



UiT Norges arktiske universitet

Institutt for bygg, energi og materialteknologi

## Energieffektivitet og potensial i kontorbygg i betong fra 50-tallet

Martin Iversen Varsi

Masteroppgave i Integrert bygningsteknologi, BYG-3900, mai 2024

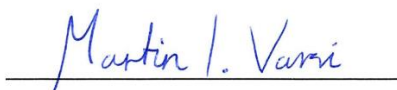


## Forord

Dette er masteroppgaven til Martin Iversen Varsi og markerer det avsluttende arbeidet på masterutdannelsen Bygg og miljø, studieretning Integriert bygningsteknologi, ved Universitetet i Tromsø campus Narvik. Oppgaven er skrevet i samarbeid med Sweco Tromsø, og utgjør 30 studiepoeng.

Jeg ønsker å rette en takk til veileder Raymond Riise ved UiT Narvik for god oppfølging, faglig hjelp og aktuelle fagartikler. Videre ønsker jeg å takke veileder Ola Eriksen ved Sweco Tromsø for tilrettelegging for kontorplass i Tromsø under oppgaveskrivingen, for hjelp til utvikling av oppgaven og for faglig hjelp underveis. Jeg ønsker å rette en takk til Thomas Sand Hareide for befaringer på casebygget og for tilgang til grunnlagsdata om bygget. Til slutt ønsker jeg også å rette en takk til andre bidragsyttere fra Narvik kommune og Polaris Eiendom for informasjon og hjelp underveis.

Narvik, mai 2024

A handwritten signature in blue ink that reads "Martin I. Varsi". The signature is written in a cursive style and is positioned above a solid horizontal line.



## MASTEROPPGAVE

for

**Martin Iversen Varsi**

(Studentnummer 575014)

Vår 2024

# Energiltaksliste for næringsbygg fra 60- og 70-tallet

(Energy measures for commercial buildings from the 60s and 70s)

### Bakgrunn

Økonomiske levetiden varierer mye mellom ulike objekt. I de fleste bygninger vil for eksempel selve bygningskroppen ha en levetid på 50-100 år, mens andre deler av bygningen vil ha en betydelig kortere levetid, 15-30 år. Endringer i rammebetingelser, for eksempel energipriser, lønnsomhetsutvikling, komfortkrav eller krav fra myndighetene, kan medføre ombygging eller utskifting lenge før produktet teknisk sett er ubrukbart. Ved slutten levetiden kreves ofte store rehabiliteringer, eller sanering, basert på tekniske vurderinger. I tillegg til vurdering av funksjonsdyktighet og behov for modernisering, vil det være behov for vurdering av byggets energibruk. Energibruk er et resultat av byggeteknikk, tekniske systemer og brukeradferd. En energianalyse vil kunne avdekke behov for utbedringer slik at bygget blir både mer økonomisk og miljømessig bærekraftig.

### Oppgavebeskrivelse

Det skal å gjennomføres en analyse av byggeteknikk, tekniske systemer og myndighetskrav for kontor-/næringsbygg bygget på 60- og 70-tallet, med formål å utvikle en prioriteringsliste for tiltak for reduksjon av energibruk opp mot dagens standard samt forbedring av byggets energimerke. Som en del av oppgaven skal det gjennomføres en casestudie av et kontorbygg, Dronningens gate 52 i Narvik, med den hensikt å nå dagens krav til energibruk i TEK17 og forbedret energimerke. Simuleringer om energibruk og energimerke skal beregnes i Simien PRO.

## **Begrensning av oppgaven**

Det skal ikke utføres fysiske inngrep i bygningen med mindre oppdragsgiver ønsker og tillater det. Oppgaven vil ha spesielt fokus på kontorbygg i Nord-Norge, bygg som skal motstå kaldt og arktisk klima.

## **Arbeidet skal omfatte (men ikke nødvendigvis avgrenses til):**

1. Innledende arbeid/litteraturstudium med avgrensninger og definisjoner. Oppstartsmøte med Sweco for planlegging av skriveperioden, grunnlagsdata, tilgang til aktuelle data- og simuleringprogrammer, og diskusjon om ønsker fra Sweco og UiT.
2. Fremskaffelse av grunnlagsdata: plantegninger, rehabiliteringer, endringer, energirapporter eller data om energibruk, mv.
3. Statistiske undersøkelser vedrørende de aktuelle bygningskategoriene, byggeår og -sted.
4. Utarbeide oversikt over typiske byggemetoder, tekniske installasjoner og gjeldende forskrifter for de aktuelle bygningskategoriene og byggeår.
5. Utarbeide tiltaksliste for reduksjon av energibruk og forbedret energimerke for de aktuelle bygningskategoriene og byggeår. Tiltakslisten skal baseres på reduksjon av energibruk og økonomiske beregninger så langt det lar seg gjøre.
6. Casestudie av Dronningens gate 52 hvor resultatene fra pkt 1-5 benyttes.
7. Det skal utarbeides en engelskspråklig vitenskapelig artikkel/paper basert på besvarelsen, maks 8 sider. (Artikkelen kan sees på som er kortversjon av hele besvarelsen.)

## **Samarbeidspartner**

Oppgaven gjennomføres i samarbeid med Sweco AS, Tromsø

## **Generelt**

Senest 14 dager etter at oppgaveteksten er utlevert skal resultatene fra det innledende arbeid være ferdigstilt og levert i form av en forstudierapport. Forstudierapporten skal godkjennes av veileder før kandidaten har anledning til å fortsette på resten av hovedoppgaven. Det innledende arbeid skal være en naturlig forberedelse og klargjøring av det videre arbeid i hovedoppgaven og skal inneholde:

- Generell analyse av oppgavens problemstillinger.
- Definisjon i forhold til begrensninger og omfang av oppgaven.
- Klargjøring/beskrivelse av de arbeidsoppgaver som må gjennomføres for løsning av oppgaven med definisjoner av arbeidsoppgavenes innhold og omfang.
- En tidsplan for framdriften av prosjektet.

Sluttrapporten skal være vitenskapelig oppbygget med tanke på litteraturstudie, arbeidsmetodikk, kildehenvisninger etc. Alle beregninger og valgte løsninger må dokumenteres og argumenteres for. Besvarelsen redigeres som en forskningsrapport med et sammendrag både på norsk og engelsk, konklusjon, litteraturliste, referanser, innholdsfortegnelse etc. Påstander skal begrunnes ved bevis, referanser eller logisk argumentasjonsrekker. I tillegg til norsk tittel skal det være en engelsk tittel på oppgaven. Oppgaveteksten skal være en del av besvarelsen (plasseres foran Forord).

Materiell som er utviklet i forbindelse med oppgaven, så som programvare/kildekoder eller fysisk utstyr, er å betrakte som en del av besvarelsen. Dokumentasjon for korrekt bruk av dette skal så langt som mulig også vedlegges besvarelsen.

Dersom oppgaven utføres i samarbeid med en ekstern aktør, skal kandidaten rette seg etter de retningslinjer som gjelder hos denne, samt etter eventuelle andre pålegg fra ledelsen i den aktuelle bedriften. Kandidaten har ikke anledning til å foreta inngrep i den eksterne aktørs informasjonssystemer, produksjonsutstyr o.l. Dersom dette skulle være aktuelt i forbindelse med gjennomføring av oppgaven, skal spesiell tillatelse innhentes fra ledelsen.

Eventuelle reiseutgifter, kopierings- og telefonutgifter må bæres av studenten selv med mindre andre avtaler foreligger.

Hvis kandidaten, mens arbeidet med oppgaven pågår, støter på vanskeligheter som ikke var forutsatt ved oppgavens utforming, og som eventuelt vil kunne kreve endringer i eller utelatelse av enkelte spørsmål fra oppgaven, skal dette umiddelbart tas opp med UiT ved veileder.

Besvarelsen leveres digitalt i WISEflow.

Utleveringsdato:	08.01.2024
Innleveringsfrist:	15.05.2024 kl 11.59
Kontaktperson bedrift:	Ola Bakkeby Eriksen Telefon: 938 92 253 E-post: ola.eriksen@sweco.no
Veileder UiT - IVT:	Raymond Riise Telefon: 76 96 62 97 E-post: raymond.riise@uit.no

UiT – Norges Arktiske Universitet  
Institutt for bygg, energi og materialteknologi



Raymond Riise  
Faglig ansvarlig/veileder

# Abstract

**Keywords:** *Energy Label, Energy Performance of Buildings Directive (2023), Energy Simulation, Simien PRO, Norwegian Building Regulation of 1949, List of Energy Efficiency Measures*

The long lifespan of buildings means that many existing buildings do not meet today's or future standards for energy consumption. This is reflected in the energy label statistics and the distribution of energy labels in older buildings. This thesis delves into the 1949 building regulations and uses a case study building in Northern Norway from that era to demonstrate its potential to meet both current and future energy use requirements. The case study building is a concrete office building from the 1950s.

The study reveals that the case building requires extensive renovations with cost-ineffective measures to meet the current Norwegian TEK17 standards. Conversely, only a few measures are needed for the building to meet the future EU requirements from the 2023 Energy Performance of Buildings Directive. However, this requirement is only a step towards achieving a zero-emission building stock by 2050. As illustrated in the thesis, this will necessitate both cost-effective together with cost-ineffective measures for 1950s concrete office buildings.

Repeated simulations of various technical and structural measures were conducted on the building, forming the basis for the findings alongside theoretical analysis. Profitability assessments were carried out for all measures, and these, along with the simulations, form the basis of the list of energy efficiency measures.

The study identifies four particularly suitable measures for the case building in Northern Norway in terms of energy efficiency and profitability:

1. Heat pump as a more efficient energy source with cooling capabilities
2. New ventilation system with lower energy consumption and Variable Air Volume control
3. New windows with lower U-values, lower solar heat gain coefficients, and improved airtightness
4. Roof insulation to improve U-value

The thesis also examines whether these measures are suitable for other concrete office buildings from the same construction period in Northern Norway. This is feasible but depends on whether similar buildings have undergone more extensive renovations than the case building. The building regulations from that era provided a solid framework for building design, which has been discussed as a reason why measures can be applied across similar buildings. To conclude, these measures can be appropriate; however, this depends on individual evaluations of the design of other buildings, the surrounding environment, and any regulatory requirements.

The thesis also highlights how future energy prices in Norway may vary and that the price difference between southern and northern Norway may decrease. This affects the choice of measures. For instance, energy-efficient measures should be installed, solar heating systems may become more profitable in the future, and focusing on reducing energy consumption is crucial. Finally, the thesis concludes that climatic stresses on the buildings are significant in Northern Norway. Therefore, simulations with local climate data must be conducted to ensure optimal climate adaptation of buildings.

## Sammendrag

**Emneord:** *energimerke, Bygningsenergidirektivet, energisimulering, Simien PRO, byggeteknisk forskrift 1949, tiltaksliste*

Bygningers lange levetid betyr at det i dag er en stor mengde bygg som ikke når dagens, eller fremtidens krav til energibruk. Dette reflekteres av energimerkestatistikken, og fordelingen av energimerke i eldre bygg. Denne oppgaven tar et dypdykk i byggeforskriften av 1949, og benytter et casebygg i Nord-Norge fra denne tiden for å vise at bygget har potensialet til å heve standarden både til dagens og fremtidens krav til energibruk. Casebygget er et kontorbygg i betong fra 50-tallet.

Oppgaven viser at casebygget har behov for omfattende rehabilitering med ulønnsomme tiltak for å heve standarden til dagens krav i TEK17. På den andre siden har bygget kun behov for et fåtall tiltak for å heve standarden til de fremtidige myndighetskravene fra EU i EPBD (2023). Allikevel er dette kravet kun et steg på veien mot en bygningsmasse uten utslipp i 2050, og som oppgaven illustrerer vil dette kreve både lønnsomme og ulønnsomme tiltak for kontorbygg i betong fra 50-tallet.

Gjentatte simuleringer av ulike byggetekniske og tekniske tiltak av bygget har blitt gjennomført, og er sammen med teori grunnlaget for funnene i denne oppgaven. Lønnsomhetsvurdering har blitt gjennomført for samtlige tiltak, og er sammen med simuleringene grunnlaget for tiltakslisten.

Det viser seg at særlig fire tiltak egner seg for casebygget i Nord-Norge med hensyn til energieffektivitet og lønnsomhet. Disse er:

1. Varmepumpe som en mer effektiv energikilde med mulighet for kjøling
2. Nytt ventilasjonsanlegg med lavere energibruk og VAV-styring
3. Nye vinduer med lavere U-verdi, lavere solfaktor og forbedret tetthet
4. Etterisolering av tak for forbedret U-verdi

Oppgaven har undersøkt hvorvidt disse tiltakene er egnet for andre kontorbygg i betong fra samme byggeperiode som også befinner seg i Nord-Norge. Dette er mulig, men avhenger av om andre lignende bygg har gjennomgått større rehabiliteringer enn casebygget. Byggeforskriften fra denne tiden hadde gode rammer rundt utforming av bygg, og har blitt drøftet som en av grunnene til at tiltak på tvers av lignende bygg kan benyttes. For å konkludere kan disse tiltakene egne seg. Allikevel avhenger dette av individuell evaluering av utforming av andre bygg, omkringliggende område og eventuelle regulatoriske krav.

Oppgaven har også belyst hvordan energipris i Norge i fremtiden kan variere, og forskjell i strømpris mellom Sør- og Nord-Norge kan synke. Dette påvirker valg av tiltak. Blant annet bør strømeffektive tiltak installeres, solvarmeanlegg kan være mer lønnsomt i fremtiden og at fokus på å senke energibruk er viktig. Avslutningsvis konkluderer oppgaven med at klimapåkjenninger er sterke i Nord-Norge. Derfor må simulering med lokalt klima gjennomføres, for å sørge for best mulig klimatilpassing av bygg.

# Innholdsfortegnelse

1 Innledning .....	1
1.1 Formål .....	1
1.2 Problemstilling.....	2
1.3 Forutsetninger og avgrensning.....	2
1.4 Definisjoner.....	2
1.5 Metode.....	3
1.6 Feilkilder .....	3
2 Teori.....	6
2.1 Energi og klima .....	6
2.1.1 Energimerke.....	6
2.1.2 Energimerking av kontorbygg i Nord-Norge.....	6
2.1.3 Klima i Nord-Norge .....	8
2.1.4 Metode for energimerking .....	9
2.1.5 Simien PRO .....	11
2.1.6 Strømpris.....	11
2.1.7 Støtteordninger.....	13
2.2 Kontorbygg fra 50-tallet .....	14
2.2.1 Statistiske undersøkelser om bygningskategorien, byggeår og -sted.....	14
2.2.2 Byggeskikk på 50-tallet .....	15
2.3 Standard i casebygget .....	16
2.4 ENØK og tiltak .....	17
2.4.1 ENØK.....	17
2.4.2 Byggetekniske tiltak.....	19
2.4.3 Tekniske tiltak .....	21
3 Resultater .....	29
3.1 Potensialet til kontorbygg i Nord-Norge.....	29
3.2 Funn om casebygget .....	29
3.2.1 Energiattest casebygget fra 2011.....	29
3.2.2 Utskrift av strømforbruk i casebygg .....	30
3.2.3 Inndata simulering.....	30
3.2.4 Standardiserte verdier .....	31
3.2.5 Byggeteknikk.....	31
3.2.6 Tekniske installasjoner .....	33
3.3 Simulering av casebygget .....	34



3.2.7 Simulering: standard casebygg .....	34
3.2.8 Simulering: bygningstekniske tiltak .....	37
3.2.9 Simulering: tekniske tiltak .....	41
3.2.10 Lokalt klima.....	46
4 Drøfting.....	47
4.1 Energi- og miljøpotensial i kontorbygg i Nord-Norge .....	47
4.1.1 Historiske kontorbygg og myndighetskrav .....	47
4.1.2 Metode for energimerking .....	49
4.2 Casebyggets forutsetninger .....	52
4.2.1 Gammelt energimerke.....	52
4.2.2 Bygget i dag .....	52
4.2.3 Bygningstekniske tiltak.....	55
4.2.4 Tekniske tiltak .....	57
4.2.5 Kombinerte tiltak .....	62
4.2.6 Tiltaksliste for casebygg .....	66
4.2.7 Lokalt klimas påvirkning.....	67
4.3 Generelle tiltakslistor .....	67
5 Konklusjon.....	69
Videre arbeid .....	70
6 Referanser .....	71
7 Vedlegg .....	78

## Figurliste

Figur 1 Antall energimerkede kontorbygg i Nord-Norge 2009-2023 (Enova, 2023a) .....	7
Figur 2 Ulike begreper om energi i et bygg (Førland-Larsen et al., 2011) .....	7
Figur 3 Sammenligning fra 1995 av beregnet energiforbruk til oppvarming for en 100m <sup>2</sup> enebolig i ulikt klima (Pettersen, 1995, fig. 16) .....	8
Figur 4 Köppens klimaklassifikasjon 1991-2020 av Nord-Norge (Mamen, 2023).....	8
Figur 5 Beregnet oppvarmingsbehov (kWh/m <sup>2</sup> *år) for kontorbygg i ulike klima (Dokka, 2012).....	9
Figur 6 Historisk strømpris i Nord-Norge siden 2020, eks. mva. (Nordpool, 2024) .....	12
Figur 7 Gjennomsnittlig strømpris i Norge eks. mva. fra 1998 til 2024, inkludert langsiktig kraftmarkedsanalyse fra 2023 av NVE (NVE, 2023c; Aanensen & Holstad, 2012, 2024) .....	12
Figur 8 K-verdi (Kommunal og arbeidsdepartementet, 1949; Kommunal- og arbeidsdepartementet & Miljøverndepartementet, 1987) .....	15
Figur 9 Yttervegg-konstruksjon i betong med innvendig ekspandert kork støpt og pusset inn i veggen (Sintef, 2017a) .....	15
Figur 10 Yttervegg-konstruksjon i betong med utvendig porebetong og puss (Sintef 2017a).....	15
Figur 11 Tekking med rutesteinsskifer, undertak med overlappende bord, undertak med under- og overliggende bord og undertak i rupanel med takpapp (Sintef, 2017b) .....	16
Figur 12 Grunnmur i betong med minimumskrav i hht. byggeforskriften av 1949 (Sintef, 2017c) .....	16
Figur 13 Systemskisse av varmeanlegget i casebygget fra før 2020 (Jensen & Sørensen, 2004) .....	17
Figur 14 De fem faktorene for ENØK (Aschehoug et al., 2007) .....	18
Figur 15 Visualisering av nåverdimetoden (Aschehoug et al., 2007) .....	18
Figur 16 Visualisering av kuldebro ved utvendig og innvendig etterisolering (Sintef, 2014) .....	19
Figur 17 Gjennomføring av utvendig etterisolering av yttervegg med "aerogel" (Ganobjak et al., 2023) .....	20
Figur 18 Varighetsdiagram for et varmeanlegg (Aschehoug et al., 2007) .....	25
Figur 19 Kombinert drift el-varme og vedovn, alternativ drift el-kjel og oljekjel, paralleldriftpumpe og el-kjel, paralleldriftpumpe og solvarme (Aschehoug et al., 2007) .....	26
Figur 20 Soneinndeling for casebygget .....	30
Figur 21 3D-modell av soneinndeling og naboforhold for casebygget .....	31
Figur 22 Systemskisse varmesentral casebygget, redigert slik den står i dag (Jensen & Sørensen, 2004) .....	33
Figur 23 Casebyggets simulerte energimerke .....	34
Figur 24 Effektvarighetskurve for casebygget .....	35
Figur 25 Energiflyt dimensjonerende døgn gjennom sommeren (vedlegg 13 Sommersimulering uten effektbegrensning).....	36
Figur 26 Energiflyt dimensjonerende døgn gjennom vinteren (vedlegg 13 Vintersimulering uten effektbegrensning).....	37
Figur 27 Avstander til naboeiendommer på kart (Norgeskart) .....	38
Figur 28 Effektvarighetsdiagram for casebygget med ny varmepumpe .....	42
Figur 29 Endring i beregnet levert energi ved lokalt klima (Nord-Norge) sammenlignet med normalisert klima (Oslo) .....	46
Figur 30 Sammenstilling av solfangerproduksjon og varmtvannsbehov i casebygget.....	60
Figur 31 Graf over kombinasjonstiltak 1 for å oppnå EU-målet .....	63
Figur 32 Graf over kombinasjonstiltak 2 for å oppnå EU-målet .....	63
Figur 33 Graf over kombinasjonstiltak 3 for å oppnå EU-målet .....	64
Figur 34 Graf over kombinasjonstiltak 4 for å oppnå kravene i TEK17 .....	65
Figur 35 Sammenfatning av tiltak .....	66

## Tabelliste

Tabell 1 Gjennomsnittlig årsmiddeltemperatur på utvalgte steder i Nord-Norge over en 30 års periode (Sintef, 2023) .....	8
Tabell 2 Støttesatser for ulike teknologier i varmesystem (Enova, 2023b).....	14
Tabell 3 Utdrag av Krav til varmeisolasjon i Byggeforskrift 1949 Kap 5b. §1. K-verdier omregnet til U-verdier (Direktoratet for byggkvalitet, 2017a; Kommunal og arbeidsdepartementet, 1949) .....	14
Tabell 4 Enerkipotensial ved forbedring av energimerke av kontorbygg fra 50-tallet i Nord-Norge etter EPBD og TEK17-standard .....	29
Tabell 5 Avvik i casebyggets tidligere energimerke (vedlegg 1; vedlegg 5) .....	29
Tabell 6 Sammenligning av U-verdier og lekkasjetall i byggestandard 1949, 2017 og casebygget (Direktoratet for byggkvalitet, 2017b; Kommunal og arbeidsdepartementet, 1949; vedlegg 13).....	33
Tabell 7 Sammendrag av sommersimulering med effektbegrensning (vedlegg 13 Sommersimulering) .....	35
Tabell 8 Sammendrag av vintersimulering med effektbegrensning (vedlegg 13 Vintersimulering) .....	36
Tabell 9 Lønnsomhetsvurdering utvendig og innvendig etterisolering av yttervegg .....	38
Tabell 10 Lønnsomhetsvurdering nye vinduer .....	39
Tabell 11 Lønnsomhetsvurdering etterisolering tak .....	40
Tabell 12 Lønnsomhetsvurdering biokjel .....	41
Tabell 13 Lønnsomhetsvurdering varmepumpe .....	43
Tabell 14 Lønnsomhetsvurdering varmegjenvinner .....	43
Tabell 15 Lønnsomhetsvurdering VAV og varmegjenvinner .....	44
Tabell 16 Lønnsomhetsvurdering solfanger .....	45
Tabell 17 Lønnsomhetsvurdering solcellepanel .....	46
Tabell 18 Økonomisk sparepotensial i energimerkede kontorbygg fra 50- og 60-tallet i Nord Norge...48	
Tabell 19 Økonomisk sparepotensial i energimerkede kontorbygg fra 50- og 60-tallet i Nord Norge, beregnet for fremtidig strømpris i 2030 (NVE, 2023c) .....	48
Tabell 20 Utdrag fra tabell 332 (Sintef, 2017a) inkludert vanlige isolasjonstykkelser etter dagens krav, yttervegg (250mm) og tak (400mm) (Direktoratet for byggkvalitet, 2017a), og Aerogel (Ganobjak et al., 2023) .....	49
Tabell 21 Tiltaksliste .....	67
Tabell 22 Oppsummering av energiltak på casebygget .....	69
Tabell 23 Vedleggsoversikt.....	78

## Formelliste

Formel 1 Krav til soneinndeling .....	9
Formel 2 Nåverdimetoden .....	19
Formel 3 Optimalt effektnivå ved to varmekilder i kombinerte anlegg (Aschehoug et al., 2007) .....	25



# 1 Innledning

Energibruk i hele bygningsmassen i Norge skal ned i fremtiden, i tråd med EU's mål om nullutslipp i bygningsmassen innen 2050 (EU-kommisjonen, 2023). Innen 2033 skal energibruken i landets bygg være forbedret med 26% i forhold til standarden i 2020, med spesielt fokus på byggene med lavest energikarakter. Dette krever at alle bygg, eksisterende og nye, må ha minst energiklasse E. Med noen unntak gjelder disse fremtidsmålene alle bygg, både bygg fra 50-tallet og nybygg fra 2024.

Energieffektiviteten i bygg er avhengig av bygningskomponenter og tekniske installasjoner med kortere levetid enn selve bygningskroppen (Aschehoug et al., 2007). Oppfølging av byggets energibruk og riktig utskifting til riktig tid er avgjørende for å opprettholde et energieffektivt bygg. Av over 2800 kontorbygg i Nord-Norge er kun en brøkdel energimerket, mens kun en brøkdel av de energimerkede byggene har karakter over D (Enova, 2023a).

Eldre bygg kan ha utlevd levetiden på bygningsdeler og ha behov for modernisering, som fører til økt energibruk (Aschehoug et al., 2007). På grunn av dette kan rehabilitering for å nå de nevnte fremtidsmålene være kostbart og vanskelig å gjennomføre. Ved å vurdere slike bygningers energibruk i simuleringer vil behovet for, og kostnaden av rehabilitering kunne avdekkes (Norconsult, 2013).

Bygg som er bygget etter Byggeforskriften av 1949 (heretter 1949-forskriften) skal, på lik linje med bygningsmassens øvrige bygg, oppnå målene fra myndighetene (EU-kommisjonen, 2023). Høye strømpriser i fremtiden, nye forskriftskrav, nye målsettinger fra myndighetene og ny teknologi er alle viktige grunner til å oppgradere bygg slik at energibruken i bygningsmassen fortsetter å synke. Derfor skal denne oppgaven vurdere hvilket potensiale kontorbygg i betong fra denne tiden har til å oppnå disse målene.

## 1.1 Formål

Formålet er å vurdere hvorvidt Dronningensgate 52A, et kontorbygg i betong fra 50-tallet i Nord-Norge, kan oppnå dagens og fremtidens krav til energieffektivitet. Disse kravene regnes etter denne oppgaven å være Bygningsenergidirektivet fra 2023 og TEK17 (Direktoratet for byggkvalitet, 2017a; EU-kommisjonen, 2023). Ved å utforske dette kan oppgaven sette lys på lignende bygg fra samme tidsperiode, og vurdere hvor oppnåelig kravene er for eldre kontorbygg.

På veien for å utforske dette temaet skal oppgaven vurdere et utvalg tiltak og utvikle en tiltaksliste. Det skal vurderes om denne listen kan benyttes for andre lignende kontorbygg, og i hvilken grad tiltakene påvirkes av lokale klimapåkjenninger i Nord-Norge. For å oppnå dette er oppgavens fokus å individuelt simulere tiltakene, og vurdere energieffektivitet, lokalt klima og lønnsomhet.

Vurdering av strømprisens innflytelse på valg av tiltak skal gjennomføres, for å vurdere lønnsomheten av tiltakene i fremtiden. Strømprisen skal sammenlignes med energipris, og fornybare energikilder skal vurderes mot denne fremtidige energiprisen.

Energimerking av bygg er dagens standard for vurdering av energieffektiviteten av bygg. Med grunnlag i at oppgaven har fokus på kontorbygg i Nord-Norge skal energimerkeordningen vurderes opp imot påkjenningene bygg i Nord-Norge opplever med hensyn til energibruk.

## 1.2 Problemstilling

*Hva kreves for å heve energieffektivitet og energimerke på kontorbygg i betong fra 50-tallet i Nord-Norge i henhold til mål i EPBD (2023) og gjeldende krav i TEK17?*

Som del av problemstillingen skal tre delmål undersøkes og besvares. Disse er:

- Utvikle en tiltaksliste for casebygget med de mest energieffektiviserende og lønnsomme tiltakene for å nå målene i EPBD og TEK17, og vurdere i hvilken grad tiltakslisten kan benyttes for andre lignende bygg.
- Undersøke trender i energipriser i Nord-Norge og på landsbasis, for å vurdere i hvilken grad dette påvirker tiltakslisten.
- Energimerke og simulere casebygget med utvalgte tiltak, og vurdere metode for energimerking og simulering.

## 1.3 Forutsetninger og avgrensning

Oppgavens oppgavetekst fra forprosjektet har blitt endret. Tittelen «Energiltaksliste for næringsbygg fra 60- og 70-tallet» har blitt endret til «Energieffektivitet og potensial i kontorbygg i betong fra 50-tallet». Årsaken er tydeligere avgrensning av oppgaven, slik at kun kontorbygg vurderes. Endringen fra «60- og 70-tallet» til «50-tallet» skyldes at casebygget er fra 50-tallet, ikke fra 60- eller 70-tallet som først antatt. Oppgavebeskrivelsen fra forprosjektet for øvrig er uendret, unntatt tidsperioden.

Det skal ikke utføres fysiske inngrep i bygningen. Oppgaven skal ha spesielt fokus på kontorbygg i Nord-Norge, bygg som skal motstå kaldt og arktisk klima.

Fra 1. mars 2024 kom det endringer i energimerkeforskriften (Enova, u.å.-b). Energidepartementet har foreslått en del endringer som blant annet:

«- hvilke bygninger som må ha energiattest,  
- hvilke bygninger som må ha et sammendrag av energiattesten synlig for brukerne,  
- bruk av energiattesten eller deler av den i markedsføring,  
- hvilke anlegg som omfattes av kravene til energivurdering,  
- fremgangsmåten ved gjennomføring av energivurdering.» (Olje- og energidepartementet, 2023).

Hensikten er å sette reglene i tråd med det nye EPBD (EU-kommisjonen, 2023), og for å gjøre energimerking mer relevant for eksisterende bygg (Olje- og energidepartementet, 2023). Disse reglene ble vedtatt under utarbeidelsen av denne oppgaven, og har derfor ikke blitt vurdert opp imot resultatene og drøftingen som framkommer i denne oppgaven.

## 1.4 Definisjoner

**Byggeteknikk** «omfatter de tekniske aspektene ved bygging. Det kan være sammenføyninger, tettelsninger, materialvalg eller lignende.» (Sintef, u.å.).

**Rehabilitering** er «synonymt med utbedringsarbeider hvor det tas sikte på å istandsette til opprinnelig standard.» (Sintef, 2010).

**Oppgradering** er «arbeider som hever bygningens standard eller endrer funksjoner. I denne kategorien kommer også større miljøfornyelsesarbeider.» (Sintef, 2010).

**Virkningsgrad** er «forholdet mellom avgitt nyttbar energi og tilført energi, angitt i prosent.» (Aschehoug et al., 2007, s. 296).

**Bruksareal (BRA)** er «bruttoarealet minus arealet som opptas av yttervegger» (Standard Norge, 2023b, s. 1).

**Bruttoareal (BTA)** er «bygningens eller bruksenhetens samlede areal begrenset av ytterveggenes utside eller midt i delevegg mellom bruksenheter» (Standard Norge, 2023b, s. 1).

**Effektkostnad** er investeringskostnaden for en energikilde (Aschehoug et al., 2007). Typisk vil en varmpumpe ha høy investeringskostnad og lav energikostnad, mens en el-kjel har lav investeringskostnad, men høy energikostnad.

**Fastledd** er «den faste delen av nettleien [...] og skal være slik at kunden dekker en rimelig andel av de faste kostnadene i nettet, slik som kostnader til bygging, drift, vedlikehold, måling, avregning og fakturering.» (NVE, 2024).

**Nedbetalingstid** er den tid det tar som gjør alle fremtidige besparelser like stor som investeringskostnaden (Aschehoug et al., 2007).

**Vesentlig endring eller reparasjon** er «oppgradering, fornyelse eller utskifting av en avgrenset del av bygningen, for eksempel en bygningsdel eller en bygningsteknisk installasjon. Dette krever som regel søknad og tillatelse, og relevante krav i byggeteknisk forskrift (TEK17) gjelder.» (Direktoratet for byggkvalitet, 2022).

## 1.5 Metode

Som en del av oppgaven er det gjennomført et casestudie av Dronningensgate 52A i Narvik (heretter casebygget). Dette er et kontorbygg i betong fra 50-tallet. Casebygget som det står i dag skal simuleres etter innsamlet data. Deretter skal resultatene sammenlignes med simulering av hvert enkelt tiltak, i hver sin individuelle modell. Rapporter fra simuleringene er grunnlaget for casestudiet, og skal bidra som resultat i oppgaven.

Det er innhentet kvalitativ data om casebygget fra byggeier, leietaker i bygget, offentlig tilgjengelig grunnlagsdata og befaringer på casebygget. Disse er skrevne dokumenter (vedlegg 1-10) og observasjoner ved tre befaringer på bygget (vedlegg 11). Det er også innhentet kvalitativ litteratur om tidligere forskrifter, tidligere byggeteknikk, myndighetskrav, bygningskategorien, energimerkestatistikk, analyse om strømpris, ENØK, mm. For å verifisere byggeteknikk både i casebygg og i lignende bygg er Sintef Byggforskserien om eldre bygg og byggeteknikk benyttet for å verifisere observasjoner på befaring. Usikkerheter i inndataen er beskrevet i feilkilder.

Simien PRO v7.044 er benyttet til simuleringer av energibruk og lønnsomhetvurderinger i denne oppgaven. Bygget i sin helhet er rekonstruert i dette programmet og simulert for å avdekke oppvarmings- og kjølebehov, og for å undersøke svakheter i bygget slik det står i dag. Inndataen er verifisert med de kvalitative dataene, som datablader, fagrapporter og plan- og fasadetegninger (vedlegg 1-10), og gjennom fysiske observasjoner ved befaringer på bygget (vedlegg 11).

## 1.6 Feilkilder

En svakhet i datainnsamlingen er mangelfullt datagrunnlag på bygget. Allikevel har dette motivert til grundig undersøkelse av disse dataene, for å sikre at de er korrekte. Blant denne manglende dataen er

for eksempel grunnlagsdata som oppdaterte og målsatte plantegninger og FDV-dokumentasjon. Byggeier har kun utskrift av energiforbruket de siste to årene, for 2022 og 2023. Denne manglende dataen har også gjort det nødvendig å beregne verdier for ulike bygningsdeler og tekniske systemer (vedlegg 1). Blant disse er takvinkel, SFP-faktor, andre pumpeeffekter, karmfaktor, U-verdi i kjeller, måling av vindusareal, takhøyder og veggtykkelser, effekt på varmegjenvinner og varmebatteri.

Dokumentet om energibruk i bygget, oversendt av byggeier (vedlegg 2), er et manuelt skrevet Excel-ark av energibruket. Dette er en svakhet i oppgaven da dokumentet er utsatt for menneskelig feil ved avlesing og inntasting av energibruket. Ved tilgang til strømleverandørens data om levert energi til bygget kunne denne informasjonens troverdighet blitt styrket. Allikevel er det å anta at byggeier har troverdig informasjon om energibruket, og ikke har intensjoner om å gi oppgaven feil inntrykk av faktisk energibruk. Derfor antas det at informasjonen i dokumentet er troverdig og trygt kan benyttes som data i denne oppgaven.

Oppgavens simulering av energibruken i casebygget er noe høy, 724 000 kWh/m<sup>2</sup> per år beregnet etter lokalt klima (vedlegg 13, Årssimulering). Til sammenligning viser dokumentet fra byggeier om strømforbruk at bygget fikk levert 710 000 kWh/m<sup>2</sup> i 2023. Denne differansen tilsvarer 2% og kan regnes akseptabelt for oppgaven.

Årsaken for dette kan skyldes unøyaktigheter i simuleringen, som resultat av feil antakelser om bygningskroppen og de tekniske systemer. Allikevel er bygget simulert etter kvalitativ data som er innhentet om bygget, og anses som et troverdig resultat.

På grunn av feil i lønnsomhetsvurderingen av tiltaket om biobrenselanlegg ble nåverdibetraktning beregnet separat fra Simien, og spart CO<sub>2</sub>-utslipp hentet fra en kilde om slike anlegg. Årsaken kan være brukerfeil og feil inndata i denne modellen.

I tiltaket etterisolering yttervegg blir en interpolert U-verdi midt imellom Aerogel-resultatet og kravet i TEK17 benyttet. Her kunne oppgaven med fordel utført to simuleringer med ulikt resultat for å gi større sikkerhet i lønnsomhetsvurderingen.

VAV-simulering blir unøyaktig fordi Simienmodellen ikke er soneinndelt i rom, men i større områder: nord, øst, sør, vest, indre sone og kjeller under bakkenivå. Derfor kan ikke modellen beregne 60% samtidighet i henhold til NS3701 (2012) på rom med liten tilstedeværelse som kott, bodere, og oppbevaringsrom, eller høy tilstedeværelse som korridor, toalett, kontor og kantine.

Tekniske rom i bygget er plassert i kjelleren. Hele kjellerarealet inngår i én sone i simuleringen. Derfor vil ikke årssimuleringer for de ulike tiltakene belyse temperaturene som akkumuleres i de tekniske rommene. Ved befaring av casebygget i januar 2024 oppleves innetemperaturen i fyrrommet som mye høyere enn 22° celsius, slik som bygget som sådan oppvarmes til. Temperaturmålinger av arealene har ikke blitt tatt, som også er en svakhet i oppgaven. Derfor er det vanskelig å si noe om temperaturer i tekniske rom gjennom året, og til hvilken grad dette interne varmetilskuddet kan utnyttes.

Soneinndeling gir også feilkilde på beregning av CO<sub>2</sub>-konsentrasjoner i de ulike delene av bygget. Ved å kun ha seks soner vil trolig noen topper i beregningen forsvinne fordi beregningen tar gjennomsnittet av hver sone.

Det har ikke blitt gjennomført tetthetsmåling og termisk måling av bygget. Årsaken er tilgang til byggets arealer på tvers av ulike leietakere, og at bygget er i drift under oppgaveskrivingen. Tetthetsmåling og



termisk måling av bygget kunne gitt mer sikkerhet i vurderinger av ulike tiltak som for eksempel etterisolering, og hvorvidt tidligere rehabilitering av bygget har forbedret tetthet i bygget. I tillegg kunne slike målinger avdekket byggeteknikk i bygget, som for eksempel hvordan etasjeskillere er innfestet i fasaden.

Prising og investeringsoverslag er gjort med Norsk Prisbok (2024). Dette oppslagsverket er et verktøy for kalkulering av kostnader i byggeprosjekter. Ett eksempel på dette er hvordan en troverdig artikkel beskrev Aerogel som en kostbar type etterisolering, opptil 3 ganger dyrere enn konvensjonell etterisolering (Ganobjak et al., 2023). Denne artikkelen fremstår troverdig, og har benyttet flere casebygg i sin forskning. Innhentet enhetspris for tradisjonell etterisolering fra Norsk Prisbok bekreftet ikke denne påstanden. Det kan derfor være usikkerhet knyttet til valget av priser hentet fra oppslagsverket Norsk Prisbok. Vurdering av hva som kreves for gjennomføring av tiltakene i oppgaven krever altså erfaring. Dette er en svakhet i oppgaven.

