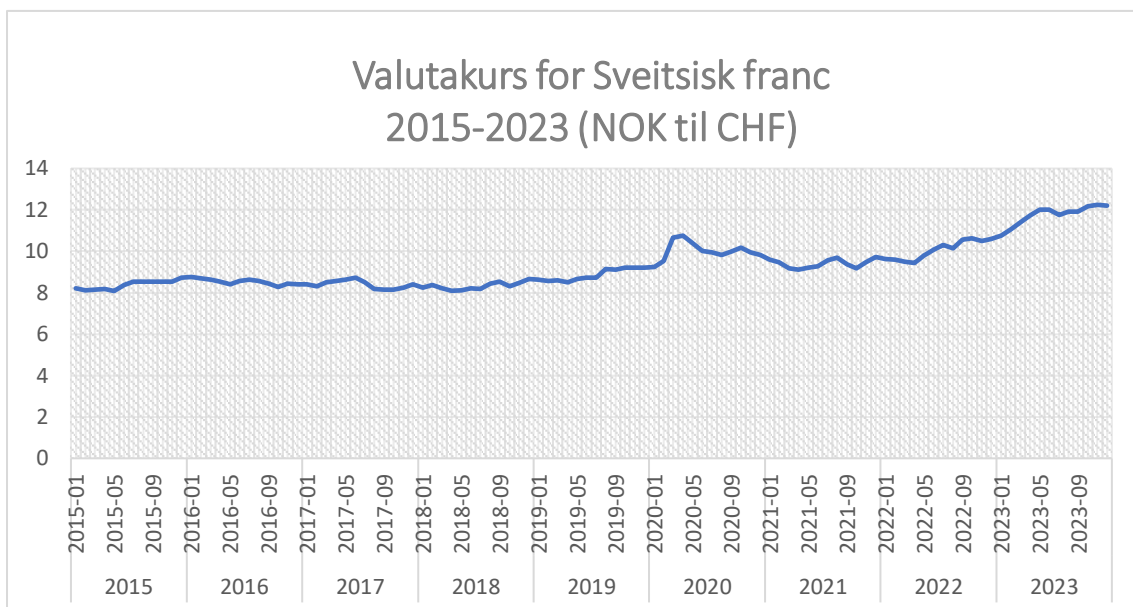
Figur 2: Diagrammet viser en graf som symboliserer sammenhengen mellom U-verdi i forhold til isolasjonstykkelse med Fixit 222 (Isokalk) (FIXIT, 2024; Solheim, 2018)

## 2.4 Norge versus internasjonalt

Aerogel-baserte isolasjonstyper har blitt populært i de Germanske landene, særlig i Sveits. Norge og Sveits deler til en viss grad lignende klimatiske forhold, med kalde vintre og

varierte temperaturer gjennom året. Isokalk er som tidligere nevnt produsert av et sveitsisk firma og det er dermed mest tilgjengelig data fra Sveits (IAPB, 2021). Likhetene mellom klimaet i Norge og Sveits åpner opp for å benytte sveitsiske kilder ved utforskingen av hvordan aerogel-baserte isolasjonstyper effektivt kan brukes i Norge og om det eksisterer et potensial for implementering i norske forhold.

Ut ifra Figur 3, er det mulig å se at den norske kronen i løpet av de siste årene har fått en lavere verdi, og i den anledning har det blitt dyrere å importere Isokalk fra Sveits. Det er nødvendig å valuta-korrigere kostnader for importerte produkter hvis det skal utføres en læringskurve, ettersom det vil være vanskelig å se læring med en betydelig endring i valutakursen.



Figur 3: Valutakurs for sveitsisk franc (CHF) (NorgesBank, 2024)

## 2.5 Teknologilæring

Teknologisk endring har gjennom tidene vært vesentlig relatert til økonomisk vekst. Utviklingen og spredningen av teknologi har hatt betydelige effekter som blant annet reduserte produksjonskostnader og økt ressurseffektivitet. To sentrale faktorer som driver teknologisk endring er forskning og utvikling (FoU) og implementering (Martinsen, 2010). Implementering og utvikling av nye og forbedret teknologier har vært sentral i overgangen mot grønnere og mer effektive former for teknologi. Nye teknologier muliggjør endringer slik at det er potensial for å levere forbedrende tjenester som kan svare på miljøbelastningene på

en effektiv måte (Sagar & Van der Zwaan, 2006).

En metode for å projisere fremtidige kostnader er å utvikle en læringskurve. Begrepet "læringskurve" ble først introdusert av Wright (1936) i en analyse vedrørende arbeidsmengden som ble investert i å konstruere et fly. Produksjonstiden var betydelig i starten, men avtok gradvis etter hvert som arbeiderne tilegnet seg økt effektivitet i byggeprosessen for flyene. Analysen resulterte i en kostnadsreduksjon grunnet repetitive utførelser i arbeidsoppgavene til arbeiderne. I dag blir læringskurver brukt til å estimere tidsforbruket i produksjon, og reduksjon i kostnad der læring og erfaring blir etablert. Når ansatte eller en organisasjon blir mer erfarne med en bestemt oppgave eller produksjonsprosess, kan det forventes at kostnadene reduseres som et resultat av økt effektivitet og færre feil (Anzanello & Fogliatto, 2011). Ved å forstå og utnytte læringskurvens prinsipper, kan organisasjoner forbedre sin operasjonelle effektivitet, redusere produksjonskostnader og forbedre konkurransevnen i markedet.

For å utarbeide en læringskurve vil det kreve forskjellig data som gjør det mulig å se hvordan produktet kan forbedre seg. I mange tilfeller vil denne dataen inneholde enhetskostnad og akkumulert produksjonsmengde. Ved å analysere disse variablene kan organisasjoner identifisere trender, forstå hvordan læringsprosesser påvirker produksjonskostnader, utvikle strategier for å optimalisere produksjonsprosesser og redusere kostnader over tid.

Læringskurven er forklart av funksjonen:

$$C(x_{kum}) = C_0(x_{kum})^{-E}$$

Likning 1

$$LR = 1 - 2^{-E}$$

Likning 2

Hvor:

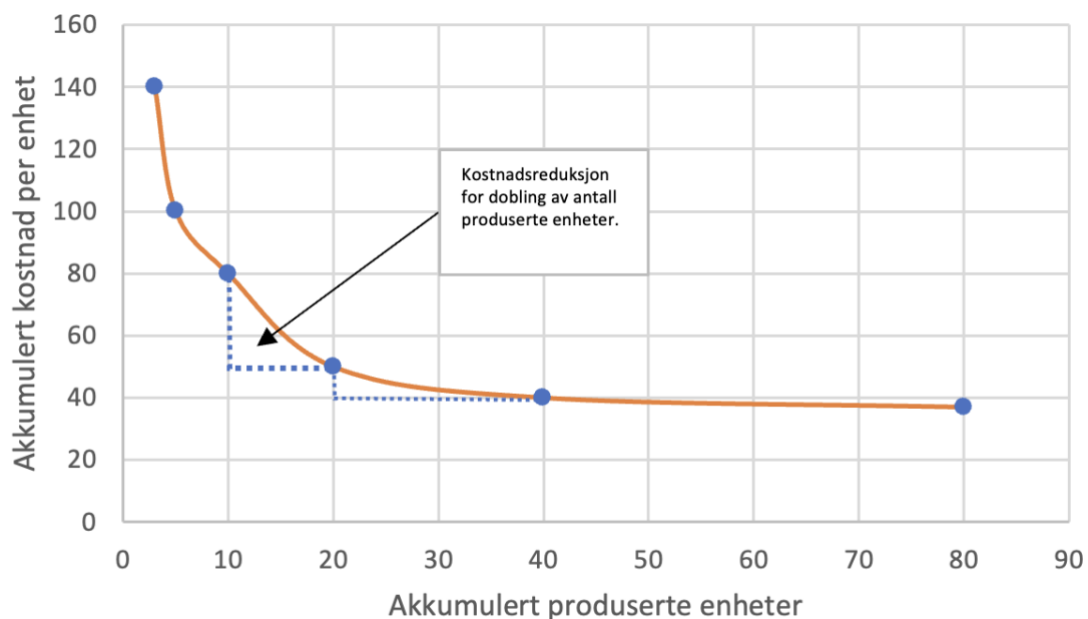
$C_0$  = Opprinnelige kostnad

$E$  = Læringsparameter

$C(x_{kum})$  = Resulterende kostnaden

$LR$  = Læringsraten.

Likning 1 **Error! Reference source not found.** gjenspeiler typisk hvordan kostnadene per enhet vil avta. Ettersom det totale antallet produserte enheter øker, reflekterer de forbedringene i effektivitet som oppnås gjennom læring og økt erfaring (Martinsen, 2010). Likning 2 viser hvordan læringsraten blir beregnet ut ifra læringsparameteren funnet i læringskurven. Læringsraten viser en økning eller reduksjon i kostnaden for hver dobling av akkumulert produserte enheter (McDonald & Schrattenholzer, 2001). Et eksempel av dette vises i Figur 4, hvor den stiplede linjen illustrerer kostnadsreduksjonen for hver dobling av produserte enheter (Stake, 2016).



Figur 4: Eksempel på hvordan læringsraten viser kostnadsreduksjon for hver dobling av produserte enheter. Diagrammet er inspirert av Stake (2016).