Strømprisen benyttet i denne oppgaven er gjennomsnittsprisen i Nord-Norge i 2023 (Nordpool, 2024). Dette kan være noe ugunstig for ENØK-tiltakene som er drøftet i denne oppgaven, fordi tiltakene gjerne skal gjennomføres i fremtiden. På den andre siden er fremtidig strømpris drøftet i oppgaven, og ved noen tilfeller drøftet rundt tiltakene.

## 2 Teori

### 2.1 Energi og klima

#### 2.1.1 Energimerke

Energimerkeordninga innført i 2010 har til hensikt å sikre informasjon til markedet om energibruk og tekniske systemer i bygg i Norge, samt muligheten for forbedring i det aktuelle bygg jf. Energimerkeforskriften §1, 2009. Ordninga skal på slik måte «[...] skape større interesse for konkrete energieffektiviseringstiltak, konkrete tiltak for omlegging til fornybare energikilder, og gi en riktigere verdsetting av boliger og bygninger når disse selges eller leies ut.» (Energidepartementet, 2009, §1). Gyldigheten til en energiattest er 10 år, eller til utstedelse av ny attest jf. §4 (Energidepartementet, 2009).

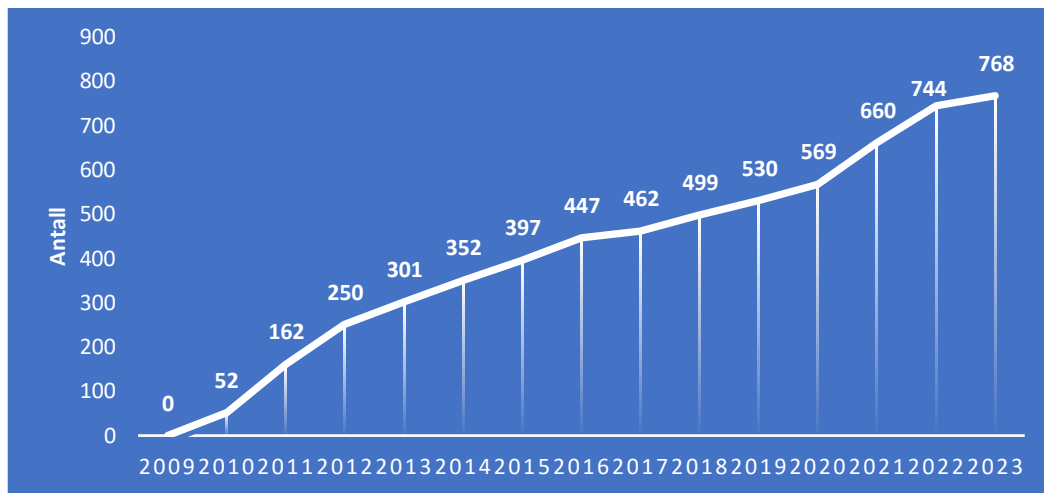
Energimerkeordningens to dimensjoner er energi- og oppvarmingsdimensjonene (Bjørland et al., 2022). Energikarakter A til F angir forbruket av energi, mens oppvarmingskarakter grønn til rød angir miljøvennligheten av energien brukt. Byggene som scorer best på energimerke har lavt energibruk og miljøvennlige og bærekraftige energikilder (Bjørland et al., 2022). Eksempel på slike kilder er solceller, varmpumpe, fjernvarme, solfangere og fyringsanlegg på biomasse (Riksantikvaren, 2020; Skreiberg, 2021). Et bygg med energimerke F bruker omkring tre ganger så mye energi som et bygg med energimerke A. En siste dimensjon for kostnad er derfor også viktig, med varierende strømpris i hele landet (Nordpool, 2024).

Ved salg eller leie av yrkesbygg over 1000m<sup>2</sup> er det krav til energiattest jf. Energimerkeforskriften for bygninger §8 (Energidepartementet, 2009). Attesten består av energimerke, dokumentasjon på faktiske opplysninger om beregning og tiltaksliste for energieffektiviseringstiltak jf. Energimerkeforskriften for bygninger §3 i.

For bygg oppført før merkeordningen ble innført eller yrkesbygg som ikke er omsatt etter innføringen kan energiattest være manglende (KPB, 2024). Selvrapporterte attester kan bære preg av upresise og utdaterte data. I tillegg stilles det krav til «ingeniørkompetanse på bachelornivå med hovedvekt på bygningsteknikk- og energifag og minimum to års praksis fra energiberegninger for bygninger med tekniske anlegg» (Energidepartementet, 2009, §18) for registrering av energiattest for alle yrkesbygg og nybygg.

#### 2.1.2 Energimerking av kontorbygg i Nord-Norge

I Nord-Norge finnes det i 2024 omkring 5000 kontor- og næringsbygg. Av disse er 56% eller 2800 rene kontorbygg (SSB, 2023). Grovt regnet 27% av de 2800 kontorbyggene er energimerket per utgangen av 2023 (figur 1) (Enova, 2023a; SSB, 2023). 25% av de energimerkede byggene er bygget etter 1949-forskriften eller tidligere, der hovedvekten av kontorbyggene fra denne perioden har energikarakter D til G (Energimerking, 2018).

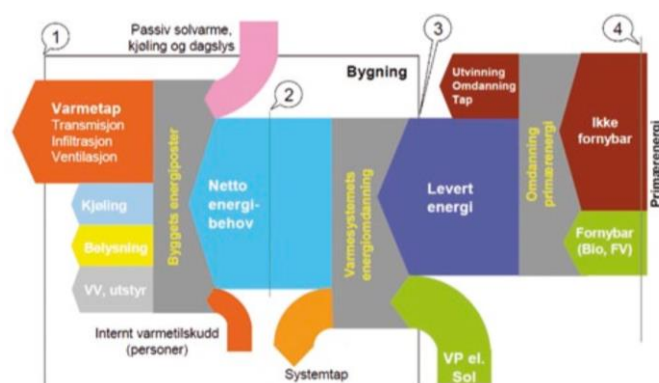


Figur 1 Antall energimerkede kontorbygg i Nord-Norge 2009-2023 (Enova, 2023a)

EU har kommet til enighet om nytt Bygningsenergidirektiv ved utgangen av 2023 (heretter EPBD) (EU-kommisjonen, 2023). For næringsbygg og offentlige bygg er det nå satt krav til at bygg innen 2030 skal være 16% mer energieffektive enn nivået i 2020. Mens innen 2033 skal de være 26% mer energieffektive i forhold til 2020-nivået (EU-kommisjonen, 2023). Dette tilsvarer omtrent karakter F innen 2030 og karakter E innen 2033 på alle bygg; næringsbygg, offentlige bygg, industribygg, private bygg, osv. (Enova, 2023a). EU har mål om klimanøytral bygningsmasse innen 2050 (European Parliament, 2023).

Halvparten av denne reduksjonen skal gjennomføres med de byggene som er minst energieffektive i dag (EU-kommisjonen, 2023). Disse kravene ble lettet i forhold til vedtaksforslagets krav om energikarakter E innen 2027 og karakter D innen 2030 for den samme bygningsmassen (European Parliament, 2023). Støtteordninger er en del av kravene satt i EPBD for å kunne gjennomføre målsettingen om nullutslipp innen 2050 (EU-kommisjonen, 2023).

Til sammenligning setter energirammekravet i TEK17 krav til netto energibehov tilsvarende 115 kWh/m<sup>2</sup> oppvarmet BRA per år (Direktoratet for byggkvalitet, 2017a). Netto energibehov tar ikke hensyn til varmesystemets virkningsgrad (Førland-Larsen et al., 2011), slik som beregnet levert energi i energimerkeberegningen gjør (Norconsult, 2013) (figur 2). I praksis betyr dette at varmesystemer med stort tap har høyere levert energi enn netto energibehov, mens varmesystemer med lite tap har tilnærmet likt netto energibehov og levert energi (Førland-Larsen et al., 2011). Dermed vil bygg etter TEK17 med et ordinært varmesystem ha energimerke C, mens et bygg med et varmesystem med høy effektivitet og lite tap ha energimerke B.



Figur 2 Ulike begreper om energi i et bygg (Førland-Larsen et al., 2011)

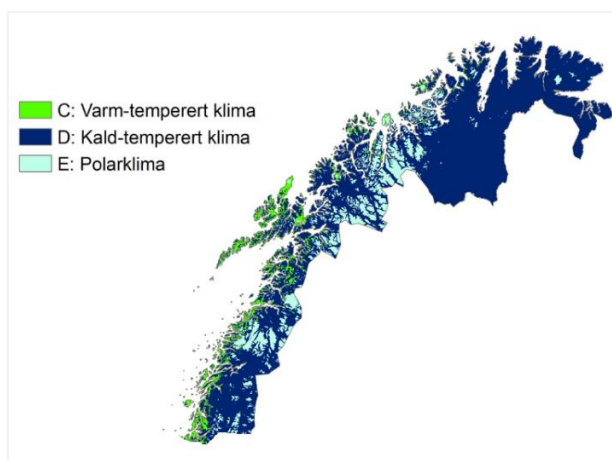
### 2.1.3 Klima i Nord-Norge

Nord-Norge har varierende klima, med både kystnære strøk, fjellstrøk, store innlandsområder og vidder (Mamen, 2023). Spesielt med landsdelen er at det varm-tempererte klimaet med månedsmiddeltemperatur mellom +18 og -3°C har kortere utstrekning i de kystnære strøkene enn i Sør-Norge (figur 4). Varm-temperert klima kjennetegnes ved at det ikke inngår i tørt klima. Ellers har Nord-Norge store områder med kald-temperert klima med månedsmiddeltemperaturer mellom +10 og -3°C, og en del fjell- og viddeområder med polart klima med middeltemperatur under +10°C i årets varmeste måned. Det kald-tempererte og polare klimaet kjennetegnes med lave nedbørsmengder, og høye temperatur-svingninger. Landsdelen har i snitt de laveste årsmiddeltemperaturene på fastlands-Norge, med et utvalg i tabell 1 (Sintef, 2023).

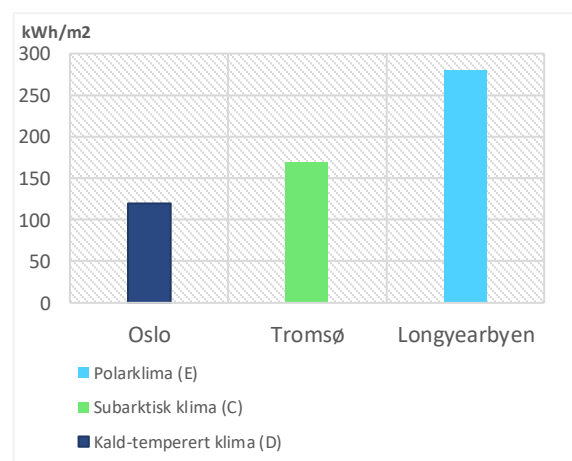
Tabell 1 Gjennomsnittlig årsmiddeltemperatur på utvalgte steder i Nord-Norge over en 30 års periode (Sintef, 2023)

Sted	$\theta_m$
Narvik	5,0
Bodø	5,5
Fauske	4,1
Tromsø	3,4
Vadsø	1,7
Tana	0,2
Karasjok	-1,3
Kautokeino	-1,8

De lave utetemperaturene gjennom året kombinert med klimapåkjenninger gir ulike energiforbruk til oppvarming i ulike deler av landet (Pettersen, 1995) (figur 3). Denne grafen tar utgangspunkt i 150mm isolasjon i vegger, 200mm i tak, 300mm i gulv, med trelagsvindu med U-verdi på 2,0, luftskifte på 0,5h<sup>-1</sup> og innetemperatur lik 21,5°C for alle tilfeller. Prosjektrapporten til Sintef viser også at kaldere klima i Nord-Norge bidrar mest til høyt energibruk (figur 5) (Dokka, 2012). Denne rapporten innehar simuleringer som viser at energibruken i kontorbygg øker ca. 3,6 kWh/m<sup>2</sup>år per grad senking i årsmiddeltemperatur.



Figur 4 Köppens klimaklassifisering 1991-2020 av Nord-Norge (Mamen, 2023)



Figur 3 Sammenligning fra 1995 av beregnet energiforbruk til oppvarming for en 100m<sup>2</sup> enebolig i

Størrelse/Sted	Stavanger	Oslo	Mo i Rana	Røros	Karasjok
1000 m <sup>2</sup> BRA	10,1	19,9	28,1	34,5	50,8

Figur 5 Beregnet oppvarmingsbehov (kWh/m<sup>2</sup>\*år) for kontorbygg i ulike klima (Dokka, 2012)

Soltimer er antall timer sol per dag, og registreres på bestemte steder i landet av Meteorologisk Institutt (Sidselrud, 2023). Tromsø har i snitt registrert 1263 soltimer i året. Tromsø er nærmeste målestasjon for soltimer fra Narvik. Til sammenligning har Oslo 1669 soltimer i året. I tillegg preges Nord-Norge, nord for 67° 8' nordlig breddegrad, av mørketid (Aksnes & Hammerstrøm, 2023). Dette innebærer at solen i et bestemt tidsrom gjennom vinteren ikke kommer over horisonten. For Harstad, nærmeste målte punkt fra Narvik, kommer ikke solen over horisonten mellom 1. desember og 12. januar. Mengden soltimer er også kraftig redusert i månedene før og etter mørketiden, før midnattssolen trer i kraft gjennom sommerhalvåret (Engvold, 2023). Midnattssolen er det motsatte av mørketid, og betegner at solen er til stede over horisonten hele døgnet.

#### 2.1.4 Metode for energimerking

Energikarakteren er beregnet etter levert energi under normal bruk av bygningen, altså den energien som må kjøpes (Enova, u.å.-a). Beregningsmetodikken er fastsatt i NSPEK 3031, og stiller krav til at beregningsprogrammer har en nøyaktighet i beregning av kjøle- og varmebehov som er innenfor 15% av referanseberegningen i NS-EN 15265:2007 (Standard Norge, 2023, tillegg S).

Beregningen gjøres uavhengig av hvordan eier eller leier av bygget faktisk bruker bygget, men beregnes etter standardiserte verdier for blant annet internlaster, driftstider og klima (Norconsult, 2013). Normalisert klima er ifølge NSPEK 3031 klimadata for Oslo. På samme måte som standardiserte verdier legger også energimerking til grunn at bygget har tilstrekkelig kapasitet til å opprettholde normert innetemperatur. Energimerkingen av bygget vil derfor i mange tilfeller ikke samsvare med faktisk energibruk i bygget. Dette kan skje hvis reelle verdier for bygget ikke samsvarer med standardiserte verdier, eller hvis energibehovet for varme ikke er tilstrekkelig i bygget.

Energiberegning kan enten gjøres stasjonært eller dynamisk (Norconsult, 2013). Stasjonær metode beregner med månedsmiddelverdier, og kan brukes for mindre bygg uten kjølesystem og med normalt glassareal. Dynamisk metode beregner med timesverdier eller hyppigere, og benyttes for beregning av større og mer kompliserte bygg med eller uten større glassarealer. Beregning direkte i energimerkesystemet er stasjonær metode, mens beregning i simuleringsprogrammer som for eksempel Simien PRO er dynamisk metode (Norconsult, 2013).

Temperaturer og effekter simuleres og beregner med tidssteg på én time eller kortere, mens energibehov beregnes ved å summere effektbehov til oppvarming og kjøling over det samme tidssteget (Standard Norge, 2023, tillegg S).

Det finnes regler og standardverdier i NS 3031 for energiberegning i simuleringsprogram (Norconsult, 2013):

NSPEK 3031 setter krav til soneinndeling av utvalgte bygg ved energisimulering (Standard Norge, 2023). Årsaken er ulike arealers funksjoner, tekniske installasjoner og forskjellig soltilskudd (Norconsult, 2013). I tillegg vil varme- og kjølebehov avdekkes for spesifikke arealer. Bygg som krever soneinndeling, er ifølge NSPEK 3031 (2023) som følger:

Formel 1 Krav til soneinndeling

$$A_{\% \text{ vindu,dør,glassfelt}} \cdot \text{total solfaktor}_{\%} \geq 5\%$$

Uoppvarmet eller delvis oppvarmet areal har egne regler ifølge NSPEK 3031 (Norconsult, 2013). De kan enten inkluderes med innetemperatur satt til settpunkttemperatur for bygningskategorien. Alternativt kan de utelates fra simuleringen, men inkludere varmemotstanden dette rommet utgjør. Ved å inkludere arealet beskriver Praktisk veileder for energimerking (2013) at spesifikt energibehov og vindusandel synker, mens varmetapet gjennom ytterkonstruksjonen også inkluderes. Denne ytterkonstruksjonen er gjerne utilstrekkelig isolert, og vil som følger ha et høyt varmetap. Ved å ekskludere dette arealet øker spesifikt energibehov, mens varmetapet fra ytterkonstruksjonen også ekskluderes.

Den siste regelen setter strenge krav til arealuthenting og modell (Norconsult, 2013). I forkant av arealuthenting skal bygningskategori(er), sone(r) og uoppvarmet areal avklares for å sikre korrekte arealberegninger. Deretter skal bruksareal (BRA) bestemmes, som beregnes som bruttoareal (BTA) minus ytterveggenes areal på etasjens grunnflate. Til slutt skal klimaskjerm beregnes, som er fasade, gulv og tak.

Standardiserte verdier i energiberegning for energimerke for hver bygningskategori er blant annet

- «Gjennomsnittlig effektbehov i driftstiden og årlig energibehov for belysning, utstyr og varmtvann
- Gjennomsnittlig varmetilskudd i driftstiden for belysning, utstyr, varmtvann og personer
- Driftstider og settpunkt-temperaturer for oppvarming og kjøling
- Minste tillatte spesifikke luftmengde ved kontrollberegning mot offentlige krav og veiledende verdier for spesifikke luftmengder og veiledende luftmengder i og utenfor drift» (Norconsult, 2013, s. 13)

For luftmengder i balansert ventilasjon med CAV er minste tillatte spesifikke luftmengde satt til forskriftskravene for hver bygningskategori (Standard Norge, 2023a). Når luftmengdene i et bygg i realiteten er mindre enn forskriftskravet skal energiberegningen fortsatt bruke verdier etter forskriftskravet (Norconsult, 2013). Dette kommer av §10 i Energimerkeforskriften som stadfester at energiberegning skal gjennomføres etter minste tillatte luftmengde for å tilfredsstille HMS-krav i byggt teknisk forskrift TEK17 (Direktoratet for byggkvalitet, 2017a). Veileder for energimerking (2013) tolker dette som at minstekravene i NSPEK 3031 skal følges for energiberegning. I tillegg skal beregning av den luftmengden ventilasjonsaggregatet ikke har kapasitet til å tilføre bygget ikke beregnes med varmegjenvinning.

Internt varmetilskudd inkluderes ikke i energiberegningen (Standard Norge, 2023a). En serverpark i et bygg vil eksempelvis ikke kunne inkludere overskuddsvarmen i energiberegningen, selv om byggeier bør utnytte denne energien (Norconsult, 2013). Årsaken er den uheldige effekten av at tekniske komponenter med høyt energiforbruk og høyt varmetap, eksempelvis serverparker eller glødelamper, kan gi bygget lavere energibruk ved at oppvarmingsbehovet senkes.

Eksternt varmetilskudd behandles enten som internt varmetilskudd, eller beregnes som fjernvarme eller varmepumpe inn i bygget (Norconsult, 2013). Eksternt varmetilskudd kan i sammenheng for kontorbygg være næringsvirksomhet i 1. etasje. Utgangspunktet er at denne spillvarmen enten kan inkluderes eller ekskluderes fra energimerkingen avhengig av hva som er å foretrekke. Uavhengig av om den inkluderes eller ei beskriver Energimerkeforskriftens juridiske veileder at «utnyttelse av slik spillvarme ofte er et godt og regningsssvarende ENØK-tiltak» (Norconsult, 2013).

Ved bruk av EOS-system kan man i energiberegningen senke energibehovet til belysning med 20% (Standard Norge, 2023, tabell A.2).

Vannbesparende sanitærutstyr er ikke standardisert (Standard Norge, 2023a). Eksempler på vannbesparende distribusjon er isolering av varmtvannsberedere, rørisolasjon av vannledninger, rørlengde, rørdimensjon, sirkulasjonsrør og varmegjenvinning av gråvann (Sintef, 2015). Eksempler på vannbesparende sanitærutstyr er tappearmaturer med restriktiv luftblander, vannfritt urinal, og vaskemaskin og oppvaskmaskin med lavt energi- og vannforbruk.

#### 2.1.5 Simien PRO

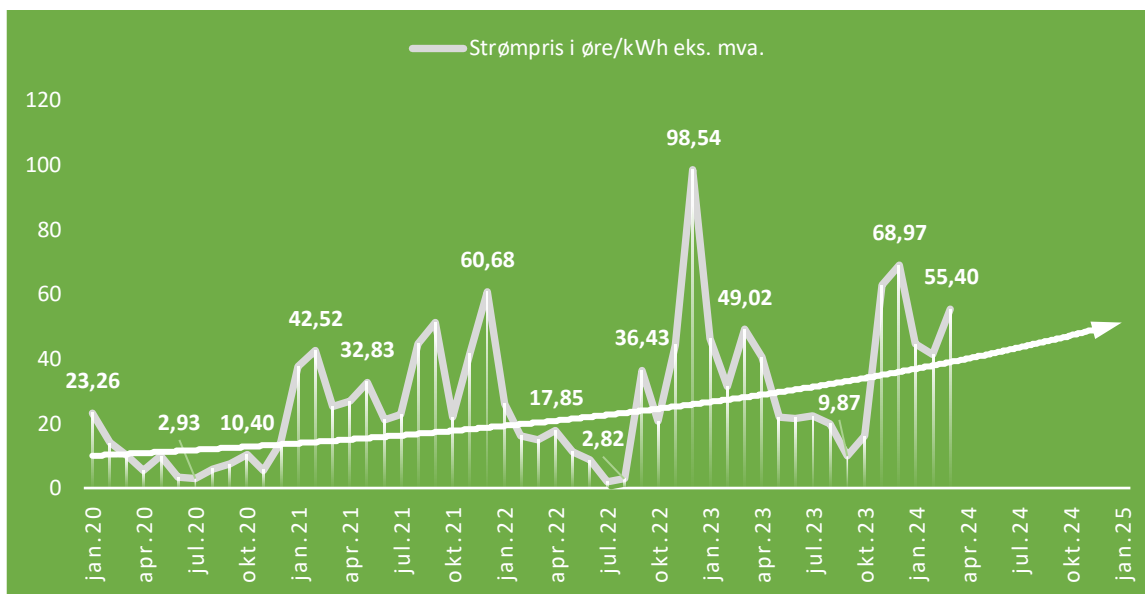
Simien PRO er et skybasert energiberegningsprogram (Simenergi AS, u.å.). Programmet har til hensikt å være et simuleringsverktøy for inneklimate og energivurderinger. Noe av funksjonaliteten inkluderer evaluering mot forskrift, simulering av oppvarming, romkjøling og ventilasjon, beregning av energimerke, lønnsomhetsvurdering, reduksjon i klimagassutslipp, simulering av normalisert og lokalt klima, vurdering av kombinerte tiltak og soneinndeling av bygg (Simenergi AS, u.å.). Programvaren benytter beregningsreglene for energimerke fastsatt i NSPEK 3031 (Standard Norge, 2023a).

Energimerking i Simien gjennomføres med normalisert klima for å være en sammenlignbar beregning uavhengig av byggets lokasjon (Norconsult, 2013). For å vurdere effekter av lokalt klima kan års-simulering gjennomføres (Simenergi AS, u.å.). Lokalt klima tar hensyn til lengde- og breddegrad, dimensjonerende utetemperatur sommer og vinter, årsmiddeltemperatur, og solforhold gjennom året (Norconsult, 2013).

#### 2.1.6 Strømpris

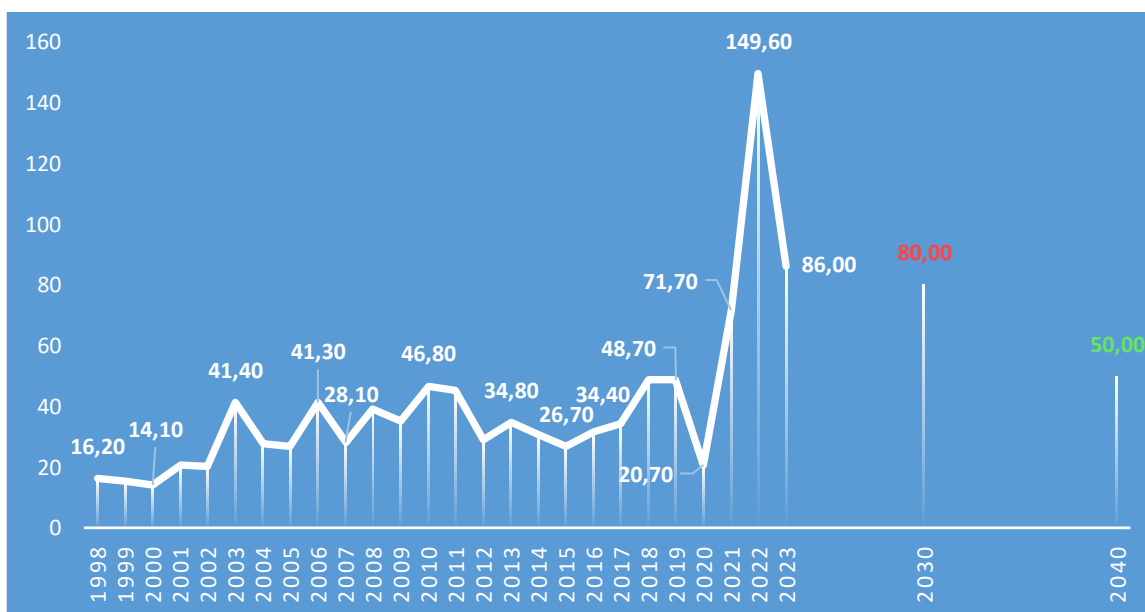
I Nord-Norge har energiprisen vært mer stabil enn i Sør-Norge de siste tre årene (NVE, 2023c). Årsakene er blant annet Russlands reduksjon av gass eksport i 2021, lite nedbør i Europa og andre forhold i Europa som ikke nevnes her. Nord-Norges energipris har vært mer stabil på grunn av flaskehals i norsk infrastruktur for strøm mellom Sør- og Nord-Norge, og stor tilgang på vindkraft fra Nord-Sverige (NVE, 2023c). Imidlertid viser historiske strømpriser fra 2020 til i dag at også energipristrenden i Nord-Norge er stigende (figur 6) (Nordpool, 2024). Gjennomsnittlig strømpris i Nord-Norge i 2023 var 34 øre/kWh eks. mva.

Nord-Norge er fritatt for merverdiavgift på elektrisitet (Finansdepartementet, 2019a). Begrunnelsen er blant annet de klimatiske forholdene i landsdelen som øker energibruken, samt å redusere leveomkostninger sammenlignet med landet for øvrig.



Figur 6 Historisk strømpris i Nord-Norge siden 2020, eks. mva. (Nordpool, 2024)

På landsbasis viser statistikk fra SSB i perioden 1998 til 2024 at gjennomsnittsprisen for strøm er stigende (Aanensen & Holstad, 2012, 2024) (figur 7).



Figur 7 Gjennomsnittlig strømpris i Norge eks. mva. fra 1998 til 2024, inkludert langsiktig kraftmarkedsanalyse fra 2023 av NVE (NVE, 2023c; Aanensen & Holstad, 2012, 2024)

Utvikling av energiprisen i fremtiden baserer seg på mange faktorer innen- og utenlands (NVE, 2023c). For å gjøre Europa uavhengig av gassimport fra Russland lanserte EU flere planer for å tilrettelegge for dette. Blant annet REPowerEU, Fitfor55 og EPBD. Disse vil bidra til større forsyningssikkerhet, økt produksjon av fornybar energi, og lavere energibruk i næring og husholdning. Siden 2021 har næringer og husholdninger i Norge mottatt strømstøtte på grunn av de høye strømprisene.

Varigheten på krigen i Ukraina er usikker. En av ettervirkningene av krigen er at EU-land ønsker større forsyningssikkerhet, som NVE tror kommer til å vedvare også etter krigen. Sekundært har ambisjonsnivået i klimapolitikken i EU og i landene i EØS-området blitt høyere, som kan bidra til en raskere omstilling og på sikt lavere strømpriser.



Energiteknologi som hydrogen og batteriproduksjon var i 2023 ifølge NVE for umodne teknologier til at kraftsituasjonen de nærmeste årene kommer til å endre seg med disse teknologiene (NVE, 2023c). Allikevel er det å forvente at dagens investering i teknologiene kommer til å øke og at kostnaden går ned. Utnytting av solenergi er forventet å øke slik at det kan brukes i stor skala. Kjernekraftproduksjon antas at opprettholdes.

I Norge vil satsingen på fornybar energi som vann- og vindkraft fortsette å øke (NVE, 2023c). Utbygging av slik kraftproduksjon er usikker på grunn av samfunnets ønske om å bevare landområder. Blant annet landbasert vindkraft skal behandles i Plan og bygningsloven og Energiloven. Fram mot 2030 forventes lite utbygging på grunn av krav til konsesjon, mens etter 2030 forventes mye utbygging av havvindkraftverk, og moderat utbygging av landbaserte vindkraftverk. Den forventede økningen i kraftforbruk i Norge har gått ned ifølge NVE, blant annet på grunn av de høye strømprisene fra 2021 til i dag. Allikevel forventer NVE at kraftforbruket i Norge vil øke kraftig mot 2030.

Prisforskjellen mellom Sør- og Nord-Norge vil ifølge NVE synke mot 2030 (NVE, 2023c). Analysen antar at kraftforbindelsen mellom Sør- og Nord-Sverige vil styrkes, slik at kraftbalansen mellom sør og nord utjevnes.

Spesielt vindkraftproduksjon i Norge forventer å senke gjennomsnittlig strømpris i landet betydelig (NVE, 2023c). I snitt forventer NVE at kraftforbruket i Norge øker raskere enn produksjonen mot 2030, dette kan bidra til å øke strømprisen. NVE konkluderer med at de antar en gjennomsnittlig strømpris i Norge på 80 øre/kWh i 2030 (figur 7). Hvis Norge øker sin kraftproduksjon og øker eksport av strøm mellom 2030 og 2040 er det antatt at strømprisen vil ligge på 50 øre/kWh i 2040.

I dag er det mulig å kjøpe strøm med opprinnelsesgaranti og varedeklarasjon (NVE, 2023a). Dette vil si at kraftprodusenten forplikter å produsere like mye fornybar energi som kunder med opprinnelsesgaranti totalt kjøper. Dette vil ikke drøftes videre i denne oppgaven fordi det ikke anses som del av problemstillingen.

#### 2.1.7 Støtteordninger

Støtteordninger for ENØK-tiltak til virksomheter finnes i dag og utstedes av Enova (Enova, 2023b). Ifølge dem ønsker myndighetene å tilgjengeliggjøre energivennlige tiltak i bygg for både privatpersoner og næring, og har vært et effektivt virkemiddel for å effektivisere omstillingen av en mer miljøvennlig bygningsmasse.

For yrkesbygg som ønsker å forbedre energitilstand kan Enova støtte inntil 30% av kostnaden inntil 10 millioner kroner (Enova, 2024). Denne støtteordningen baserer seg på å senke beregnet levert energi. Det er konkurranse om støttemidlene, og forbedret energitilstand av bygget må dokumenteres med ny energiattest. For varmesystemer gjelder satsene i tabell 2. Forhøyet støttesats for tilvalg er 250 kr/kW for akkumulatortank og 500 kr/kW for nærvarme (Enova, 2023b).

Tabell 2 Støttesatser for ulike teknologier i varmesystem (Enova, 2023b)

Teknologi	Sats	Tilvalg som gir forhøyet støttesats
Biokjel (flis, pellets, briketter og annet fast brensel)	2 400 kr/kW	Akkumulator, nærvarmeanlegg
Solfanger på bygningskropp	1 000 kr/m <sup>2</sup>	Akkumulator, nærvarmeanlegg
Væske-vann varmpumpe med energikilde bergvarme	2 500 kr/kW	Akkumulator, nærvarmeanlegg
Væske-vann varmpumpe med energikilde bergvarme og solfanger på bygningskropp	2 800 kr/kW	Akkumulator, nærvarmeanlegg
Væske-vann varmpumpe med energikilde vann eller jord	2 000 kr/kW	Akkumulator, nærvarmeanlegg
Væske-vann varmpumpe med energikilde vann eller jord og solfanger på bygningskropp	2 300 kr/kW	Akkumulator, nærvarmeanlegg
Luft-vann varmpumpe med akkumulator	1 000 kr/kW	

## 2.2 Kontorbygg fra 50-tallet

### 2.2.1 Statistiske undersøkelser om bygningskategorien, byggeår og-sted

Siden 50-tallet har i snitt energibruken i kontorbygg i Norge gått ned i underkant av 50kWh/m<sup>2</sup> (Abrahamsen et al., 2013). Trolig kan økte krav til inneklima og komfort ha bidratt til at nyere bygg ikke har et enda lavere energibruk. Også blant bygg som har gjennomgått større rehabiliteringer siden byggeår har energibruken kun gått ned med 3 kWh/m<sup>2</sup>.

På 50-tallet var landet inndelt i fire klimasoner etter 1949-forskriften (Kommunal og arbeidsdepartementet, 1949). Narvik var innebefattet i klimasone III, med de nest strengeste kravene til U-verdier i bygg etter sone IIII. Sone IIII gjaldt polare innlandsstrøk på Østlandet, Nord-Norge og Svalbard. Tabell 3 sammenligner kravene i 1949-forskriften og energiltak i TEK17 §14-2 (2) (2017).

Tabell 3 Utdrag av Krav til varmeisolasjon i Byggeforskrift 1949 Kap 5b. §1. K-verdier omregnet til U-verdier (Direktoratet for byggkvalitet, 2017a; Kommunal og arbeidsdepartementet, 1949)

Bygningsdel	1949 Sone III	TEK17
	[W/m <sup>2</sup> K]	
a) Bygninger av mur eller annet brannfast materiale med grunnflate større enn 200 m <sup>2</sup>	1,0	≤ 0,22
b) Det overnevnte med grunnflate mindre enn 200 m <sup>2</sup>	0,9	≤ 0,22
c) Trebygninger	0,8	≤ 0,22
Yttertak over oppvarmet rom	0,8	≤ 0,18
Loftsgolv over oppvarmet rom	0,9	≤ 0,13
Kjellervegger ned til frostfri dybde	1,4	≤ 0,22
Glass, vindu, dør	3,48	≤ 1,2

I 1949-forskriften fantes det ikke konkrete krav til U-verdi i kjellergulv (Kommunal og arbeidsdepartementet, 1949). Standard oppbygning av kjellergulv i betongbygg var 50-100mm betong over rundt 200mm frostfrie masser som pukk (figur 12) (Sintef, 2017c). Dette tilsvarer en U-verdi på rundt 0,2 W/m<sup>2</sup>K, mens dagens krav er 0,18 W/m<sup>2</sup>K

*K-verdi gitt i kcal/(m<sup>2</sup>hK) var den gamle varmegjennomgangskoeffisienten. Denne brukes ikke i dag fordi kilokalorier (kcal) ikke er en SI-enhet. U-verdien gitt som W/m<sup>2</sup>K er en SI-enhet og ble først introdusert i byggeforskriften av 1987.*

$$1,0 \text{ k-verdi} = 1,16 \text{ U-verdi}$$

Figur 8 K-verdi (Kommunal og arbeidsdepartementet, 1949; Kommunal- og arbeidsdepartementet & Miljøverndepartementet, 1987)

### 2.2.2 Byggeskikk på 50-tallet

Betong som bygningsmateriale i Norge dukket først opp på 1870-tallet, men fordi betongen var uarmert var ikke bruken av materialet utbredt (Sintef, 2017a). Bruk av armert betong slik vi kjenner den i dag kom rundt 1890. Fra Byggeforskriften av 1928 ble yttervegger i betong isolert med 30mm ekspandert kork eller treullsementplater. Disse ble støpt inn i ytterveggen og pusset for å unngå konveksjon gjennom materialet (Stenby, 2022a). For å begrense kuldebroer ble også en stripe med denne isolasjonen lagt langs betongdekkene (Sintef, 2017a).

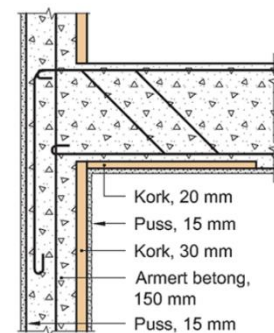
På 50-tallet kom det som kalles lettbetong, altså porebetong og senere lettklinkerblokk (Sintef, 2017a). Disse ble ofte lagt som utvendig isolasjonsmateriale med overfladisk puss. På denne måten ble kuldebroer fjernet i mye større grad enn tidligere.

Betongen overtok som byggemateriale i større bygg på 50-tallet (Sintef, 2017a). Veggene kunne være tynnere, og byggene kunne være større. Etasjeskillere i treverk ble sjeldnere etter 1930-tallet, da armert betong overtok. Som resultat kunne arealene i bygg være større med færre bærende innervegger. Bygningskjellet i armert betong ble vanlig fra 1930-tallet. Store bygg kunne nå ha store åpne arealer som vi i dag ser i betongbygg.

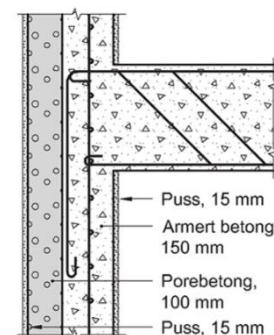
Isolasjonstykkelse i både vegger og tak etter 1949-forskriften var sjelden mer enn 50-100 mm med isolasjonsplater (Kommunal og arbeidsdepartementet, 1949), og rundt 100-150 mm med lettbetong (Sintef, 2017a) (tabell 20). Isolasjonstykkelsen og materialene i bygg fra denne tiden reflekterte datidens krav til U-verdi (tabell 3).

Tak av tekking med skifer kom i bruk på midten av 1800-tallet og brukes tildels den dag i dag (Stenby, 2022b). Skifer ble satt med spiker i tverrgående lekter på undertak.