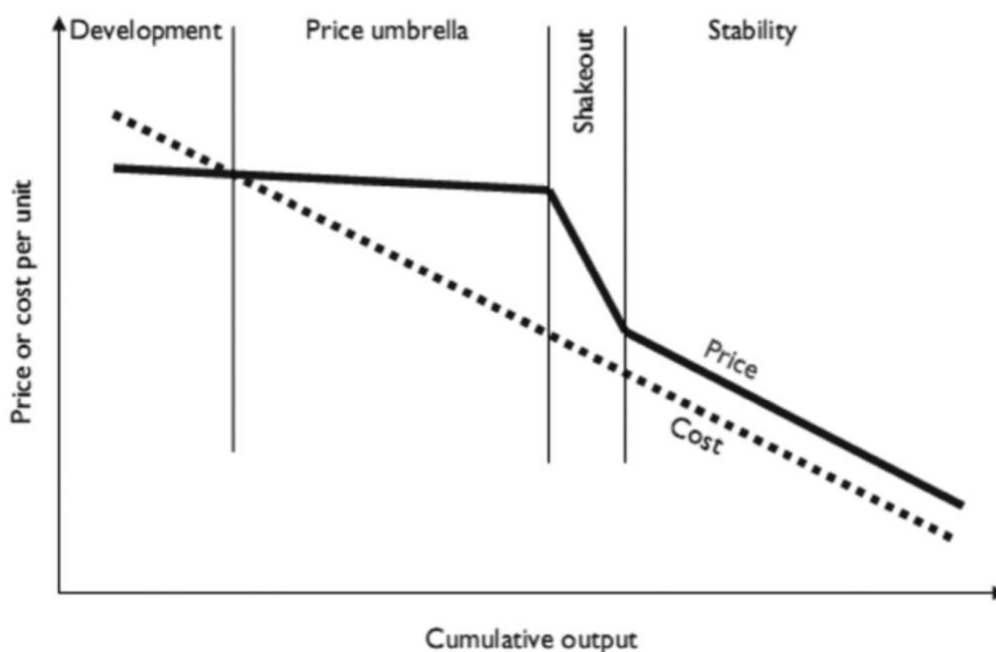
Alberth (2006) viser til at læringskurver i litteraturen har blitt brukt som en enkel og pålitelig metode for å utvikle kostnadsprognoser for nye teknologier. Metoden gir mulighet til å estimere hvor mye erfaring som må tilegnes før break-even kostnaden nås. Break-even kostnad er punktet hvor en ny teknologi overgår en allerede eksisterende teknologi innen kostnadseffektivitet.

Innenfor teknologilæring finnes det to forskjellige perspektiver som en læringskurve kan fremstille; Et markedsperspektiv og et produksjonsperspektiv. Markedsperspektivet forklarer hvordan kunnskap og effektivitet sprer seg gjennom landegrensener og marked (Neij et al., 2003). Det antyder at når en ny teknologi blir adoptert og utbredt i markedet, fører det til en

nedadgående trend i kostnadene grunnet forbedret produksjonsmetoder og økt konkurranse, som presser prisene nedover. Det er kun gjennom et markedsperspektiv er det mulighet til å fange opp effektene fra lokal læring (Martinsen, 2010). For oppgaven vil det si at markedsperspektivet vil inkludere reduserte kostnader innenfor påføringsprosessen til Isokalk. Produksjonsperspektivet fokuserer mer på hvordan repetisjon og erfaring innenfor en bestemt produksjonsaktivitet fører til bedre effektivitet og lavere kostnader (Neij et al., 2003). Perspektivet tar for seg hvordan erfaring, forbedringer i produksjonsprosessen, og arbeiderkompetanse bidrar til økt produktivitet og kostnadsreduksjon over tid, innenfor en organisasjon eller en industri. For oppgaven vil produksjonsperspektivet inkludere salgsprisen til Isokalk.

En teori som er relevant i forhold til teknologilæring og oppgaven er BCG (1968) sin «prisparaply» teori. Teorien forklarer hvordan forholdet mellom kostnad og pris ikke nødvendigvis må være proporsjonalt. I et marked med lite konkurranse vil det være insentiv til å holde salgsprisen stabil for å maksimere profitt, selv om produksjonskostnaden blir redusert. Med økende markedsstørrelse og konkurranse kan pris-kostnadsforholdet bli ustabil, noe som fører til en ustabil justering mellom pris og kostnad, samt en reduksjon i fortjenesten. Denne perioden er kjent som «shakeout-fasen». Over tid vil et konkurransefylt marked sannsynligvis stabilisere både kostnadene og prisene (BCG, 1968; Bergman & Jardine, 2009). Figur 5 viser forholdet mellom pris og kostnad når et marked vokser.





Figur 5: Forholdet mellom pris og kostnad for en ny teknologi (BCG, 1968; Bergman & Jardine, 2009).

## 2.6 Bygg innenfor potensialet

I Norge finnes det mange boliger som er bygget av tre. Hovedsakelig gjelder dette eneboliger i forstadsområder. I mer tettbygde strøk som byer, eksisterer det ofte boliger bygd med tegl eller betong. Mange av disse byggene er vanligvis eldre, med forskjellige vernestatuser og med et høyt energiforbruk.

Martinsen et al. (2011) tok for seg seks eksempelbygg av forskjellige bygningstyper og analyserte hvilke energisparende tiltak som er nødvendig for at bygget skal tilfredsstillе kriterier for lavenerginivå. Kulturminnehensyn er også lagt til grunn der forskjellige tiltak er inkludert i rapporten. Byggene som blir analysert er; murgård fra 1800-tallet, paneltømmerhus fra før 1900, enebolig fra perioden 1900-1940, førkrigs leiegårder, boligblokker fra perioden 1950-1970 og husbank hus fra perioden 1950-1970. Det ble utforsket hvilke tiltak som var nødvendige å utføre innenfor hver forskjellig bygningstype, og rapporten viste at rehabilitering av eldre bygninger krever omfattende tiltak. Murgårder fra 1800-tallet, førkrigsleiegårder og boligblokker fra perioden 1950-1970 er interessante for oppgaven ettersom bygningstypene ofte er bygget av tegl eller betong, og som regel har en allerede pusset fasade.

Murgårder fra 1800-tallet er noe som er typisk for den norske hovedstaden, Oslo. Denne typen bygninger har som regel pusset og malt ytre fasade som krever ytterlig vedlikehold. De fleste murgårder ble bygget i siste halvdel av 1800-tallet er et resultat av Kristianias første store boligutbygging. Flertallet av disse bygningene er oppført som bevaringsverdige, og det er dermed viktig å ikke endre deres ytre utseende (Byantikvaren, 2014). Selv om bevaringsverdige murgårder er mest utbredt i Oslo, er bygningene også vanlige i flere av Norges større byer. Byer som for eksempel Trondheim, Bergen og Drammen har et antall murgårder fra 1800-tallet.

Innenfor mellomkrigstiden ble det også bygget mange bygninger av teglvegger og betongdekker for å øke boligutbyggingen. Ettersom de er bygget av tegl og betong går disse innenfor potensialet til Isokalk. Disse ble kalt førkrigstidens leiegårder. Denne typen bygninger var ofte smale og bestod vanligvis rundt 4 etasjer. (Martinsen et al., 2011).

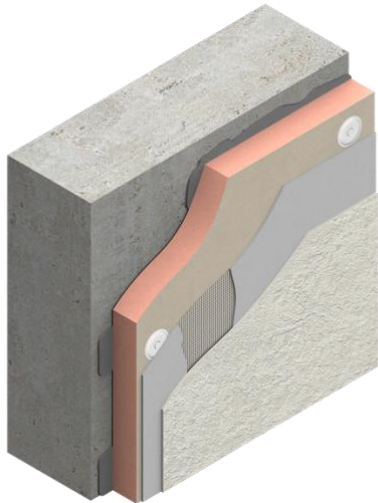
Boligblokker fra 1950 til 1970 er også innenfor potensialet til Isokalk. Denne typen bygninger hadde varierende konstruksjonsmetoder, men selv om mange blokker fortsatt hadde fasader av tegl, ble veggene i noen tilfeller bygget med betonghullstein eller var helstøpt i betong. De fleste fasadene var pusset (Martinsen et al., 2011).

## 2.7 Alternative isolasjonstyper

Etterisolering av utvendig fasade regnes som å være den fremste løsningen innenfor varme- og fukttekniske løsninger, men denne løsningen kan derimot komme i konflikt med vernehensyn (Martinsen et al., 2011). Det finnes flere forskjellige isolasjonstyper som er mulig å etterisolere med på mur- og betongbygg. Plater med mineralull, polyuretan eller polystyren er gjerne det vanligste å bruke for å etterisolere (Stenby, 2020). Selv om det finnes flere leverandører av slike isolasjonsplater, avgrenses det i denne oppgaven til å kun se på Kingspan Kooltherm-serien, ettersom den er vanlig å påføre på tegl- og betongbygg.

Kingspan Kooltherm er en serie med isolasjonstyper som kan brukes til å etterisolere med, på lik linje med Isokalk. Forskjellen er at Kingspan Kooltherm kommer i form av plater istedenfor mørtel med aerogel. Fremgangsmåten for å påføre platene er forskjellig fra hvilken type plate som skal benyttes. Platene kan benyttes på fasade, innsiden av murveggen, golv, tak

og innsiden av rommet. Figur 6 viser en illustrasjon over Kingspan Kooltherm K5 som er en av platetyperne i Kooltherm serien. Platene har en lamda-verdi på 0,021 W/mK (Kingspan, 2024a). Kingspan kooltherm er billigere enn den aerogel-baserte isolasjonstypen. Prismessig er Kingspan kooltherm-serien vesentlig billigere enn Isokalk, og ligger på rundt 200-300 NOK/m<sup>2</sup> avhengig av hvilken plate som velges å bruke (Kingspan, 2024c).



Figur 6: Illustrasjon over Kingspan Kooltherm K5 (Kingspan, 2024b)

### 3. Materiale og metode

I dette kapitlet presenteres de materialene og metodene som jeg har brukt gjennom prosessen, for å adressere og besvare problemstillingene. De tekniske og økonomiske dataene som blir identifisert gjennom litteratursøk blir vurdert og danner grunnlaget for de videre beregningene som utføres.