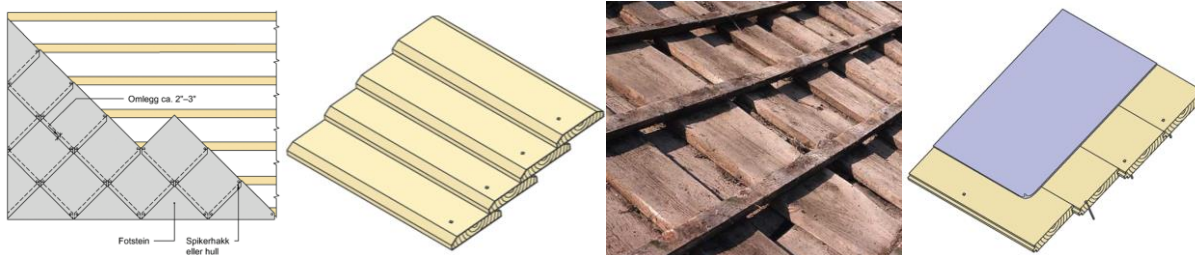
På denne tiden var undertak, også kalt sutak, i treverk vanlig (Sintef, 2017b). Enten lagt mot fallretningen med overlappende bord. Eller med fallretningen med under- og overliggere eller pløyde bord (rupanel). Særlig rupanel var vanlig etter 1900, med tettesjikt av takpapp med steinkulltjære, og takpapp med asfaltunderlagsbelegg etter 1920.



Figur 9 Ytterveggkonstruksjon i betong med innvendig ekspandert kork støpt og pusset inn i veggen (Sintef, 2017a)

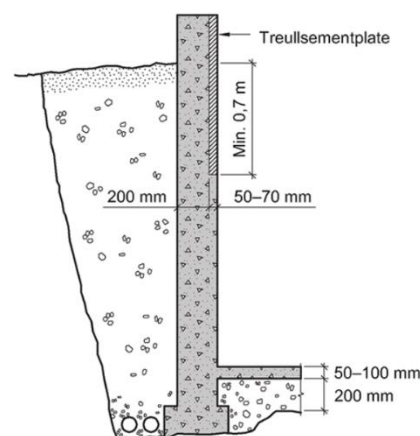


Figur 10 Ytterveggkonstruksjon i betong med utvendig porebetong og puss (Sintef 2017a)



Figur 11 Tekking med rutesteinskifer, undertak med overlappende bord, undertak med under- og overliggende bord og undertak i rupanel med takpapp (Sintef, 2017b)

Kjellere etter 1949-forskriften var utformet i betong eller mur, da bærende innervegger i tre ikke var tillatt (frem til Byggeforskriften av 1969) (Sintef, 2017c). I grunnmurer var både armert og uarmert betong vanlig. Minimumstykkelsen på uarmert betong var 300 mm tykkelse og 400 mm ved bruk av sparestein. Kravet var 150 mm ved armert betong. Gulv på grunn var ofte bygget opp av 200 mm frostfrie masser og 50-100 mm betonggulv. På innsiden av kjellervegger var det krav til varmeisolerende materiale minst 0,7 m under oppfyllingshøyde (oftest i hele veggens høyde) i henhold til klimasone og krav til U-verdi. Treullsementplate var svært vanlig til utgangen av 1950-årene som slikt isolasjonsmateriale (Stenby, 2022a). Også i kjellere ble platene støpt fast og pusset for å hindre konveksjon.



Figur 12 Grunnmur i betong med minimumskrav i hht. byggeforskriften av 1949 (Sintef, 2017c)

Støpte etasjeskillere i armert betong fikk i 1949-forskriften en egen paragraf om utforming, som inneholdt krav til bæreevne, stabilitet og brannmotstand (Sintef, 2017c). Bærende innervegger av både tegl, betonghullstein, mv. hadde samme krav til tykkelse og bæring som yttervegger etter denne forskriften (Sintef, 2017c, fig. 322).

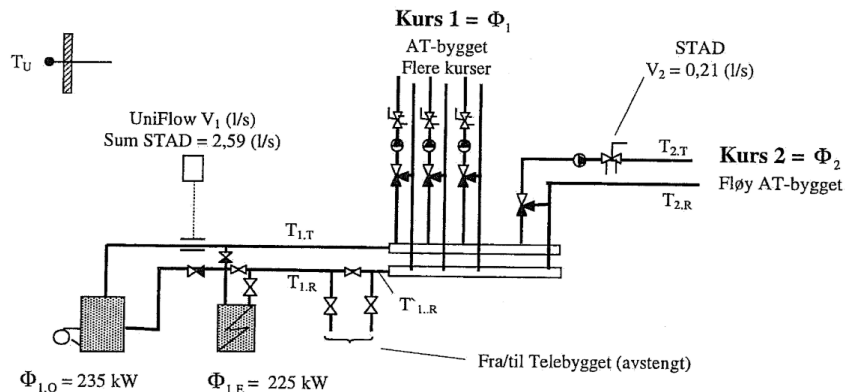
Tekniske installasjoner beskrevet i 1949-forskriften var få (Forsynings- og gjenreisningsdepartementet, 1949; Kommunal og arbeidsdepartementet, 1949). Det fantes fyrrom, ofte i kjellere, på denne tiden. Disse rommene hadde røykpipe gjennom konstruksjonen til taket. Ventilasjonkanaler i større bygg var gjennomført i betong eller mur, og var laget for naturlig ventilasjon (Sintef, 2017c). Naturlig ventilasjon baserer seg på konveksjon av varmluft og ventiler (Aschehoug et al., 2007).

### 2.3 Standard i casebygget

Dronningensgate 52A (heretter casebygget) er et kontorbygg fra 1955 (Fremover, 1955). Kontorbygget ble i 2018 blitt pusset opp innvendig (Kubera, u.å.). Bygget på fire plan pluss kjeller har et bruksareal på 2883m<sup>2</sup> (vedlegg 3). 1-4. etasje er kontorarealer. Kjelleren benyttes til lager, vaskerom og tekniske rom, mens loftet er et kaldloft som benyttes til lager og føringsvei for ventilasjonssjakter (vedlegg 11).

Casebygget ligger i såkalt «hensynssone bevaring av kulturmiljø» (Narvik bystyre, 2017). Fasadeendrende tiltak i slik hensynssone er søknadspiktig til fylkeskommunen (vedlegg 9). Slik søknad skal inneholde beskrivelse av tiltak, tegninger og materialbruk. I tillegg er tiltak ansvarsbelagt i sonen, som betyr at erklæring om ansvarsrett, prosjekterende, arkitektonisk grunnlag og bygningskonstruksjon skal foreligge. Ansvarlig søker og prosjekterende skal gjøre seg kjent med områdebestemmelser som krav om utforming, høydebestemmelser, materialbruk, osv. Disse bestemmelsene finnes i reguleringsplan for området, eller i kommuneplanens arealdel (vedlegg 9).

De tekniske systemene på bygget nærmer seg 40 år gamle. El-kjelen på 225 kW ble installert i 1984 (vedlegg 11), mens ventilasjonssystemet ble installert i 1985 (vedlegg 6). Bygget har også en oljekjel på 235kW som ikke lenger er i bruk i henhold til Forskrift om forbud mot bruk av mineralolje til oppvarming av bygninger (Energidepartementet & Klima- og miljødepartementet, 2018). Denne forskriften hadde ikrafttredelse 01.01.2020.



Figur 13 Systemskisse av varmeanlegget i casebygget fra før 2020 (Jensen & Sørensen, 2004)

En fagrapport fra 2004 undersøkte hvorvidt casebygget og nærliggende bygg kunne dele varmeanlegg (Jensen & Sørensen, 2004). Funnene i rapporten antydte at casebygget og de øvrige byggene hadde for stor kapasitet for mange dager i året.

Under oppussingen i 2018 ble vinduer i kontorlandskapet byttet ut i 2. til 4. etasje (Kubera, u.å.). I 1. etasje og i trappeganger på nordlig og sørlig side av bygget er vinduene av varierende kvalitet, og fra ulike årstall mellom 1979 og 1985 (vedlegg 11). Innvendig solskjerming ble også installert. Under oppussingen ble kontorene oppgradert med led-belysning, foruten trappegangene.

Trappegangen på sørsiden av bygget har blitt utvidet med ca. 11 m<sup>2</sup> siden byggeår (Knudsen, 1956). Datoen for denne utvidelsen er ikke kjent, men vinduene i denne delen er fra midten av 90-tallet som kan indikere når dette ble gjennomført (vedlegg 11).

Casebygget har ikke eksterne prosesser i eller utenfor bygget som utnyttes til byggets varme- eller kjølebehov i henhold til NSPEK 3031 (2023) (vedlegg 11).

Konstruksjonsmessig antas bygget å være uendret siden byggeår, foruten utskifting av vinduer i bestemte arealer og innvendig oppussing i disse etasjene. Ytterveggene antas å være bygget opp av betong, porebetong og puss i henhold til byggeteknikk (Sintef, 2017c). Bygget har saltak over kaldloft på 892 m<sup>2</sup>, beregnet i BMI sitt beregningsprogram for tak og glassrekkverk (BMI, 2024) (vedlegg 1).

## 2.4 ENØK og tiltak

### 2.4.1 ENØK

Energiøkonomisering (ENØK) er optimalisering av energibruk i bygg i forhold til tilgjengelige energiresurser (Rosvold & Halleraker, 2023). Aktuelle ENØK-tiltak avhenger av forholdet mellom driftskostnader, energipris og effekten av ulike tiltak.

Energiøkonomisering ble først omtalt i norsk politikk i sin første stortingsmelding i 1979 (Aschehoug et al., 2007). Siden den gang har vi fått flere stortingsmeldinger, egne poster i statsbudsjettet øremerket ENØK og Energiloven av 1990. ENØK i bygninger (2007) beskriver de fem faktorene for ENØK (figur 14).

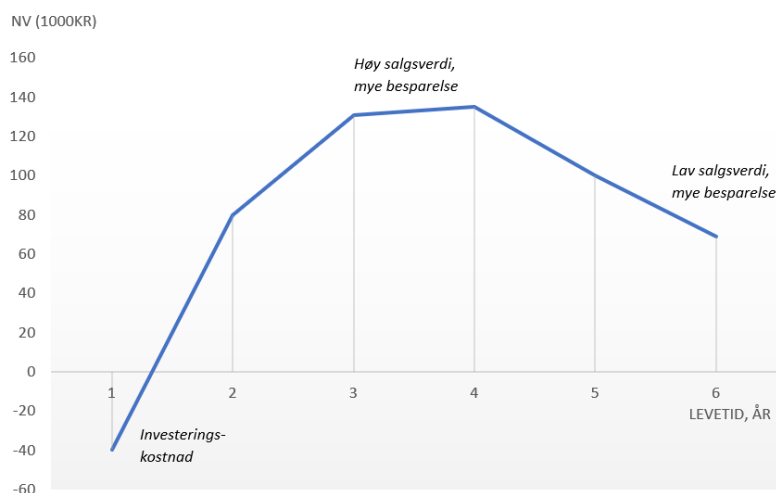


Figur 14 De fem faktorene for ENØK (Aschehoug et al., 2007)

Som én av de fem faktorene er økonomiske betingelser et viktig aspekt i ENØK-sammenheng (Aschehoug et al., 2007). Prinsippet om investering i ENØK-tiltak er de samme som for investeringer i en bedrift generelt. Investeringer som skal gjennomføres skal i utgangspunktet ha en positiv avkastning. Men slik som figur 14 illustrerer, må også krav fra myndigheter, tiltakets innvirkning på inneklima og komfort, og tiltakets miljømessige bærekraftighet vurderes særskilt.

Nåverdimetoden er blant de vanligste beregningsmetodene for ENØK-tiltak (Aschehoug et al., 2016). Metoden er en såkalt analyse av fordeler og ulemper («cost-benefit metode»), som vurderer kapitalverdien av en investering. Metoden ser på kostnader og innsparinger av et tiltak i et større bilde, ved å diskontere alle tidligere og fremtidige kapitalverdier av tiltaket til dagens tidspunkt. Et tiltak har en investeringskostnad, men også årlige besparelser av energi som gjør at man over tid inntjener investeringen.

Metoden i sin enkleste form tar også for seg kalkulasjonsrente, tiltakets levetid, salgsverdi, energipris og inflasjon (Aschehoug et al., 2007). Andre parametere som vil være viktige for en troverdig og korrekt analyse er årlig spart energi, energi til drift av tiltaket (merforbruk), effektreduksjon og drift- og vedlikeholdskostnader. Visualisering av nåverdien av et tiltak illustreres i en graf fra ENØK i bygninger (2007).



Figur 15 Visualisering av nåverdimetoden (Aschehoug et al., 2007)

Nåverdien av tiltaket er positivt hvis inntjeningen av tiltaket med hensyn på blant annet investeringskostnad, årlig spart energi, kalkulasjonsrente, restverdi, energipris og inflasjon er positiv innen levetiden av tiltaket. Nåverdien er gitt som:

Formel 2 Nåverdimetoden

$$NV = B \frac{1 - (1 + r)^{-N}}{r} + S(1 + r)^{-N} - I$$

B	Årlig besparelse i kroner, beregnet årlig energibesparelse multiplisert med energipris
r	Kalkulasjonsrente med hensyn på inflasjon, energiprisøkning, skattefaktor og skattefordeler
N	Økonomisk levetid
S	Salgsverdi
I	Investeringskostnad

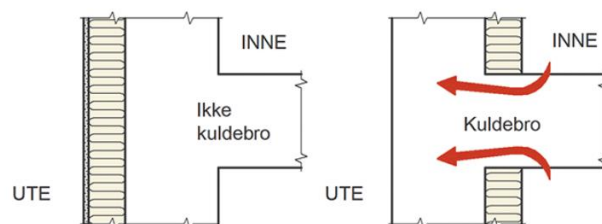
#### 2.4.2 Byggetekniske tiltak

Etterisolering av bygg kan gjennomføres på bygg som har lav U-verdi på yttervegg og gjerne stort energibruk (Aschehoug et al., 2016). Utvendig etterisolering kan utbedre kuldebroer og luftlekkasjer, men arbeidet er værutsatt og kan endre det arkitektoniske uttrykket på fasaden. Spesielt gamle betongvegger har høy U-verdi, og store kuldebroer ved dekkeforkant og i hjørner (Sintef, 2014). Kuldebroene ved etasjeskillere er størst når veggen er innstøpt i ytterveggen, og minst når etasjeskillere er boltet i ytterveggen.

Innvendig etterisolering kan utføres i bestemte rom og uavhengig av vær, men nytteeffekten kan være mindre på grunn av kuldebroer i veggavslutninger på innervegger, samt tap av bruksareal (Aschehoug et al., 2016).

Fordeler med utvendig etterisolering av betongvegger er blant annet at kuldebroer fjernes ved etasjeskillere, at veggen blir tørrere som kan hindre korrosjon i armeringen, beboere blir ikke forstyrret av arbeidet, og man unngår tap av bruksareal (Sintef, 2014). Ulemper er arkitektoniske forhold og fasadevern, minsket avstand til naboer, og at vinduer må flyttes lenger ut i fasaden. Normalisert kuldebroverdi kan i henhold til NSPEK 3031 tabell A.4 senkes fra 0,12 til 0,09 ved økning av kuldebrobryter i fasaden fra 5 cm til 10 cm (Standard Norge, 2023a).

Fordeler med innvendig etterisolering er at det er egnet der utvendig etterisolering hindres av loverk og annet (Sintef, 2014). I tillegg kan bestemte deler av et bygg etterisoleres i henhold til en plan, og utføres i forhold til økonomien. Ulemper er at kuldebroer i fasaden vedvarer, og økt fare for kondens og frostsprenging i porøse fasadematerialer. Andre ulemper inkluderer byggearbeid inne hos brukere av bygget, mindre bruksareal, kostnader rundt flytting av elektriske apparater og annet fast inventar som kjøkken, radiatorer og annet vegghengt utstyr.



Figur 16 Visualisering av kuldebro ved utvendig og innvendig etterisolering (Sintef, 2014)



Etterisolering av yttervegg har tradisjonelt bestått mineralull (Ganobjak et al., 2023; Sintef, 2014). Moderne byggematerialer som sandwichelementer og fibersementplater brukes også mye i dag, og kan regnes som den mest kostnadseffektive med hensyn på installasjon (Sintef, 2014). Disse byggematerialene kan både endre byggets utseende, eller ha til hensikt å bevare arkitekturen. Det siste inne etterisolering av yttervegger er diffusjonsåpen, men vanntett, superisolerende «Aerogel» (Ganobjak et al., 2023). Dette er gelé innsprøytet med luftbobler, som med eller uten farge påføres fasader i 20-50 mm tykkelser. Materialet har termisk konduktivitet mindre enn 20 mW/mK, og har til hensikt å etterisolere verneverdige bygg som ikke ønsker augmentering av det arkitektoniske uttrykket (figur 17).

Materialet finnes også i brannhemmende form. Materialet har altså fordel over mineralull som opptar fukt, og sandwich-elementer og fibersementplater som er damptett og skaper kondensproblemer (Aschehoug et al., 2007; Sintef, 2014). Allikevel er Aerogel opptil tre ganger dyrere enn etterisolering med konvensjonelle materialer, inkludert arbeid. Prisen er ca. 2360 kr/m<sup>2</sup> yttervegg (Norconsult Digital AS & Bygganalyse AS, 2024). Dette kan skape store unødvendige kostnader der behovet for tynn superisolerende etterisolering ikke er nødvendig. I et av casebyggene i rapporten ble U-verdien senket med 60%, fra 1,36 til 0,58 W/m<sup>2</sup>K.



Figur 17 Gjennomføring av utvendig etterisolering av yttervegg med "aerogel" (Ganobjak et al., 2023)

Infiltrasjonstap er utettheter i bygningskonstruksjonen som kan skape et økt varmetap (Aschehoug et al., 2016). Årsaker kan være mekaniske skader, slitasje på bygningsdeler, dårlig utførte skjøter, gamle pakninger, slitte fuger, setninger, mm. Når det oppstår trykkforskjeller innenfor og utenfor bygget (skorsteinseffekten), oppstår en luftstrøm gjennom klimaskjermen. Dette øker energiforbruket ved at luftstrømmen tar med seg oppvarmet eller nedkjølt luft ut, eller at uteluften kommer inn. Uten målinger er det svært utfordrende å fastsette infiltrasjonstapet (Norconsult, 2013). Det finnes lite litteratur med erfaringstall, og erfaringstallene som finnes er usikre fordi verdien avhenger stort av byggeteknikk og den enkelte håndverkens utførelse.

Varmekapasitet er energien lagret i bygningskonstruksjoner avhengig av materialenes densitet og varmeledningsevne (Aschehoug et al., 2007). Eksempelvis vil en temperaturendring gjennom en 60 mm betongvegg gå gjennom på en time, mens gjennom en 300 mm betongvegg vil det ta et døgn. Uten å gå inn i dybden på fysikken omhandler varmekapasitet om treghet i temperaturvariasjoner i bygg avhengig av konstruksjonstype. Varmekapasitet skaper tre ting:

- Varmelagring
- Faseforskyvning
- Amplitudedemping

På varme dager vil høy varmekapasitet være fordelaktig fordi faseforskyvning av varmegjennomgang forsinker maksimal temperatur i bygget til dimensjonerende utetemperatur har sunket (Aschehoug et al., 2007). På kalde dager er det fordelaktig fordi utvendig kulde ikke trenger like fort gjennom



konstruksjonen. Ved begge tilfeller vil amplitudedemping av temperatursvingningene inntreffe fordi en tung konstruksjon opptar mye av temperaturgjennomgangen. Også ved innvendig belastning, som et klasserom som fylles, vil bygg med høy varmekapasitet oppta mye av den interne varmen som akkumuleres. I kjellere vil uteluftas påvirkning på grunnen faseforskyves slik at temperatursvingningene ikke oppstår før etter uteluftas dimensjonerende temperatur. Alt dette bidrar til redusert varmetap, samtidig som at maksimalt effekt-tap forekommer med en tidsforskyvning i forhold til dimensjonerende utetemperatur.

Solstråling er en enorm energikilde som kan gi overflaten til en vanlig enebolig opp til 10 ganger energibehovet bygget har til oppvarming (Aschehoug et al., 2007). Om sommeren vil vest- og østvendte fasader motta mest solstråling, mens om vinteren gjelder det sørvendte fasader. Solfaktor er andelen strålingseffekt som passerer vindusflaten ved solinnfall normalt på flaten, med verdi mellom 0 og 1. Denne faktoren avhenger av vinduets egenskaper. Varmeregulerende og solkjermede ruter har gjerne et belegg for å redusere strålingen, tre-lagsvinduer har lavere solfaktor en to-lags, og gasser mellom sjiktene som argon og krypton senker strålingen. Man kan dermed klimatilpasse bygg ved å benytte riktig solfaktor for riktig bygg og fasade.

Solvinduer er et passivt solvarmesystem for bygg (Aschehoug et al., 2007). Ved å utnytte drivhuseffekten kan man ved å øke vindusarealet på solvendte fasader oppnå en 10-15% reduksjon i oppvarmingsbehovet. Sekundært kan man oppnå gode dagslysforhold innendørs i disse arealene. Et passivt solvarmesystem er integrert i bygningskroppen og utnytter de konstruksjonsmessige egenskapene til bygget. En forutsetning for disse vinduene er høy varmeisolasjon og solskjerming. Dette er for å senke varmetap i vintermånedene, og for å unngå overoppheting av arealene om sommeren.

Allikevel kan kun noen få prosent av denne energien utnyttes da varmebehovet og solinnstråling på de nordlige breddegrader er i motfase med hverandre (Aschehoug et al., 2007). Solen utnyttes best på våren og høsten når strålingsstyrken fra sola er god nok og utetemperaturene fortsatt er lave. Utnyttelsen er best på vest-, sør- og østvendte fasader og tak. Fordelen med utnyttelse av solenergi i Nord-Norge er at fyringssesongen er lengre, som gjør at energibehovet når sola kommer og like før den forsvinner er stort. Derfor er utnyttelsespotensialet større nord i landet.

Solvegger er et passivt solvarmesystem der vegger i mørk farge absorberer solvarmen, og som med en tidsforsinkelse forplanter seg inn i bygget (Aschehoug et al., 2007). I Norge er varmetapet gjennom slike vegger stort siden de ofte har lavere U-verdi for å slippe gjennom varmen.

Solrom er i praksis først og fremst vinterhager der drivhuseffekten kan utnyttes (Aschehoug et al., 2007). Det passive systemet kan utnyttes ved å bruke det oppvarmede arealet til forvarming av friskluft. Tiltaket har bare ENØK-gevinst når vinterhagen er planlagt, og man deretter utnytter arealet.

### 2.4.3 Tekniske tiltak

#### Sentral driftskontroll

Et SD-anlegg eller anlegg for sentral driftskontroll er et system designet for å overvåke, styre og optimalisere de tekniske systemene og bygningsautomatikk i en bygning (Mysen & Schild, 2014). Dette inkluderer vanligvis VVS, belysning, sikkerhetssystemer, og noen ganger også andre funksjoner som heiser og brannalarmer.

Ved hjelp av sensorer, kontrollere og et sentralt dataprogram, kan SD-anlegget automatisere ulike prosesser for å forbedre energieffektiviteten, komforten, og sikkerheten i bygningen (Mysen & Schild, 2014). Systemet samler data fra hele bygningen og gir operatører, som byggeier eller vaktmester, en detaljert visning av hvordan ulike systemer og enheter presterer. Dette tillater dem å justere innstillinger etter behov, enten manuelt eller gjennom forhåndsprogrammerte algoritmer som responderer på spesifikke forhold. Eksempel på slike forhold er CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen i inneluften, innetemperatur og tilstedeværelse. SD-anlegget bidrar til smartere bygningsdrift ved å redusere energiforbruk, forenkle vedlikehold og gi innsikt i hvordan bygningen brukes i tilfelle salg av bygget og lignende.

#### EOS-system

Energioppfølgingssystem er et system som vurderer og kontrollerer energitilstanden i et bygg (Aschehoug et al., 2007). Systemet registrerer målt energibruk og inneklimateknologier kontinuerlig. Ved hjelp av byggets energi- og økonomiske regnskap, kan systemet gi indikasjoner på når noen energiposter er forhøyet. Dette kan tyde på at vedlikehold er nødvendig. EOS-systemet kan være en del av SD-anlegget, eller være et selvstendig system. Fordelen med systemet er en lavere investeringskostnad enn et SD-anlegg.

#### Energikilder

Det finnes to hovedformer for romoppvarming og -kjøling, direkte elektrisk og vannbårne anlegg (Aschehoug et al., 2007). Direkte elektrisk vil eksempelvis være panelovner til oppvarming og direkte elektriske kjøleanlegg. Vannbårne systemer baserer seg på en energikilde som varmer eller kjøler vann som distribueres gjennom et vannbårent system i et bygg. Romoppvarming kan skje via radiatorer, gulv- eller takvarme, mens -kjøling kan foregå gjennom viftekonvektorer.

TEK17 (2017) setter krav til minst 60% dekning av normert netto varmebehov av energifleksible varmesystem i bygg med oppvarmet bruksareal over 1000 m<sup>2</sup>. I tillegg skal slike bygg ha lavtemperatur varmeløsning og felles varmesentral. Dette betyr at et bygg over 1000 m<sup>2</sup> i hht. TEK17 skal kunne bytte varmekilde, og benytte det eksisterende distribusjonssystemet.

#### Direkte elektrisk

Norge er på verdenstoppen for elektrisk romoppvarming (Aschehoug et al., 2007). Veggmonterte elektriske ovner står for 80% av varmekilder installert i bygg. I disse ovnene tilføres direkte elektrisk kraft som avgir tilnærmet all effekten tilført ovnen. Elektrisitet er edel energi som uten tap kan omformes til alle energiformer, inkludert varme. Svakheten med direkte elektrisk oppvarming er at avgitt effekt kun tilsvarer tilført effekt.

#### Vannbåren varme

Fyringsanlegg er forbrenningsanlegg som konverterer energi fra brenselet til det vannbårne systemet (Aschehoug et al., 2007). Biokjel benytter brensel som opptar CO<sub>2</sub> i sitt livsløp, og er derfor et fyringsanlegg med nettobidrag på 0. Eksempler på slikt brensel er trevirkeprodukter som pellets, bark, briketter og ved. Fordelen med biokjel er at brenselkostnaden er stabil gjennom hele året. Imidlertid er strømprisen ofte dyrest i de kaldeste månedene, og soltilgangen til solvarmeanlegg er lav (Enova, 2016). Biobrenselkostnaden ligger på rundt 0,75 kr/kWh avhengig av kilopris og brennverdi på brenselet (Aschehoug et al., 2007; Enova, 2017b). En biobrenselkjel med effekt på 150 kW kan spare et bygg litt over 5000 kg CO<sub>2</sub>-utslipp årlig (Stokke, 2017). Kjelens virkningsgrad ligger rundt 80% ved full drift og 70% ved 1/3 drift.

I likhet med biokjel finnes også klimanøytrale biooljekjeler (Skaatan, 2015). Dette oljekjeler som ombygges til å benytte klimanøytral bioolje. Bioolje er naturlig framstilt fyringsolje av produkter som brukt matolje, rapsolje og andre animalske oljer (Hofstad, 2023). Virkningsgraden kan være opptil 92% ved full drift (Skaatan, 2015).

El-kjel er betegnelsen på en varmegenerator som benytter elektrisitet til oppvarming vannbåren varme (Aschehoug et al., 2007). El-kjelen er svært effektiv, og har lite tap når kjelen og distribusjonssystemet er godt isolert. Kjelen virkningsgrad er til vanlig mellom 95-98%, men kan synke noe ved distribusjonstap (Enova, 2004). I tillegg krever de mindre vedlikehold enn biokjel fordi de har færre bevegelige deler og ingen avfall (Aschehoug et al., 2007).

El-kjeler kan være miljøvennlige når de benyttes i områder som preges av god tilførsel av fornybar energi som vann-, vindkraft og solenergi (Aschehoug et al., 2007). I disse tilfellene kan den bidra til å øke byggets miljøvennlighet.

En varmepumpe er et energieffektivt system som brukes til å varme opp og kjøle ned bygg (Aschehoug et al., 2007). Systemet kan også varme opp tappevann. Den fungerer ved å flytte varme fra ett sted til et annet, i stedet for å generere varme direkte. Fordi varmepumper utnytter varme som allerede eksisterer i miljøet, uteluft, grunnvann, fjell eller sjø, bruker de betydelig mindre elektrisk energi sammenlignet med systemer som produserer varme gjennom elektrisk motstand eller brenning av brensel. Dette gjør den mer energieffektiv enn disse tradisjonelle oppvarmingsmetodene. Varmepumpekostnaden ligger på ca. 4 000-7 000 kr/kW foruten installasjoner for fjernvarme og varme fra andre kilder som ikke er luft.

Varmefaktoren for en varmepumpe er et mål på effektiviteten til varmepumpen, hvor mye varme som produseres for tilført energi (Aschehoug et al., 2007). På engelsk kalles varmfaktoren COP som står for «Coefficient of performance» (Hofstad, 2024). Varmefaktoren varierer gjennom året, slik at «seasonal coefficient of performance» (SCOP), benyttes som et gjennomsnitt. Denne kalles årsvarmefaktor på norsk. Termodynamikken viser at et lavt temperaturspenn i varmepumpen øker varmfaktoren, som gjør at en varmepumpes effektivitet synker spesielt mye gjennom kalde vintermånedene (Aschehoug et al., 2007). Normal varmfaktor på dagens varmepumper ligger mellom 2 og 5 (Sintef, 2009).

En varmepumpe benytter arbeidsmedier i en prosess, og endrer inneluftas temperatur gjennom en syklus av fordamping og kondensering. Varmepumpen flytter på den måten varme effektivt fra ett sted til et annet. Ved å reversere prosessen kan varmepumpen fungere som et kjølesystem, og er vanlig i bygg når det er økonomisk forsvarlig. I dag står varmepumpen for 10-15% av Norges varmebehov.

De vanligste typene varmepumper er luft-luft, vann-luft og væske-vann varmepumper (Aschehoug et al., 2007).

Luft-luft varmepumpen henter energien i uteluften og overfører den til inneluften (Sintef, 2009). De er rimelig å installere fordi de ikke krever væskesløyfer i kilden eller vannbårent distribusjonssystem innendørs. Slike varmepumper gir effektiv oppvarming og kjøling ned til -10° celsius. Når utetemperaturen synker fra +7 til -15 grader celsius avtar effekten med 40-60%. Det er uheldig siden temperatursvingninger i løpet av året er i motfase med oppvarmingsbehovet, da det er størst behov på de kalde dagene. Dermed er luft-luft varmepumper kun egnet sør i Norge i lavlandet og i kystnære strøk. I tillegg er ikke luft-luft varmepumpen egnet for vannoppvarming siden luft har lav varmekapasitet og lav tetthet, som krever store luftmengder og store flater for varmeveksling.

Luft-vann varmepumper baserer seg, i likhet med luft-luft varmepumpe, på uteluften og har de samme utfordringene knyttet til motfase mellom utetemperatur og oppvarmingsbehov (Aschehoug et al., 2007). Systemet varmer opp vann som distribueres i et vannbårent system. Denne løsningen er brukbar ved utskifting av oljekjel, fordi systemene er begge vannbåren og har lik oppbygning (Sintef, 2009).

Væske-vann varmepumper benytter seg av jevne temperaturer i grunnen, sjø, elv, ferskvann og i noen tilfeller råkloakk (Aschehoug et al., 2007). Effektiviteten er størst der temperaturen i kilden er jevnest gjennom året. Ulempene er tilgjengelighet for vannkilden, kostnaden ved installasjon, arealbruken ved brønner og vedlikehold av rørsløyfer i vannet. Varmepumpen kjennetegnes av høy investeringskostnad og høy effektivitet. Vannkilder kan også være underlagt regulatoriske krav. Denne varmepumpetypen har gjerne et lavere støynivå enn andre typer varmepumper.

Spesielt for væske-vann varmepumper i grunnen, også kalt geotermiske varmepumper, er evnen til å sesonglagre varme eller kulde i energibrønner (Sintef, 2009). På sommerstid vil varme akkumuleres i brønnene, som kan utnyttes om vinteren. På samme måte kan akkumulert kulde fra vinteren kunne utnyttes om sommeren. Ulempen med denne typen varmepumpe er arealbehovet på bakkenivå som kreves for brønnene, i tillegg til et stort pumpesystem.

Varmepumper bruker et arbeidsmedium i sin pumpekrets (Sintef, 2009). Fluorgasser har vært vanlig som arbeidsmedium siden 1990-tallet, på grunn av sine termodynamiske egenskaper, stabilitet og ikke-brennbarhet (Kofstad & Bäcker, 2018). Den gangen gikk overgangen fra ozon-skadelige KFK-gasser til fluorgasser med høy GWP (Global Warming Potential). Fokuset var altså det ødelagte ozonlaget, og ikke sterke drivhusgasser. Myndighetene har varslet økte avgifter, nedfasing av import og fremtidige bruksforbud av fluorgassene på grunn av miljøskadepotensialet disse gassene har (Miljødirektoratet, 2022).

Myndighetene anbefaler i dag at nye og eksisterende varmepumpesystemer benytter miljøvennlige og naturlige kjølemidler som ikke er sterke drivhusgasser (Regjeringen, 2022). Blant disse finnes hydrofluoroolefiner (HFO), og de naturlige kjølemidlene ammoniakk, CO<sub>2</sub> og hydrokarboner. Disse leverer like gode eller bedre termodynamiske egenskaper, men kan ha arbeidstrykk høyere enn fluorgasser. På den andre siden er ammoniakk giftig og hydrokarboner brennbart (Returgass, u.å.). I sum kan disse nye arbeidsmedium kreve nye sikkerhetsrutiner ved vedlikehold og drift av varmepumper. For eksisterende systemer vil disse arbeidsmediene kreve oppgradering av robustheten til anleggene.

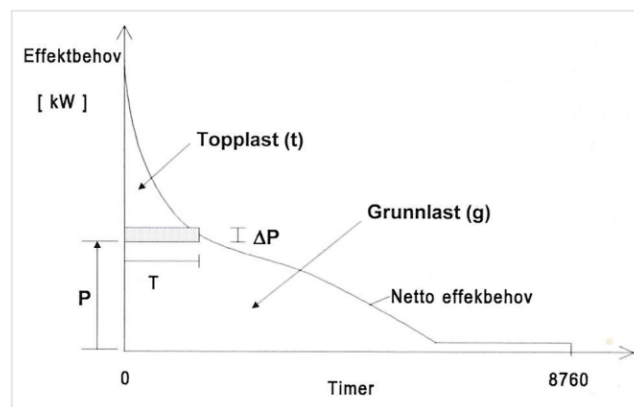
Utedelen av en varmepumpe produserer støy fra sin mekaniske drift (Aschehoug et al., 2007). Både luft-luft og luft-vann varmepumper har et høyere støynivå enn væske-vann varmepumper. Granelovens §2 stadfester at ingen naboer må gjøre noe som er urimelig, til skade eller til ulempe for naboeiendom, inkludert farlige ting (Justis- og beredskapsdepartementet, 2021). Sekundært setter NS 8175 krav til støynivåer fra tekniske installasjoner som varmepumper (Standard Norge, 2019). Støynivåene fra eksempelvis utedel på varmepumpe gjelder både for egen eiendom og naboeiendommer.

Fjernvarme er et distribusjonssystem for oppvarming av bygg og tappevann (Aschehoug et al., 2007). Oppvarming av vann eller damp skjer sentralt og distribueres til mange bygg, slik at størrelsen på produksjonsanlegget er stort. I likhet med varmepumper vil effektiviteten av varmeproduksjonen øke med størrelsen og kompleksiteten av anlegget, i forhold til individuelle varmesystemer i hvert bygg. Dette gjør fjernvarme en effektiv og bærekraftig energidistributør. I abonnentbyggene overføres varmen til distribusjonssystemet via en varmeveksler.

Fjernvarme er vanligst i større tettsteder der varmebehovet er stort, og etterspørselen er stor. Ifølge Plan- og bygningsloven har bygg som bygges innenfor konsesjonsområdet til fjernvarme tilkoblingsplikt (Kommunal- og distriktsdepartementet, 2024) I Narvik er det ikke etablert fjernvarme. Det ble søkt konsesjon om etablering i 2011, uten at utbygging ble iverksatt (Nordkraft, 2011; Olsen, 2011).

#### Kombinererte anlegg

Kombinererte anlegg har to eller flere energikilder som ut ifra effektkostnad og energikostnad kan variere brukstid og bruksmønster (Aschehoug et al., 2007). Ved å kombinere to eller flere energikilder har man mulighet til å utnytte de ulike kildenes egenskaper til å mest miljømessig og økonomisk bærekraftig gi oppvarming til bygg. Grunnlasten gir tilstrekkelig energi til å varme et bygg i store deler av året, mens topplasten eller spisslasten gir varme til bygget på de kaldeste dagene (figur 18). Disse kan enten ha kombinert, parallell eller alternativ drift.