#### 3.1 Datagrunnlag

Datainnsamling er en utfordrende prosess, ettersom det krever kontakt med ulike individer som potensielt besitter relevant informasjon for de aktuelle problemstillingene. For å garantere at informasjonen møter høye kvalitetskrav og akademiske standarder, hentes dataene fra pålitelige kilder. Dette inkluderer fagpersoner som regelmessig arbeider med de aktuelle produktene eller temaene, samt gjennomgang av publiserte vitenskapelige artikler. Ved å støtte seg på slike troverdige kilder, sikrer man at datainnsamlingen og antagelsene er grundige, og gir et solid fundament for videre analyse og forskning.

Innenfor teknologilæring er vitenskapelige artikler særlig relevante og utgjør en stor del for anskaffelse av data i oppgaven. For å utføre en læringskurveanalyse er det nødvendig med økonomiske data av relevans til produktet som skal analyseres. For å samle inn økonomiske data om Isokalk, ble alle fakturaene, salgsrapportene og kalkylene til Isokalk AS fra 2015 til 2023 brukt. Innsamling ble utført fordi det ikke eksisterte statistikk over hvordan prisen hadde endret seg gjennom årene produktet hadde vært på det norske markedet. Prosessen var krevende, men ga verdifull innsikt i kostnadene for Isokalk. Dataen gjennomgikk en datavask for å luke vekk feiljusteringer og feilkalkulasjoner, og ble deretter satt i en tabell med forskjellige beregninger nevnt i kapittel 3.3. Alle fakturaer, salgsrapporter og kalkyler ble tilsendt fra Isokalk AS med godkjenning for å brukes i oppgaven.

Innenfor beregningen av det tekniske potensialet til Isokalk ble det utført et litteratursøk innenfor relevante vitenskapelige artikler. I oppgaven blir det brukt funn fra andre lignende forskningsprosesser for å kunne beregne et estimat for det tekniske potensialet for Isokalk.

Antagelser må bli tatt for å sikre et godt resultat der datamangel er et problem. Der antagelsene er tatt i bruk vil de bli begrunnet. Antagelsene er hovedsakelig inspirert av andre relevante og lignende studier som er utført.

### 3.2 Analyse av det tekniske potensialet for Isokalk

Det tekniske potensialet for Isokalk refererer hovedsakelig til det som teknisk sett er mulig å oppnå ved påføring av isolasjonstypen. Det vil si den totale mengden energibesparelse som kan oppnås ved bruk av Isokalk, uavhengig av om det vil være økonomisk forsvarlig.

For å beregne det tekniske potensialet er det nødvendig med egne antagelser der det er manglende datagrunnlag. Det vil også være viktig med avgrensinger, for å forhindre at analysen ikke blir for komplisert. Blant mulige bygningstyper for påføring av Isokalk, avgrenser oppgaven seg til følgende kategorier:

1. Murgårder fra før 1900-tallet
2. Leiegårder fra førkrigsperioden
3. Boligblokker fra perioden 1950-1970

Bygningskategoriene er inspirert av rapporten utført av Martinsen et al. (2011). De tre bygningskategoriene er valgt på bakgrunn av at en stor andel av dem er konstruert i tegl eller betong og allerede besitter en fasade med puss, samt at bygningene har et generelt behov for energieffektivisering. Dessuten eksisterer det tilgjengelig datamateriale fra bygningskategoriene i rapporten utført av Martinsen et al. (2011), noe som er med på å sikre mer nøyaktige beregninger.

For å finne det tekniske potensialet til Isokalk, vil reduksjonen i det spesifikke energibehovet bli beregnet først, og deretter det totale potensialet for energireduksjon estimeres til slutt.

#### **Murgårder fra før 1900-tallet**

Statistisk sentralbyrå (2024a) rapporterer om at det ble bygget omkring 49 026 boliger før år 1900, hvorav disse boligene har et gjennomsnittlig areal på 120 kvadratmeter. Martinsen et al. (2011) sitt eksempelbygg innenfor kategorien murgårder før 1900-tallet, viser at bygget har et

spesifikk energibehov på 426 kWh/m<sup>2</sup>. Ifølge Statistisk sentralbyrå (2014b) har derimot boliger i boligblokk bygd før 1900 et spesifikk energibehov på 189 kWh/m<sup>2</sup>. Det er mangel på spesifikk informasjon om byggematerialene som ble benyttet i disse konstruksjonene. Martinsen et al. (2011) antar at alle disse bygningene er oppført som murgårder, en antakelse som også legges til grunn for denne analysen. Videre antas det at alle murgårdene har fasader av puss.

### **Leiegårder fra førkrigsperioden**

I perioden 1921 til 1940 registrerte Statistisk sentralbyrå (2024a) at det ble bygget rundt 44 937 boliger i leiegårder, med en gjennomsnittsstørrelse på 120 kvadratmeter. Eksempelbygget til Martinsen et al. (2011) har et spesifikk energibehov på 273 kWh/m<sup>2</sup>. Ifølge Statistisk sentralbyrå (2014b) er det gjennomsnittlige spesifikke energibehovet er 197 kWh/m<sup>2</sup>.

### **Boligblokker fra perioden mellom 1950 til 1970**

Mellom 1946 og 1960 ble det, ifølge Statistisk sentralbyrå (2024a), bygget omtrent 68 057 boliger i boligblokker, hvor gjennomsnittsstørrelsen på disse boligene ligger på rundt 106 kvadratmeter. Eksempelbygget fra Martinsen et al. (2011) har et spesifikk energibehov på 268 kWh/m<sup>2</sup> og et gjennomsnittlig spesifikk energibehov på 189 kWh/m<sup>2</sup> ifølge Statistisk sentralbyrå (2014b).

Karim et al. (2020) viste at omtrent 27 % av boligblokkene i Sverige har en fasade av puss. Det finnes ingen tilsvarende data for Norge, så i denne analysen antas det at samme prosentandel av førkrigs-leiegårder og boligblokker bygget i perioden mellom 1950 og 1970 også har pussfasade. For alle bygningskategoriene er det antatt at 20 % av de totale boligene i de diverse bygningstypene er inkludert i analysen. Grunnen for antagelsen på er 20 % er for å ha et utgangspunkt i analysen, og det er trolig usannsynlig at 100 % av boligene innenfor bygningskategoriene vil passende for isokalk.

For å evaluere ulike metoder for energireduksjon og potensialet for energisparing, må det først defineres hva som skal beregnes. Denne seksjonen fokuserer på reduksjon av energibruk per kvadratmeter, og det teoretiske energisparingspotensialet ved bruk av Isokalk. For å analysere alle de overnevnte energisparingsmetodene, er det nødvendig å gjennomføre spesifikke beregninger. Det første steget involverer identifisering av antall leiegårder fra førkrigsperioden og boligblokker bygget mellom 1950 og 1970 som har pussfasader. Dette

kan beregnes ved å ta utgangspunkt i 27 % av det totale antallet boliger registrert i SSB sitt register. Deretter må man estimere den prosentvise andelen av disse bygningene som potensielt kan være egnet for Isokalk-behandling. Beregningene utføres ved å ta 20 % av boligene fra alle de tre nevnte bygningskategoriene.

### **Reduksjon i spesifikk energibehov**

Når antallet boliger som skal inkluderes i analysen er fastslått, må det spesifikke energibehovet, U-verdi og gjennomsnittlig energibruk for boligene kartlegges. Spesifikk energibehov per kvadratmeter er delt opp i to deler, hvor den ene delen kommer fra Martinsen et al. (2011) og den andre delen er hentet fra SSB sin gjennomsnittlig oversikt. Videre er det mulig å gjøre beregninger angående reduksjon i spesifikk energibehov for hvert av bygningskategoriene i analysen. Dette gjøres ved å bruke funksjonen:

$$se = eb * er$$

*Likning 3*

Hvor:

*se* = Estimert energireduksjon i spesifikk energibehov

*eb* = Spesifikk energibehov i bygningskategorien

*er* = Solheim (2018) sin beregnede reduksjon i energibehov ved bruk Isokalk

Beregningen vil gi et estimert svar på hvor mye de ulike byggene vil redusere sitt energibehov. Likning 3 må brukes ved alle de forskjellige energibehovene fra Martinsen et al. (2011), samt den gjennomsnittlige hentet fra SSB.

### **Beregning av totalt energisparingspotensial**

Ved å bruke gjennomsnittlig areal for hver bolig innenfor hver bygningskategori er det mulig å finne totalt estimert energisparingspotensial basert på spesifikk energibehov. Dette gjøres ved bruk av funksjonen:

$$Total\ energisparingspotensial = se * (B * ga)$$

*Likning 4*

Hvor:

$se$  = Estimert energireduksjon i spesifikk energibehov

$B$  = Antall boliger innenfor de gitte bygningskategoriene

$ga$  = Gjennomsnittlig areal per bolig innenfor de gitte bygningskategoriene

Fra Likning 4 får man estimert total energisparingspotensial basert på spesifikk energibehov ved påføring av et 7 cm lag med Isokalk.

For å beregne det totale energisparingspotensialet for Isokalk basert på gjennomsnittlig energibruk, benyttes Statistisk sentralbyrå (2014a) sin oversikt over gjennomsnittlig energiforbruk i boligblokker sammen med det totale antallet bygninger med tidligere avgrensningene innenfor de relevante bygningskategoriene som inngår i analysen. Funksjonen som brukes i beregningen er:

$$\text{Total energisparingspotensial} = \sum B * ge * E$$

Likning 5

Hvor:

$B$  = Antall boliger innenfor de gitte bygningskategoriene

$ge$  = Gjennomsnittlige energibruk i boliger i boligblokker

$E$  = Energireduksjonen estimert av Solheim (2018) i hans eksempelbygg

Likning 5 gir et estimat på potensialet for energisparing ved å påføre isokalk i 20 % av bygningene i de nevnte kategoriene.

### 3.3 Beregninger for økonomisk potensial

Det økonomiske potensialet refererer til hvorvidt bruk av Isokalk i Norge er økonomisk gunstig eller ikke. Den økonomiske analysen i denne oppgaven fokuserer på å samle inn nødvendige økonomiske data for å utføre beregninger for å danne læringskurver. Analysen begynner med å beregne kiloprisen for Isokalk. Neste steg er å beregne prisen per kvadratmeter. Videre inkluderer analysen en justering for inflasjon, slik at eventuell læring



ikke blir skjult av inflasjon. Den fjerde beregningen involverer en justering for valutaeffekter for å sikre at valutavariasjoner ikke maskerer læringseffekter.

Den første likningen brukes for å finne snittprisen til Isokalk. Dette gjøres ved å bruke funksjonen:

$$\frac{NOK}{kg} = \frac{S}{a * 10}$$

*Likning 6*

Hvor:

$S$  = Oppgitt totalpris for isokalk innenfor hvert separate prosjekt

$a$  = Antall sekker Isokalk påført i hvert separate prosjekt

Antall sekker multipliseres med ti ettersom en sekk har en vekt på 10 kg. Likning 6 brukes på hvert enkelt prosjekt i analysen. Når kiloprisen funnet, vil det være mulig å finne nok/m<sup>2</sup>, som er definert som:

$$\frac{NOK}{m^2} = \left( \frac{a * 10}{T} \right) * NOK/kg$$

*Likning 7*

Hvor:

$a$  = Antall sekker med Isokalk påført i hvert separate prosjekt

$T$  = Totalt areal av isolert område for hvert separate prosjekt

Beregningen gir ikke informasjon om tykkelsen på isolasjonen. Det må overveies hvordan man kan beregne tykkelsen for en mer nøyaktig økonomisk analyse. Likning 7 må brukes på hvert enkelt prosjekt i analysen.

Med disse beregningene kan det dannes en snittpris for hvert år, som gjør det mulig å finne den totale mengden Isokalk som blir solgt hvert år. Beregningen gjøres ved å ta gjennomsnittet av prisen (NOK/kg) for alle prosjektene i løpet av hvert år. For å finne den totale mengden Isokalk solgt hvert år, summeres mengden for hvert prosjekt i det året.

For å utføre læringskurveanalysen er det naturlig å inflasjonsjustere kostnadene. En slik justering sikrer læring og effektivitetsendringen ikke blir skjult i inflasjonen, ettersom den har en stor påvirkning på kostnaden. Inflasjonsjusteringen uttrykkes som

$$i = \frac{ck}{cy} * \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n g_j$$

Likning 8

Hvor:

$i$  = Inflasjonsjustert snittpris

$ck$  = Basisåret for inflasjonsjusteringen, der det er tatt utgangspunkt i konsumprisen for år 2023, som er hentet fra Statistisk sentralbyrå (2024c) sin konsumprisindeks for Norge

$cy$  = Konsumersprisen for hvert år fra konsumprisindeksen

$n$  = Antall prosjekter per år og  $g$  er de ulike verdiene for NOK/kr for hvert prosjekt

I datasettet til analysen er det noen år der det kun eksisterer et prosjekt, og prisen fra dette prosjektet antas til å være snittprisen for det året.

Det siste steget for å få en mest mulig realistisk læringskurve er å utføre en valutakorreksjon av den allerede inflasjonsjusterte snittprisen. Som tidligere nevnt, har den norske kronen blitt svakere i den siste tiden og det vises i salgsprisen til Isokalk. For å utføre en valutakorreksjon er det nødvendig å ha gjennomsnittsalutakursen for Sveitsisk franc fra år 2015 til 2023.

Tallene er hentet fra NorgesBank (2024) sin oversikt over årsgjennomsnitt valutakurs for Sveitsisk franc - år 2015 til 2023. Valutakorrigeringen av kostnadene til Isokalk utføres slik

$$\text{Valutakorrigert snittpris} = \left(\frac{i}{gv}\right) * gk$$

Likning 9

Hvor:

$i$  = Inflasjonsjustert snittpris per år i analysen

$gv$  = Gjennomsnittlig valutakurs fra hvert år i analysen

$gk$  = Gjennomsnittlig valutakurs for basisåret i valutakorrigeringen, hvor basisåret er valgt til å være 2015

Likning 9 gir en verdi for hva 2023-kronevedien ville vært i 2015, før den store endringen i valutakursen. Ettersom valutakorrigeringen er basert på årlig gjennomsnittsvaluta fra perioden 2015 til 2023, kan det være forskjeller innenfor hvert år, noe som kan skape usikkerhet.

### 3.4 Sammenligning av isolasjonstyper

Ved å sammenligne ulike typer isolasjon kan man avdekke hvordan de presterer i forhold til hverandre. Denne sammenligningen inkluderer beregninger av R-verdi, som angir termisk motstand, U-verdi, som måler varmeisolasjonsevnen, og kostnaden forbundet med hver type isolasjon. For å kunne gjennomføre disse beregningene, er det nødvendig å kjenne lambda-verdien, som er et mål på materialets varmeledningsevne. Verdien er funnet ved å kontakte de forskjellige bedriftene som selger isolasjonstypene. I denne analysen ble det lagt spesiell vekt på aerogel-baserte Isokalk og Isolasjonsplate-serien, Kingspan Kooltherm.

Sammenligningen av pris vil variere avhengig av de forskjellige Kingspan Kooltherm-platetyperne. Det er likevel antatt at gjennomsnittsprisen ligger på 240 NOK/m<sup>2</sup> ved 50 mm isolasjonstykkelse for Kingspan Kooltherm. For prisen til Isokalk er det tatt i bruk 2023-salgsprisen ved 50 mm, som er 1634 NOK/m<sup>2</sup>.

Beregning av en teoretisk R-verdi er knyttet til tykkelsen av isolasjonen. Praktisk sett er kalkulering av R-verdi en mer krevende prosess i motsetning til en simpel teoretisk R-verdi. Teoretisk R-verdi er ofte definert av:

$$R = \frac{d}{\lambda}$$

*Likning 10*

Hvor:

$d$  = Tykkelsen av materialet i meter

$\lambda$  = Lambda-verdi - materialet sin varmeledningsevne (Gaspar et al., 2016)

Å beregne en teoretisk U-verdi måler man hvor godt et bygningselement leder varme. Den er omvendt proporsjonal med R-verdi. Formelen til U-verdi er definert som

$$U = \frac{1}{R}$$

*Likning 11*

Hvor:

$R$  = Tidligere beregnet termiske motstanden

Ved å kunne beregne både teoretisk  $R$  og  $U$ -verdi med Likning 10 og Likning 11, og i tillegg tar med kostnaden med i sammenligningen, vil det gi innsikt i hvor god isolasjonsevne produktene har, noe som igjen gir et godt grunnlag for sammenligning av produktet. Slik sammenligning åpner opp for muligheten til å vurdere om det finnes et teknisk potensial for Isokalk i Norge, forutsatt at det ikke allerede finnes et velfungerende produkt på markedet.

## 4. Resultater

I dette kapitlet vil resultatene fra beregningene utført i Kapittel 3 bli presentert. Beregningene har avdekket flere læringskurver som reflekterer det økonomiske potensialet til Isokalk.

Videre er det utført beregninger for å undersøke det tekniske potensialet. Resultatene fra disse beregningene vil bli illustrert gjennom diagrammer og tabeller, som sammenligner data hentet fra flere kilder.

### 4.1 Datainnsamling

Tabell 1 gir en oversikt over innhentet økonomisk data fra 25 prosjekter fra Isokalk AS.

Oversikten er laget gjennom informasjon fra fakturaer, salgsrapporter og kalkyler.

Informasjonen ble datavasket og bearbeidet for å sikre relevans for denne studien. NOK/m<sup>2</sup> er forskjellig basert på isolasjonstykkelsen brukt i prosjektene.

Tabell 1: Økonomisk oversikt over tidligere prosjekter for Isokalk.