Figur 18 Varighetsdiagram for et varmeanlegg (Aschehoug et al., 2007)

Formelen om optimalt effektnivå P er en formel som beregner fordelingen mellom grunnlast (g) og topplast (t) i et varmeanlegg med to varmekilder. Optimalt effektnivå P er «optimalpunktet der reduksjonen av effektkostnad er lik økningen av energikostnaden» (Aschehoug et al., 2007, s. 346). Dette er en ligning med forenklet inndata for å beregne fordelingen, og tar ikke hensyn til varierende virkningsgrad, ytelse og strømpris. Man finner altså den mest økonomiske fordelingen av to energikilder i et varmesystem. Formelen er som følger:

Formel 3 Optimalt effektnivå ved to varmekilder i kombinerte anlegg (Aschehoug et al., 2007)

$$\Delta P \cdot (I_g - I_t) \cdot a = \Delta P \cdot T \cdot \left( \frac{e_t}{\eta_t} - \frac{e_g}{\eta_g} \right)$$

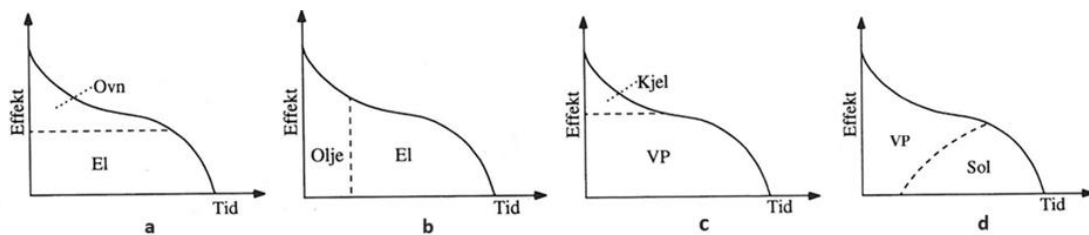
$\Delta P$	Marginal endring i effektkapasiteten (kW)
$I_g$	Marginal kostnad for grunnlastkilden (kr/kW)
$I_t$	Marginal kostnad for topplastkilden (kr/kW)
$a$	Annuitetsfaktor
$T$	Varigheten av $\Delta P$
$e_g$	Brutto energikostnad for grunnlastkilden (kr/kWh)
$e_t$	Brutto energikostnad for topplastkilden (kr/kWh)
$\eta_g$	Virkningsgrad for grunnlastkilden (%)
$\eta_t$	Virkningsgrad for topplastkilden (%)

Like etter krigen hadde ikke den gjennomsnittlige husholdning tilstrekkelig el-varme til oppvarming av huset hele året (Aschehoug et al., 2007). I kalde perioder ville derfor vedovnen fyres kombinert med el-varme for å dekke behovet. Vedovnen var da topplasten, mens el-varmen var grunnlasten (figur 19a).

Senere ble alternativ drift mellom el-kjel og oljekjel veldig vanlig (Aschehoug et al., 2007). El-kjelen ble driftet mesteparten av året, mens olje-kjelen ble driftet på de kaldeste dagene (figur 19a). Alternativ drift bidro til at olje-kjelen kunne driftes med god virkningsgrad, ved at den fikk gå med høyest effekt.

Paralleldrif mellom varmepumpe og kjel være vanlig (Aschehoug et al., 2007)(figur 19c). På de kaldeste dagene, når varmepumpen har lav virkningsgrad, kan kjelen bidra til effektbehovet. I andre deler av året vil den lave energikostnaden til varmepumpen være av nytte.

Paralleldrif med solvarmeanlegg og varmepumpe kan være nyttig (Aschehoug et al., 2007)(figur 19d). Her vil solen kunne bidra som grunnlast til fornybar energi i sommerhalvåret, og ikke være effektiv resten av året. Varmepumpen vil stå for hele effektbehovet vinterstid, og være spisslast sommerstid.



Figur 19 Kombinert drift el-varme og vedovn, alternativ drift el-kjel og oljekjel, paralleldrif varmepumpe og el-kjel, paralleldrif varmepumpe og solvarme (Aschehoug et al., 2007)

#### Vannvarming

Parallell og seriekoblet varmtvannsbereder i sentral varmtvannsproduksjon har ulike egenskaper (Sintef, 2015). Parallellkobling av varmtvannsberedere tilføres og tappes for vann samtidig. Dette er fordelaktig ved oppvarming med elektriske elementer i berederne, fordi slitasjen på elementene er lik. Lik slitasje gir tilnærmet lik levetid. I tillegg kan parallellkoblede varmtvannsberedere gi en noe høyere varmtvannskapasitet, fordi termostatene i seriekoblede varmtvannsberedere er lavere fra tank til tank. Ved parallellkobling har termostatene lik innstilling. Ulempene med parallellkobling er at de elektriske elementene er mer sårbare for feil, og at de er mindre egnet ved bruk av varmeveksler.

Seriekoblede varmtvannsberedere varmer vannet til høyere temperaturer fra tank til tank, og tappes fra den siste tanken i seriekoblingen (Sintef, 2015). Dette er fordelaktig ved bruk av varmeveksler sammen med vannbårne systemer som varmepumpe, biokjel, el-kjel og solvarmesystemer som solfanger. Ulempen er noe lavere varmtvannskapasitet og fare for bakterievekst.

#### Luftbehandling

CAV eller «constant air volume» er en type mekanisk ventilasjon der luftmengden er konstant og manuelt kan justeres (Sintef, 2016). Denne typen anlegg dimensjoneres for antatte luftmengdebehov i hvert rom, og fører derfor til et unødvendig stort energibruk når rommene er tomme. Urstyring etter forventet driftstid er vanlig for CAV, ofte justert av viftene.

VAV eller «variabel air volume» er en annen type mekanisk ventilasjon som ved hjelp av styring og sensorer har til hensikt å minimere luftskiftet i hvert rom og samtidig holde et godt innemiljø (Sintef, 2016). Regulering foregår etter sensorstyring eller antatt behov. Luftmengden justeres direkte fra aggregatet.

DCV eller «demand controlled ventilation», også kalt behovsstyrt ventilasjon på norsk, er i prinsippet VAV-systemer med digital styring fra SD-anlegg og DCV-spjeld i alle rom. Systemet kan dermed med høy presisjon justere tilluftsmengden avhengig av hvilke verdier SD-anlegget registrerer. Regulering skjer

etter to prinsipper, trykkstyring og spjeldoptimalisering. Slike verdier kan være CO<sub>2</sub>-konsentrasjon, temperatur, fuktighet og mer. Ved beregning av behovsstyrt ventilasjon antar man en samtidighet i kontorbygg på 60% (Standard Norge, 2012).

Effekten av behovsstyrt ventilasjon er størst i de lokaler der en eller flere kilder til forurensing er veldig stor, og har store variasjoner (Aschehoug et al., 2007). På denne måten kan behovsstyrt ventilasjon gires opp etter belastningen rommene påføres. Eksempler er som følger:

- Auditorium belastes regelmessig fylles opp av studenter, her vil temperatur, CO<sub>2</sub>-konsentrasjon og RF stige.
- Restauranter belastes av besøkende og av varme- og fuktighetsutvikling på kjøkkenet, her vil temperatur, CO<sub>2</sub>-konsentrasjon og RF stige.
- Industri belastes av produksjon, her vil løsemidler og støv kunne akkumuleres i lufta.
- Sykehus belastes av høy drift, her vil narkosegasser kunne akkumuleres i lufta.
- Kontorer belastes av store endringer i tilstedeværelse, her vil temperatur, CO<sub>2</sub>-konsentrasjon og RF stige.

Veiledende verdi for trykkfallet i eksisterende yrkesbygg med CAV er 350 Pa, mens det i nye yrkesbygg bygget etter 2007 er 250 Pa (Standard Norge, 2023, tabell F.7). Dette er fordi det tidligere var vanlig med høye lufthastigheter i ventilasjonsanlegg, mens anleggene de siste årene har fått større dimensjoner for å senke lufthastighetene og dermed trykktapet (Aschehoug et al., 2016). Undersøkelser gjennomført av Sintef tyder på at 15-20% av energibruken i gamle næringsbygg gikk til drift av elektriske vifter i ventilasjonsanleggene.

I mekanisk balansert ventilasjon benyttes en varmegjenvinner for å utnytte energien i varm avtrekksluft (Aschehoug et al., 2016). Varmen som akkumuleres i oppvarmingssystemet i bygget tapes hvis ikke energi gjenvinnes ved å overføres fra avtrekk til tilluft. Noen typer varmegjenvinnere har virkningsgrader så lave som 50%, mens moderne kammer- og motstrømsvarmegjenvinnere kan ha virkningsgrader opp mot 90% (Sintef, 2002). Den reelle virkningsgraden på ventilasjonssystemet avhenger imidlertid av tettheten i bygget (Aschehoug et al., 2016).

Frikjøling eller nattkjøling er en prosess der ventilasjonsaggregatet kjøler bygget gjennom natten, for å motvirke høy innetemperatur i løpet av dagen på grunn av solenergi på varme sommerdager (Sintef, 2022). Man kan bruke ulike kilder som blant annet kjølig uteluft om natten, energibrønner og sjøvann. Frikjøling er et såkalt passivt tiltak, som uten å tilføre energi til prosessorkjøling, kan senke bygningskroppens og inneluftens temperatur. Høy varmekapasitet i bygg gir en forlenget effekt av frikjøling, som holder temperaturen lavere gjennom dagen (Aschehoug et al., 2007).

#### Aktive solvarmeanlegg

Etter energimerkeforskriften påvirkes oppvarmingskarakteren i bygget av fornybarheten og bærekraftigheten til energikilden eller -kildene (Energidepartementet, 2009). På denne måten setter forskriften fokus på fornybare energikilder i bygg.

Solceller i bygg omformer stråling til elektrisitet og er et aktivt solenergisystem (Aschehoug et al., 2007). Dette systemet går under direkte elektriske energikilder. Et aktivt system bruker for eksempel elektrisitet til å omforme solstrålingen, eller pumper og vifter til å drifte systemet. Det benyttes ofte batterier som lagringsenhet for bygg utenfor el-nettet, slik at energien kan benyttes etter behovet. Pris for solcelleanlegg på tak er litt over 4 300 kr/m<sup>2</sup> (Norconsult Digital AS & Bygganalyse AS, 2024).

For bygg tilknyttet el-nettet kan man i dag opptre som «plusskunde» hos noen nettleverandører (NVE, 2023b; Olje- og energidepartementet, 2024). Det vil si at overskuddsstrøm inntil 100 kW årlig kan selges overføres fra bygg til strømmettet. Ved salg over 100 kW må plusskunder betale fastledd. I tillegg er egenforbruk av selvprodusert strøm ikke avregnet, slik at man ikke må betale nettleie. Salg av egenprodusert strøm krever strømmåler med mulighet til å avregne salg av strøm.

Høsten 2023 åpnet også Olje- og energidepartementet muligheten for at ulike kunder på samme gårds- og bruksnummer for å dele overskuddsstrøm mellom seg (NVE, 2023b). Dette la til rette for at også borettslag, næringsbygg, kontorbygg med flere leietakere, osv. kunne utnytte egenprodusert strøm.

Solfanger er en aktiv type solvarmesystemer for bygg (Aschehoug et al., 2007). Dette systemet går under vannbåren varme, med mindre varmen omformes til elektrisitet. Dette er mulig, men tapet ved omforming er så stort at det ikke diskuteres videre i denne oppgaven.

Solfangeren fungerer ved å absorbere, transportere og overføre solvarmen til det vannbårne distribusjonssystemet (Aschehoug et al., 2007). Solfangersystem er mest aktuelt i bygg med stort tappevannsbehov med jevnt uttak. Årsaken er at varmtvann må oppvarmes hele året, også på sommeren når solenergien er sterkest. I tillegg er solfangere også mest aktuelt i Nord-Norge, siden fyringssesongen er lang. Innbygging av systemet i takflaten har dobbel funksjon, som solfanger og takkonstruksjon. I tillegg gir systemer med SV til SØ retning med helling på 45-75° best effekt. Systemets levetid kan være opp mot 30 år (Norsk Solenergiforening, u.å.)



## 3 Resultater

### 3.1 Potensialet til kontorbygg i Nord-Norge

Kontorbygg i Nord-Norge fra 50-tallet i hovedsak energimerke D eller lavere (Energimerking, 2018). Tabell 4 viser hvilken mengde energi energimerkede kontorbygg i Nord-Norge totalt kan redusere, ved å heve seg til målene i EPBD (EU-kommisjonen, 2023) og TEK17 (Direktoratet for byggkvalitet, 2017a).

Tabell 4 Energipotensial ved forbedring av energimerke av kontorbygg fra 50-tallet i Nord-Norge etter EPBD og TEK17-standard

Karakter	Energibruk [kWh/m <sup>2</sup> *år]	Andel energimerkede bygg	Antall	TEK17 [GWh/år]	EU 2030 [GWh/år]
A	90	0,1 %	4		
B	115	0,6 %	17		
C	145	2,1 %	59	0	
D	180	6,8 %	190	24,0	
E	220	5,5 %	154	31,4	0
F	275	5,9 %	165	51,3	30,4
G	320	6,4 %	179	71,3	48,7
<b>Totalt</b>		<b>27 %</b>	<b>768</b>	<b>177,9</b>	<b>79,1</b>

De 768 energimerkede kontorbyggene i Nord-Norge (tabell 4) kan totalt redusere energibruken med 180 GWh/år ved å heve standarden til TEK17, og 79 GWh/år ved å heve standarden til kravene i EPBD (EU-kommisjonen, 2023). De 768 energimerkede kontorbyggene representerer 27% av kontorbyggene fra samme periode, der resterende bygg ikke er energimerket.

### 3.2 Funn om casebygget

#### 3.2.1 Energiattest casebygget fra 2011

Casebygget har en energiattest fra 2011 (vedlegg 5). Denne energiattesten utgikk i 2021 jf. Energimerkeforskriften §4 som sier at energiattesters gyldighet er 10 år. Bygget har også en energivurdering av ventilasjonsanlegget fra samme tid (vedlegg 6). Tabell 5 viser hvilke ulikheter mellom energiattesten fra 2011 og dataen om bygget innhentet i denne oppgaven.

Tabell 5 Avvik i casebyggets tidligere energimerke (vedlegg 1; vedlegg 5)

Bygningsdel	Oppført	Reelt
Byggeår	1952	1955
Oppvarmet bruttoareal	1529 m <sup>2</sup>	2883 m <sup>2</sup>
Takareal	311 m <sup>2</sup>	892 m <sup>2</sup> (BMI, 2024)
Areal gulv	606 m <sup>2</sup>	627 m <sup>2</sup>
SFP	1,6 kW/m <sup>3</sup> /s	3,35 kW/m <sup>3</sup> /s
Beregnet levert energi	439 926 kWh/år	747 921 kWh/år
Beregnet spesifikk levert energi	288 kWh/m <sup>2</sup> år	259 kWh/m <sup>2</sup> år

De foreslåtte tiltakene fra denne energiattesten er som følger (vedlegg 5):

- Energioppfølgingsystem (EOS)
- Isolering av tak mot kaldloft og yttervegg
- Utskifting av vinduer, varmepumpe
- Isolering av rør, ventiler og pumper
- Omskifting til et mengderegulert system

### 3.2.2 Utskrift av strømforbruk i casebygg

Byggeier har oversendt et dokument om energibruk i Dronningensgate i tidsrommet 30.11.2021 til 22.03.2024 (vedlegg 2). I 2022 var forbruket 710.000 kWh og i 2023 var forbruket 680.000 kWh. Dette tilsvarer 246 og 236 kWh/m<sup>2</sup>, og energikarakter F (Energidepartementet, 2009).

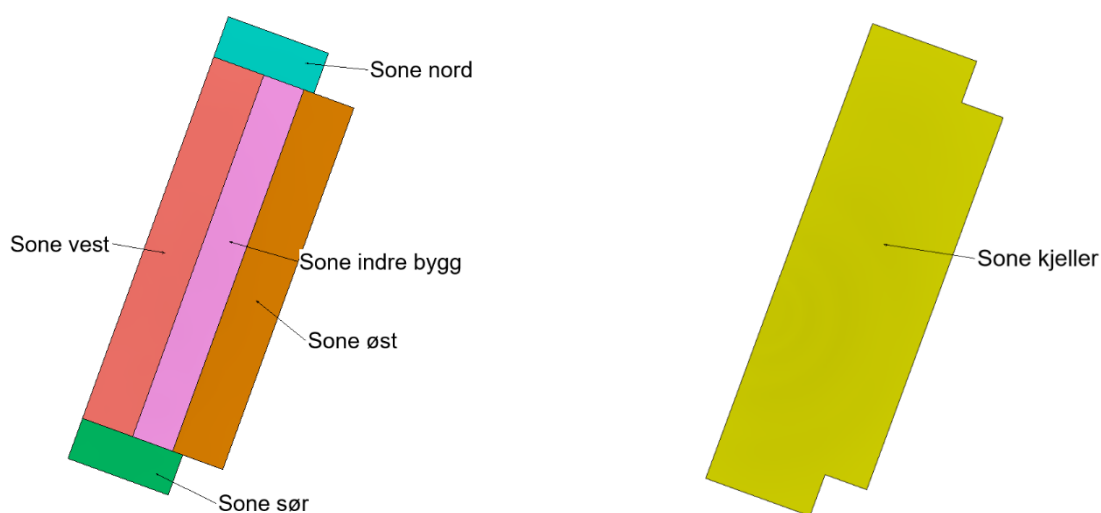
### 3.2.3 Inndata simulering

Soneinndeling kreves for casebygget, i henhold til at produktet mellom arealandel for vinduer, dører og glassfelt, og total solfaktor overskrider 5 % (formel 1).

*Formel 1 Krav til soneinndeling*

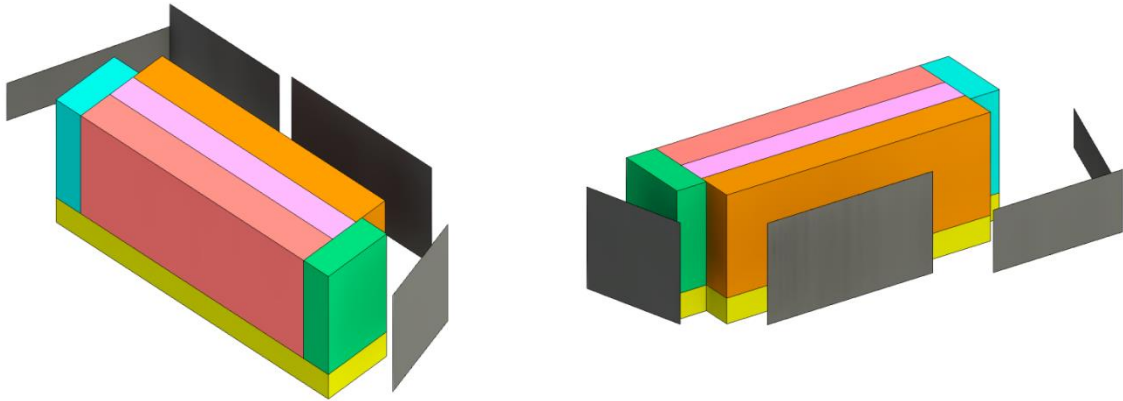
$$\frac{377,6 \text{ m}^2}{2883,1 \text{ m}^2} \cdot 0,65 = 8,5\% \geq 5\%$$

Sonene er inndelt i forhold til ulike arealers funksjon, tekniske systemer og soltilskudd. De ulike kontorarealene, kjelleren og trappegangene er inndelt separat. Årsaken er ulikt soltilskudd for ulike kontorarealer og for trappegangene. For kjelleren er dette arealet inndelt fordi det ligger under bakkenivå, og er plasseringen til sentralvarmeanlegget og andre tekniske installasjoner. Inndelingen er illustrert i figur 20.



*Figur 20 Soneinndeling for casebygget*

Sonene øst, sør, vest, nord og indre bygg strekker seg fra bakkeplan til 4. etasje (øverste etasje) (figur 21). Modellen visualiserer også naboeiendommer, og på så måte solforholdene og vinklene til nabobyggene som er benyttet i simuleringen.



Figur 21 3D-modell av soneinndeling og naboforhold for casebygget

Saltak og kaldloft er utelatt av simuleringen. Kaldloftet har en isolerende effekt på bygget, på tross av at arealet er uoppvarmet og ventilert. I tråd med beregningsreglene i NS3031 (2023), er denne effekten inkludert i takkonstruksjonens gjennom forbedret varmegjennomgangskoeffisient, varmelagringskapasitet og senket klimapåkjenning. Det er ikke gjort beregninger på denne varmegangskoeffisienten. Verdien er antatt lik som forskriftskravet fra 1949, på  $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$  (Kommunal og arbeidsdepartementet, 1949).

Luftmengden i casebygget er  $5,3 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ , mens forskriftskravet for bygningstypen er  $7,0 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$  (Standard Norge, 2023a). I henhold til Energimerkeforskriften simuleres bygget med forskriftskravet til ventilasjonsmengde ( $7,0 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ ), uten varmegjenvinning på luftmengden som overskrider faktisk levert luftmengde ( $2,5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ ) (Energidepartementet, 2009). Bygget simuleres altså kun med varmegjenvinning opp til  $5,3 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ .

#### 3.2.4 Standardiserte verdier

Driftstider er standardiserte verdier for energimerking etter NSPEK 3031. Casebygget har driftstid fra 07-16, 9 timer fem dager i uken, 52 uker i året på tvers av de ulike leietakere i bygget. Den standardiserte verdien for ventilasjon er 12 timer, 5 dager i uka, hele året, (Standard Norge, 2023a), 3 timer mer en faktisk driftstid. Standardisert verdi for romoppvarming er 12 timer, mens radiatorfyring i bygget ikke justeres ned utenfor driftstiden. Bygget har heller ikke frikjøling om natten, for å redusere kjølebehovet om dagen (Sintef, 2022).

Andre standardiserte verdier ved energiberegning er belysning, utstyr og varme (Standard Norge, 2023a). Kontorbygg har blant den største energibruken i utstyr sammenlignet med andre bygningskategorier, mens for varmtvann den laveste. For belysning har kontorbygg et gjennomsnittlig forbruk sammenlignet med andre bygningskategorier.

Når det gjelder vannbesparende sanitærutstyr har casebygget normalt isolerte vannrør, normalt isolerte varmtvannsberedere og ingen armaturer med restriktiv luftblander (Sintef, 2015). Bygget har ikke varmegjenvinning av gråvann.

#### 3.2.5 Byggeteknikk

Casebygget er et bygg med yttervegger og bæresystem i betong. Uten fysiske inngrep i ytterveggkonstruksjoner, er det å anta etter byggetekniske krav og byggeteknikk fra 50-tallet at denne er oppbygget med porebetong eller ekspandert kork som isolasjonsmateriale (Sintef, 2017c) (figur 9 og figur 10). Etterklangen opplevd på befaring av innsiden av ytterveggen antyder et hulere materiale enn

ren betong (vedlegg 11). Dette gir indikasjoner på at innsiden av veggen er isolert med ekspandert kork i henhold til datidens byggeteknikk (Kommunal og arbeidsdepartementet, 1949). Krav til U-verdi fra byggeår er  $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$  (Kommunal og arbeidsdepartementet, 1949), som er utgangspunktet for simuleringen.

Det antas at ytterveggen i casebygget som sådan har en normalisert kuldebroverdi på  $0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Siden det ikke er gjort inngrep i bygget er det vanskelig å si noe om hvordan innfesting til etasjeskillere er gjennomført. Derfor antas det høyeste kuldebroverdi etter NSPEK 3031 tabell A.4 (2023), med kun 5 cm kuldebrobryter i fasaden.

Standarden på vinduene på bygget varierer. Rundt regnet 50% av vinduene ble skiftet under oppussing i 2018, og nærmere halverte U-verdien på eksisterende vinduer (tabell 6). Andre vinduer på bygget har to-lags glass i treramme fra 70-tallet, mens de eldste vinduene på bygget er enkeltglass i treramme uten produksjonsdato (vedlegg 11). Verdier på disse vinduene er standardverdier hentet fra tabell B.2 i NSPEK 3031 (2023).

Lekkasjetallet for bygget er ikke undersøkt med tetthetsmåling og termisk undersøkelse (Aschehoug et al., 2007). Standardverdi på  $6 \text{ h}^{-1}$  for byggeåret fra NSPEK 3031 (2023) er benyttet. I simuleringen er lekkasjetallet senket i arealer der innvendig oppussing ble gjennomført i 2018 på grunn av antatt økt tetthet etter innvendig oppussing, i henhold til standardverdier.

Takkonstruksjonen består av tekking med ruteskifer, og kan være i opprinnelig stand fra byggeår uten at dokumentasjon på dette foreligger. Undertaket består av rupanel langsgående med takfallet og takpapp i asfaltunderbelegg. Kaldloftet er ventilert med ventiler under møne (vedlegg 11).

Loftsgulvet over oppvarmet rom antas å ha 100 mm isolasjon i henhold til byggestandarden ved byggeåret (Sintef, 2017c). Konstruksjonen antas å ha U-verdi etter 1949-forskriften (Kommunal og arbeidsdepartementet, 1949). Som del av loftsgulvkonstruksjonen tilhører også tilgangsdøren til loftet. Alderen på loftsdøren er ukjent, annet enn at slitasje og utseende på døren tilsier at døren er mange år gammel (vedlegg 11). Det antas dermed en lav tetthet gjennom denne døren.

Bæresystemet består av ytterveggkonstruksjonen, skillevegger mellom trappegang og kontorarealer, søyler og bærekonstruksjon i betong under taket (vedlegg 11). Dette antyder at bygningen kan klassifiseres som meget tung, med «eksponert betong i himling, tynt gulvbelegg over etasjeskiller i betong, yttervegg i tegl, 50 % tunge skillevegger» (Standard Norge, 2023, tabell B.8).

U-verdiene i bygget er i sammenligning med dagens forskriftskrav i TEK17 (2017) for lave i alle deler av klimaskjermen (tabell 6). Kun kjellergulvet er nært dagens forskriftskrav. Det er også tydelig ut ifra tabellen at 50% av vinduene er byttet ut.

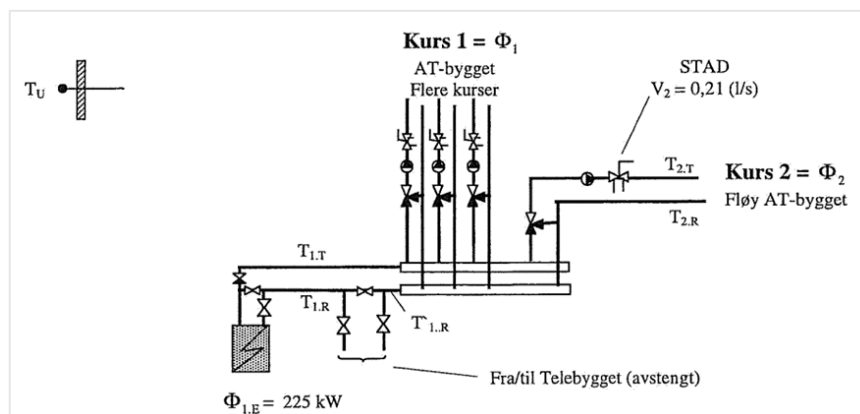
Tabell 6 Sammenligning av U-verdier og lekkasjetall i byggestandard 1949, 2017 og casebygget (Direktoratet for byggkvalitet, 2017b; Kommunal og arbeidsdepartementet, 1949; vedlegg 13)

Bygningsdel	1949	TEK17	Casebygg
	$W/m^2K$		
Yttervegg	1,0	$\leq 0,22$	0,91
Yttertak	0,8	$\leq 0,13$	0,8
Loftsgulv over oppvarmet rom	0,9	$\leq 0,13$	0,8
Kjellergulv	1,4	$\leq 0,18$	0,19
Glass, vindu, dør	3,48	$\leq 1,2$	2,0
	$h^{-1}$		
Lekkasjetall	6	1,5	3,4

### 3.2.6 Tekniske installasjoner

TEK17 setter krav til 60% energifleksibilitet i varmesystemet (Direktoratet for byggkvalitet, 2017b). Dette ivaretar casebygget slik det står i dag, med grunnlag i at bygget har vannbårent varmebatteri til ventilasjonsvarme, vannbåren romvarme og felles tappevannsbereder for bygget (Rosnes et al., 2023).

Varmeanlegget i casebygget består i 2024 av en el-kjel på 225 kW som distribuerer varme til radiatorer i bygget og til et varmebatteri på ventilasjonsanlegget. Dokumentasjon på varmesystemet viser at radiatorkretsen opprinnelig var innregulert som et 80-60 system. Temperaturmålere på samlestokken viser imidlertid at kretsen i dag er innregulert som et 60-40 system. Virkningsgraden på el-kjelen antas å være 95% etter standardverdier (Standard Norge, 2023a).



Figur 22 Systemskisse varmesentral casebygget, redigert slik den står i dag (Jensen & Sørensen, 2004)

Midlere temperaturgjenvinningsgrad til varmegjenvinneren i ventilasjonsaggregatet er 65% ifølge datablad til systemet (vedlegg 11), mens beregnet SFP for viftene i systemet er beregnet til  $3,35kW/m^2/s$  etter installert vifteeffekt på  $5,8kW$  og  $6,3kW$ . Systemvirkningsgraden for varmesystemet er satt til 95%. Total installert effekt er  $165W/m^2$ .

Vannvarmeanlegget i casebygget består av to varmtvannsberedere i parallellkobling drevet på elektriske varmeelementer på  $10 kW$  per bereder. Volumet på berederne er totalt 760 liter.

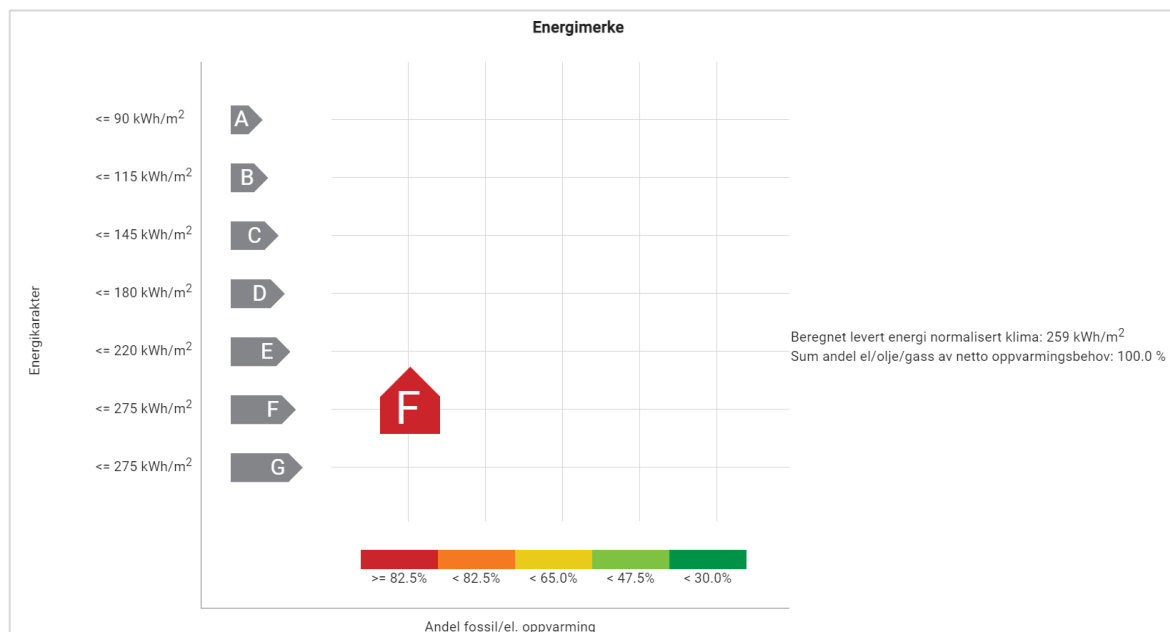
Luftbehandlingsanlegget i casebygget er et CAV-anlegg med tidsstyring (Aschehoug et al., 2007). Aggregatet er påskrudd i driftstid, og avslått utenfor.

### 3.3 Simulering av casebygget

#### 3.2.7 Simulering: standard casebygg

##### Energimerke

Beregnet levert energi i simuleringen til casebygget er i dag 259kWh/m<sup>2</sup> per år etter normalisert klima, som tilsvarer 748.000 kWh årlig. Dette energibruket tilsvarer dagens krav til energimerke F (Energidepartementet, 2009). Bygget har ingen miljøvennlige og bærekraftige energikilder og har derfor også den svakeste oppvarmingskarakteren (rød). Bygget har heller ikke SD-anlegg for overvåking, kontroll og justering av energibruk (Sintef, 2016).

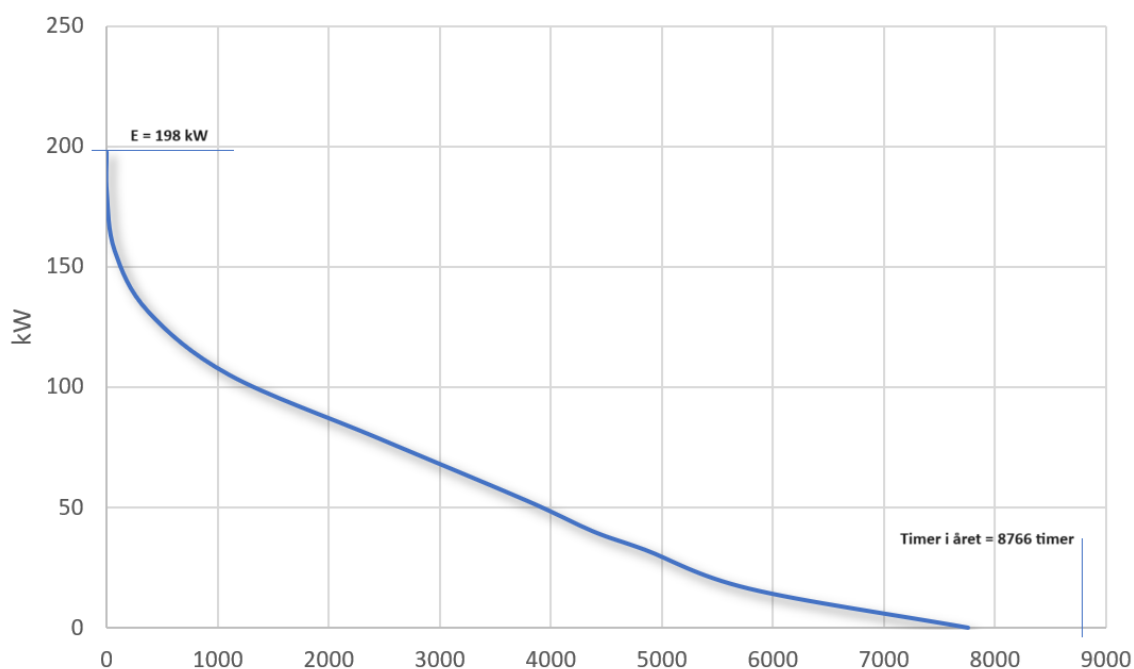


Figur 23 Casebyggets simulerte energimerke

U-verdier på ulike bygningsdeler er høye, og i stor grad lik byggetidens standard (Kommunal og arbeidsdepartementet, 1949), som nevnt tidligere. Byggets totale solfaktor er 61% ifølge simuleringen. De nyeste vinduene på bygget, Nordan sikkerhetsvinduer, har solfaktor på 78% og U-verdi på 1,3 kWh/m<sup>2</sup> per år (Nordan, u.å.). Resterende vinduer har lavere solfaktor og høyere U-verdi avhengig av produksjonsår, basert på standardverdier i NSPEK 3031 tabell B.2 (2023).

##### Effektvarighetskurve

Den simulerte effektvarighetskurven for casebygget viser hvor stort varmebehov bygget har gjennom året fordelt på timer. Ved vintersimulering uten effektbehov og årssimulering viser beregningene at byggets effektbehov på den dimensjonerende vinterdagen i løpet av et år er 198 kW. Fordelingen er 52 kW på varmebatteriet, og 146 kW på radiatorene. Varme til begge disse varmekildene leveres i dag av el-kjelen på 225 kW.



Figur 24 Effektvarighetskurve for casebygget

#### Inneklima i bygget

Simuleringer av bygget i Simien forteller mye om hvilke romtemperaturer, operative temperaturer og CO<sub>2</sub>-konsentrasjoner som oppstår i bygget gjennom året.

Casebygget slik det står i dag har innetemperatur over 26°C opp til 39 timer i et normalår. Dette forekommer i sone vest. I sone indre bygg forekommer dette 29 timer. De andre sonene opplever kun noen få timer over 26°C.

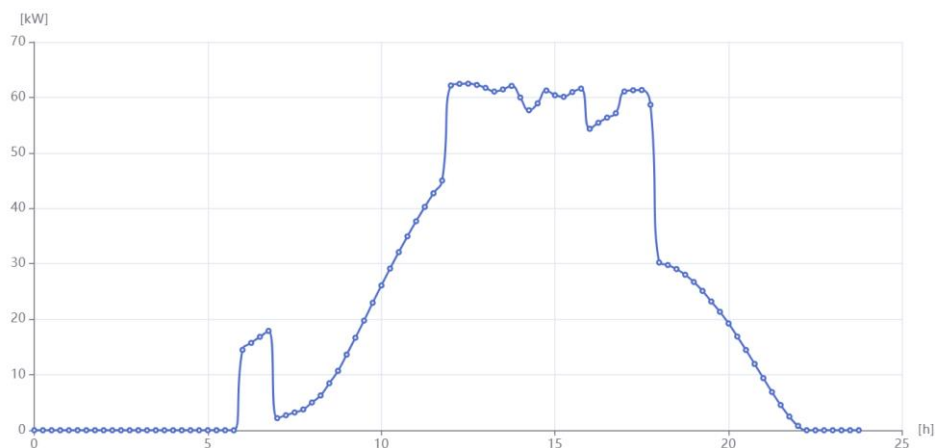
Sommersimulering av bygget viser at særlig øst- og vestsiden påvirkes av soloppvarming på ulike tider av døgnet (tabell 7). Også sone indre bygg har høy dimensjonerende temperatur. Kjelleren har ingen yttervegger som påvirkes av solvarme og har derfor ikke like høye temperaturer. Det samme gjelder den nordlige sonen med yttervegg vendt bort fra solen.

CO<sub>2</sub>-konsentrasjonene er høye i forhold til HMS-kravene i forskriften (Direktoratet for byggkvalitet, 2017b) (tabell 7). Særlig kjeller har høy konsentrasjon, men hele bygget preges av dette.

Tabell 7 Sammendrag av sommersimulering med effektbegrensning (vedlegg 13 Sommersimulering)

Sommersimulering			
Sone	Dimensjonerende temperatur	Tidspunkt dim. temp	CO <sub>2</sub> -konsentrasjon
Øst	28,9° C	12:15	921 ppm
Sør	28,7° C	17:15	795 ppm
Vest	33,0° C	18:00	928 ppm
Nord	25,7° C	18:00	798 ppm
Indre bygg	29,4° C	18:00	932 ppm
Kjeller	26,2° C	18:00	1140 ppm

Sommersimulering uten effektbegrensning gir et beregnet effektbehov fra en kjølemaskin, ved å holde normert innetemperatur gjennom sommeren på 22° celsius. Energiflytdiagrammet for dimensjonerende døgn gjennom sommeren (figur 25), viser at byggets dimensjonerende effektuttak fra et potensielt sentralkjøleanlegg er på 62 kW klokken 12.



Figur 25 Energiflyt dimensjonerende døgn gjennom sommeren (vedlegg 13 Sommersimulering uten effektbegrensning)

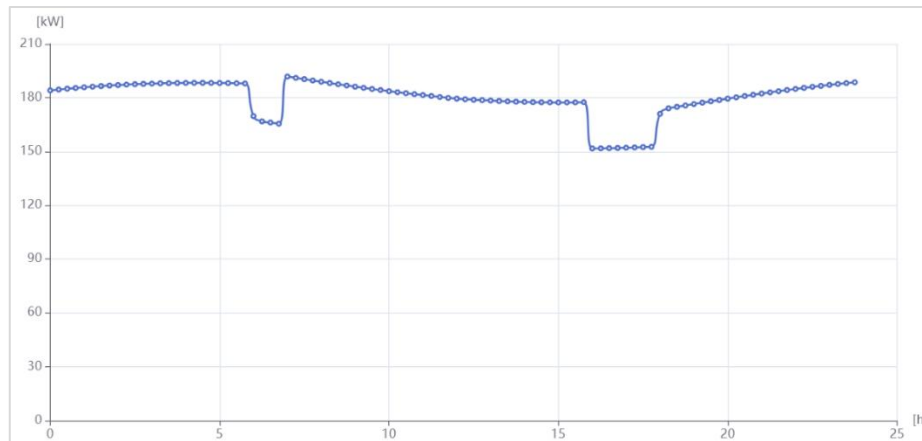
Vintersimulering viser at varmebehovet er ivaretatt av sentralvarmeanlegget (tabell 8). Det forekommer ingen unormalt lave temperaturer. Heller ikke CO<sub>2</sub>-konsentrasjonene er HMS-messig høye gjennom vinteren.

Tabell 8 Sammendrag av vintersimulering med effektbegrensning (vedlegg 13 Vintersimulering)

Vintersimulering			
Sone	Dimensjonerende temperatur	Tidspunkt dim. temp.	CO <sub>2</sub> -konsentrasjon
Øst	20,7° C	00:30	536 ppm
Sør	20,7° C	00:00	524 ppm
Vest	20,2° C	01:00	526 ppm
Nord	20,2° C	00:00	526 ppm
Indre bygg	20,9° C	01:45	669 ppm
Kjeller	19,9° C	01:00	539 ppm

Vintersimulering uten effektbegrensning (vedlegg 13 Vintersimulering) beregner energiflyt for dimensjonerende døgn gjennom vinteren (figur 26). Denne viser at dimensjonerende effektuttak på sentralvarmeanlegget for bygget er 192 kW klokken 07:00.





Figur 26 Energiflyt dimensjonerende døgn gjennom vinteren (vedlegg 13 Vintersimulering uten effektbegrensning)

### 3.2.8 Simulering: bygningstekniske tiltak

Tiltakene simulert nedenfor og nåverdiene tilknyttet disse tiltakene er justert for støtteordningen fra Enova (Enova, 2023b). Enhetsprisene er hentet fra oppslagsverket Norsk Prisbok (Norconsult Digital AS & Bygganalyse AS, 2024).

Lønnsomhetsvurderinger er gjennomført i Simien PRO (Simenergi AS, u.å.). Energibesparelse og økonomisk besparelse blir i en slik lønnsomhetsvurdering beregnet etter normalisert klima og bestemt strømpris. I lønnsomhetsvurderingene i kapitlene som følger er strømprisen beregnet etter gjennomsnittlig strømpris i Nord-Norge i 2023 (Nordpool, 2024). Dette er for å gjøre lønnsomhetsvurderingene riktige i forhold til casebyggets lokasjon i Nord-Norge.

Omkostninger for gjennomføring av fasadeendrende tiltak er ikke betraktet i lønnsomhetsvurderingene som følger.

#### Etterisolering av yttervegg

Betongvegger fra byggeåret er typisk utilfredstillende isolert og har store kuldebroer i etasjeskillere, hjørner og i overganger til innervegger (Sintef, 2014). Isolasjonstykkelse i yttervegg etter krav i TEK17 er normalt 250 mm mineralull (Direktoratet for byggkvalitet, 2017b). For å oppnå TEK17-krav må altså eksisterende betongbygg fra 50-tallet tilføre opptil 150-200 mm etterisolering i henhold til datidens byggestandard (Sintef, 2017c).

Utvendig etterisolering med 50 mm Aerogel ga en 60% senking av U-verdi på et bygg (Ganobjak et al., 2023). Veggene i dette bygget besto i likhet med casebygget av betongvegger og underdimensjonert isolasjonstykkelse. Derfor er det å anta en lik effekt på casebygget. Dette vil potensielt kunne senke ytterveggs U-verdi fra 1,0 til 0,4 W/m<sup>2</sup>K. Til sammenligning setter TEK17 i dag krav til U-verdi i yttervegg på 0,22 W/m<sup>2</sup>K (Direktoratet for byggkvalitet, 2017b).

Ved simulering av etterisolering av yttervegg er U-verdien på vegger i casebygget senket fra 1,0 til 0,3 W/m<sup>2</sup>K. Dette er midt imellom potensialet til Aerogel (Ganobjak et al., 2023) og kravet i TEK17 (Direktoratet for byggkvalitet, 2017b). På den måten kan resultatet benyttes for begge tiltakene. Ved etterisolering av yttervegg faller beregnet levert energi fra 259 til 201 kWh/m<sup>2</sup>. Dette er en bedring i energimerke fra karakter F til karakter E (Energidepartementet, 2009).

Til sammenligning viser simulering med lokalt klima at beregnet levert energi synker til 186 kWh/m<sup>2</sup>. Dette er en forbedring med -7,5% sammenlignet med normalisert klima.

Avstander til naboer kan minke spesielt ved tradisjonell utvendig etterisolering med mineralull (Sintef, 2014). Dette fordi den tilførte isolasjonstykkelsen bygger på utsiden av bygget. Kravet til avstand til nabo er i henhold til Granneloven åtte meter (Justis- og beredskapsdepartementet, 2021). Figur 27 viser avstander til naboer målt på kart.



Figur 27 Avstander til naboeiendommer på kart (Norgeskart)

Innvendig etterisolering gjennomføres ofte med konvensjonell isolasjon i påføringsvegger (Sintef, 2014). U-verdien antas noe høyere enn utvendig etterisolering fordi etterisolering ikke kan utføres i veggavslutninger og i etasjeskillere (Sintef, 2014), og fordi kuldebroene vedvarer (Sintef, 2017a). Denne U-verdien er derfor satt noe høyere, til 0,4 W/m<sup>2</sup>K. Resultater fra simulering viser at beregnet levert energi faller fra 259 til 210 kWh/m<sup>2</sup>, også en økning i energimerke til karakter E (Energidepartementet, 2009).

Sommersimulering av både innvendig og utvendig etterisolering viser at dimensjonerende inne-temperatur stiger fra 33 til over 35° celsius i sone vest. I tillegg øker kjølebehovet fra 62 til 88 kW. Vintersimulering viser at varmebehovet synker fra 192 til 145 kW på dimensjonerende vinterdag.

Prisen på Aerogel er ifølge Norsk Prisbok (2024) 2800 kr/m<sup>2</sup> inkludert riving av eksisterende overflate på fasade. Utvendig etterisolering med 200 mm mineralull inkludert overflatepuss koster 2900 kr/m<sup>2</sup>. Derfor betraktes disse to løsningene sammen. For innvendig etterisolering er overflaten av ytterveggen er mindre, på grunn av etasjeskillere og innvendige veggavslutninger mot yttervegg (Sintef, 2014). Dette antas å utgjøre så liten forskjell at det ikke er tatt høyde for i lønnsomhetsvurderingen.

Tabell 9 Lønnsomhetsvurdering utvendig og innvendig etterisolering av yttervegg

Lønnsomhetsvurdering Utvendig etterisolering yttervegg		Lønnsomhetsvurdering Innvendig etterisolering yttervegg	
Størrelse	2286 m <sup>2</sup>	Størrelse	2286 m <sup>2</sup>
Enhetspris	2800 kr/m <sup>2</sup>	Enhetspris	1385 kr/m <sup>2</sup>
Investering	6 400 000 kr	Investering	3 160 000 kr
Levetid	40 år	Levetid	40 år
Endring i vedlikehold	0 kr/år	Endring i vedlikehold	0 kr/år
Nåverdi	-2 943 982 kr	Nåverdi	-355 411 kr
Inntjeningstid	- år	Inntjeningstid	- år
Energibesparelse	172 890 kWh/år	Energibesparelse	140 313 kWh/år
Besparelse	58 782 kr/år	Besparelse	48 045 kr/år
Senking av CO <sub>2</sub> -utslipp	21 322 kg/år	Senking av CO <sub>2</sub> -utslipp	18 370 kg/år

Nåverdien av utvendig etterisolering av yttervegg er svært negativ, og tiltaket lar seg ikke nedbetale over tiltakets levetid. På den andre siden har tiltaket svært stor innvirkning på energibruket i bygget, som reduseres mer enn 20%.

#### Nye vinduer

Gamle vinduer og dører har historisk svært lav U-verdi, er ikke installert med solreflekterende glass, har høy solfaktor og kan ha lav tetthet i karm og ramme (Aschehoug et al., 2007; Kommunal og arbeidsdepartementet, 1949; Kommunal- og arbeidsdepartementet & Miljøverndepartementet, 1987). Utskifting kan gi stor økonomisk gevinst, og levetiden er lang (Aschehoug et al., 2007).

Eksisterende vinduer og dører i bygget som ikke ble skiftet under rehabiliteringen i 2018 har antatt U-verdi på rundt 2,8 W/m<sup>2</sup>K og en antatt solfaktor opp mot 0,9, basert på installasjonsår og datidens byggeforskrifter (Kommunal- og arbeidsdepartementet & Miljøverndepartementet, 1987). Dette gjelder 32 vinduer på bygget med et areal på rundt 130 m<sup>2</sup> og 4 inngangsdører i glass og aluminium med et areal på rundt 32 m<sup>2</sup>. Kostnaden for riving og utskifting er 626 000 kr (Norconsult Digital AS & Bygganalyse AS, 2024).

Ved simulering med lokalt klima er ikke tiltaket like effektivt, og øker til 250 kWh/m<sup>2</sup>. Dette er kun +1% mer, og kan neglisjeres.

Tabell 10 Lønnsomhetsvurdering nye vinduer

<b>Lønnsomhetsvurdering</b>	
Nye vinduer	
Størrelse	162 m <sup>2</sup>
Enhetspris	3900 kr/m <sup>2</sup>
Investering	626 000 kr
Levetid	30 år
Endring i vedlikehold	0 kr/år
Nåverdi	327 309 kr
Inntjeningstid	12,5 år
Energibesparelse	51 236 kWh/år
Besparelse	17 420 kr/år
Senking av CO <sub>2</sub> -utslipp	6 661 kg/år

Nåverdien er positiv, og nedbetalingstiden er relativt kort.

#### Solvegg og solrom

For å tilrettelegge for en solvegg på casebygget behøver byggets fasade i SV-SØ retning å males i solabsorberende mørk farge. På den måten kan det passive solvarmesystemet absorbere mer av solvarmen og gi oppvarming av bygget når solen kommer tilbake etter mørketiden (Aksnes & Hammerstrøm, 2023; Aschehoug et al., 2007). Ved simulering i Simien ble absorpsjonskoeffisient på sørvendte vegger satt til 1,0. For å unngå overoppheting på de varmeste sommerdagene ble modellen simulert med solskjerming, som tiltaket ifølge ENØK i bygninger (2007) behøver. Resultatet fra simuleringen viste at bygget ikke oppnådde et senket energibruk, men heller ikke overoppheting ved simulering med solskjerming.

Solrom ble ikke simulert fordi tiltaket ikke regnes lønnsomt med mindre bygget allerede har en vinterhage (Aschehoug et al., 2007).

### Etterisolering tak

TEK17 setter krav til U-verdi i tak på minst  $0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$  (Direktoratet for byggkvalitet, 2017b), mens casebygget har en antatt U-verdi i taket på  $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Etterisolering av casebygget gjelder isolert gulv under kaldloft. Byggeteknikk fra byggets byggeår tilsier at takkonstruksjoner sjelden hadde mer enn 100 mm isolasjonstykkelse (Kommunal og arbeidsdepartementet, 1949). For å oppnå TEK17-krav til U-verdi i tak er 400mm mineralull nødvendig i takkonstruksjonen. I tillegg er overgangsmotstanden større oppover enn horisontalt, som antyder at etterisolering av tak gir et minimalt økt utslag til sammenligning med etterisolering av yttervegger (Standard Norge, 2017).

Ved simulering av etterisolering av tak faller beregnet levert energi fra 259 til 243 kWh/m<sup>2</sup>. Beregnet U-verdi i takkonstruksjonen faller da fra 0,8 til 0,11 W/m<sup>2</sup>K ved økning til 400 mm mineralull. Inkludert i etterisolering av taket er også utskifting av loftsdoor med forbedret tetting, bedre pakninger og forbedret U-verdi inkludert. Enhetsprisen for etterisoleringen er inkludert riving av eksisterende isolasjon og installasjon av ny loftsdoor (Norconsult Digital AS & Bygganalyse AS, 2024).

Sommersimulering viser at dimensjonerende temperatur stiger noe, fra 33 til 33,6° celsius i sone vest. Kjølebehovet ved etterisolering av taket øker fra 62 til 81 kW.

Simulering med lokalt klima viser at tiltaket har økt effekt sammenlignet med normalisert klima. Beregnet levert energi synker da til 232 kWh/m<sup>2</sup>K, som tilsvarer -4,5%.

Tabell 11 Lønnsomhetsvurdering etterisolering tak

Lønnsomhetsvurdering	
Etterisolering tak	
Størrelse	627 m <sup>2</sup>
Enhetspris	1562 + 224 kr/m <sup>2</sup>
Investering	1 120 000 kr
Levetid	40 år
Endring i vedlikehold	0 kr/år
Nåverdi	-61 917 kr
Inntjeningstid	65,2 år
Energibesparelse	52 947 kWh/år
Besparelse	18 000 kr/år
Senking av CO <sub>2</sub> -utslipp	6 878 kg/år

Nåverdien av tiltaket er marginalt negativ.

### Drivhuseffekt

Sørsiden av casebygget har et areal på 220 m<sup>2</sup> med fire vinduer med et totalt areal på ca. 15 m<sup>2</sup>. I tillegg er horisontvinkelen høy på denne fasaden med kun åtte meter til nabobygget. Denne simuleringen inkluderer installasjon av utvendig solskjerming, kombinert med vinduer med høy solfaktor som slipper inn mye varme (Aschehoug et al., 2007). Sommersimulering viser også at innetemperatur holder seg på normale nivå selv uten kjøleanlegg i casebygget. Ved bruk av drivhuseffekten som passivt solvarmesystem (Aschehoug et al., 2007) viser allikevel simulering at energipotensialet er null. Tiltaket betraktes derfor ikke i lønnsomhetsvurdering.

### 3.2.9 Simulering: tekniske tiltak

#### Biokjel

Biokjel øker energibehovet til bygget fra 259 til 295 kWh/m<sup>2</sup>K, på grunn av senket virkningsgrad sammenlignet med byggets eksisterende el-kjel. På den andre siden anlegget kan forbedre oppvarmingskarakteren på bygget betraktelig. Ved installasjon av biokjel på 60 kW som grunnlast kan denne levere 70% av byggets oppvarmingsbehov, som gir bygget oppvarmings-karakter grønn. Dette er energimerkeskalaens beste oppvarmingskarakter (Energidepartementet, 2009).

Tabell 12 Lønnsomhetsvurdering biokjel

<b>Lønnsomhetsvurdering</b>	
Biokjel	
Størrelse	60 kW
Enhetspris	4000 kr/kW
Investering	240 000 kr
Levetid	25 år
Endring i vedlikehold	3 600 kr/år
<b>Nåverdi</b>	<b>-221 575 kr</b>
Inntjeningstid	- år
Energibesparelse	0 kWh/år
Besparelse	0 kr/år
Senking av CO <sub>2</sub> -utslipp	3492 kg

Nåverdien av tiltaket er svært negativ, selv med biokjel på kun 60 kW effekt.

#### Biooljekjel

Ved ombygging av eksisterende oljekjel på 235 kW til biooljekjel viser simulering av bygget slik det står i dag at kapasiteten på sentralvarmeanlegget blir for stor (vedlegg 13 Årssimulering). Biooljekjelen vil da ha for stor kapasitet og dermed gå på lav kapasitet og derfor lavere virkningsgrad. Denne løsningen er derfor ikke simulert eller betraktet i lønnsomhetsvurdering.

#### Ny varmpumpe

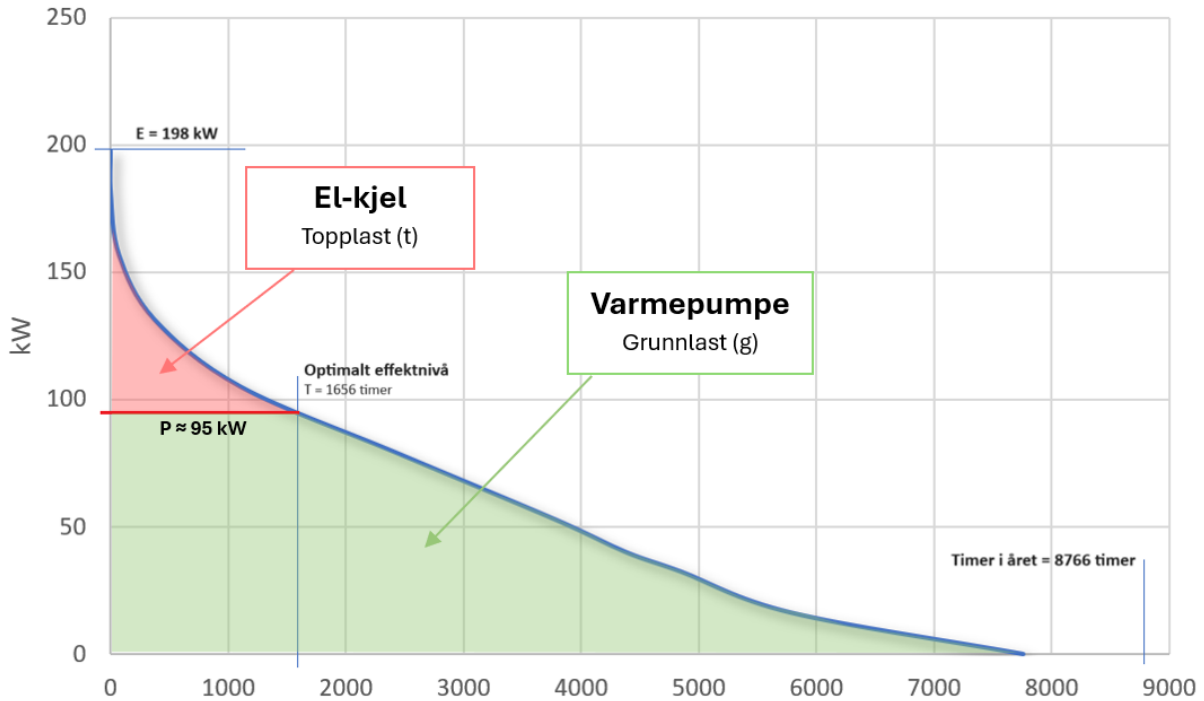
Varmepumpe er en energieffektiv energikilde, som også kan levere kjøling (Aschehoug et al., 2007; Sintef, 2009). Simulering viser at innklimaet ved ventilasjonskjøling med varmpumpe kan tilfredsstillere kjølebehovet i bygget (vedlegg 19, sommersimulering). De maksimale innetemperaturene oppstår i sone vest på litt over 28° celsius klokken 18:30, utenfor driftstid. I tillegg viser årssimulering at temperaturoverskridelser over 26° celsius kun oppstår én dag i sone vest (vedlegg 19, årssimulering). Altså tilfredsstillere ventilasjonskjøling kravene i TEK17 (2017). Sekundært viser simulering at energiforbruket, på tross av at varmpumpen bidrar til kjøling, blir senket med denne energikilden (vedlegg 19, Energimerke).

Ved undersøkelse av effektvarighetskurve fra årssimulering kan det undersøkes hvilken fordeling av energikilder som burde benyttes ved installasjon av varmpumpe (Aschehoug et al., 2007) (vedlegg 13 årssimulering). Dette undersøkes fordi el-kjelen kan gå på lav kapasitet uten å miste effektivitet. Varmepumpekostnad per 2024 antas å være 4000kr/kW (Aschehoug et al., 2007), mens el-kjelen som allerede er installert ikke har noen installasjonskostnad. Energiprisen beregnes etter gjennomsnittlig pris for 2023 (Nordpool, 2024), el-kjelen har en virkningsgrad på 95%, mens COP til ny varmpumpe antas å være 5 ved 7° celsius.

Formel 3 Optimalt effektnivå ved to effektkilder i varmeanlegget (Aschehoug et al., 2007)

$$1 \cdot (4000kr/kW - 0) \cdot 0,12 = 1 \cdot T \cdot \left( \frac{0,34kr/kWh}{0,95_{el-kjel}} - \frac{0,34kr/kWh}{5_{VP}} \right)$$

$$T = 1656 \text{ timer}$$



Figur 28 Effektvarighetsdiagram for casebygget med ny varmepumpe

Effektvarighetsdiagrammet til casebygget (figur 28) viser effektbehovet som funksjon av timer i drift. Ved å beregne optimalisert effektnivå for varmepumpe som grunnlast og eksisterende el-kjel som topplast i parallell drift (formel 3) må varmepumpen kunne levere ca. 95 kW. Disse to energikildene burde driftes i paralleldrif konfigureret slik figur 28 viser. Årsaken er at varmepumpen har best virkningsgrad ved full drift, mens el-kjelen ikke påvirkes av kapasitetsbruk (Aschehoug et al., 2007).

Ved overgang til varmepumpe faller energibehovet fra 259 til 224 kWh/m<sup>2</sup> per år. Dette forbedrer ikke energikarakteren F, men oppvarmingskarakteren forbedres fra rød til oransje med andel elektrisk oppvarming på 78%. Bygget kan tilfredsstillere kjølebehovet på de varmeste sommerdagene, og senker dimensjonerende innetemperature betraktelig.

Simulering med lokalt klima oppnår samme effekt som med normalisert klima.

Tabell 13 Lønnsomhetsvurdering varmepumpe

<b>Lønnsomhetsvurdering</b>	
Varmepumpe	
Størrelse	95 kW
Enhetspris	4 000 kr/kW
Investering	380 000 kr
Levetid	15 år
Endring i vedlikehold	5 000 kr/år
<b>Nåverdi</b>	<b>686 078 kr</b>
Inntjeningstid	3,8 år
Energibesparelse	81 322 kWh/år
Besparelse	27 649 kr/år
Senking av CO <sub>2</sub> -utslipp	10 572 kg/år

Tiltaket har svært positiv nåverdi, og kan nedbetales over kort tid.

#### Varmegjenvinner

Ny varmegjenvinner i eksisterende ventilasjonsanlegg senker energibruken fra 259 til 223 kWh/m<sup>2</sup> per år (vedlegg 19 Årssimulering). Moderne motstrøms varmegjenvinnere kan ha virkningsgrad opp mot 90% (Sintef, 2002), som er en enorm økning fra casebyggets varmegjenvinner fra 80-tallet. Norsk prisbok har ikke listeført pris per effekt for varmegjenvinnere. En antakelse om at en moderne varmegjenvinner på størrelse med eksisterende varmegjenvinner (85 kW), blir der antatt å koste ca. 80 000 kr. Selve utskiftingen er ikke utforsket, men resultatet har som sagt til hensikt å vurdere effekten av ny varmegjenvinner i eksisterende ventilasjonsaggregater.

Utskifting av varmegjenvinner på eksisterende ventilasjonsanlegg med kapasitet på 13.000 m<sup>3</sup>/h eller 5,28 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> faller energibruken på bygget fra 259 til 227 kWh/m<sup>2</sup>. Dagens HMS-krav til ventilasjon er 7 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> i driftstid (Direktoratet for byggkvalitet, 2017b), og dette tiltaket blir ikke lønnsomhetsvurdert.

Tabell 14 Lønnsomhetsvurdering varmegjenvinner

<b>Lønnsomhetsvurdering</b>	
Varmegjenvinner	
Størrelse	85 kW
Enhetspris	941 kr/kW
Investering	80 000 kr
Levetid	15 år
Endring i vedlikehold	0 kr/år
<b>Nåverdi</b>	<b>887 782 kr</b>
Inntjeningstid	0,8 år
Energibesparelse	70 894 kWh/år
Besparelse	24 103 kr/år
Senking av CO <sub>2</sub> -utslipp	9 214 kg/år

## VAV og varmegjenvinner

Ved omgjøring fra CAV til VAV i casebygget kan energibruken senkes og komforten i hvert rom økes (Aschehoug et al., 2007). Overgang til VAV kan sørge for at rommene i kontorbygget med størst endring i tilstedeværelse og med mest bruk kan få tilstrekkelig frisklufttilførsel. I ENØK-sammenheng er det mest lønnsomt å ikke skifte ut ventilasjonskanalene i bygget, på grunn av den store investeringskostnaden ifølge Norsk Prisbok (2024). Trykktapet ved å beholde kanalene blir noe større fordi kanaldimensjonene er mindre enn dagens standard, men nedbetalingstiden blir kortere. Derfor simuleres installasjon av VAV-system med det samme trykktapet som i eksisterende ventilasjonsanlegg.

Nytt ventilasjonsaggregat for VAV-system med viftestyring i det eksisterende kanalnettet krever en investering på 1 077 000 (Norconsult Digital AS & Bygganalyse AS, 2024). Ved simulering faller beregnet energibehov fra 259 til 215 kWh/m<sup>2</sup>.

Simulering med lokalt klima øker beregnet levert energi til 232 kWh/m<sup>2</sup>. Dette tilsvarer en økning på +4%.

Tabell 15 Lønnsomhetsvurdering VAV og varmegjenvinner

<b>Lønnsomhetsvurdering</b>	
VAV og varmegjenvinner	
Størrelse	28 000 m <sup>3</sup> /h = 10 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup>
Enhetspris	39 kr/m <sup>3</sup> /h
Investering	1 077 000 kr
Levetid	25 år
Endring i vedlikehold	0 kr/år
Nåverdi	369 196 kr
Inntjeningstid	13,8 år
Energibesparelse	82 739 kWh/år
Besparelse	28 131 kr/år
Senking av CO <sub>2</sub> -utslipp	10 756 kg/år

## Solfanger

Ved installasjon av solfanger har installasjonen et merforbruk og øker byggets energibehov for levert energi fra 259 til 260 kWh/m<sup>2</sup>. Kollektorflaten til anlegget er 200 m<sup>2</sup> på SØ-vendt takflate. Det benyttes standardverdier for solfangere i simulering for denne beregningen. Årssimulering viser en produksjon på 38 000 kWh i varme per år, og at det aktive solvarmeanlegget bruker 3 000 kWh per år i merforbruk til drift. Produksjonen foregår når solen er til stede i sommerhalvåret.

Simulering med lokalt klima viser ingen endring i beregnet levert energi.



Tabell 16 Lønnsomhetsvurdering solfanger

<b>Lønnsomhetsvurdering</b>	
Solfanger	
Størrelse	200 m <sup>2</sup>
Enhetspris	4000 kr/m <sup>2</sup>
Investering	600 000 kr
Levetid	30 år
Endring i vedlikehold	5000 kr/år
Nåverdi	-415 600 kr
Inntjeningsstid	- år
Energibesparelse	22 813 kWh/år
Besparelse	7 756 kr/år
Senking av CO <sub>2</sub> -utslipp	2 966 kg/år

Enovas støtteordning for yrkesbygg gir 1000 kr/m<sup>2</sup> i støtte for yrkesbygg (Enova, 2024), som senker investerings-kostnaden fra 800 000 til 600 000 kr. Allikevel er investeringsprisen ifølge Norsk Prisbok (2024) ganske kostbar, og tiltaket er ikke lønnsomt.

#### Solcellepanel

Solcellepanel som aktivt solvarmeanlegg kan gi casebygget mindre behov for levert energi (Aschehoug et al., 2007). Ved simulering av 200 m<sup>2</sup> solcelleanlegg på byggets SØ-vendte tak med klimadata for Narvik har bygget en nedgang i levert energi fra 259 til 252 kWh/m<sup>2</sup> per år. Kostnaden er litt høy på over 4 000 kr/m<sup>2</sup> (Norconsult Digital AS & Bygganalyse AS, 2024), men levetiden er høy, og vedlikeholdet er billig fordi det i hovedsak bare innebærer renhold av panelene.

Simulering med lokalt klima senker beregnet levert energi til 247 kWh/m<sup>2</sup>, tilsvarende -2,2%.

Ved økning av effektivt panelareal til å dekke byggets NV, SV og SØ takareal får bygget et panelareal på 495 m<sup>2</sup>. Dette øker årlig effekt fra 7 til 15 kWh/m<sup>2</sup> per år, som tilsvarer en nedgang fra 259 til 244 kWh/m<sup>2</sup>. Det antas i oppgaven at enhetsprisen synker noe på grunn av installasjonens økte omfang. Med et slikt panelareal blir bygget en plusskunde (NVE, 2023b), og eksporterer 2000 kWh i løpet av et år ifølge årssimuleringen. Mesteparten av produksjonen på 43000 kWh går til eget bruk, mens eksport hovedsakelig foregår i juni og juli, i timene 04-06 og 18-21.

Simulering med lokalt klima med det økte panelarealet senker energibruken til 236 kWh/m<sup>2</sup>, noe som tilsvarer -3,3%.

Tabell 17 Lønnsomhetsvurdering solcellepanel

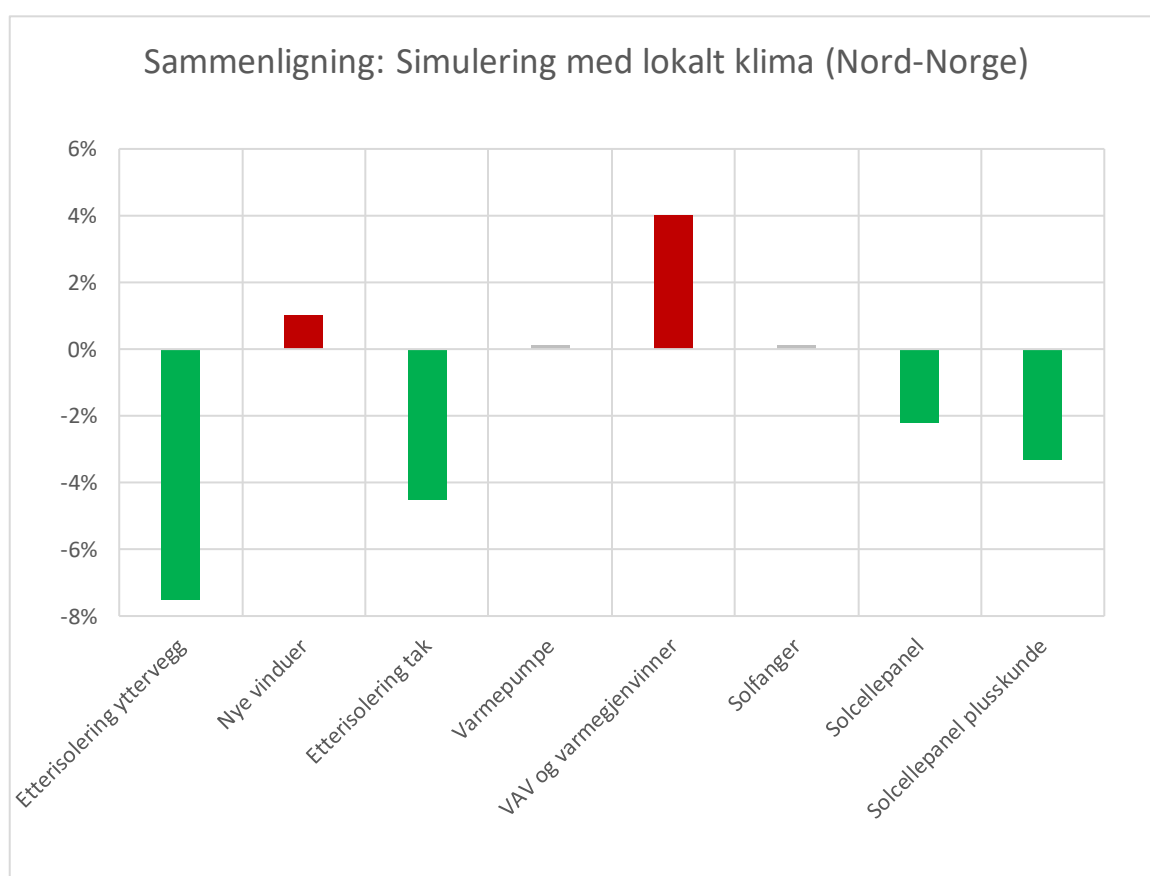
Lønnsomhetsvurdering Solcellepanel		Lønnsomhetsvurdering Solcellepanel plusskunde	
Størrelse	200 m <sup>2</sup>	Størrelse	495 m <sup>2</sup>
Enhetspris	4300 kr/m <sup>2</sup>	Enhetspris	4200 kr/m <sup>2</sup>
Investering	870 000 kr	Investering	2 000 000
Levetid	30 år	Levetid	30 år
Endring i vedlikehold	2000 kr/år	Endring i vedlikehold	5 000 kr/år
Nåverdi	-490 611 år	Nåverdi	-1 097 071 kr
Inntjeningsstid	- år	Inntjeningsstid	- år
Energibesparelse	21 802 kWh/år	Energibesparelse	52 707 kWh/år
Besparelse	7 413 kr/år	Besparelse	17 920 kr/år
Senking av CO <sub>2</sub> -utslipp	2 834 kg/år	Senking av CO <sub>2</sub> -utslipp	6 852 kg/år

Energioppfølgingssystem og sentral driftskontroll

EOS og SD-anlegg er ikke lønnsomhetsvurdert, på grunn av tidsbegrensning i oppgaven. I tillegg viser Norsk Prisbok at kostnadsoverslag for slike systemer er vanskelig å gjennomføre med korrekte verdier (Norconsult Digital AS & Bygganalyse AS, 2024).

### 3.2.10 Lokalt klima

Simuleringer har vist at lokalt klima for Nord-Norge påvirker noen utvalgte tiltak positivt eller negativt med hensyn til beregnet levert energi (figur 29).



Figur 29 Endring i beregnet levert energi ved lokalt klima (Nord-Norge) sammenlignet med normalisert klima (Oslo)

## 4 Drøfting

### 4.1 Energi- og miljøpotensial i kontorbygg i Nord-Norge

#### 4.1.1 Historiske kontorbygg og myndighetskrav

Energimerkede kontorbygg i Nord-Norge

Andelen energimerkede kontorbygg i Nord-Norge har hatt jevn økning siden energimerkeordningen ble innført (figur 1). Allikevel er det mye arbeid som gjenstår for å energimerke de rundt regnet resterende 75% av kontorbyggene i landsdelen (Enova, 2023a; SSB, 2023). Fortsettelse av denne trenden antyder at alle kontorbygg i Nord-Norge kanskje ikke kommer til å være ferdig energimerket før 2065.

Nytt EU-direktiv

Ved så lavt økende trend i energimerking vil ikke kontorbyggene i Nord-Norge være energimerket når målene i EPBD skal være oppfylt innen 2030 og 2033 (EU-kommisjonen, 2023). EPBD ber eksplisitt om at halvparten av bygg som senker energibruken innen 2030 og 2033 er byggene med de laveste energimerkene. Disse byggene har behov for kostbare utbedringer, men også stort potensial for disse forbedringene. Myndighetene har iverksatt støtteordninger tidligere, for å øke lønnsomheten og framskynde prosessen om energieffektivisere bygningsmassen. Blant disse er eksempelvis Enova sin støtteordning for ENØK-tiltak (Enova, 2017a), strømpris-støtte siden 2021 i perioder med ekstreme strømpriser (NVE, 2023c) og andre ordninger som ikke nevnes her.

Tiltakene i EPBD er veldig konkrete, og kan anses nødvendig for eksisterende bygningsmasse i Nord-Norge med hensyn til prosenten energimerkede kontorbygg i regionen. Ved å energimerke de resterende byggene i bygningskategorien, og øvrige kategorier, vil myndighetene få større oversikt over både behovet for, og potensialet ved rehabilitering. På denne måten kan også støtteordninger i større grad bestemmes på en mer korrekt måte i forhold til behovet. Som konsekvens kan mengden energimerking øke i forhold til dagens jevnt økende trend. Derfor bør myndighetene også øke insentivet for energimerking, eksempelvis med støtteordning også for selve energimerkingen av yrkesbygg.

EU-krav mot TEK17

Nybygg i dag bygges i henhold til kravene i byggteknisk forskrift TEK17, og vil etter disse kravene oppnå energimerke C avhengig av energikilde (Direktoratet for byggkvalitet, 2017b; Førland-Larsen et al., 2011). I Nord-Norge i dag er totalt 25% av energimerkede bygg, bygget etter forskriften av 1949 (Energimerking, 2018). Disse byggene kan fortsatt eksistere i 2033, og kanskje 2050. Den lange levetiden på bygningskonstruksjoner er årsaken til at det er nødvendig å heve byggenes miljøvennlighet, fordi mange bygg som eksisterer i 2033 kanskje ikke er bygget etter TEK17 på lik linje med i dag. I tillegg forfaller kvaliteten på bygg med årene (Aschehoug et al., 2007), og oppfølging av disse byggene er viktig for energieffektiviteten.

Myndighetene har per i dag ikke satt krav til å heve standarden på eksisterende bygg fra før 2017 opp til kravene i TEK17. EPBD er allikevel kun et steg mot kun nullutslippsbygg i 2050 (EU-kommisjonen, 2023). Derfor er det interessant å vurdere hvilke bygg som kan oppnå TEK17-kravene til energieffektivitet, og hva det egentlig koster.

## Økonomisk potensiale

Det beregnede sparepotensialet ved å heve standarden på energimerkede kontorbygg i Nord-Norge til TEK17 (Direktoratet for byggkvalitet, 2017b) er ca. 676 GWh/år, og ca. 296 GWh/år (tabell 4) ved heving til målene i EPBD (EU-kommisjonen, 2023).

Tabell 18 Økonomisk sparepotensial i energimerkede kontorbygg fra 50- og 60-tallet i Nord Norge

Standard	Spart energi [GWh]	Økonomisk potensial/år	Økonomisk potensial per bygg/år
TEK17	181 kr	62 075 188 kr	80 793
EU	79 kr	27 081 776 kr	35 248

Det økonomiske sparepotensialet for de energimerkede byggene er dermed rundt 81 000 kr og 35 000 kr per år per bygg (tabell 18), beregnet etter gjennomsnittlig energipris i Nord-Norge i 2023 (Nordpool, 2024).