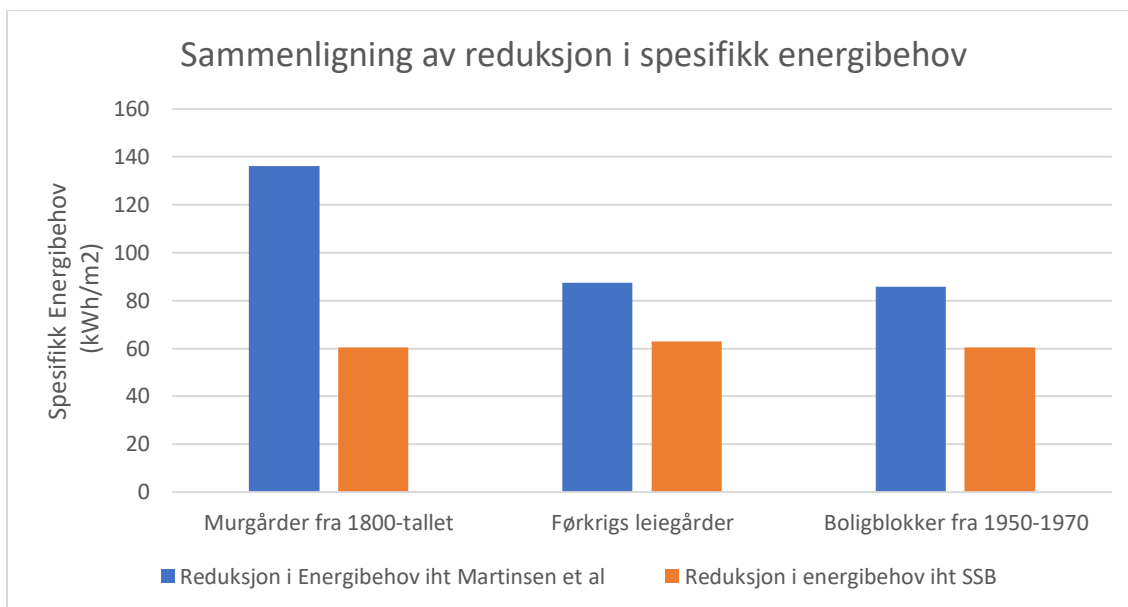
Prosjekt:	År	NOK/kg	Mengde Solgt (kg)	Kvadratmeter (m <sup>2</sup> )	NOK/m <sup>2</sup>	Tykkelse (cm)
Prosjekt 1	2015	167,6	2540	160,0	2660,5	7
Prosjekt 2	2016	125,5	4100	410,0	1254,6	5
Prosjekt 3	2017	131,0	2880	360,0	1048,1	4
Prosjekt 4	2017	121,3	666	111,0	727,6	3
Prosjekt 5	2017	128,9	560	70,0	1030,9	4
Prosjekt 6	2017	125,8	7200	400,0	2264,1	9
Prosjekt 7	2017	119,4	888	111,0	955,0	3
Prosjekt 8	2017	118,2	1200	150,0	945,3	3
Prosjekt 9	2017	125,2	224	28,0	1001,9	4
Prosjekt 10	2018	113,3	690	69,0	1132,6	5
Prosjekt 11	2018	141,0	500	50	1409,5	5
Prosjekt 12	2019	126,6	3200	400,0	1012,7	4
Prosjekt 13	2020	173,2	8760	730,0	2078,1	6
Prosjekt 14	2020	161,8	4300	430,0	1618,0	5
Prosjekt 15	2020	163,0	11340	1134,0	1630,3	5
Prosjekt 16	2020	152,3	8360	836,0	1522,5	5
Prosjekt 17	2020	162,6	910	91	1625,7	5
Prosjekt 18	2021	145,7	16980	1415	1748,3	5
Prosjekt 19	2021	145,0	6300	630	1450,0	5
Prosjekt 20	2022	186,2	220	36	1138,0	5
Prosjekt 21	2022	192,5	120	40	577,4	1,2

<b>Prosjekt 22</b>	2022	148,7	8360	836	1487,2	5
<b>Prosjekt 23</b>	2023	222,7	480	43,0	2486,4	7
<b>Prosjekt 24</b>	2023	203,9	1300	130,0	2039,4	6
<b>Prosjekt 25</b>	2023	204,3	2040	255,0	1634,3	5

## 4.2 Teknisk potensial

Figur 7 illustrerer beregningen av reduksjon i spesifikk energibehov for tre ulike kategorier av bygninger, sammenlignet med data fra to forskjellige kilder: eksempelbygget i studien av Martinsen et al. (2011) og gjennomsnittlig verdier fra SSB. Det antas å være totalt rundt 19150 boliger.

Murgårder fra 1800-tallet viser en reduksjon i spesifikk energibehov på henholdsvis 136,32 kWh/m<sup>2</sup> og 60,48 kWh/m<sup>2</sup>. For førkrigsleiegårder er reduksjonen på 87,36 kWh/m<sup>2</sup> og 63,04 kWh/m<sup>2</sup>. Boligblokker bygget mellom 1950 og 1970 viser en reduksjon på 85,76 kWh/m<sup>2</sup> og 60,48 kWh/m<sup>2</sup>.



Figur 7: Diagrammet viser reduksjonen i spesifikk energibehov for alle tre bygningskategoriene. Den sammenligner reduksjonen i fra gjennomsnittlig oversikt fra SSB (Oransje) og fra eksempelbygget til Martinsen et al. (2011) (Blå)

Det estimerte totale energisparingspotensialet til Isokalk er delt opp i to kategorier: spesifikk energibehov og gjennomsnittlig energibruk. Funnene fra spesifikk energibehov er

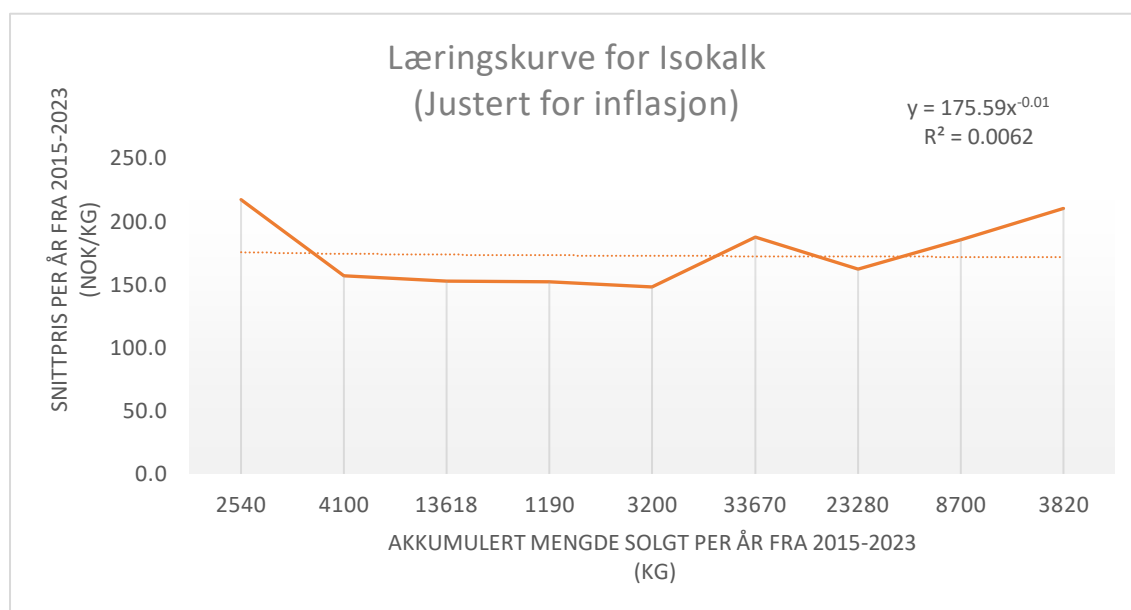
derimot delt opp i to forskjellige resultater, hvor det er hentet data fra to forskjellige kilder. Tabell 2 viser det estimerte energisparingspotensialet for spesifikk energibehov fra SSB og eksempelbyggene fra Martinsen et al. (2011), og gjennomsnittlig energibruk. De er beregnet til å være omtrent 248,7, 133,9 og 71 GWh/år.

Tabell 2: Oversikt over resultatene fra beregningene av det totale energisparingspotensialet med tre forskjellige kilder, og to forskjellige beregninger.

Energisparingskategorier	Energireduksjon	Energisparingspotensial	Enhet
Spesifikk energibehov SSB	32 %	133,9	GWh
Spesifikk energibehov Eksempelbygg	32 %	248,7	GWh
Gjennomsnittlig energibruk	34 %	71,0	GWh

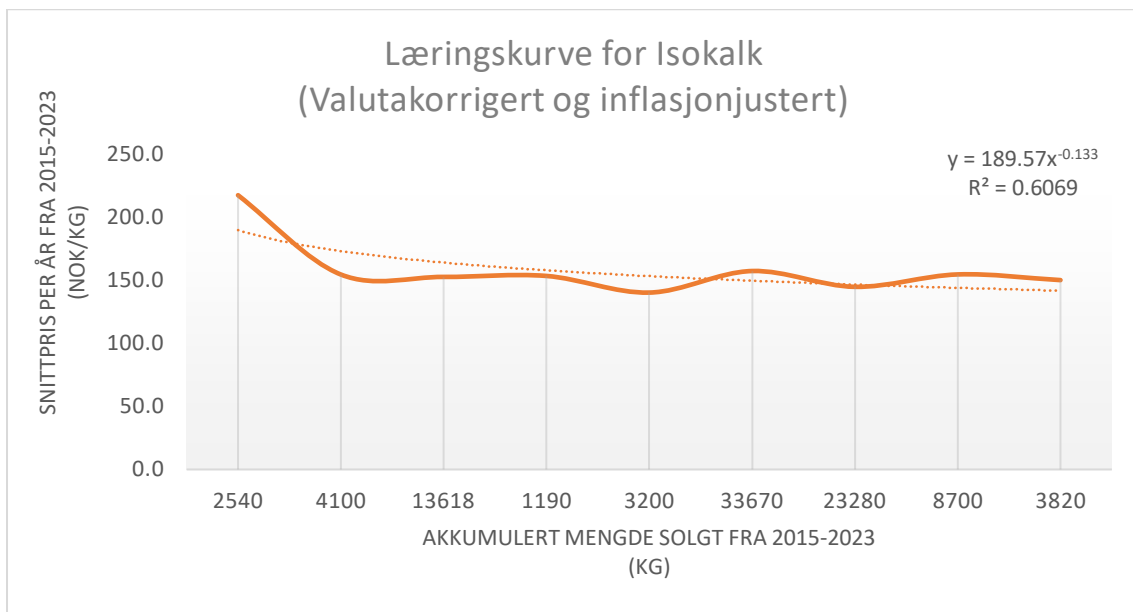
### 4.3 Læringskurver

Læringskurven viser ingen tegn til prisreduksjon, til tross for inflasjonsjustering. Basisåret til inflasjonsjusteringen er basert på konsumprisen til 2023. Grunnen for inflasjonsjusteringen er for å hindre at inflasjon skal skjule den potensielle læringen som kan vise kostnadsreduksjon. I denne grafen ser du at det blir en markant økning i de siste årene. Dette er samtidig som den norske kronen blir svakere, se Figur 1. Det er verdt å merke seg at i læringskurveanalysen er den globale veksten antatt å være lik Norge sin vekst Læringskurven for Isokalk som er inflasjonsjustert vises i Figur 8.



Figur 8: Læringskurve for Isokalk (Inflasjonsjustert). Basisåret for inflasjonsjusteringen er 2023. Grafen viser ingen tegn til kostnadsreduksjon i forhold til læring, og det er nødvendig med valutakorrigerings.