Tabell 19 Økonomisk sparepotensial i energimerkede kontorbygg fra 50- og 60-tallet i Nord Norge, beregnet for fremtidig strømpris i 2030 (NVE, 2023c)

Standard	Spart energi [GWh]	Økonomisk potensial/år	Økonomisk potensial per bygg/år
TEK17	181 kr	145 077 856 kr	188 825
EU	79 kr	63 293 664 kr	82 379

Til sammenligning vil sparepotensialet øke drastisk hvis man beregner med NVE sin kraftmarkedsanalyse lagt til grunn og deres beregnede strømpris på 80 øre/kWh i snitt i Norge i 2030 (NVE, 2023c).

Denne beregningen gjelder de allerede energimerkede kontorbyggene i Nord-Norge. Ved å anta at ikke-merkede kontorbygg har en lignende fordeling i energimerke, kan man vurdere energipotensialet og dermed det økonomiske sparepotensialet for alle kontorbygg i Nord-Norge er noe lignende de beregnede verdiene over.

Det er viktig å nevne at beregningen over er en svært forenklet beregning. Den tar ikke høyde for blant annet varierende strømpris, energipris i løpet av året for ulike energikilder, og solforhold. Dermed kan de avvike fra oppgavens lønnsomhetsvurderinger.

## Myndighetskrav 1949

1949-forskriften hadde ingen energikrav som sådan (Forsynings- og gjenreisningsdepartementet, 1949; Kommunal og arbeidsdepartementet, 1949). U-verdiene (den gang k-verdiene) betegnet for ulike bygningsdeler var rundt regnet fem ganger høyere enn kravene i TEK17 i dag (Direktoratet for byggkvalitet, 2017, §14-3). På den andre siden er 1949-forskriften den første forskriften med tallfestede krav til U-verdi (Kommunal og arbeidsdepartementet, 1949; Stortinget, 1924). Dette gjør bygg fra denne tiden enklere å vurdere, for å undersøke hvilke bygningsdeler som er de svake leddene i energieffektivisering.

En sammenligning av U-verdier i isolasjonsmaterialer fra 1949-forskriften og dagens materialer viser potensialet casebygget og andre lignende bygg fra samme periode har til å forbedre U-verdi og dermed energibruk (tabell 20).

Tabell 20 Utdrag fra tabell 332 (Sintef, 2017a) inkludert vanlige isolasjonstykkelser etter dagens krav, yttervegg (250mm) og tak (400mm) (Direktoratet for byggkvalitet, 2017a), og Aerogel (Ganobjak et al., 2023)

	Isolasjonsmateriale	U-verdi (W/m <sup>2</sup> K)								
		Isolasjonstykkel (mm)								
		30	40	50	75	100	125	150	250	400
1949	Ekspandert kork	1,1	0,9	0,8						
	Treullsement-plater			1,1	0,8	0,7				
	Porebetong					1,0	0,8	0,7		
	Lettklinkerbetong					1,2	1,0	0,8		
2024	Mineralull								0,13	0,09
	Aerogel	0,57		0,34						

#### Historiske kontorbygg

Nye krav til komfort de siste 20 årene har hindret bygg i å senke energibruken ytterligere (Enova, 2017a). Også blant eksisterende bygg vil vesentlig endring eller reparasjon i bygg sette krav til å oppfylle HMS-kravene fastsatt i TEK17 (Direktoratet for byggkvalitet, 2017b) når byggeier iverksetter tiltak for å utbedre energibruken. Bygg fra tidligere forskrifter, slik som 1949, kan ha behov for energiøkonomisering i tråd med EU-direktivet, men blir lovpålagt å utbedre krav til luftskifte, belysning, CO<sub>2</sub>-nivåer, og mer. Derfor vil også ikke-energimerkede bygg og bygg med lavt energimerke oppleve det Enova har beskrevet, at krav til komfort har satt en stopper for energieffektivisering. Derfor er det viktig at yrkesbygg som skal rehabiliteres, blir energieffektivisert tilfredsstillende mye i tillegg til å oppnå HMS-kravene.

Denne stagneringen i energieffektivitet på grunn av krav til komfort og HMS (Enova, 2017a), underbygger behovet for støtteordninger for å møte kravene til utvikling satt i EPBD (EU-kommisjonen, 2023). Til fordel for Nord-Norge vil sparepotensialet være større i Nord-Norge på grunn av høyere energibruk, årsaken er klimatiske påkjenninger og solforhold (Pettersen, 1995).

#### Strømpris

Ifølge Langsiktig kraftmarkedsanalyse av NVE (2023) vil strømprisen øke jevnt mot 2030, før den mot 2040 kan falle noe. Strømprisutviklingen er en drivende faktor for energirehabilitering, og vil på sikt koste byggeiere stort om de ikke utbedrer sine bygg med hensyn til energibruk. Nåverdien er den vanligste lønnsomhetsvurderingen av ENØK-tiltak i bygg (Aschehoug et al., 2007). Denne påvirkes av kalkulasjonsrenten, som igjen påvirkes av strømprisen, og blir høyere når strømprisen stiger. Derfor blir nåverdien av tiltaket svakere på grunn av økende strømpris. Allikevel vil strømprisen i fremtiden trolig være lavere enn annen energipris som biomasse, og trolig være lettere tilgjengelig med utviklingen av produksjon av fornybar energi i hele landet inkludert Nord-Norge (Enova, 2016; NVE, 2023c).

I dag er prisforskjellen på biomasse og elektrisitet større i Nord-Norge enn i landet for øvrig, men strømprisen vil være lavere enn energiprisen for biomasse også i fremtiden (NVE, 2023c). Dette kan tyde på at energikilder drevet av elektrisk kraft vil være mest egnet av disse to i kontorbygg i Nord-Norge de neste årene.

#### 4.1.2 Metode for energimerking

Metode for energisimulering og -merking bestemmes i NSPEK 3031 (Standard Norge, 2023a). Beregningsreglene som er fastsatt har ulike effekter på beregningen og dermed resultatene.

Soneinndeling av oppvarmet og uoppvarmet areal er den første regelen. Skulle et bygg blitt simulert som én sone vil mye informasjon gå tapt. Dette skjer fordi simuleringen tar gjennomsnitt av innvendige temperaturer, ytre klimapåkjenninger, ventilasjonsluftmengder, oppvarming, osv. (Norconsult, 2013). Dermed framkommer ikke uregelmessigheter og svingninger i disse verdiene.

Casebygget er soneinndelt i fasader, indre bygg og kjeller (figur 21). Ved slik soneinndeling vil særlig solpåvirkning, lysforhold og indre temperaturer bli belyst i simuleringer. At fasadene er inndelt i ulike soner er spesielt fordelaktig for solforholdene gjennom året. Selv om bygget da soneinndeles med flere rom i hver sone, vil slik inndeling belyse svingninger i spesifikke områder i bygget. Nøyaktigheten er ikke perfekt, men kan drøftes å være god nok til å kunne se uregelmessigheter, og gjøre justeringer eller vurdere tiltak. I tillegg er soneinndelingen i henhold til kravene i NSPEK 3031 (formel 1).

Ved å soneinndele et bygg rom for rom vil nøyaktigheten på simulering være perfekt. Man vil se nøyaktig hvilke rom som har kjøle- og varmebehov, man kan finne svakheter i ventilasjons-, varme- og kjølesystemet, og man får et tilnærmet korrekt beregnet energibruk (Norconsult, 2013). For å vurdere den nøyaktige effekten av å bytte ventilasjonssystem fra CAV til VAV er slik detaljgrad i simulering nødvendig. Bare ved inndeling rom for rom vil man kunne beregne de enkelte roms samtidighet nøyaktig, uten å benytte standardiserte verdier fra NS3701 (Standard Norge, 2012). På så måte kan man beregne og vurdere hvor mye luftmengden kan senkes i forhold til CAV-luftmengde. Derfor vil luftmengdeberegningen for VAV og DCV være noe upresis i oppgaven. Allikevel vil nøyaktigheten være god nok til å illustrere et godt bilde av effekten av tiltakene.

Standardiserte verdier er den andre regelen for energisimulering, og har til hensikt å sørge for at verdier i simuleringen ikke påvirker beregningen negativt. Eksempel på dette er hvordan gamle glødelamper gir høyt varmetilskudd til bygget, som er positivt, mens lampen i realiteten er en strømtyv (Norconsult, 2013). I stedet for å gi bedre energimerke ved bruk av ineffektive apparater og systemer med hensyn til energibruk gir NSPEK 3031 mulighet til å redusere energibehov i noen tilfeller. For eksempel kan man redusere energibehovet til belysning med 20% ved bruk av SD-anlegg som tar høyde for samtidighet med sensorstyring. Dermed vil simuleringer ikke ha feilkilder som eksempelvis glødepærer kan ha. I tillegg tillater standarden å beregne energibehovet til belysning for å gjøre beregningen nøyaktig, som vil eliminere feilkilder. For oppgavens del er ikke SD-anlegg simulert og drøftet.

Personbelastning bestemmes ut ifra samtidighetsverdier i NS3701 (Standard Norge, 2012). Ved å benytte disse standardverdiene vil beregningen være tilfredsstillende i de aller fleste tilfellene. Allikevel kan bygg ha én bygningskategori, men allikevel ha områder og rom med ulik belastning som ikke sammenfaller med standardverdiene. Her kan verdiene bli for generelle, og nødvendigheten av nærmere undersøkelse av samtidighet i ulike rom være nødvendig. Selv om høyere nøyaktighet i bestemmelse av samtidighet kan være positivt for energiberegningen, krever en slik undersøkelse bevegelsessensorer i hvert rom over tid som registrerer faktisk samtidighet (Standard Norge, 2012). Dette er ikke gjennomført i denne oppgaven av hensyn til kostnader for gjennomføring av en slik undersøkelse. Det kan også drøftes at datagrunnlaget NS3701 har for samtidighetsberegning er tilfredsstillende, og gir et korrekt bilde av bruken av bygget.

Driftstider er en annen standardisert verdi for energimerking. Uten konkrete kilder kan det vurderes at driftstider har til hensikt å gjøre beregningsresultater sammenlignbare mellom bygg. Bygg i samme bygningskategori kan ha totalt ulike driftstider og bruk. Casebygget aktiverer ventilasjonsanlegget 25% mindre enn standardisert driftstid, og har ikke frikjøling eller nattsenkning i døgnets øvrige tider. For

varmesystemet sin del har casebygget ikke noen form for styring som justerer varmetilførsel utenfor byggets driftstid. Dermed bruker bygget i dette tilfellet mer enn dobbelt så mye energi til romoppvarming som driftstiden i NSPEK 3031 tilsier (Standard Norge, 2023a). Disse funnene viser hvorfor det er nødvendig å ikke kun energimerke bygg, men også simulere bygg med faktisk data om bygget. I Simien PRO kan dette gjennomføres i årssimulering (Norconsult, 2013). På denne måten kan korrekte tiltak i større grad bestemmes for det aktuelle bygget.

Varmetilsjudd kan være interne og eksterne laster. Interne laster kan være varmtvann, hvitevarer og personbelastning, mens eksterne kan være varmelaster fra solen og klimapåkjenninger (Standard Norge, 2023a). Standarden setter krav til soneinndeling der variasjoner i interne varmetilsjudd er store. Eksempelvis næringsbygg med vaskeri og kontor må soneinndeles. På den måten kan interne kjølebehov belyses (Standard Norge, 2023a). Interne varmetilsjudd er ofte konstante verdier som bestemmes av byggets bruk og installerte systemer. Dermed kan standardverdier for interne varmetilsjudd gi riktige nok verdier for energiberegningen. Eksterne varmetilsjudd vil i større grad være varierende, slik som klimapåkjenninger er varierende (Norconsult, 2013). Skydekke kan brått endre soltilsjudd, og værskifte kan komme plutselig. Dermed vil det eksterne tilsjuddet være dynamisk, og varierende gjennom året. Eksterne tilsjudd fra for eksempel varmepumper må også tas høyde for. Klimadata og månedsmiddeltemperaturer, i tillegg til lokal tilpasning vil være essensielt for korrekt energiberegning.

Minste tillatte luftmengde i bygg handler om å oppnå HMS-krav i byggt teknisk forskrift og veiledning (Energidepartementet, 2009, §10). Minstekrav til luftmengde skal derfor benyttes ved energimerking uavhengig om bygget oppnår dette kravet eller ikke. Årsaken kan tolkes å være at bygg ikke skal ha fordeler av å ha for lave luftmengder i forhold til HMS-krav, slik at bygg med vilje unngås oppgradert mtp. ventilasjon.

Levert elektrisk energi til bygg bidrar til at bygg får lavere oppvarmingskarakter (Enova, 2017a). Energimerking ikke tar høyde for hvorvidt bygg betaler for opprinnelsesgaranti og varedeklarasjon på strøm fra fornybare kilder (NVE, 2023a). Dermed er det ikke til fordel for byggeiere, i energimerkesammenheng, å betale for denne tjenesten. Ved å inkludere dette som et valg i energimerkesystemet, vil bygg kunne få hevet oppvarmingskarakteren. Det overordnede målet å gjøre bygg utslippsfrie (EU-kommisjonen, 2023), uavhengig av hvor den fornybare energien kommer ifra. På den andre siden vil ikke dette øke insentivet for selvprodusert elektrisitet og varme..

I tillegg er det en utfordring å følge opp hvorvidt bygg fortsetter å betale for opprinnelsesgaranti og varedeklarasjon (NVE, 2023a) etter bygget er energimerket med gyldighet i 10 år (Energidepartementet, 2009). Hvis en slik løsning skal bli aktuell må altså balansen og insentivene her utjevnes, slik at myndighetene får en utvikling de ønsker

Energimerkesystemet har bestemmelser som sier energimerking skal gjennomføres med normalisert klima (Norconsult, 2013). Dette er hensiktsmessig for sammenlignbarheten av energimerke på tvers av byggets plassering i Norge. Bygg rundt om i Norge er lokalisert i totalt ulike klimasoner (Mamen, 2023) og er utsatt for totalt ulike klimapåkjenninger. Det er derfor viktig å presisere at eksempelvis Simien PRO beregner energibruk med lokalt klima i årssimuleringer (Simenergi AS, u.å.). Bygg som skal tilpasses nordnorsk klima bør simuleres i simuleringsprogrammer som tillater simulering med lokalt klima. På den måten kan de beste løsningene for bygg i Nord-Norge, eksisterende og nybygg, beregnes.

Strømpris kan ikke direkte justeres i simuleringer i Simien, som derfor gjør besparelsen fra lønnsomhetsvurderinger (vedlegg 12) noe høy med grunnlag i Nord-Norges lavere strømpriser (NVE, 2023c). Kun kalkulasjonsrente kan justeres, som påvirkes av strømprisen (Aschehoug et al., 2007). Derfor er årlig besparelse beregnet manuelt i oppgaven, etter gjennomsnittlig strømpris i Nord-Norge i 2023 (Nordpool, 2024) (vedlegg 1).

## 4.2 Casebyggets forutsetninger

### 4.2.1 Gammelt energimerke

Det tidligere energimerket for casebygget fra 2011 hadde sine svakheter når det gjaldt datainnsamling. Feilene har ført til et noe uriktig bilde av både byggets energibruk, konstruksjonsmessige egenskaper, og tekniske systemer. På den måten har også byggeier de siste årene hatt et uriktig syn på energibruken på sitt eget bygg.

Deler av inndataen i både attesten og energivurderingen er noe feil, og har gitt et noe ukorrekt bilde av byggets energibruk. Det er viktig å nevne at casebygget har gjennomført en rehabilitering i 2018 som antas å ha senket levert energi i casebygget. Allikevel er denne verdien veldig høy med tanke på at kun vinduer i 2-4. etasje ble utskiftet, og innvendig oppussing i disse etasjene inkludert installasjon av innvendig solskjerming. Dette underbygger at denne energiattesten har gitt byggeier et noe feil inntrykk av casebygget.

Avviket i oppvarmet bruttoareal påvirker beregnet levert energi i simuleringen mye. Dette fordi den samme mengden energi blir fordelt på et mindre areal, som øker energiforbruket per m<sup>2</sup>. Denne feilen påvirker også oppvarmet luftrom, som gir ringvirkninger til leverte luftmengder av ventilasjonsaggregater.

På den andre siden er de foreslåtte tiltakene i stor grad samsvarende med de foreslåtte tiltakene som utforskes i denne oppgaven. Energioppfølgingsystem (EOS) og utskifting til mengderegulert varmesystem er ikke drøftet i denne oppgaven. EOS-anlegg er ikke drøftet på grunn av tidsbegrensning i oppgaven. Mengderegulert varmesystem er ikke drøftet fordi oppgaven ikke har til hensikt å utforske løsninger med slik detaljeringsgrad, men heller se på helhetlige løsninger simulert i Simien PRO.

På én side har byggeier av casebygget ikke hatt riktige data om bygget. På den andre siden har kravene fra EU og norske myndigheter (EU-kommisjonen, 2023) gitt norske byggeiere mer konkrete krav som byggeier nå kan forholde seg til. Dessuten har teknologi utviklet seg siden 2011, som gjør at tiltakene som nå gjøres muligens være mer effektive og ha økt levetid.

Et konkret eksempel på dette er hvordan byggeiere i dag, i motsetning til i 2011, kan være plusskunder og selge overskuddsstrøm produsert i eget solcelleanlegg (NVE, 2023b). I tillegg kan overskuddsstrøm overføres til andre brukere på samme gårdsnummer.

På denne måten kan det også drøftes at gyldigheten til energiattester på 10 år (Energidepartementet, 2009) sånn sett er en veldig egnet gyldighet. Dette begrunnes i funnene i denne oppgaven om hvordan myndighetskrav og teknologi har endret seg de siste 10 årene.

### 4.2.2 Bygget i dag

Fremtidig strømpris (NVE, 2023c) underbygger behovet for forbedring av byggets energibruk. Årlig strømpris for bygget kan være rundt 250 000 kr etter gjennomsnittlig strømpris i 2023 (Nordpool,



2024), men den etter NVEs Langtidsanalyse kan være 600 000 kr i 2030 (NVE, 2023c). Dette vil være en motiverende faktor, som kan framskynde utbedringen av bygget.

#### Byggeteknikk fra byggeåret

Byggeteknikken fra 50-tallet har både sine fordeler og ulemper. Blant fordelene er de tallfestede U-verdiene som for første gang ble satt som krav i en byggeteknisk forskrift (Kommunal og arbeidsdepartementet, 1949). På den måten er det enklere å både anta byggets U-verdier, og forutse hvilke svakheter bygg fra denne perioden har.

En annen fordel er tettheten byggeforskriften fra denne tiden satt krav til (Kommunal og arbeidsdepartementet, 1949). Allikevel kan det drøftes at levetiden til tettinger i bygg fra 50-tallet er forbigått, og at tettheten disse byggene, inkludert casebygget hadde fra byggeåret ikke lenger er tilfredsstillende. Dette avhenger selvfølgelig av rehabilitering av byggene og disse rehabiliteringenes utbredelse.

De små isolasjonstykkelsene i betongbygg på 50-tallet (Sintef, 2017c) er i dag en utfordring for casebygget, der høye U-verdier i bygget er gjennomgående i hele klimaskjermen. For betongbygg fra 50-tallet kan man dermed anta at etterisolering er hensiktsmessig og resultatgivende uavhengig av hvilken del av klimaskjermen man etterisolerer. Dette avhenger selvfølgelig av rehabiliteringer gjennomført på bygget. Små isolasjonstykkelser gir dermed stor frihet i valg av plassering av etterisolering, men bør gjennomføres som utvendig etterisolering på grunn av fare for frostsprengning i porebetong (Sintef, 2014).

Kjeller etter forskriften av 1949 (Kommunal og arbeidsdepartementet, 1949) har svært lik utforming som dagens kjeller etter TEK17 (Direktoratet for byggkvalitet, 2017b). Dette er en svært positiv utforming fra 50-tallet, da kjellere kan være utfordrende å rehabilitere på grunn av bæring og utforming under bakkenivå. Dette gjør at rehabilitering under bakkenivå ikke er like nødvendig, og vil være svært kostnadssparende. Når det gjelder isolasjonstykkelse er den også liten i kjellere i betongbygg fra 50-tallet (Kommunal og arbeidsdepartementet, 1949). Allikevel er dette et tiltak som kan utbedres på innsiden av kjellerkonstruksjonen, og er positivt for bygg fra denne tiden.

Krav til bæring var lik i alle bærende vegger etter 1949-forskriften (Kommunal og arbeidsdepartementet, 1949). I senere standarder har betongkvaliteten og utforming av armering blitt forbedret med hensyn til oppgitt bæreevne i TEK17 (Direktoratet for byggkvalitet, 2017b), og har altså blitt senket i utvalgt bygningsdeler. Allikevel er ikke dette nødvendigvis en negativ utforming på betongbygg fra denne tiden, da varmekapasiteten er svært høy. Dette gir amplitudforskyvning og -demping av både varme om sommeren og kulde om vinteren (Aschehoug et al., 2007). Konstruksjonsteknikken var altså ikke fokusert på å redusere forbruk av materialer, men som gevinst i dag vil denne varmekapasiteten spille slike betongbygg til gode.

#### Tekniske systemer

Varmesystemet i casebygget er allerede i dag innenfor TEK17-kravet om 60% dekning av energifleksibelt varmesystem (Rosnes et al., 2023). Derfor vil varmesystemene som drøftes for casebygget lettere kunne implementeres i det allerede eksisterende vannbårne systemet.

Rapporten fra 2004 belyste at varmeanlegget i casebygget var overdimensjonert, og at mulighetene for delt varmeanlegg mellom bygg var aktuelt (Jensen & Sørensen, 2004). Den gangen var casebyggets

oljekjel på 235 kW i drift. Dermed hadde bygget et sentralvarmeanlegg med effekt på 460 kW, mens simulering viser at det maksimale effektuttaket på bygget er 198 kW (vedlegg 13 Årssimulering).

I forbindelse med utfasing av fossile brenslere og den eksisterende oljekjelen (Energidepartementet & Klima- og miljødepartementet, 2018), har casebygget en mulighet til å dimensjonere sentralvarmeanlegget mer korrekt. Dette såfremt det ikke besluttes å ombygge oljekjelen til en biooljekjel (Hofstad, 2023). Det kan argumenteres for at dette ikke er å anbefale for casebygget, med begrunnelse i nettopp dimensjonering.

Rehabiliteringen i 2018 har hatt betydelig effekt for casebygget. Nesten like viktig som forbedret U-verdi i vinduer, er den økte tettheten som den innvendige oppussing trolig har medført. Lekkasjetallet har dermed sunket noe. Blant annet på grunn av bedre tetting rundt nye vinduer, og bedre tetting av innvendig side av yttervegg.

#### Kjøle- og varmebehov

Casebygget opplever svært høye temperaturer på dimensjonerende sommerdager. Det er synlig fra simuleringer at skyggeeffekten fra nabobygg på NØ til SV side av bygget skjermer deler av bygget fra høye innetemperaturene. Sone vest opplever tydelig de høyeste temperaturene, fordi sonen har lite skjerming fra omkringliggende bygg.

Bygget opplever innetemperaturen over 26° celsius opptil 39 dager i et normalår i sone vest. Kravet i henhold til TEK17 er maksimalt 50 dager (Direktoratet for byggkvalitet, 2017b). Her kan det drøftes at casebyggets beliggenhet i Nord-Norge antyder kjølige somre (Mamen, 2023), men allikevel opplever over en måned med innetemperaturen over anbefalt innetemperatur. I tillegg har kontorbygg driftstider alle hverdager gjennom sommeren (Standard Norge, 2023a). Dette antyder at bygget har stort behov for kjøling.

Dette viser at vestsiden av bygget krever de største dimensjonene på kjøleanlegg, avhengig av om ventilasjonskjøling eller kjøling med andre systemer er aktuelt. Ved ventilasjonskjøling er DCV-anlegg med mekaniske spjeld svært aktuelt (Aschehoug et al., 2007). I dette tilfellet kan registrering av temperaturer justere luftmengden og dermed mengden kjøling etter behov på disse arealene. Et EOS-anlegg vil i dette tilfellet være nødvendig.

Den dimensjonerende sommertemperaturen i sone sør vil oppstå i denne trappegangens øverste etasje. Dette er fordi naboeiendommen 8 meter fra ytterveggen begrenser solpåvirkningen i de nederste etasjer, og fordi sonen har lite fasadeareal. I tillegg drives den akkumulerte varmen til den øverste etasjen av konveksjon (Aschehoug et al., 2007). Denne sonen har altså et økt kjølebehov i trappegangens øverste etasje, som det bør tas høyde for ved justering av kjølingen av denne sonen. Sone opplever en dimensjonerende innetemperatur på nesten 29° celsius klokken 17, utenfor driftstid. Denne sonen har også et kjølebehov.

Sone indre bygg opplever også høye temperaturer med dimensjonerende sommertemperatur på 29,7 varmegrader klokken 18. Dette er naturlig med tanke på at akkumulert solvarme i sonene mot fasade vil, med noe forsinkelse, påvirke den midtre sonen. Derfor kan det drøftes at også denne sonen har et kjølebehov.

Simuleringer av inneklimaet i kjelleren viser at de varmeste innetemperaturene forekommer i vinterhalvåret, når belastningen på varmesystemet er størst. Dette arealet påvirkes ikke av solen og opplever ikke høye temperaturer i sommermånedene, når den største belastningen kun er vann-

varming. På grunn av soneinndelingen av bygget er maksimale og minimale temperaturer i kjelleren vanskelig å bestemme, fordi de varierer mellom tekniske rom og ytterlige rom i kjellerarealet. Dette kan også tilpasses av et DCV-anlegg med SD-anlegg.

Det er tydelig fra simulering at bygget, på tross av å ha høy varmekapasitet som amplitudeforskyver dimensjonerende innetemperaturer til utenfor driftstid, vil kunne ha stor effekt av nattkjøling. Byggets varmekapasitet vil da kunne hindre høye innetemperaturer også på de dimensjonerende dagene. Simulering av nattkjøling alene har ikke blitt gjennomført, på grunn av tidsbegrensning i skrivearbeidet. Allikevel antyder byggets høye varmekapasitet at dette egner seg for bygget. Nattkjøling kan derfor drøftes å være svært egnet for bygget.

Energibruken ved installasjon av kjøling vil øke. Effektvarighetsdiagrammet av casebygget (figur 24) har i dag en andel dager i året uten oppvarming og energibruk til dette. Ved kjøleinstallasjon vil noen av disse dagene få et økt energibruk på grunn av kjølebehov. Dermed vil varighetsdiagrammet i sum ha høyere verdier, og dermed et økt energibruk.

Casebyggets varmebehov er ivaretatt av sentralvarmeanlegget. Byggets el-kjel med effekt på 225 kW er tilstrekkelig til å opprettholde normert innelufttemperatur på 21° celsius i bygget i henhold til NSPEK 3031 tabell A.9 (2023). Dette framkommer både i effektvarighetsdiagrammet for casebygget (figur 24), i vintersimuleringen (tabell 8) og i energiflytdiagrammet for vinteren (figur 26).

#### CAV

Byggets underdimensjonerte luftbehandlingsanlegg med konstant frisklufttilførsel styres i dag til å levere full kapasitet i driftstid, mens det skrur seg av utenfor driftstid (vedlegg 11). Gjennom året fører dette til lite tilfredstillende luftkvalitet hvis brukere av bygget er til stede utenfor driftstid. Ved sommertid vil brukere i tillegg oppleve svært ubehagelige lufttemperaturer (vedlegg 13 Sommersimulering). Årsaken er den akkumulerte innetemperaturen solvarmen og dimensjonerende utetemperatur gjennom de varmeste sommermånedene gir til bygget (Aschehoug et al., 2007).

Med hensyn til at luftmengdene heller ikke er forskrifts- og HMS-messig forsvarlig er utskifting av ventilasjonsanlegget nødvendig. Simulering av bygget viste indikasjoner på forhøyede CO<sub>2</sub>-nivåer som er til skade for helse (Direktoratet for byggkvalitet, 2017b), på opptil rundt 1000 ppm på det høyeste. Soneinndeling av bygget i større soner, og ikke i enkelte rom, kan være en svakhet i simuleringen. Dette kan føre til at bestemte arealer kan oppleve enda høyere konsentrasjoner, som ikke er HMS-messig forsvarlig. Det er derfor nødvendig å øke kapasiteten på aggregatet, slik at faren for dette elimineres.

#### Støtteordninger

Støtteordninger fra Enova kan være svært aktuelt for casebygget, og øke lønnsomheten av tiltakene. Både støtte til forbedring av energitilstand på bygget (Enova, 2024), og støtte til varmesystemet (Enova, 2023b) er mulig for casebygget. Potensialet til casebygget med energikarakter F i dag, og kravene i EPBD (EU-kommisjonen, 2023) underbygger dette. Disse støtteordningene vil øke lønnsomheten av tiltakene, og kan drøftes å være svært positivt for casebygget.

#### 4.2.3 Bygningstekniske tiltak

De følgende tiltakene for casebygget er valgt med hensyn til byggets utforming, plassering og eksisterende sentralvarmeanlegg. I tillegg er myndighetskrav, fremtidig strømpris og kvalitativ data om ENØK-tiltak lagt til grunn for disse tiltakene. Andre tiltak er ikke diskutert av hensyn til disse årsakene, da oppgaven har til hensikt å se på lignende bygg fra samme byggeperiode og med lik utforming.

### Etterisolering yttervegg

Etterisolering av yttervegg er kostbar investering, som også gir stort sparepotensial for energibruk. Ved etterisolering bør det etterstrebtes å finne kostnadseffektive løsninger som senker investeringskostnaden. Energibesparelsen er stor, og vil derfor kunne avskrive seg selv ved lavere investeringskostnad. Energibesparelsen bunner i svært senket U-verdi og høyere tetthet (Aschehoug et al., 2007).

Utvendig etterisolering er mest hensiktsmessig for kontorbygg i betong fra 50-tallet. Årsaken er at bygg fra denne tiden har store kuldebroer på grunn av for smale kuldebrobrytere (Sintef, 2017a). Sekundært er etterisolering av betong og porebetong aktuelt for å unngå at porene i ytterveggkonstruksjonen ikke blir utsatt for frostsprengning. Avstander til naboeiendommer er også tilstrekkelig, med grunnlag i at etterisoleringen ikke vil ha større utstrekning utover takoverhenget (figur 27).

Aerogel er beskrevet som en kostbar investering i en artikkel (Ganobjak et al., 2023). Allikevel gir ikke prisene hentet i denne oppgaven det samme inntrykket. Ut ifra dette kan Aerogel virke minst like lønnsomt som konvensjonell etterisolering med mineralull (Sintef, 2014). Denne løsningen er i tillegg hensiktsmessig hvis hensynssone bevaring av kulturmiljø (vedlegg 9) setter begrensninger for gjennomførings av etterisoleringstiltaket. Det er viktig å poengtere at et søknadspliktig tiltak som etterisolering, når casebygget er underlagt bestemmelser i hensynssonen, både er tidkrevende og kostnadsøkende prosess fordi kommunen i større grad må engasjeres i tiltaket (vedlegg 9).

Uavhengig av valg om løsning ved etterisolering på yttervegg vil bygget få et økt kjølebehov. Det kan derfor drøftes at tiltaket ikke er hensiktsmessig alene, men sammen med et tiltak som tilrettelegger for kjøling av bygget.

Sekundært vil utvendig etterisolering skape et behov for å flytte eksisterende vinduer lenger ut i fasaden, avhengig av om man benytter Aerogel-løsningen med smalt tverrsnitt (Ganobjak et al., 2023), eller ordinær etterisolering med opptil 200 mm tverrsnitt (Sintef, 2014). For å kostnadseffektivisere tiltaket kan derfor et kombinert tiltak sammen med utskifting av gamle vinduer også være aktuelt. Nye vinduer fra 2018 på casebygget må flyttes ut, mens gamle vinduer som allerede bør skiftes ut vil kunne skiftes ut ved en lavere kostnad sammenlignet med kun vindusskifting.

Nåverdien av dette tiltakene er negativ, på grunn av den store investeringskostnaden (Norconsult Digital AS & Bygganalyse AS, 2024) (tabell 9). Den årlige besparelsen er 164 017 kWh og 55 765 kr, som kan regnes å være mye for et bygg som kan oppleve en årlig strømkostnad på nærmere 600 000 kr i 2030 (NVE, 2023c). Tiltaket alene er altså svært energibesparende, og har absolutt store sparebehov og mulighet for forbedring av energimerke.

### Nye vinduer

Utskifting av resterende gamle vinduer i bygget som ikke ble skiftet under rehabiliteringen i 2018 er et effektivt tiltak. Nåverdibetraktningen antyder at inntjeningstiden er 12,5 år, som er hensiktsmessig for et tiltak som potensielt har en levetid på 30 år (Aschehoug et al., 2007).

Fasaden der de aktuelle vinduene blir installert vil få en høyere tetthet fordi nye vinduers tetthet i karm og ramme er større (Aschehoug et al., 2007), dette øker effektiviteten av tiltaket og derfor også øker nåverdien. Nåverdien av tiltaket er svært høy, 327 309 kr (tabell 10). Energibesparelsen er litt over 50 000 kWh årlig, altså ikke den beste med hensyn til energimerke. Tiltaket kan allikevel regnes som egnet for bygget på grunn av økt komfort, med bedre U-verdi, mindre påvirkning av solvarme, og høyere tetthet.

#### Etterisolering tak

I motsetning til etterisolering av yttervegg vil etterisolering av taket være noe mindre kostbart. I tillegg tilsier U-verdien fra byggeåret (Kommunal og arbeidsdepartementet, 1949) at potensialet er stort ved økt isolasjonstykkelse for denne bygningsdelen.

Ulempen med tiltaket, i likhet med innvendig etterisolering av yttervegg, er at arbeidet foregår inne i byggets lokaler og vil hindre normal drift for brukere. Dette avhenger om etterisoleringen vil installeres på oversiden eller undersiden av loftsgulvet. Ulempen med etterisolering på undersiden er lavere himlingshøyde, mens ulempen med oversiden er lavere loftshøyde. Spesifikke løsninger som dette drøftes ikke i denne oppgaven, da eier og bruker av bygget har større forutsetninger til å avgjøre hvilken løsning som egner seg best i dette tilfellet.

Nåverdien er rundt -60 000 kr, som er langt bedre enn for etterisolering av yttervegg (tabell 11). Tiltaket har inntjeningstid på 65 år. Derfor lar det seg ikke nedbetale innen tiltakets levetid, og kanskje ikke heller i byggets levetid (Aschehoug et al., 2007). Allikevel kan en bedre investeringspris enn den beregnede i oppgaven gjøre tiltaket lønnsomt. Derfor kan dette tiltaket, med marginalt negativ nåverdi, vurderes for casebygget og mulig andre lignende bygg.

#### 4.2.4 Tekniske tiltak

##### Biokjel

Biokjel har potensialet til å forbedre casebyggets oppvarmingskarakter til grønn. Sekundært kan man installere et biokjel med tilstrekkelig effekt slik at el-kjelen kun benyttes til spisslast. Kostnaden for dette er et høyere energibehov på grunn av lavere virkningsgrad. Biobrenselkostnaden er rundt 0,75 kr/kWh (Enova, 2016). Gjennomsnittlig strømpris i Nord-Norge i 2023 var 0,34 kr/kWh (Nordpool, 2024), mens gjennomsnittlig strømpris i Norge eks. mva. er forventet å være 0,80 kr/kWh i 2030, og 0,50 kr/kWh i 2040 (NVE, 2023c). Når man sammenligner energipris for biobrensel, fremtidig strømpris og biokjelens lave effektivitet viser det seg at et slikt anlegg ikke er det mest lønnsomme for forholdene i Nord-Norge. Selv om energiprisen for biobrensel er jevn gjennom året (Aschehoug et al., 2007), vil fortsatt strømpriser i Nord-Norge være bedre i årene som kommer (NVE, 2023c).

Jevn virkningsgrad gjennom året kan også være fordelaktig ved sammenligning av varmepumper som mister effektivitet ned mot -15° celsius. Allikevel kan moderne varmepumper og el-kjeler ha bedre virkningsgrad i snitt enn et biokjel (Sintef, 2009; Stokke, 2017), som fører til et høyere energibehov og større energikostnader. Sekundært bidrar et slikt anlegg til lokal forurensning, selv om anlegget sett i sammenheng med klimaet har et utslipp som er netto null. Dens virkningsgrad synker mot 70% ved lav kapasitet, som også er en god årsak til at denne burde yte mest mulig gjennom året. Biokjel er derfor mer aktuelt som en miljøvennlig grunnlast i parallell drift med el-kjelen som spisslast, i områder som tillater lokal forurensning.

Nåverdien av biokjel er -221 575 kr, med et senket CO<sub>2</sub>-utslipp på ca. 3 500 kg årlig (tabell 12). Støtteordningen fra Enova gir støtte på 2 400 kr/kW for biokjel (Enova, 2023b). Den større støttesatsen gjenspeiles av tiltakets lønnsomhet. I hovedsak sparer tiltaket bygget for CO<sub>2</sub>-utslipp, og forbedrer oppvarmingskarakteren. Tiltaket er egnet hvis forbedring av miljøvennligheten til bygget er fokuset, men ikke som et kostnads- og energibesparende tiltak.

## Varmepumpe

Varmepumpe er et tiltak som både sett alene og i sammenheng med andre tiltak kan være et svært lønnsomt tiltak. Varmepumpen har mulighet til å dekke byggets varme- og kjølebehov (Sintef, 2009), og vil prinsipielt fungere i casebyggets eksisterende vannbårne distribusjonssystem.

En luft-vann varmpumpe vil være mest hensiktsmessig i casebygget, på grunn av tilpassing til casebyggets vannbårne distribusjonssystem. En slik varmpumpe vil også bidra til byggets energifleksibilitet (Rosnes et al., 2023), i motsetning til en luft-luft varmpumpe. Ved oppkobling til eksisterende distribusjonssystem blir også investeringen mindre. En luft-luft varmpumpe er ikke aktuelt på grunn av utformingen av casebyggets sentralvarmeanlegg.