Læringskurven til Isokalk viser ingen tegn til prisreduksjon, til tross for både inflasjonsjustering og valutakorrigerings. I valutakorrigeringen er 2015 satt som basisåret. Verken inflasjonen eller valutakursen kan skjule læringen som kan gi kostnadsreduksjon. Ved å se på forskjellen mellom Figur 8 og Figur 9, er det mulig å se den store påvirkningskraften til valuta.



Figur 9: Læringskurve for Isokalk (valutakorrigert og inflasjonsjustert). Basisåret for den valutakorrigerte læringskurven er 2015. Grafen viser ingen tegn til kostnadsreduksjon i forhold til læring.

#### 4.4 Sammenligning av Isokalk og Kingspan

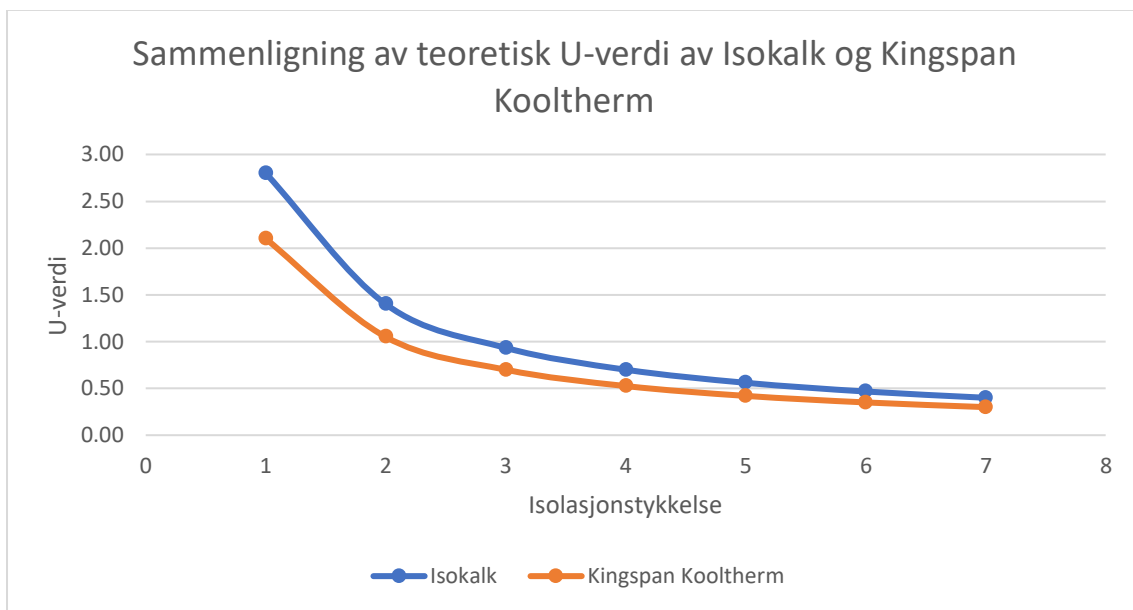
Isokalk og Kingspan Kooltherm demonstrerer sammenlignbare isolasjonsegenskaper, men sistnevnte viser en høyere isolasjonsevne. En forskjell på 7 W/mK i lambda-verdier mellom de to materialene er betydelig, noe som tyder på at Kingspan Kooltherm har en lavere varmeledningsevne. Dette er en fordel for isolasjonsformål, ettersom en lavere varmeledningsevne betyr bedre isolasjonseffektivitet. Tabell 3 viser de termiske egenskapene til Isokalk og Kingspan Kooltherm ved å bruke lambda-verdi, R-verdi, U-verdi, samt NOK/m<sup>2</sup>.

Tabell 3: Oversikt over termiske egenskaper og pris til Isokalk og Kingspan Kooltherm.

Isolasjonsyper	Isolasjonstykkelse (m)	Lamda-verdi (W/mK)	R-verdi (m <sup>2</sup> K/W)	U-verdi (W/(m <sup>2</sup> K))	NOK/m <sup>2</sup>
Isokalk	0,05	0,028	1,43	0,56	1634
Kingspan	0,05	0,021	2,38	0,42	240



Figur 10 illustrerer hvordan U-verdien avtar med økende tykkelse for de to isolasjonstypene, Isokalk og Kingspan Kooltherm. Vi kan observere at U-verdien for begge produkter synker betydelig fra 1 til 3 cm tykkelse og nærmer seg et platå etter 4 cm. Nedgangen indikerer at ytelsen av de to materialene blir mer lik ved større isolasjonstykkelse. Denne trenden viser at valget mellom Isokalk og Kingspan Kooltherm kan avhenge mindre av isolasjonstykkelsen når man når en viss tykkelse. Diagrammet er laget ved å bruke Likning 11 sammen med isolasjonstykkelse.



Figur 10: Diagrammet viser teoretisk beregnet U-verdi av Isokalk og Kingspan Kooltherm. Grafene viser at Isokalk og Kingspan konvergerer i U-verdi.

## 5. Diskusjon

I dette kapittelet vil resultatene fra studien bli diskutert og sammenlignet med andre relevante studier. Analysen innledes med en gjennomgang av det tekniske potensialet, etterfulgt av det økonomiske potensialet, en sammenligning av forskjellige isolasjonstyper og til slutt det gjennomførbare potensialet til Isokalk.

### 5.1 Isokalk sitt tekniske potensial

Beregningen av det tekniske potensialet for Isokalk bygger på data hentet fra tidligere vitenskapelige studier. Reduksjonene i energibruk er estimert basert på bygninger der Isokalk har vært påført. Resultatene presenteres i form av stolpediagrammer som illustrerer sammenligninger mellom ulike datakilder, og gir en oversikt over variasjonene i resultatene. Det totale potensialet for energisparing er presentert i en detaljert tabell som utelukkende viser tallene for direkte referanse.

Bygningskategoriene, murgårder fra 1800-tallet, førkrigsleiegårder og boligblokker fra 1950-1970 ble valgt fra Martinsen et al. (2011) på grunn av tilgjengelig datagrunnlag, og fordi denne typen bygg generelt har et behov for energieffektivisering, samt potensial til påføring av Isokalk. Det eksisterer ikke en komplett kartlegging av materialene benyttet i den norske bygningsmassen, som er årsaken til hvorfor det ble besluttet å bruke SSB sin data som grunnlag. Hvorvidt denne oversikten gir en nøyaktig representasjon av implementeringen av Isokalk som isolasjonsmateriale er usikkert, men oversikten tilbyr et estimat av det tekniske potensialet til denne isolasjonstypen.

Resultatene fra beregningene av totalenergisparingspotensialet i boliger kan deles inn i to deler. Basert på funn fra Solheim (2018) vurderes det først det spesifikke energibehovet per kvadratmeter i ulike bygningskategorier, som tar hensyn til gjennomsnittlig boligareal og en energireduksjon på 32 %. Det tas utgangspunkt i to forskjellige oversikter av bygg, hvor det er hentet data fra SSB sin oversikt og Martinsen et al. (2011) sine eksempelbygg fra de tre bygningskategoriene. Den andre beregningen bruker gjennomsnittlig energiforbruk i boligblokker, hvor samme studie indikerer en reduksjon på 34 %. Det er verdt å merke seg at beregningene går ut ifra antagelsen at 20 % av totalt antall boliger er villige til å påføre Isokalk. 20 % er valgt å være et utgangspunkt og er usikkert om er realistisk. I tillegg er det også antatt at kun 27 % av førkrigsleiegårder og boligblokker fra 1950-1970 har muligheten

til å bli påført Isokalk, som er samme antagelse Karim et al. (2020) har brukt i sin analyse i Sverige. Innenfor de to nevnte bygningskategoriene er det dermed tatt 20 % av det totale 27 %.

Det totale potensialet for energisparing basert på spesifikk energibehov er beregnet til omtrent 134 GWh fra SSB, og rundt 248 GWh fra eksempelbyggene. Dette gir en differanse på rundt 114 GWh. Energisparingspotensialet fra gjennomsnittlig energibruk er estimert til 71 GWh. Dette resulterer i et totalt energisparingspotensial fra 71 til 248 GWh ved påføring av et 7 centimeters lag med Isokalk. Gitt at utregningene bruker samme antall bygg, vil det si at den parameteren med størst påvirkningsfaktor i disse beregningene naturligvis er variasjonen i energiforbruk. Det er åpenbart at den store spredningen gjør funnene usannsynlige, men gir et estimat på hvordan Isokalk kan bidra til energieffektiviseringen i Norge.

Det finnes sammenligningsgrunnlag for resultatet innenfor vitenskapelig litteratur for det tekniske potensialet for Isokalk i Norge, hvor beregning av energisparingspotensial for aerogel-basert isolasjon har blitt utført. Karim et al. (2020) fant at hvis 10 % av flermannsboliger med pussfasade i Sverige påførte Isokalk oppstod det et energisparingspotensial på omtrent  $74 \pm 48$  GWh. I den svenske studien er det bare 10 % flermannsboliger som analyseres, i forhold til vår 20 %, samt det er kun en bygningskategori. Det er naturlig at det er et lavere energisparingspotensial i Sverige av den grunn, og i tillegg brukes det et eksempelbygg som utgangspunkt.

Bruk av Isokalk er kjent for å kunne oppnå en lav U-verdi uten å endre byggets fasade. Det er imidlertid delte meninger om bruken av Isokalk på bygninger med antikvarisk verdi. I gamle murgårder skal det i hovedsak bruke tradisjonelle metoder og materialer i henhold til renovering, slik at bygningens historiske integritet og estetiske verdi sikres, samt opprettholder byggets struktur. Det er begrenset forskning på hvordan produktet påvirker bygningsstrukturen med tanke på holdbarhet sammenlignet med tradisjonell kalkmørtel på bygninger fra 1800-tallet. Ganobjak et al. (2020) nevner prosjekter på gamle bygninger i Sveits som har blitt renoveret et par år før artikkelen ble skrevet. Prosjektene har ingen rapporterte problemer, som gir en positiv indikasjon på holdbarheten til produktet. Innenfor skrivingen av denne oppgaven er det heller ikke oppdagete rapporterte problemer angående Isokalk i Norge. I tillegg har Sveits og Norge et relativt likt klima og vil trolig ha like resultater basert på klimatiske utfordringer.