Bruk av uteluft som varmekilde i varmpumpen egner seg. For det første er casebygget lokalisert på en kystnær plass i Nord-Norge som ikke har ekstreme kuldeperioder i løpet av vinteren (Mamen, 2023). Dermed sikrer det jevnere drift for varmpumpen gjennom året, slik at den ofte leverer varme med god varmekoeffisient. Investeringen er billigere sammenlignet med boring og graving for vann-væske varmpumper. I motsetning til et biokjel har ikke varmpumper lokalt utslipp. Avslutningsvis er tilgangen på væskedrevne varmekilder som fjernvarme, sjø/vann eller tilstrekkelig overflateareal til grunnboring ikke tilstrekkelig på byggets tomt eller i byggets område. Dette ble derfor ikke vurdert for casebygget.

Varmepumpe kan bidra til kjøling av bygget (Aschehoug et al., 2007). Ved å ikke endre utforming på distribusjonsanlegget på bygget, kan ventilasjonskjøling være mest egnet på grunn av sparte kostnader. Simulering viser at ventilasjonskjøling er tilstrekkelig for å tilfredsstille kjølebehovet i bygget, med kun én dag over 26° celsius (vedlegg 19, Evaluering mot TEK17). Altså kan casebygget, uten å endre utforming av distribusjonssystemet, oppnå effektiv kjøling.

Vann-luft varmpumper har en tendens til å ha en støyete utedel (Sintef, 2009), som kan være utfordrende med hensyn til avstander til nabobygg (figur 27). Ifølge Graneloven §2 (2021) skal man ikke opptre urimelig, til skade eller ulempe for naboer. Ved å tolke denne paragrafen kan man vurdere at støy er til skade for naboer, og vil være et hinder for installasjon av slik varmpumpe. NS 8175 er mer konkret på støynivåer, som ikke må overskrides ved installasjon av varmpumpe (Standard Norge, 2019). Det må derfor anlegges støydempende innretninger som sørger for tilstrekkelig lyddemping av utedelen. For casebyggets del kan dette anses som et kostnadsøkende moment, og må vurderes separat på utformingen av installasjonen.

Utfordringen med varmpumper i dag er fremtidige varslede forskriftskrav som setter krav til miljøvennligheten av arbeidsmedier (Miljødirektoratet, 2022). Forhøyet arbeidstrykk og brannfarlige arbeidsmedier setter krav til mer robuste system, som resultat kan øke kostnaden. Dette er en usikkerhetsfaktor som kan spille inn svært negativt for lønnsomheten av tiltaket. Utenom framstår ikke naturlige arbeidsmedier en utfordring, fordi det allerede er utprøvd i systemer med god effekt (Returgass, u.å.; Wang et al., 2022).

Varmepumpen kan teknisk sett levere casebyggets totale energibehov. Utfordringen ved dette er årsvirkningsgraden på varmpumpen (SCOP). Denne går betraktelig ned ved kjøring på lav kapasitet i perioder (Sintef, 2009). El-kjelen opplever ikke like stor nedgang i virkningsgrad ved bruk på lav kapasitet (Enova, 2004), og vil derfor egne seg godt som spisslast. Det ble derfor undersøkt hvilken fordeling disse to energikildene kunne ha, for at systemet skulle yte maksimalt. Dette ble visualisert i figur 28, som viste at varmpumpe kan være grunnlast med kapasitet på 95 kW. Denne kapasiteten

egner seg godt til casebygget, som har kjølebehov på 62 kW slik bygget står i dag, og på det meste 88 kW, ved etterisolering av yttervegg og tak.

Nåverdien av tiltaket er 686 000 kr, med en inntjeningsstid på 2,8 år (tabell 13). Dette er medregnet Enova-støtten på 1000 kr/kW og støttesatsen til akkumulatortank (Enova, 2023b). Tiltaket er lønnsomt, mer energieffektivt, og veldig allsidig med tanke på utforming. Derfor kan luft-vann varmpumpe regnes som aktuelt for casebygget.

#### Varmegjenvinner

Utskifting til mer effektiv varmegjenvinner i eksisterende ventilasjonsanlegg er som sagt mulig (Aschehoug et al., 2007). Utfordringen med denne utskiften er HMS-kravene som ikke tilfredsstilles i casebygget i dag. Dette enkle tiltaket ble simulert allikevel for å illustrere effekten et så kostnads-effektivt tiltak kan ha. Ved utskifting av varmegjenvinner med virkningsgrad på 65 til 90% faller energibehovet i bygget på nesten 3000 m<sup>2</sup> med 12% (vedlegg 20 Energimerke), og er svært lønnsomt (tabell 14).

#### VAV og varmegjenvinner

Selv om oppgradert varmegjenvinner har en veldig høy nåverdi, er ikke tiltaket tilstrekkelig med tanke på det underdimensjonerte ventilasjonsanlegget i casebygget i dag. Ved overgang til VAV og større ventilasjonsaggregat med ny varmegjenvinner faller energibehovet drastisk. Hovedsakelig skjer det på grunn av den økte virkningsgraden til varmegjenvinneren. Også VAV-styringen viser seg i simuleringer å være mer energieffektiv, blant annet på grunn av samtidigheten som beregnes i denne typen ventilasjonsanlegg som er 60% i kontorbygg (Standard Norge, 2012). Bygningskategorien kjennetegnes av høy endring i tilstedeværelse (Aschehoug et al., 2007), som underbygger behovet for VAV. Det er verdt å nevne at dagens underdimensjonerte anlegg simuleres uten varmegjenvinning på den manglende luftmengden, som øker energibruken i simuleringen. Allikevel er simulering av nytt ventilasjonsaggregat med VAV-styring mer energieffektivt, som viser effekten av tiltaket.

Som tidligere beskrevet er eldre ventilasjonskanaler mindre i dimensjon (Standard Norge, 2023, tabell F.7). Dette kan kanskje ha vært slik fordi plassbruk av kanalene var viktigere enn energibruken som medfølger av trykktap i kanaler med mindre dimensjon, og et mindre fokus på energibruk. I casebygget kan derfor energitapet være stort i det eksisterende ventilasjonssystemet. Kostnaden ved utskifting av kanalnettet bør vurderes ved overgang til VAV, og vil negativt påvirke nåverdien av tiltaket. Nedbetalingstiden for tiltaket uten utskifting av kanalnettet er i dag på nesten 5 år, som er en tilstrekkelig nedbetalingstid for et tiltak med levetid på opptil 25 år (Aschehoug et al., 2007).

Nåverdibetraktning av tiltaket er positiv, med lav nedbetalingstid (tabell 15). Nåverdien er nesten 950 000 kr, med nedbetaling på 5 år. Besparelsen er 83 000 kWh og 124 000 kr årlig. Det er positivt for casebygget at utskifting av eksisterende ventilasjonsanlegg som er underdimensjonert er lønnsomt å skifte ut.

#### DCV

Et DCV-system, eller behovstyrt ventilasjon, vil både øke komfort og energieffektivisere et bygg (Aschehoug et al., 2007). Sensorer vil kunne detektere forhøyede CO<sub>2</sub>-konsentrasjoner, tilstedeværelse og innetemperatur. Ved installasjon av et kjøleanlegg vil for eksempel kjølebehovet oppdages av SD-anlegget, som tillater spesifikke luftmengder til spesifikke områder.

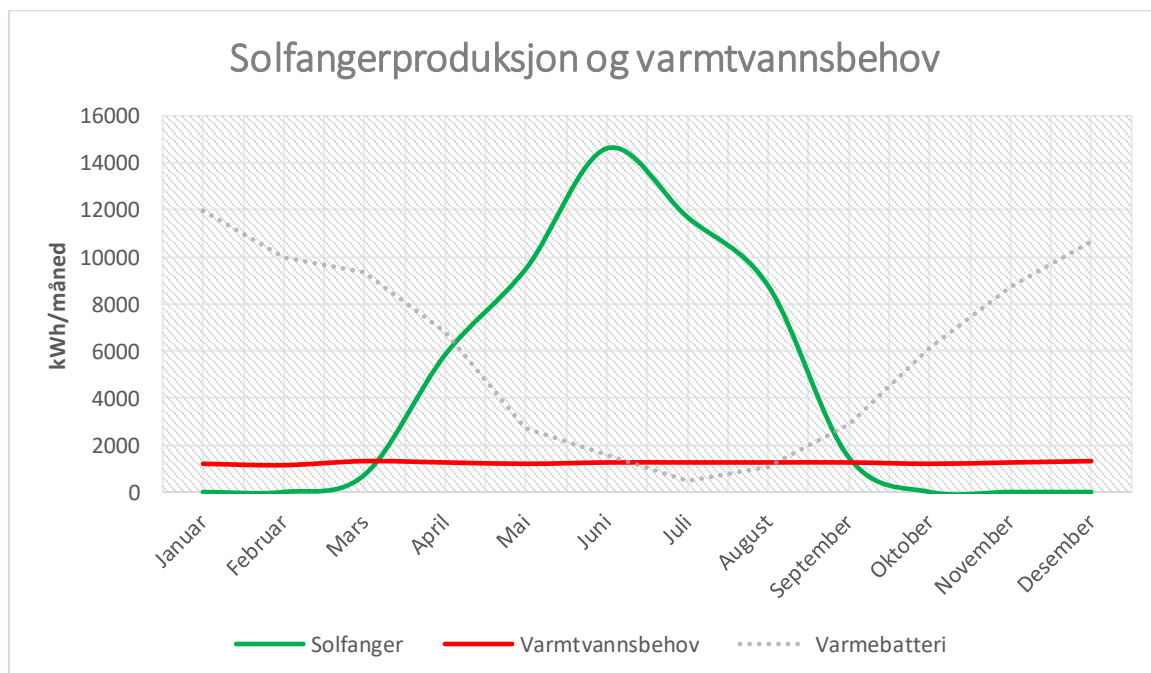
Kontorbygget i dag har ingen ventilasjon utenfor driftstid, noe som begrenser brukernes mulighet til lengre arbeidsdager utenfor normal driftstid. Ikke bare vil behovsstyrt ventilasjon være et ENØK-tiltak, men også et nyttig tiltak for å forbedre bygget for brukerne.

Det er ikke gjort lønnsomhetsvurdering av utvidelse av ventilasjonssystemet til DCV med SD-anlegg, og dette vil øke investeringskostnaden. Inkludert i kostnaden for behovsstyrt ventilasjon må sensorer til bygningsautomatikken medtas og DCV-spjeld (Mysen & Schild, 2014). På den andre siden har simulering med soneinndeling blitt utført og belyst ulike kjølebehov i ulike deler av bygget (vedlegg 13 Sommersimulering). Dermed kan innregulering av ventilasjonsventiler gjøre stor nok nytte for regulering av luftmengde, til at DCV ikke er nødvendig for å oppnå et tilfredsstillende resultat.

### Solfanger

Casebygget har et takareal på nesten 900 m<sup>2</sup> (BMI, 2024) (vedlegg 1). Solfangere er mest effektive mellom SØ og SV retning (Aschehoug et al., 2007). Det største arealet i denne retning er det SØ-vendte takarealet på 240 m<sup>2</sup>. Solfanger alene som aktivt solvarmeanlegg på bygget har potensialet til å spare bygget 8 kWh/m<sup>2</sup> med et totalt kollektorareal på 200 m<sup>2</sup>. Dette krever tilnærmet hele det SØ-vendte takarealet tildekt med solfanger. Siden solfanger anlegg er mest effektive mellom 45 og 75° helning (Aschehoug et al., 2007), vil anlegget ha behov for vinkling på alle kollektorflatene for best effekt. Dette vil kreve noe mer plass. Alternativet er en noe redusert effekt ved å konfigurere anlegget i flukt med takvinkelen på 11°. Sekundært er kostnaden for en slik dimensjon på solfangeranlegget stor (Norconsult Digital AS & Bygganalyse AS, 2024).

Utfordringen med solfanger er at det er mest lønnsomt for bygg med høyt vannforbruk (Aschehoug et al., 2007). I henhold til NSPEK 3031 (2023) har kontorbygg det laveste vannforbruket blant bygnings-typene, og faren for at ikke all energien fra solfangeranlegget kan utnyttes er stor. Kontorbygg har et forventet varmtvannsforbruk på 5 kWh/m<sup>2</sup>år, som tilsvarer rundt 14 000 kWh årlig. Utfordringen er at solfangeranlegget vil overproduasere varme om sommeren og ikke ha noe produksjon om vinteren. I tillegg belyser figur 30 hvordan oppvarmingsbehovet er i motfase med solfangerproduksjonen gjennom året. Derfor er ikke solfanger et effektivt tiltak på denne bygningstypen.



Figur 30 Sammenstilling av solfangerproduksjon og varmtvannsbehov i casebygget



Det er verdt å nevne utformingen til solfangere på taket til casebygget. Også her kan hensynssone bevaring av kulturmiljø (vedlegg 9) være til hinder for installasjon av solfangere. For casebygget er det egnet at SØ-takareal er den mest effektive plasseringen av anlegget, og er det takarealet som vender bort fra offentlig vei. Allikevel kan denne hensynssonen sette begrensninger for solfangere, som må vurderes ved utføring av dette tiltaket.

Solfanger er innebefattet i støttesatsene fra Enova, med støtte på 1000kr/m<sup>2</sup> (Enova, 2023b). Selv med støttesatsen inkludert i investeringskostnaden er nåverdien svært negativ (tabell 16). Sammensatt med lavt varmtvannsforbruk i bygningstypen, ingen varmeproduksjon i anlegget gjennom vinteren og overskudd av varmeproduksjon gjennom året er summen av tiltaket lite lønnsomt.

#### Solceller

Solcellesimulering har blitt gjennomført med to ulike utstrekninger av tiltaket. I den første simuleringen ble solceller installert kun på østvendt tak på grunn av størst effektivitet og bort fra offentlig vei (vedlegg 23 Årssimulering). I den andre simuleringen var målet å utforske byggets mulighet til å bli en plusskunde (NVE, 2023b) (vedlegg 24 Årssimulering).

Den første simuleringen har et panelareal på 200 m<sup>2</sup>, hovedsakelig for å dekke hele takarealet på SØ-side, og sekundært for å være sammenlignbar med effekten av solfanger. Solcellepanelet produserer rundt 16 000 kWh med dette panelarealet. Til sammenligning produserer et solfangeranlegg med likt kollektorareal 38 000 kWh varme. Effektiviteten av solcellepanel er altså lavere enn for solfanger. Allikevel er det forskjell i type energi de to systemene produserer. Solfanger produserer varme, og er egnet i bygg med jevnt og stort varme- og varmtvannsbehov. Solceller produserer elektrisitet, som ikke setter begrensninger for bruken. Denne elektrisiteten føres inn i bygget og tilføres der behovet oppstår til enhver tid.

Allikevel er nåverdibetraktning av 200 m<sup>2</sup> panelareal på casebygget er ikke lønnsomt ifølge lønnsomhetsvurderingen (tabell 17). Tiltaket nedbetales ikke i levetiden av tiltaket.

Den andre simuleringen tar for seg mulighetene casebygget har som plusskunde. Strømmen som leveres fra anlegget selges tilbake til strømmettet ved overskudd, og kan deles fritt til ulike brukere i bygget (NVE, 2023b). I tillegg sparer casebygget nettleie ved bruk av egenprodusert strøm, som øker lønnsomheten av tiltaket.

Muligheten som plusskunde for casebygget er ikke lønnsomhetsmessig oppnåelig. Resultatet av simuleringen viser at kun 2 000 kWh selges tilbake til strømmettet. Med en gjennomsnittlig strømpris i Nord-Norge på 0,34 kr/ kWh (Nordpool, 2024), tilsvarer dette kun 680 kr. Denne simuleringen hadde kun til hensikt å vise potensialet ved øking av panelareal. Ved veggmonterte panel kunne trolig plusskundepotensialet vært større.

Allikevel kan det drøftes at tiltaket er nyttig med tanke på miljøvennlighet, hvis kommunen tillater tiltaket med den lokale hensynssonen (vedlegg 9). Bygget sparer litt over 50 000 kWh og ca. 7 000 kg CO<sub>2</sub> årlig i henhold til lønnsomhetsvurderingen (tabell 17). I ENØK-sammenheng er ikke tiltaket like økonomisk bærekraftig. Med en stor investeringskostnad, som ikke lar seg nedbetale over tiltakets levetid. Solceller ikke er innebefattet i støtteordningen fra Enova (Enova, 2023b), og bidrar heller ikke til at tiltaket er lønnsomt.

## Vannvarming

Ved overgang fra vannvarming med elektriske varmeelementer til oppvarming fra det vannbårne systemet kan bygget senke energibruken noe. I dag bruker bygget rundt 15000 kWh på vannvarming årlig (vedlegg 13 Årssimulering), som mulig ikke trenger å kjøpes. Ved solvarmeanlegg kan energi til vannvarming produseres i sommerhalvåret, og ved varmepumpe kan kjøpt energi reduseres betydelig på grunn av varmepumpens effektivitet (Sintef, 2009). Allikevel er ikke solfangeranlegg ansett lønnsomt i denne oppgaven, men vill vært aktuelt ved en annen bygningstype med høyere varmtvannsforbruk (Standard Norge, 2023a).

Sekundært er det drøftet hvordan dagens sentralvarmeanlegg er noe overdimensjonert. Dermed kan installasjon av en varmeveksler på varmtvannsberederne være et effektivt tiltak for å dimensjonere sentralvarmeanlegget. Ved innføring av dette tiltaket bør varmtvannsberederne omkobles til seriekobling for best effekt (Sintef, 2015).

Vannbesparende utstyr er viktig i nybygg for å redusere energibruken i alle ledd. Når det gjelder eksisterende gamle bygg uten dette utstyret kan potensialet være lite. Casebygget er et kontorbygg med kun et energibruk på 5 kWh/m<sup>2</sup> per år, på grunn av bygningstypens bruk (Standard Norge, 2023a). Når det legges til grunn at rørfall og dimensjoner også kan være utfordrende i eksisterende bygg (Sintef, 2015), er ikke dette et tiltak som nødvendigvis bør iverksettes på eksisterende bygg. Dette tiltaket er derfor ikke drøftet for casebygget.

### 4.2.5 Kombinerte tiltak

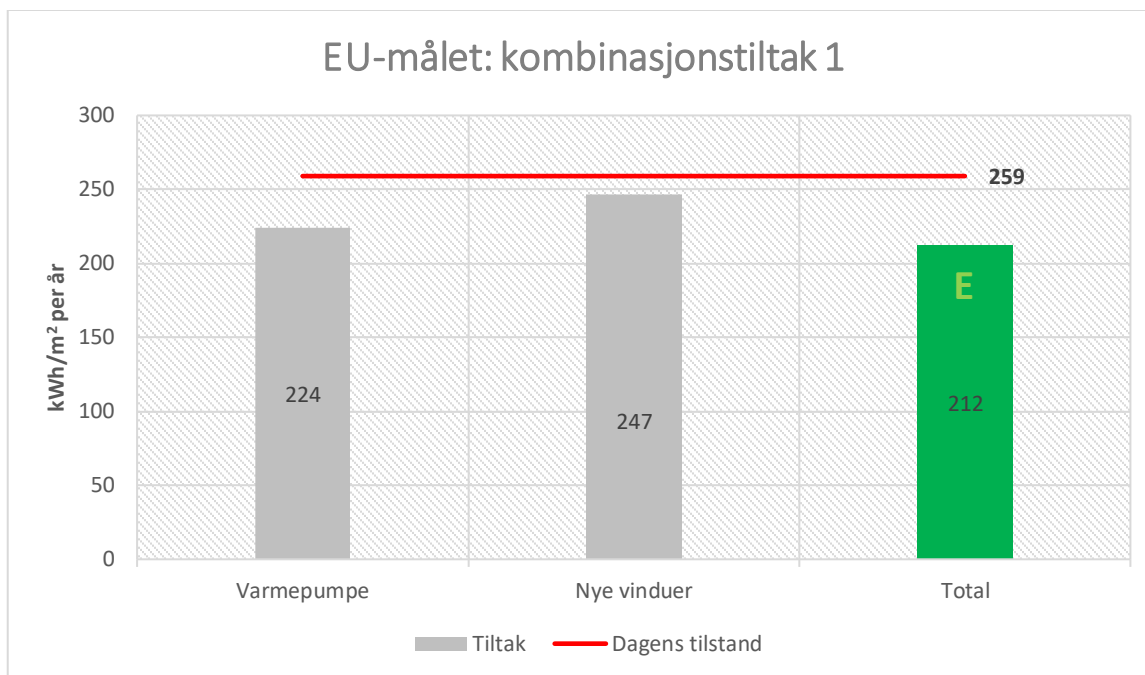
De utvalgte kombinerte tiltakene i denne oppgaven har ikke blitt simulert i modeller for seg. Noen av de sammensatte tiltakene har innvirkning på hverandre, både positivt og negativt sett i lys av energiforbruk. Årsaken er begrenset tid til gjennomføring av oppgaven.

#### EPBD-mål: kombinasjonstiltak 1

Etter EPBD tredde i kraft har byggenæringen nå fått nye minstekrav på eksisterende og nye bygg fram mot 2030 og 2033 (EU-kommisjonen, 2023). For å nå minstekravet om energimerke E på 220kWh/m<sup>2</sup> per år innen 2033 må casebygget kun gjøre et utvalg tiltak. Med tanke på kravet om at halvparten av energieffektiviseringen skulle forekomme blant byggene med lavest energimerke, er det trygt å påstå at dette gjelder casebygget med energimerke F i dag.

Ved å vurdere nåverdi og spart energi årlig er de to mest effektive tiltakene varmepumpe og utskifting av resterende vinduer i casebygget (figur 31). Nåverdien er totalt rundt 1 mill. kr på varmepumpe og utskifting av vinduer. I tillegg er det drøftet at varmepumpe egner seg til å tilfredsstille kjølebehovet i bygget, mens nye vinduer bidrar til senket energibruk. Disse tiltakene egner seg altså sammen.

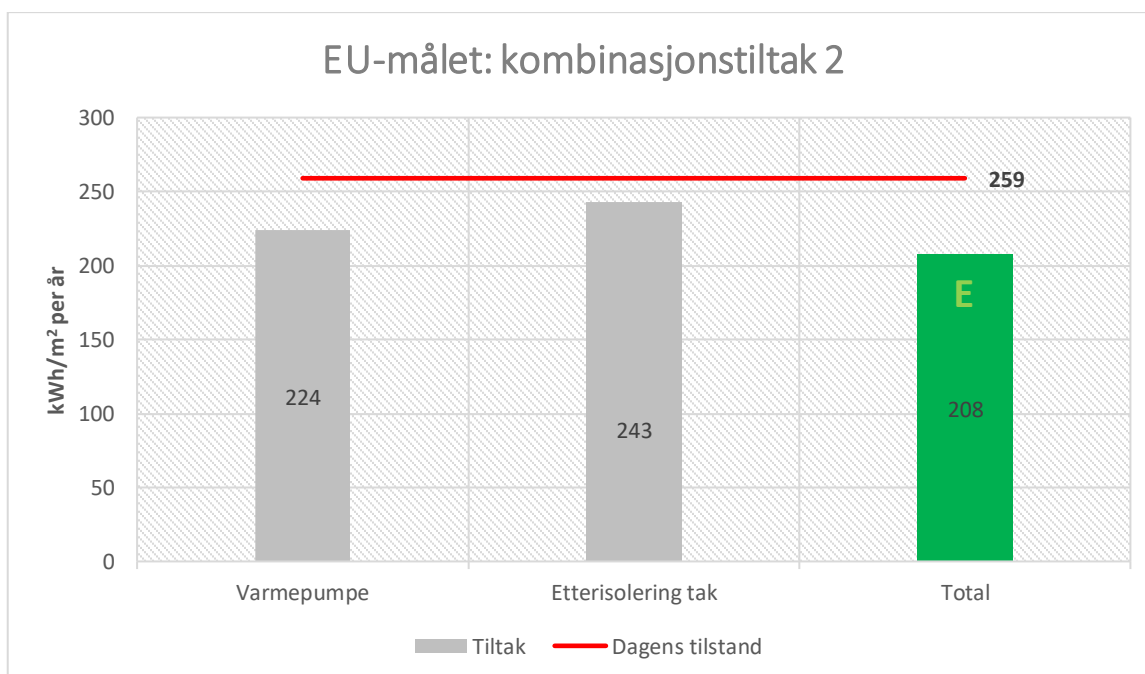
Til sammenligning med den beregnede sparte energikostnaden på 35 000 kr/år (tabell 18), sparer dette tiltaket nesten 45 000 kr årlig ifølge gjennomsnittlig energipris i Nord-Norge i 2023 (Nordpool, 2024).



Figur 31 Graf over kombinasjonstiltak 1 for å oppnå EU-målet

EPBD-mål: kombinasjonstiltak 2

Ved etterisolering av tak får casebygget som sagt et kjølebehov på 81 kW. Dermed kan dette tiltaket kombineres med varmpumpe for å ivareta dette kjølebehovet (figur 32). Ved kombinerende av tiltaket faller energibehovet fra 259 til 208 kWh/m<sup>2</sup>, som tilsvarer energikarakter E (Energidepartementet, 2009) og oppnår målet i EPBD (EU-kommisjonen, 2023).



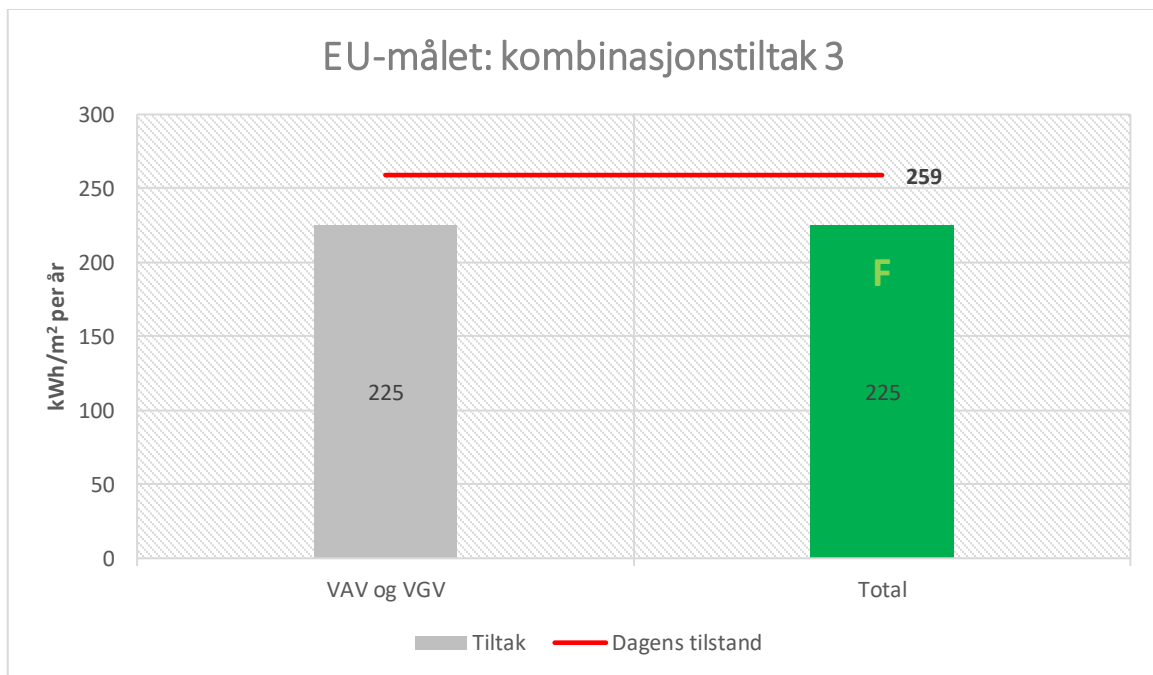
Figur 32 Graf over kombinasjonstiltak 2 for å oppnå EU-målet

EPBD-mål: kombinasjonstiltak 3

Kun utskifting av ventilasjonsaggregatet til VAV med varmegjenvinner kan også drøftes som et egnet tiltak alene for å nå målene i EPBD (figur 33). Energibehovet i simuleringene faller til 225 kWh/m<sup>2</sup> per år, som kun er 5 kWh/m<sup>2</sup> per år unna kravet i direktivet. Ved installasjon av EOS-anlegg sammen med

dette tiltaket er det mulig å anta at energieffektiviteten øker noe i alle deler av det tekniske systemet i casebygget (Aschehoug et al., 2007), som derfor har potensialet til å redusere levert energi til under kravet. Som nevnt tidligere er ikke EOS-anlegg medregnet i nåverdibetraktningen, og må tas høyde for separat.

Den årlige besparelsen av dette tiltaket er 28 000 kr, med gjennomsnittlig strømpris i Nord-Norge i 2023 lagt til grunn (tabell 18). Dette samsvarer godt med den gjennomsnittlige beregnede besparelsen på 35 000 kr/år. Nåverdien av tiltaket er høyt, på 369 196 kr.

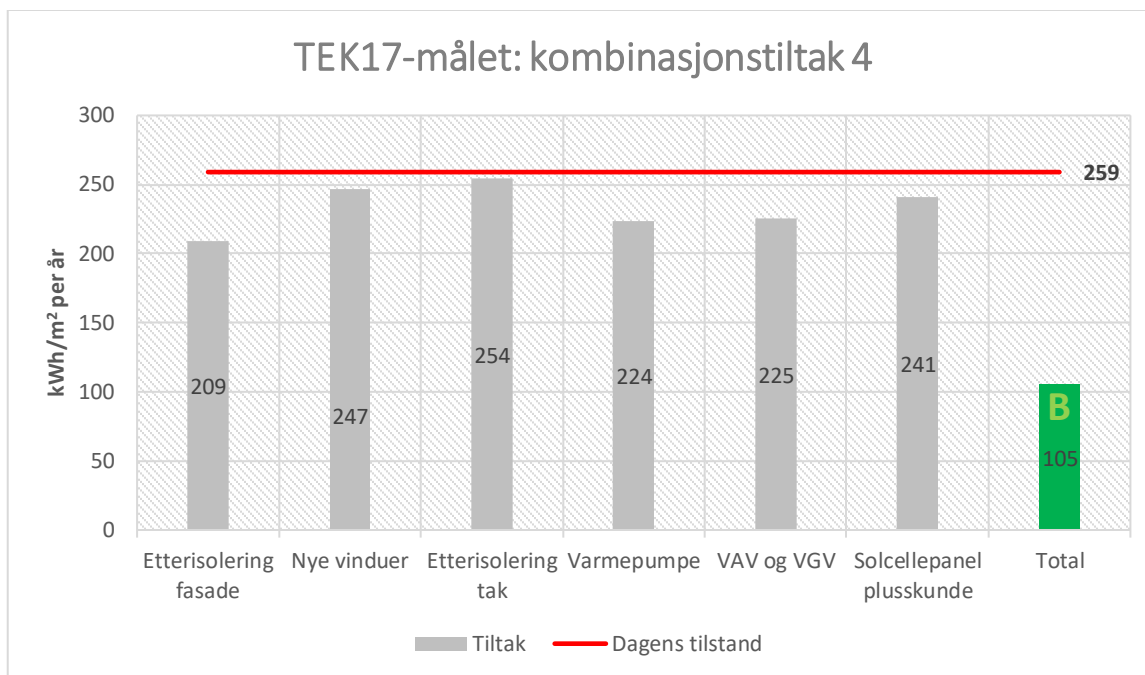


Figur 33 Graf over kombinasjonstiltak 3 for å oppnå EU-målet

TEK17-krav: kombinasjonstiltak 4

Som tidligere nevnt er EPBD kun et steg på veien mot kun nullutslippsbygg innen 2050 (EU-kommisjonen, 2023). Ved å utforske hvorvidt casebygget fra 50-tallet kan oppnå kravene i byggteknisk forskrift TEK17 (2017) viser resultatene av simuleringer at bygget må gjennomgå omfattende rehabilitering (figur 34). Kravet i TEK17 er 115 kWh/m<sup>2</sup>, som kun oppnås for casebygget ved gjennomføring av mesteparten av de diskuterte tiltakene.

Ved å inkludere de mest lønnsomme tiltakene, inkludert etterisolering av tak og yttervegg, og solcellepanel, oppnår casebygget et beregnet levert energibehov på 105 kWh/m<sup>2</sup>K (figur 34). På grunnlag av simulering av dette kombinasjonstiltaket ikke har blitt gjennomført, er det lagt inn en margin fra TEK17-kravet om 115 kWh/m<sup>2</sup>K. Siden varmepumpe er lagt til grunn som energikilde i tiltaket regnes målet for tiltaket å oppnå energikarakter B (Førland-Larsen et al., 2011).



Figur 34 Graf over kombinasjonstiltak 4 for å oppnå kravene i TEK17

Ved å sammenfatte lønnsomhetsvurderingene av disse tiltakene innebærer denne rehabiliteringen en investering på rundt 11,6 millioner kroner. I tråd med Enovas støtteordning for å forbedre energitilstand på yrkesbygg (Enova, 2024), overstiger dette kombinasjonstiltaket det mulige støttebeløpet med 1,6 millioner. Hvis støtten på 10 millioner innvilges kan bygget spare 30% av denne kostnaden, som tilsvarer 3 millioner kroner. De ulønnsomme tiltakene, etterisolering av tak og yttervegg, og solcellepanel plusskunde, har en kostnad alene på 9,7 millioner kroner.

Den årlige besparelsen på dette kombinasjonstiltaket er 168 000 kr med gjennomsnittlig energipris i Nord-Norge lagt til grunn (Nordpool, 2024). Dette er noe høyt i forhold til den gjennomsnittlige beregnede årlige besparelsen på 81 000 kr (tabell 18). Den totale nåverdien sammenlagt for tiltakene i kombinasjonstiltaket er -2,7 mill. kr. Dette visualiserer hvor lite lønnsomt noen av tiltakene i kombinasjonstiltaket er.

Dermed kan det drøftes at å oppnå kravene i TEK17 (2017) er mulig på et kontorbygg fra 50-tallet. Imidlertid er ikke gjennomføringen av kombinasjonstiltaket lønnsomt, og resulterer i at deler av kombinasjonstiltaket har svært høy investeringspris og mindre effekt for energieffektivisering. Dette gjelder også ved inkludering av støtteordningene fra Enova (Enova, 2024).

En sammenligning av investeringene for målene i EPBD og kravene i TEK17 for et kontorbygg i betong fra 50-tallet er interessant. Heving av energieffektivitet til TEK17 er i snitt 90% mer kostbart enn heving til målene i EPBD. Dette er utregnet fra forholdet i investeringskostnad mellom kombinasjonstiltaket for TEK17 og tiltakene for EPBD.

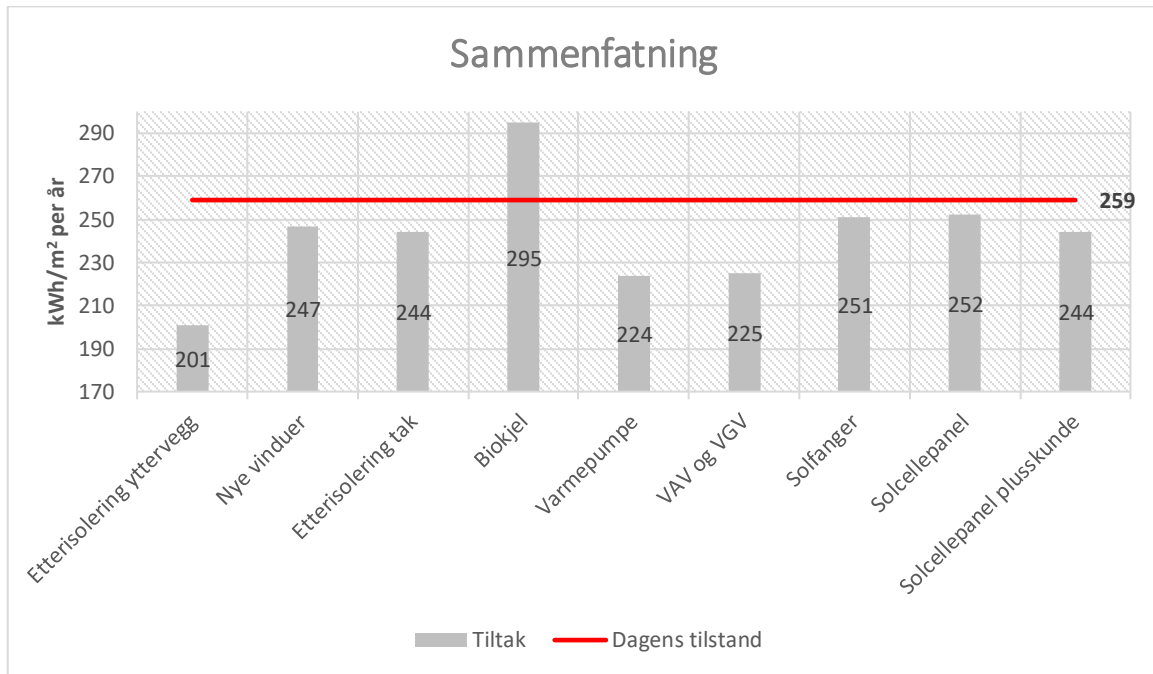
#### Økonomisk potensiale

Det økonomiske potensialet ved heving av standard i kontorbygg i Nord-Norge (tabell 18) viser seg å være noe lav i forhold til de faktiske besparelsene beregnet i denne oppgaven. Årsaken kan være at denne beregningen baserer seg på statistikk av energimerkede bygg med alle energikarakter (Enova, 2023a). Derfor vil kostnaden på dette spesifikke casebygget avvike noe fra denne beregningen. Allikevel

kan denne beregningen være et fint holdepunkt for gjennomsnittet av kontorbygg i Nord-Norge, og gi et inntrykk av potensialet.

#### 4.2.6 Tiltaksliste for casebygg

Figur 35 illustrerer alle simulerte tiltak for casebygget i denne oppgaven, og tiltakenes endring i beregnet levert energi.



Figur 35 Sammenfatning av tiltak

Ut ifra disse verdiene sett i sammenheng med nåverdibetraktninger kan den mest energieffektiviserende og mest lønnsomme tiltakslisten til bygget utformes (tabell 21). Tiltak markert i grønn er i dag energieffektive og lønnsomme tiltak for casebygget.

Unntaket er etterisolering tak, med negativ nåverdi. Allikevel er denne så marginal at tiltaket vurderes som hensiktsmessig for bygget, og vil være et effektivt tiltak med stor senking i energibruk i hele bygget. Siden nåverdien er så marginal kan man heller ikke utelukke at tiltaket kan bli lønnsomt hvis noen justeringer foretas. Eksempler kan være senket isolasjonstykkelse, eller at eksisterende loftsdør forblir. Slike justeringen senker investeringskostnaden og øker nåverdien.