## 5.2 Isokalk sitt økonomiske potensial

Resultatene som presenterer det økonomiske potensialet illustreres i form av inflasjonsjusterte og valutakorrigerede læringskurver. Dette sikrer at effekten av teknologisk læring ikke maskeres av andre kostnadselementer.

Ifølge resultatet illustrert i Figur 8 og Figur 9, viser analysen ingen tegn til kostnadsreduksjon for Isokalk som følge av teknologilæring, til tross for justeringer av inflasjon og valutakurser. Teoretisk sett burde salgsprisen til Isokalk reduseres ettersom produktet har blitt mer populært i de siste årene. Selv om disse figurene ikke viser noen nedgang i kostnader i nyere tid, observeres det en markant reduksjon i begynnelsen av tidsperioden. Stahl et al. (2017) rapporterer om en 50 % reduksjon i kostnaden for aerogel-mørtel fra 2016 til 2017, noe som støtter læringskurvene presentert i resultatkapittelet. Årsaken til denne betydelige kostnadsnedgangen i 2016 er ikke spesifisert i studien, noe som kan tyde på at Isokalk sine priser primært påvirkes av globale faktorer.

Det er verdt å merke seg at de økonomiske dataene i *Tabell 1* som blir brukt i analysen kun er basert på salgsprisen til Isokalk. Ettersom beregningen kun er basert på salgsprisen, åpner dette opp for diskusjon angående pris-kostnad forholdet. En mulig forklaring på at prisene til Isokalk/Fixit222 ikke reduseres, kan være av en teori som kalles «prisparaply». Teorien introdusert av BCG (1968), beskriver et fenomen der produksjonskostnadene synker, men prisene holdes stabile på grunn av begrenset konkurranse i markedet (Bergman & Jardine, 2009). Det er ikke kjent at Fixit222 har noe spesifikk konkurranse innenfor aerogel-basert isolasjon, og det er derfor usikkert om forholdet mellom pris og produksjonskostnad er proporsjonal. Naturligvis forekommer det konkurranse innenfor isolasjonsmarkedet, men om det foreligger konkurranse innenfor aerogel markedet er ukjent. Derfor er det naturlig å tenke seg at hvis markedet øker og blir ustabil, kan prisene til fixit222/Isokalk reduseres i en «shakeout-fase», og etter hvert bli stabilisert.

Det er også sannsynlig at prisene i Norge i større grad påvirkes av handlinger fra produsentenes side enn av det norske markedet. Det vil si at læringskurvene i denne oppgaven baseres kun på lokale produksjonsperspektivet i Norge. Slik salgsprisene er nå, vises det ingen tegn til reduksjon.

Innenfor markedsperspektivet i Norge er det også muligheter for læring. Påføring av Isokalk tar trolig omtrent 1 time per kvadratmeter, mens isolasjonsplater er forventet å ta omkring 1,5 timer. Den antatte forskjellen i påføringstiden skyldes antageligvis metoden med å bruke en mørtelmaskin som påfører materialet enkelt på veggen, samt bruk av andre småverktøy som gjør påføringen enklere. Ut ifra resultatene er det imidlertid usikkert om disse påføringsmetodene og effektiviteten påvirker kostnaden for Isokalk. Likevel vil læring og effektivitet trolig redusere påføringskostnaden til den aerogel-baserte isolasjonstypen. Markedsperspektivet er det som betyr mest for en eventuell kunde av produktet, ettersom det er påføringskostnaden som må betales, i tillegg til salgspris.

Kostnaden til Isokalk kan påvirkes av teknologilæring fra produksjonsperspektivet i global forstand, der produsentene kan finne mer kostnadseffektive måter å produsere produktet på. I tillegg kan Isokalks popularitet på det internasjonale markedet potensielt føre til reduserte kostnader. Derfor burde det gjennomføres undersøkelser som fokuserer på teknologilæring basert på økonomi- og produksjonsdata fra produsentene selv. Det kunne imidlertid ikke gjennomføres i denne oppgaven på grunn av manglende datagrunnlag fra produsentene.

Vitenskapelig litteratur tilbyr begrenset referanser for sammenligning når det gjelder kostnadsprognoser for aerogel-basert isolasjon. Det er funnet lite relevant litteratur på dette feltet. Den eneste betydelige referansen til kostnadsreduksjon er, som tidligere nevnt, fra Stahl et al. (2017). Selv om kostnad til aerogel-basert isolasjon diskuteres i diverse artikler, tilbyr ingen av dem bemerkelsesverdig informasjon angående hvordan kostnaden har vært i fortiden eller vil være i fremtiden. Ganobjak et al. (2020) nevner at det er sannsynlig at prisen av Aerogel forventes å bli redusert i løpet av de kommende årene på grunn av bedre produksjonsmetoder, og større produksjonsvolum. Basert på funnene fra læringskurven er det som sagt, ingen tegn som indikerer denne prisreduksjonen.

### 5.3 Isokalk og Kingspan Kooltherm

Sammenligningen av isolasjonstypene Isokalk og Kingspan Kooltherm avslører at Kingspan Kooltherm-serien oppnår en teoretisk U-verdi som er lavere enn den Isokalk tilbyr. U-verdien, et mål på varmegjennomgangskoeffisienten, vurderer et produkt sin isolasjonsevne. En lavere U-verdi indikerer at materialet er mer effektivt til å isolere og dermed redusere energitapet.

Det kan trolig være en distinksjon mellom teoretiske og reelle U-verdier. Innenfor den reelle U-verdien til Isokalk er det vist i rapporter og litteratur at den er vesentlig lavere enn hva som er blitt beregnet i denne oppgaven. Ved å se på tidligere prosjekter som Skur 38, hvor U-verdien på ytterveggen ble 0,14 W/m<sup>2</sup>K etter renovering med et 4 cm lag med Isokalk (FutureBuilt, 2024), viser det at den teoretiske U-verdien er forskjellig enn den reelle. Ifølge selgerbedriften i Norge, IsokalkAS (2023) skal dette trolig skyldes fravær av fuktighet og evnen til å magasinere varme.

Den største forskjellen mellom Kingspan og Isokalk er kostnaden. Prisen til Kingspan kooltherm-serien er vesentlig billigere enn Isokalk, dette gjør at produktet er mer gunstig med tanke på kostnaden per sparte kWh. Det er derimot forskjellige bruksområder for produktene. Isokalk beholder fasadens opprinnelige utseende, noe som er en stor fordel. Kingspan, derimot, tilbyr et bredt utvalg av isolasjonsplater tilpasset mange forskjellige bygg. Det er usikkert om Kingspan passer for bygninger med pussfasade og vernestatus, ettersom at det ikke finnes noe kjent dokumentasjon på dette. Ettersom Kingspan er isolasjonsplater, kan en anta at påføring vil medføre endringer i fasadens utseende.

Det er verdt å nevne at Isokalk har en svært lav motstand mot dampoverføring og i følge Stahl et al. (2017) skal selv om vegger er våte, vil de tørke ut ettersom produktet er dampgjennomtrengelig, og vil ikke gi fuktoppsamlinger mellom vegg og påført materiale. Det er kjent at tradisjonell kalkmørtel også er diffusjonsåpent, som gjør at Isokalk er lik i den grad også.

#### 5.4 Isokalk sitt gjennomførbare potensialet

Som nevnt, er det tekniske potensialet til Isokalk beregnet til å være omtrent mellom 71 til 248 GWh. Resultatet viser at det er et stort energisparingspotensial ved bruk av Isokalk. Imidlertid har resultatet en stor spredning. Den store spredningen medfører likevel at det ikke er usannsynlig at det gjennomførbare potensialet kan tenkes å falle inn under denne spredningen. Likevel er det usikkert hvor stort Isokalk sitt gjennomførbare potensiale er, og det kan ikke tallfestes presist.

Det økonomiske potensialet vil trolig kunne sette en begrensning når det gjelder Isokalk sitt gjennomførbare potensial. Etter som resultatet ikke viser en prisreduksjon som følge av

teknologilæring for isolasjonstypen, er det naturlig å anta at det ikke vil bli billigere å kjøpe produktet i nærmeste fremtid. At prisen til Isokalk er høy vil nok gjøre produktet mindre attraktivt for kunder, ettersom de gjerne vektlegger kostnad per kWh.

Det kan tenkes at det gjennomførbare potensialet til Isokalk også kan påvirkes av andre konkurrerende isolasjonstyper, deriblant Kingspan Kooltherm-serien. Sammenligningen viser at prisen på Isokalk er høy i forhold til andre tilgjengelige isolasjonstyper, noe som kan begrense det gjennomførbare potensialet til Isokalk. På grunn av den høye prisen kan det være at kunder gjerne velger en annen isolasjonstype, til en rimeligere pris. Likevel er Isokalk en isolasjonstype som kan påføres uten å endre et bygg sin ytre fasade. Dette kan gjøre produktet attraktivt for bygg med antikvarisk verdi.

## 6. Konklusjon

Bakgrunnen for masteroppgaven er å bidra til energieffektiviserings-målene til Norge, gjennom en utforskning av det tekniske, økonomiske og gjennomførbare potensialet til aerogel-basert isolasjon.

Beregningen av det tekniske potensialet viser at det er et stort energisparingspotensial ved bruk av Isokalk. Dersom 20 % av murgårder fra 1800-tallet, førkrigsleiegårder og boligblokker fra 1950-1970 påfører Isokalk, er det estimert et totalt energisparingspotensial på 71 til 248 GWh hvert år. Beregningene baseres på tidligere funn fra vitenskapelige artikler som har utarbeidet en prosentvis energireduksjon fra prosjekter hvor det har blitt påført Isokalk. Den store spredningen er usikker, og kan skyldes at beregningene er basert på både spesifikk energibehov og energibruk, samt forskjellige kilder. På grunn av den store spredningen kan det likevel tenkes at det gjennomførbare potensialet kan ligge innenfor denne.

Ut ifra resultatene er det mulig å konkludere med at det økonomiske potensialet for Isokalk ikke er positivt. Læringskurven viser at det ikke eksisterer tegn til kostnadsreduksjon i fremtiden for Isokalk i Norge, selv ved både inflasjonsjustering og valutakorrigerende av salgsprisen. Imidlertid ble læringskurvene kun utarbeidet av salgsprisen til Isokalk og sier derfor ingenting angående produksjonskostnadene til produktet. Derfor er det usikkert om forholdet mellom pris og produksjonskostnad er proporsjonalt. Manglende prisreduksjon kan være en faktor som begrenser det gjennomførbare potensialet til Isokalk.

Isokalk viser gode resultater sammenlignet med andre isolasjonstyper grunnet muligheten for en lav U-verdi. Samtidig er det fordelaktig at Isokalk kan benyttes uten å endre fasadens utseende gjennom rehabiliteringen. Dette medfører at Isokalk kan påføres på bygg med antikvarisk verdi uten å forringe byggets estetikk, som igjen gir mulighet til rehabilitering av bygg med vernestatus og begrenset isolasjonsevne. Isokalk har imidlertid en høyere pris enn flere tilgjengelige isolasjonstyper i Norge, noe som vil trolig påvirke attraktiviteten til produktet.



## Referanseliste

- Acharya, A., Joshi, D., & Gokhale, V. A. (2013). AEROGEL—a promising building material for sustainable buildings. *Chemical and Process Engineering Research*, 9, 1-6.
- Alberth, S. (2006). Forecasting technology costs via the learning curve-myth or magic?
- Ali, A. M., Farouk, A., & Ezzeldin, M. (2022). Reducing Buildings Operating Economics by Selecting the Optimal Nano Insulation Thickness in External Walls: Two Case Studies in Germany and USA. *Civil Engineering and Architecture*, 10(3), 937-962.
- Anzanello, M. J., & Fogliatto, F. S. (2011). Learning curve models and applications: Literature review and research directions. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 41(5), 573-583.
- BCG. (1968). *Perspectives on experience*. Boston Consulting Group.
- Bergman, N., & Jardine, C. (2009). *Power from the people: domestic microgeneration and the low carbon buildings programme*. Environmental Change Institute.
- Buratti, C., Merli, F., & Moretti, E. (2017). Aerogel-based materials for building applications: Influence of granule size on thermal and acoustic performance. *Energy and Buildings*, 152, 472-482.
- Byantikvaren. (2014). *Informasjonsark - Murgårdsfasader Istandsetting og vedlikehold*.  
<https://byantikvaren.files.wordpress.com/2015/05/informasjonsark-murgc3a5rdsfasader2014-31.pdf>
- European-Commision. (2023). *European Green Deal: EU agrees stronger rules to boost energy efficiency* European Commision.  
[https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP\\_23\\_1581](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_23_1581)
- FIXIT. (2024). *Energy-saving renovation of historical buildings*. <https://www.fixit-aerogel.com/en/application/buildings-under-conservation-orders>

- FutureBuilt. (2024). *Skur 38*. Retrieved 28.02 from <https://www.futurebuilt.no/Forbildeprosjekter#!/Forbildeprosjekter/Skur-38>
- Ganobjak, M., Brunner, S., & Wernery, J. (2020). Aerogel materials for heritage buildings: Materials, properties and case studies. *Journal of Cultural Heritage*, 42, 81-98.
- Gaspar, K., Casals, M., & Gangoellis, M. (2016). A comparison of standardized calculation methods for in situ measurements of façades U-value. *Energy and Buildings*, 130, 592-599.
- Glava. (2023). *Aerogel til bygg*. <https://www.glava.no/tema/aerogel-til-bygg>
- IAPB. (2021). *Answering questions regarding the application of the Isokalk Fixit 222 aerogel containing rendering on building façades exposed to the climatic conditions of Oslo*. .
- IsokalkAS. (2021). *Trinnsvis prosedyre for påføring Isokalk*. <https://www.isokalk.com/paforing-og-bruk>
- IsokalkAS. (2023). *Om Isokalk*. <https://www.isokalk.com/om-oss>
- Karim, A. N., Johansson, P., & Kalagasidis, A. S. (2020). Super insulation plasters in renovation of buildings in Sweden: energy efficiency and possibilities with new building materials. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science,
- Kingspan. (2024a). *Kingspan Kooltherm*. <https://www.kingspan.com/no/nn/forretningsomrader/kingspan-insulation/kooltherm/>
- Kingspan. (2024b). *Kingspan Kooltherm K5*. <https://www.kingspan.com/no/nn/produkter/isolasjonsplater/veggisolasjonsplater/kooltherm-k5/>
- Kingspan. (2024c). Prislister Q1 2024. In.
- Koebel, M., Rigacci, A., & Achard, P. (2012). Aerogel-based thermal superinsulation: an overview. *Journal of sol-gel science and technology*, 63, 315-339.

- Martinsen, T. (2010). Technology learning in a global–local perspective:-the interplay between technology diffusion, niche markets and experience curves.
- Martinsen, T., Ulmoen, I. O., Hole, I., Knutsen, M., & Kjeldsen, G. (2011). Mer kunnskap om energieffektivisering i eksisterende bygningsmasse. Potensial for energisparing for et utvalg bygningstyper med og uten hensyn til kulturminnevern. Beskrivelse av tiltak og beregning av lønnsomhet.
- McDonald, A., & Schrattenholzer, L. (2001). Learning rates for energy technologies. *Energy policy*, 29(4), 255-261.
- MurbyenOslo. (2019). *Fasader - Puss og overflatebehandlinger*.  
<https://www.murbyenoslo.no/vedlikehold/fasader>
- Neij, L., Helby, P., Dannemand Andersen, P., Morthorst, P. E., Durstewitz, M., & Hoppe-Kilpper, M. (2003). Experience curves: a tool for energy policy assessment.
- NorgesBank. (2024). *Valutakurser*. <https://www.norges-bank.no/tema/Statistikk/Valutakurser/>
- NVE. (2022). *Underlag for langsiktig strategi for energieffektivisering ved renovering av bygninger* N. v.-o. energidirektorat.  
<https://publikasjoner.nve.no/diverse/2022/Underlag.for.langsiktig.strategi.for.energieffektivisering.ved.renovering.av.bygninger2022.pdf>
- NVE. (2023). *Energieffektivisering*.  
<https://www.nve.no/energi/energisystem/energibruk/energieffektivisering/>
- Regjeringen. (2015). *Meld. St. 25 - Kraft til endring. Energipolitikken mot 2030*.
- Riksantikvaren. (2024). Råd om energisparing i gamle hus.  
<https://www.riksantikvaren.no/veileder/rad-om-energisparing-i-gamle-hus/>
- Sagar, A. D., & Van der Zwaan, B. (2006). Technological innovation in the energy sector: R&D, deployment, and learning-by-doing. *Energy policy*, 34(17), 2601-2608.
- Sandberg, N. H., Dokka, T. H., Lien, A. B. G., Sartori, I., Skeie, K., Manrique Delgado, B., & Lassen, N. (2023). Energisparepotensialet i bygg fram mot 2030 og 2050–Hva koster det å halvere energibruken I bygningsmassen? *SINTEF Fag*.

- Solheim, C. (2018). *Application of Aerogel-based plaster for refurbishment and preservation of a listed historic masonry building in Norway: an in-situ energy efficiency study* Norwegian University of Life Sciences, Ås].
- Stahl, T., Wakili, K. G., Hartmeier, S., Franov, E., Niederberger, W., & Zimmermann, M. (2017). Temperature and moisture evolution beneath an aerogel based rendering applied to a historic building. *Journal of Building Engineering*, 12, 140-146.
- Stake, J. (2016). *Implementering av læringskurver som metode for beregning av investeringskostnader for fremtidig produksjon* Norwegian University of Life Sciences, Ås].
- Statistisk sentralbyrå. (2014a). 10573: Gjennomsnittlig energiforbruk per husholdning, etter bygningstype, statistikkvariabel og år. <https://www.ssb.no/statbank/table/10573/tableViewLayout1/>
- Statistisk sentralbyrå. (2014b). 10579: Husholdningenes energibruk, etter byggeår, statistikkvariabel og år. <https://www.ssb.no/statbank/table/06266/tableViewLayout1/>
- Statistisk sentralbyrå. (2024a). 06266: Boliger, etter bygningsår, statistikkvariabel, år og bygningstype. <https://www.ssb.no/statbank/table/06266/tableViewLayout1/>
- Statistisk sentralbyrå. (2024b). Bygningsmassen. <https://www.ssb.no/bygg-bolig-og-eiendom/bygg-og-anlegg/statistikk/bygningsmassen>
- Statistisk sentralbyrå. (2024c). Konsumerprisindeksen. <https://www.ssb.no/en/priser-og-prisindekser/konsumpriser/statistikk/konsumprisindeksen>
- Stenby, O. C. (2020). *Utvendig etterisolering av murvegg*. <https://www.byggogbevar.no/enok/artikler/tiltak/utvendig-etterisolering-av-murvegg>
- Wright, T. P. (1936). Factors affecting the cost of airplanes. *Journal of the aeronautical sciences*, 3(4), 122-128.



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

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
Norway