Tiltaket markert i rødt, solcellepanel, har i dag negativ nåverdi. Årsaken til at tiltaket inkluderes er at dette tiltakets nåverdi ikke er ekstremt negativ, og kan i fremtiden være mindre kostbart å gjennomføre fordi teknologien kan utvikles (NVE, 2023c). I tillegg viser teorien at solcellepanel er mer egnet i Nord-Norge på grunn av den forlengede fyringssesongen (Aschehoug et al., 2007). Derfor bør byggeier vurdere dette tiltaket i fremtiden.

Solfanger kunne blitt inkludert i denne delen av tiltakslisten, fordi nåverdien er lik som for solcellepanel. Allikevel viser teorien og resultatene at solfangeranlegg egner seg mer for bygningstyper med høyere varmtvannsforbruk. For disse bygningstypene kunne nåverdien vært positiv.

Tabell 21 Tiltaksliste

Tiltak	Energibesparelse		Besparelse	Nåverdi	Nedbetalingstid
Varmepumpe	81 322 kWh/år	11%	27 649 kr/år	686 078 kr	3,8 år
Nytt ventilasjonsanlegg	82 739 kWh/år	11%	28 131 kr/år	369 196 kr	13,8 år
Nye vinduer	51 236 kWh/år	7%	17 420 kr/år	327 309 kr	12,5 år
Etterisolering tak	52 947 kWh/år	7%	18 000 kr/år	-61 917 kr	65,2 år
Solcellepanel	21 802 kWh/år	3%	7 413 kr/år	-490 611 år	- år

#### 4.2.7 Lokalt klimas påvirkning

Etterisolering av både yttervegg og tak viser seg å ha økt effekt i Nord-Norge. Sannsynligvis skyldes dette de lavere temperaturene i Nord-Norge gjennom året, og lavere dimensjonerende temperaturer sommer og vinter (Sintef, 2023). Dette understreker også det tidligere drøftede temaet om klimatilpassing av bygg, og hvordan tidligere forskrifter fram til tusenårsskiftet ikke hadde nødvendige isolasjonstykkelser (Sintef, 2017c).

Tiltaket VAV og varmegjenvinner påvirkes svært negativt av lokalt klima. Dette skyldes trolig også kaldt klima i Nord-Norge. Kald luft er mer energikrevende å varme opp, og varmegjenvinnerens effekt synker desto lavere utetemperaturen blir (Sintef, 2002). Allikevel er dette nødvendige tiltak for eksisterende gamle bygg, og må tas høyde for ved rehabilitering av kontorbygg i Nord-Norge.

Solcellepanel i begge utstrekninger som blir beskrevet i oppgaven blir positivt påvirket. Dette skyldes den lange fyringssesongen i Nord-Norge, der solenergi er tilgjengelig og bygget har et stort oppvarmingsbehov (Aschehoug et al., 2007). Teorien og resultatene viser hvorfor solcellepanel er et mer effektivt tiltak i Nord-Norge sammenlignet med Sør-Norge.

Tiltaket nye vinduer blir neglisjerbart påvirket, mens varmpumpe og solfanger ikke blir påvirket.

#### 4.3 Generelle tiltaksliste

Isolasjonstykkelser har vært for små i tidligere byggetekniske forskrifter for bygg over hele landet (Pettersen, 1995). Kun siden tusenårsskiftet har isolasjonstykkelsene samsvart med energitapet gjennom klimaskjermen (Kommunal- og regionaldepartementet, 1977). Tetting har også vært viktig helt siden 50-tallet, men moderne tettematerialer med lengre holdbarhet og bedre ytelse har også kommet siden da (Stenby, 2022a). Dette understrekes også av simuleringer av bygget, der Nord-Norge har større effekt og større potensial ved etterisolering av bygg.

Når også isolasjonstykkelser har vært for små i sørlige landsdeler med sine mildere klimasoner (Mamen, 2023), viser dette oss at isolasjonstykkelsene i enda større grad har vært for små i Nord-Norge. Datidens forskrifter, også som i dag, har blitt benyttet i bygg på tvers av landområder. Isolasjonstykkelsene i bygg har ikke korrespondert med lokale klimapåkjenninger, og har ikke vært preget av stedlig tilpasning. Dermed er det å forvente at rehabilitering av bygg fra perioder før tusenårsskiftet ikke har stedlig tilpasning når det gjelder isolasjonstykkelser, som er en umiddelbar svakhet i byggenes energibruk. Klimatilpassing kan derfor drøftes som et viktig tiltak i ENØK-sammenheng for slike bygg.

Tekniske installasjoner på tiden casebygget er fra, hadde ikke større utbredelse enn fyringsanlegg med skorstein gjennom bygningskroppen og ventilasjonskanaler for naturlig ventilasjon (Sintef, 2017c). Altså er alle tekniske systemer i slike bygg i større grad installert i ettertid. Dette betyr at store rehabiliteringer, og endringer i slike bygg har blitt gjennomført. Dette kan ha ført til stor tilpassing av de tekniske anleggene som i dag finnes i slike bygg. Allikevel kan man anta at skorsteinene i slike bygg blir benyttet som tekniske føringsveier, og dermed gjør kontorbygg i betong fra 50-tallet mer egnet til rehabilitering.

Betongbygg fra 50-tallet begynte å få store åpne arealer inne i bygget takket være bæreevnen til armert betong (Sintef, 2017c). Dette gir større frihet til å rehabilitere både rominndeling og de tekniske systemene i byggene, og er positivt for rehabilitering av betongbygg fra 50-tallet. Sett i sammenheng med at disse byggene aldri var utformet for dagens tekniske anlegg, vil dette være en utfordring. Videre modernisering og utvidelse av tekniske systemer vil være utfordrende, spesielt med tanke på myndighetskravene disse byggene skal oppnå de neste årene (EU-kommisjonen, 2023).

Tiltakene som ble simulert og bestemt mest lønnsomme for casebygget i denne oppgaven, kan til dels overføres til lignende kontorbygg i betong fra samme tid. Årsaken er at datidens forskriftskrav begynte å få gode rammer rundt utforming av bygg og bygningsdelenes egenskaper (Kommunal og arbeidsdepartementet, 1949). Dermed kan det antas at lignende bygg har likheter i utforming, og at tiltakene derfor egner seg.

For eksempel bør varmpumper med væskekilde vurderes for lignende bygg på grunn av høyere effektivitet, og mulighet for energilagring gjennom sesongen (Aschehoug et al., 2007; Sintef, 2009). Biooljekjel kan være mer aktuelt for andre bygg, der dimensjonering av sentralvarmeanlegget er tilfredsstillende. Slike anlegg har virkningsgrad opp mot 92% og kan være svært miljøvennlige tiltak for bygget (Skaatan, 2015). Fjernvarme vil være svært aktuelt for kontorbygg i tettsteder med fjernvarmeanlegg. Særlig den høye effektiviteten av slike anlegg (Aschehoug et al., 2007) er positivt.

Ved bruk av denne tiltakslisten for lignende bygg, må informasjon om rehabilitering av disse byggene uthentes. Da denne informasjonen er det største variabelen angående valg av tiltak. Deretter kan avgjørelser om hvilke av tiltakene fra tiltakslisten i denne oppgaven egner seg mest, og eventuelt i hvilken kombinasjon de egner seg. Også distribusjonssystemet er avgjørende for valg av metode for energieffektivisering. Andre lignende bygg må derfor allerede benytte vannbåren varme.

For å oppsummere kan det drøftes at bruken av denne tiltakslisten på lignende bygg absolutt er gjennomførbart og egnet, men at det krever innsikt i faget og mye datainnhenting om hvorvidt et annet bygg har de samme egenskapene som casebygget. I tillegg kreves data om rehabiliteringer på bygget. Etter forskriften av 1949 å bedømme (Kommunal og arbeidsdepartementet, 1949), er som sagt utforming av kontorbygg i betong veldig lik hverandre på grunn av bestemmelsene som framkommer i forskriften. Det kan derfor drøftes at bygg fra denne tiden påvirkes av en rekke variabler, som alle må vurderes og kanskje tas hensyn til. Hvis dette utføres, kan lignende bygg i utgangspunktet kan benytte denne tiltakslisten.



## 5 Konklusjon

Bygg i Nord-Norge viser seg i flere tilfeller å ha større effekt av ENØK-tiltak, sammenlignet med Sør-Norge (figur 29). Årsaken er lavere årsmiddeltemperatur og lengre fyringssesong (Aschehoug et al., 2007; Sintef, 2023). Statistikk viser at kontorbygg i Nord-Norge har en lang vei å gå for å oppnå kravene fra EU i EPBD (Enova, 2023a; EU-kommisjonen, 2023). Med over 2800 kontorbygg i regionen (SSB, 2023) er potensialet stort. Denne oppgaven har undersøkt strømpris, myndighetskrav, ENØK-tiltak, sammenligninger med Sør-Norge, simuleringer og produsert en tiltaksliste for denne bygningstypen i Nord-Norge.

Undersøkelse av byggeteknikk på kontorbygg i betong fra denne tiden viser at slike bygg har flere fordeler ved seg. Disse er høy varmekapasitet, bestemte U-verdier og store arealer. Blant ulempene er den manglende tilretteleggingen for tekniske systemer, som opprinnelig ikke hadde slike tekniske anlegg dagens bygg har (Direktoratet for byggkvalitet, 2017b).

Problemstillingen var «Hva kreves for å heve energieffektivitet og energimerke på kontorbygg i betong fra 50-tallet i Nord-Norge i henhold til mål i EPBD (2023) og gjeldende krav i TEK17?». Resultatene viser at forbedring av energieffektivitet og energimerke for casebygget er mulig opp til begge disse standardene.

Forbedring av casebygget opp til målene i EPBD (EU-kommisjonen, 2023) er lønnsomt med relativt lav kostnad. Her viste resultatene at flere av tiltakene alene og i kombinasjon av hverandre egnet seg. Dette gir stor frihet til byggeier om valg av tiltak for å oppnå disse målene.

Forbedring opp til kravene i TEK17 er på den andre siden svært kostbart, og krever flere både lønnsomme og ulønnsomme tiltak i kombinasjon av hverandre. Kostnaden er i snitt 90% større sammenlignet heving av standard til målene i EPBD ifølge resultatene i oppgaven. Oppgraderingen er gjennomførbar, som viser at byggeteknikken og utformingen av kontorbygg fra 50-tallet muliggjør forbedring av energibruken opp til dette nivået. Imidlertid er summen av tiltakene ikke lønnsom, og gir indikasjoner på at nullutslipp innen 2050 (EU-kommisjonen, 2023) for slike bygg blir svært utfordrende.

Som svar på problemstillingen og det første delmålet har en tiltaksliste blitt utarbeidet for de mest energieffektive og lønnsomme tiltakene for casebygget. Dette er tiltak som enten har svært positiv nåverdi, eller har såpass god effekt på energibruken i bygget at de egner seg for casebygget. I kort form ser slik ut:

Tabell 22 Oppsummering av energitiltak på casebygget

1	Varmepumpe
2	Nytt ventilasjonsaggregat
3	Nye vinduer
4	Etterisolering tak

Videre omhandlet dette delmålet hvorvidt andre bygg med lignende utforming kan benytte seg av disse tiltakene. Her konkluderes det med at byggeforskriften av 1949 hadde tilstrekkelige rammer rundt utformingen av byggene (Forsynings- og gjenreisningsdepartementet, 1949; Kommunal og arbeidsdepartementet, 1949). Dette fører til at man kan anta at utforming av disse byggene er tilfredsstillende lignende hverandre i utforming til å benytte de samme tiltakene. Variabelen som har

størst innflytelse på valg av tiltak i tiltakslisten (tabell 22), er tidligere rehabiliteringer som kan ha endret utforming og funksjoner på disse byggene.

Det andre delmålet vurderte hvordan fremtidig energipris kan påvirke valg av tiltak. En langtidsanalyse av NVE (2023) ga en innføring hvordan kraftsituasjonen ser ut i dag, og hvilke påbegynte og planlagte utbygginger som foreligger. Gjennomsnittlig strømpris i Norge forventes å være 80 øre/kWh i 2030 og 50 øre/kWh i 2040. I tillegg forventes prisforskjellen mellom Sør- og Nord-Norge til å minke. Derfor ble det drøftet at energibruken i kontorbygg i Nord-Norge burde senkes, at strømeffektive energikilder burde installeres, at solvarmeanlegg kan bli mer aktuelt i fremtiden og at strøm forblir billigere enn biobrensel.

Det siste delmålet belyser hvordan casebygget og lignende bygg påvirkes av forskriftskravene til energisimulering, og hvorvidt det påvirker klimatilpassing. I Nord-Norge preger klimaet i større grad energibruken i bygg enn i Sør-Norge (Pettersen, 1995). Teorien og resultatene viser altså viktigheten av simulering med lokalt klima for å best mulig klimatilpasse byggene. Energimerking er egnet til å sammenligne bygg på tvers av lokasjoner. Simulering med lokalt klima og individuell vurdering av energipris vil på den andre siden tilpasse valg av tiltak for bygg i Nord-Norge etter klimapåkjenninger og faktiske forutsetninger.

#### Videre arbeid

I denne oppgaven er de kombinerte tiltakene sammensatt av effekten av hvert enkelt tiltak for seg. De kombinerte tiltakene i denne oppgaven bør derfor simuleres sammen for å vurdere tiltakenes samlede effekt, og hvordan de påvirker hverandre.

EPBD er kun et steg på veien til en bygningsmasse med null-utslipp i 2050 (EU-kommisjonen, 2023). Oppgaven viser at forbedring av energibruk opp til kravene i TEK17 er utfordrende for kontorbygg i betong fra 50-tallet. Derfor bør fremtidig arbeid vurdere hvordan slike og øvrige bygg fra denne perioden skal oppnå dette fremtidige målet, og hvilke tiltak fra myndighetene som kreves.

Bygg i Nord-Norge har et høyere energibruk grunnet klimatiske påkjenninger og solforhold (Pettersen, 1995). For å motvirke dette har Nord-Norge momsfristak på strøm (Finansdepartementet, 2019b). Det burde undersøkes videre, med grunnlag i funnene i oppgaven, hvorvidt denne støtteordningen er tilfredsstillende for utjevning av levekostnadene i Nord-Norge i forholdet til landet for øvrig.

## 6 Referanser

Abrahamsen, A. S., Bergh, M., & Fedoryshyn, N. (2013). *Energibruk i bygninger for tjenesteytende virksomhet 2011* (62/2013). [https://www.ssb.no/energi-og-industri/artikler-og-publikasjoner/\\_attachment/154307?\\_ts=142fa6ff6d8](https://www.ssb.no/energi-og-industri/artikler-og-publikasjoner/_attachment/154307?_ts=142fa6ff6d8)

Aksnes, K., & Hammerstrøm, M. (2023). Mørketid. I *Store norske leksikon*. <https://snl.no/m%C3%B8rketid>

Aschehoug, Ø., Aune, M., Bergersen, B., Brekke, B., Dalehaug, A., Drangsholt, F., Gjerstad, F. O., Gustavsen, A., Hansen, E. H., Hanssen, S. O., Haugen, T. I., Johansen, B. S., Kolsaker, K., Lysne, H., Magnussen, O. M., Mathisen, H. M., Novakovic, V., Rødahl, E., Røkke, N. A., ... Øverli, J. M. (2007). *ENØK I BYGNINGER - Effektiv energibruk* (3.). Gyldendal Norsk Forlag AS.

Bjørland, C., Solheim, H., & Vatne, B. H. (2022, november 9). *Behov for økt innsats på kartlegging og energieffektivisering av næringsbygg*. Norges Bank. <https://www.norges-bank.no/bankplassen/arkiv/2022/behov-for-okt-innsats-pa-kartlegging-og-energieffektivisering-av-naringsbygg/>

BMI. (2024). *Icobest*. <https://icobest.no/>

Direktoratet for byggkvalitet. (2017a). *Byggteknisk forskrift (TEK17) med veiledning*. <https://www.dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17>

Direktoratet for byggkvalitet. (2017b). *Byggteknisk forskrift (TEK17) med veiledning*. <https://www.dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17>

Direktoratet for byggkvalitet. (2022, februar 3). *Hva regnes som vesentlig endring eller vesentlig reparasjon?* Direktoratet for byggkvalitet. <https://www.dibk.no/bygge-eller-endre/arbeid-pa-eksisterende-bygg/vesentlig-endring>

Dokka, T. H. (2012). *Faglig underlag for NS 3701:2012—Prosjektrapport 99* (99). Sintef. <https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/bitstream/handle/11250/2419635/Prosjektrapport99.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Energidepartementet. (2009, desember 18). *Energimerkeforskriften for bygninger*. <https://lovdata.no/pro/#document/SF/forskrift/2009-12-18-1665/%C2%A71>

Energidepartementet & Klima- og miljødepartementet. (2018, juni 29). *Forskrift om forbud mot bruk av mineralolje til oppvarming av bygninger*. <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2018-06-28-1060>

Energimerking. (2018, august 14). *Energimerkestatistikk*. <https://www.energimerking.no/no/energimerking-bygg/energimerkestatistikk/>

Engvold, O. (2023). Midnattssol. I *Store norske leksikon*. <https://snl.no/midnattssol>

Enova. (u.å.-a). *Beregning av energikarakteren*. Enova. Hentet 20. mars 2024, fra <https://www.enova.no/energimerking/om-energimerkeordningen/om-energiattesten/beregning-av-energikarakteren/>

Enova. (u.å.-b). *Endringer i energimerkeforskriften 1. Mars 2024*. Enova. Hentet 2. mai 2024, fra <https://www.enova.no/energimerking/nyheter1/endringer-i-energimerkeforskriften-1-mars-2024/>

- Enova. (2004). *Energioppfølging i næringsbygg*.  
[https://www.enova.no/download?objectPath=upload\\_images/A6C0AB8383754474A36719C76CB5DFE1.pdf](https://www.enova.no/download?objectPath=upload_images/A6C0AB8383754474A36719C76CB5DFE1.pdf)
- Enova. (2016, desember 27). *Biokjel – Mer miljøvennlig enn fossile brensler*. Enova.  
<https://www.enova.no/privat/alle-energitiltak/biovarme/biokjel/>
- Enova. (2017a). *Enovas byggstatistikk 2017* (978-82-8334-100-3; s. 12).  
[https://www.enova.no/download?objectPath=upload\\_images/5C6245BC2AD74248BB629BFA95145AA3.pdf&filename=Enovas%20byggstatistikk%202017.pdf](https://www.enova.no/download?objectPath=upload_images/5C6245BC2AD74248BB629BFA95145AA3.pdf&filename=Enovas%20byggstatistikk%202017.pdf)
- Enova. (2017b). *Kjøpsveileder Pelletskamin*.  
[https://www.enova.no/download?objectPath=upload\\_images/7D90FF3BE5EC4C4690F00C5C8D01D2E1.pdf&filename=Kj%C3%B8psveileder%20for%20pelletskamin.pdf](https://www.enova.no/download?objectPath=upload_images/7D90FF3BE5EC4C4690F00C5C8D01D2E1.pdf&filename=Kj%C3%B8psveileder%20for%20pelletskamin.pdf)
- Enova. (2023a). *Enova Energimerking | Attester etter bygningstype*. Enova.  
<https://portal.ems.enova.no/statistikk/byggtype?buildingCategory=Kontorbygg&geography=Nordland&geography=TromsOgFinmark>
- Enova. (2023b, oktober 6). *Støtte til varmesentraler for bygg og eiendom*. Enova.  
<https://www.enova.no/bedrift/bygg-og-eiendom/varmesentraler/>
- Enova. (2024, januar 26). *Støtte til forbedring av energitilstand i yrkesbygg | Enova*. Enova.  
<https://www.enova.no/bedrift/bygg-og-eiendom/stotte-til-forbedring-av-energitilstand-i-yrkesbygg/>
- EU-kommisjonen. (2023, desember 7). *New rules to boost energy performance of buildings* [Text]. European Commission - European Commission.  
[https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip\\_23\\_6423](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_23_6423)
- European Parliament. (2023, februar 9). *Energy performance of buildings: Climate neutrality by 2050*.  
<https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20230206IPR72112/energy-performance-of-buildings-climate-neutrality-by-2050>
- Finansdepartementet. (2019a, mai 15). *NOU 2019: 11* [NOU]. Regjeringen.no; regjeringen.no.  
<https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/nou-2019-11/id2645213/>
- Finansdepartementet. (2019b, mai 15). *NOU 2019: 11 - 9 Elektrisk kraft mv. i Nord-Norge* [NOU]. Regjeringen.no; regjeringen.no. <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/nou-2019-11/id2645213/?ch=10>
- Forsynings- og gjenreisningsdepartementet. (1949, desember 15). *Byggeforskrift-1949 bind II*. Direktoratet for byggkvalitet.  
[https://www.dibk.no/globalassets/byggeregler/tidligere\\_regelverk/historisk-arkiv-1949---1987/byggeforskrift-1949-bind-ii.pdf](https://www.dibk.no/globalassets/byggeregler/tidligere_regelverk/historisk-arkiv-1949---1987/byggeforskrift-1949-bind-ii.pdf)
- Fremover. (1955). *Fremover 1955.10.14*. I *Fremover 1955* (s. 4). [https://urn.nb.no/URN:NBN:no-nb\\_digavis\\_fremover\\_null\\_null\\_19551014\\_53\\_238\\_1](https://urn.nb.no/URN:NBN:no-nb_digavis_fremover_null_null_19551014_53_238_1)
- Førland-Larsen, A., Bramslev, K. Th., & Hammer, E. A. (2011). *Fra C til A* (Veileder 01/11). Grønn Byggallianse. <https://byggalliansen.no/wp-content/uploads/2018/11/Ca-til-A-en-veileder-for-bygherrer-med-energiambisjoner.pdf>

Ganobjak, M., Brunner, S., Hofmann, J., Klar, V., Ledermann, M., Herzog, V., Kämpf, B., Kilian, R., Wehdorn, M., & Wernery, J. (2023). *Current Trends in Aerogel Use in Heritage Buildings: Case Studies from the Aerogel Architecture Award 2021* [Case Report]. MDPI.

Hofstad, K. (2023). Biofyringsolje. I *Store norske leksikon*. <https://snl.no/biofyringsolje>

Hofstad, K. (2024). Varmefaktor. I *Store norske leksikon*. <https://snl.no/varmefaktor>

Jensen, B., & Sørensen, B. R. (2004). *Energifleksible varmesystemer—Integrerte varmesentraler* (Fagrapport 4024/FP/P). Energi og Varme AS.

Justis- og beredskapsdepartementet. (2021, juli 7). *Grannelova—Gl—Lovdata Pro*. <https://lovdata.no/pro/#document/NL/lov/1961-06-16-15/%C2%A72>

Knudsen, C. (1956). *Våren 1956. Telegrafbygget i Narvik i Dronningebs gate. Foran sees Torvhallen*. <https://digitaltmuseum.no/021017773368/varen-1956-telegrafbygget-i-narvik-i-dronningebs-gate-foran-sees-torvhalle>

Kofstad, T., & Bäcker, T. (2018). *Utredning av fluorholdige gasser i næringsbygg* [Utredning]. COWI. [https://www.byggemiljo.no/wp-content/uploads/2018/03/Utredning-HFK-i-BA-avfall\\_050318\\_-NHP-nettverket.pdf](https://www.byggemiljo.no/wp-content/uploads/2018/03/Utredning-HFK-i-BA-avfall_050318_-NHP-nettverket.pdf)

Kommunal og arbeidsdepartementet. (1949). *Byggeforskrift av 15. Desember 1949, bind I*. Kommunalog arbeidsdepartementet, kontoret for bygnings- og brannvesen. [https://www.dibk.no/globalassets/byggeregler/tidligere\\_regelverk/historisk-arkiv-1949---1987/byggeforskrift-1949-bind-i.pdf](https://www.dibk.no/globalassets/byggeregler/tidligere_regelverk/historisk-arkiv-1949---1987/byggeforskrift-1949-bind-i.pdf)

Kommunal- og arbeidsdepartementet & Miljøverndepartementet. (1987, mai 27). *Byggeforskrift 1987*. [https://www.dibk.no/globalassets/byggeregler/tidligere\\_regelverk/historisk-arkiv-1949---1987/byggeforskrift-1987.pdf](https://www.dibk.no/globalassets/byggeregler/tidligere_regelverk/historisk-arkiv-1949---1987/byggeforskrift-1987.pdf)

Kommunal- og distriktsdepartementet. (2024, januar 1). *Plan- og bygningsloven*. <https://lovdata.no/pro/#document/NL/lov/2008-06-27-71?searchResultContext=1192&rowNumber=1&totalHits=10591>

Kommunal- og regionaldepartementet. (1977, januar 22). *Forskrift om krav til byggverk 1997*. Direktoratet for byggkvalitet. [https://www.dibk.no/globalassets/byggeregler/tidligere\\_regelverk/forskrift-om-krav-til-byggverk.pdf](https://www.dibk.no/globalassets/byggeregler/tidligere_regelverk/forskrift-om-krav-til-byggverk.pdf)

KPB. (2024, februar 6). *Energiforbruket i boligene skal ned*. Norsk. <https://www.kbnn.no/artikkel/energiforbruket-i-boligene-skal-ned>

Kubera. (u.å.). *Dronningensgate 52-54. Kubera*. Hentet 5. februar 2024, fra <https://kubera.no/vare-eiendommer/dronningensgate-52-54-2-2/>

Mamen, J. (2023). Köppens klimaklassifisering. I *Store norske leksikon*. [https://snl.no/K%C3%B6ppens\\_klimaklassifisering](https://snl.no/K%C3%B6ppens_klimaklassifisering)

Miljødirektoratet. (2022, september 1). *Nye forbud for f-gasser*. Miljødirektoratet/Norwegian Environment Agency. <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klima/for-naringsliv/f-gasser/nye-forbud/>

Mysen, M., & Schild, P. G. (2014). *Behovsstyrt ventilasjon, DCV – forutsetninger og utforming. Veileder for et energioptimalt og velfungerende anlegg*. SINTEF akademisk forlag. <https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/handle/11250/2372940>

Narvik bystyre. (2017). *Kulturminneplan* [Plandokument]. Narvik kommune. [https://www.narvik.kommune.no/\\_f/p28/i8615edbf-c1b4-4221-a2e8-0c0e8b72d7a6/temaplan-for-kulturminner-2017-2028.pdf](https://www.narvik.kommune.no/_f/p28/i8615edbf-c1b4-4221-a2e8-0c0e8b72d7a6/temaplan-for-kulturminner-2017-2028.pdf)

Norconsult. (2013). *Praktisk veileder for energimerking*. Norges vassdrags- og energidirektorat. [https://www.energimerking.no/download?objectPath=/upload\\_images%2FE87FEE3272F4450AA49D6E6C10CBF472.pdf](https://www.energimerking.no/download?objectPath=/upload_images%2FE87FEE3272F4450AA49D6E6C10CBF472.pdf)

Norconsult Digital AS & Bygganalyse AS. (2024, januar). *Norsk Prisbok*. <https://www.norskprisbok.no/default.aspx>

Nordan. (u.å.). *NorDan—Sikkerhetsvindu*. NorDan. Hentet 9. mai 2024, fra <https://www.nordan.no/produkt/sikkerhetsvindu/>

Nordkraft. (2011, september 9). *Statkraft Varme og Nordkraft har fått konsesjon til fjernvarme i Narvik—Nordkraft*. <https://www.nordkraft.no/nyhetsarkiv/statkraft-varme-og-nordkraft-har-fatt-konsesjon-til-fjernvarme-i-narvik-article533-1737.html>

Nordpool. (2024, april 24). *Nord Pool | Day-ahead prices*. <https://data.nordpoolgroup.com/auction/day-ahead/prices?deliveryDate=2024-01-01&currency=NOK&aggregation=Monthly&deliveryAreas=NO1,NO2,NO3,NO4,NO5>

Norsk Solenergiforening. (u.å.). *Solfangere*. Norsk Solenergiforening. Hentet 13. mai 2024, fra <https://www.solenergi.no/solvarme>

NVE. (2023a, juni 2). *Opprinnelsesgarantier og varedeklarasjon for strømleverandører—NVE*. <https://www.nve.no/energi/virkemidler/opprinnelsesgarantier-og-varedeklarasjon-for-stroemleverandoerer/>

NVE. (2023b, november 2). *Plusskunder—NVE*. <https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten/regulering/nettvirksomhet/nettleie/tariffer-for-produksjon/plusskunder/>

NVE. (2023c, desember 6). *Langsiktig kraftmarkedsanalyse 2023—NVE*. NVE. <https://www.nve.no/energi/analyser-og-statistikk/langsiktig-kraftmarkedsanalyse/langsiktig-kraftmarkedsanalyse-2023/>

NVE. (2024, februar 21). *Hva er nettleie? - NVE*. <https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten/kunde/stroemnettet/hva-er-nettleie/>

Olje- og energidepartementet. (2023). *Forslag til endringer i energimerkeforskriften for bygninger for gjennomføring av bygningsenergidirektiv II*. <https://www.regjeringen.no/contentassets/482110c2f9d94762abc996434d079d55/horingsnotat-energimerkeforskriften-for-bygninger-l1511283.pdf>

Olje- og energidepartementet. (2024, januar 1). *Forskrift om endringer i forskrift om økonomisk og teknisk rapportering, inntektsramme for nettvirksomheten og tariffer (forskrift om kontroll av nettvirksomhet) og i forskrift om måling, avregning, fakturering av netjtjenester og elektrisk energi, nettselskapets nøytralitet mv. (Forskrift om kraftomsetning og netjtjenester)*. <https://www.regjeringen.no/contentassets/d6e10137ad704825bd83195420f43a41/endelig-forskriftstekst-delingsordning.pdf>

Olsen, B. (2011, oktober 24). *Fjernvarme-i-Narvik-Statkraft-Energi.pdf*. <https://heatwork.com/wp-content/uploads/2012/03/Fjernvarme-i-Narvik-Statkraft-Energi.pdf>

Pettersen, T. D. (1995). *Bygninger i arktiske strøk: Arbeidsrapport: Longyearbyen*. Høgskolen i Narvik. [https://urn.nb.no/URN:NBN:no-nb\\_digibok\\_2011012408000](https://urn.nb.no/URN:NBN:no-nb_digibok_2011012408000)

Regjeringen. (2022, mai 27). *Revidert f-gass forordning (fase 3)* [EOSnotat]. Regjeringen.no; [regjeringen.no. https://www.regjeringen.no/no/sub/eos-notatbasen/notatene/2022/mai/revidert-f-gass-forordning-fase-3/id2918019/](https://www.regjeringen.no/no/sub/eos-notatbasen/notatene/2022/mai/revidert-f-gass-forordning-fase-3/id2918019/)

Returgass. (u.å.). *Syntetiske og naturlige kuldemedier*. Isovator. Hentet 16. april 2024, fra <https://www.returgass.no/innlevering/kuldemedier/syntetiske-og-naturlige-kuldemedier/>

Riksantikvaren. (2020, april 8). *Miljøvennlige energikilder*. <https://www.riksantikvaren.no/klima-og-kulturminner/hvordan-reducere-klimabelastningene/miljovennlige-energikilder/>

Rosnes, O., Løken, E., Bugge, L., & Skulstad, A. (2023). *Energifleksible varmesystemer for bygninger*. <https://www.dibk.no/verktoy-og-veivisere/rapporter-og-publikasjoner/energifleksible-varmesystemer-for-bygninger/Vista%20Analyse%20rapport%202023-26%20Energifleksible%20bygg%20231127.pdf>

Rosvold, K. A., & Halleraker, J. H. (2023). Energiøkonomisering. I *Store norske leksikon*. <https://snl.no/energi%C3%B8konomisering>

Sidselrud, L. F. (2023). Soltimer. I *Store norske leksikon*. <https://snl.no/soltimer>

Simenergi AS. (u.å.). *Simien PRO | simien.no*. Hentet 7. februar 2024, fra <https://simien.no/simien-pro/>

Sintef. (u.å.). *Byggeteknikk*. SINTEF. Hentet 14. mai 2024, fra <https://www.sintef.no/ekspertise/community/byggeteknikk/>

Sintef. (2002). *552.340 Varmegjenvinnere i ventilasjonsanlegg—Byggforskserien*. [https://www.byggforsk.no/dokument/537/varmegjenvinnere\\_i\\_ventilasjonsanlegg](https://www.byggforsk.no/dokument/537/varmegjenvinnere_i_ventilasjonsanlegg)

Sintef. (2009, november). *552.403 Varmepumper i bygninger. Funksjonsbeskrivelse—Byggforskserien*. [https://www.byggforsk.no/dokument/541/varmepumper\\_i\\_bygninger\\_funksjonsbeskrivelse](https://www.byggforsk.no/dokument/541/varmepumper_i_bygninger_funksjonsbeskrivelse)

Sintef. (2010, juni). *622.017 Utbedring og ombygging i boligselskaper—Byggforskserien*. [https://www.byggforsk.no/dokument/621/utbedring\\_og\\_ombygging\\_i\\_boligselskaper](https://www.byggforsk.no/dokument/621/utbedring_og_ombygging_i_boligselskaper)

Sintef. (2014, desember). *723.312 Etterisolering av betongvegger—Byggforskserien*. [https://www.byggforsk.no/dokument/678/etterisolering\\_av\\_betongvegger](https://www.byggforsk.no/dokument/678/etterisolering_av_betongvegger)

Sintef. (2015, desember). *553.163 Energieffektive og vannbesparende sanitærinstallasjoner—Byggforskserien*. [https://www.byggforsk.no/dokument/3218/energieffektive\\_og\\_vannbesparende\\_sanitaerinstallasjoner](https://www.byggforsk.no/dokument/3218/energieffektive_og_vannbesparende_sanitaerinstallasjoner)

Sintef. (2016, juni). *552.323 Behovsstyrt ventilasjon (DCV). Prinsipper—Byggforskserien*. [https://www.byggforsk.no/dokument/535/behovsstyrt\\_ventilasjon\\_dcv\\_prinsipper](https://www.byggforsk.no/dokument/535/behovsstyrt_ventilasjon_dcv_prinsipper)

Sintef. (2017a, februar). *723.308 Eldre yttervegger av mur og betong. Metoder og materialer—Byggforskserien*. [https://www.byggforsk.no/dokument/677/eldre\\_yttervegger\\_av\\_mur\\_og\\_betong\\_metoder\\_og\\_materialer](https://www.byggforsk.no/dokument/677/eldre_yttervegger_av_mur_og_betong_metoder_og_materialer)

Sintef. (2017b, februar). 744.103 *Taktekning av tegl- og betongtakstein, skifer, bordtak, kavletak og takspån på eldre bygninger—Byggforskserien*.  
[https://www.byggforsk.no/dokument/5156/taktekning\\_av\\_tegl\\_og\\_betongtakstein\\_skifer\\_bordtak\\_kavletak\\_og\\_takspaan\\_paa\\_eldre\\_bygninger#i1](https://www.byggforsk.no/dokument/5156/taktekning_av_tegl_og_betongtakstein_skifer_bordtak_kavletak_og_takspaan_paa_eldre_bygninger#i1)

Sintef. (2017c, april). 614.016 *Byggebestemmelser 1924–1996. Krav til utførelse—Byggforskserien*.  
[https://www.byggforsk.no/dokument/1542/byggebestemmelser\\_19241996\\_krav\\_til\\_utfoerelse#i32](https://www.byggforsk.no/dokument/1542/byggebestemmelser_19241996_krav_til_utfoerelse#i32)

Sintef. (2022, august). 552.311 *Ventilasjon i skoler—Byggforskserien*.  
[https://www.byggforsk.no/dokument/532/ventilasjon\\_i\\_skoler](https://www.byggforsk.no/dokument/532/ventilasjon_i_skoler)

Sintef. (2023, mai). 451.021 *Klimadata for termisk dimensjonering og frostsikring—Byggforskserien*.  
[https://www.byggforsk.no/dokument/204/klimadata\\_for\\_termisk\\_dimensjonering\\_og\\_frostsikring#i12](https://www.byggforsk.no/dokument/204/klimadata_for_termisk_dimensjonering_og_frostsikring#i12)

Skreiberg, Ø. (2021, oktober 29). Vedfyringsens rolle i fremtiden. #SINTEFblogg.  
<https://blogg.sintef.no/sintefenergy-nb/vedfyringsens-rolle-i-fremtiden/>

Skaatan, C. H. (2015, mai 8). *Masteroppgave Christina Hågenvik Skaatan.pdf*.  
<https://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/bitstream/handle/11250/294277/Masteroppgave%20Christina%20Ha%CC%8Agenvik%20Skaatan.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

SSB. (2023). *Eksisterende bygningsmasse. Andre bygg enn boligbygg, etter region, statistikkvariabel, år og bygningstype*. SSB. <https://www.ssb.no/system/>

Standard Norge. (2012, september). *NS 3701:2012*. Standard Online. <https://online.standard.no/nb/ns-3701-2012>

Standard Norge. (2017). *NS-EN ISO 6946:2017 Bygningskomponenter og -elementer Varmemotstand og varmegjennomgangskoeffisient Beregningsmetoder*. <https://online.standard.no/nb/ns-en-iso-6946-2017>

Standard Norge. (2019, juli). *NS 8175:2019*. Standard Online. <https://online.standard.no/nb/ns-8175-2019>

Standard Norge. (2023a). *SN-NSPEK 3031:2023*. Standard Norge. <https://doi.org/01.040.91>

Standard Norge. (2023b, oktober). *NS 3940:2023*. Standard Online. <https://online.standard.no/nb/ns-3940-2023>

Stenby, O. C. (2022a, mars 1). *Hva finnes i veggen?* <https://www.byggogbevar.no/enok/artikler/hva-finnes-i-veggen>

Stenby, O. C. (2022b, mai 20). *Tradisjonelle tekkematerialer—Bygg og Bevar*.  
<https://www.byggogbevar.no/pusse-opp/tak-og-tekking/artikler/tradisjonelle-tekkematerialer>

Stokke, L. M. (2017, juni 14). *Analyse av to biobrenselanlegg til nærvarme*.  
[https://uis.brage.unit.no/uis-xmlui/bitstream/handle/11250/2456304/Stokke\\_Lise\\_Marie.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://uis.brage.unit.no/uis-xmlui/bitstream/handle/11250/2456304/Stokke_Lise_Marie.pdf?sequence=4&isAllowed=y)

Stortinget. (1924, februar 7). *Lov om bygningsvesenet*.  
[https://www.dibk.no/globalassets/byggeregler/tidligere\\_regelverk/historisk-arkiv-1949---1987/lov-om-bygningsvesenet.pdf](https://www.dibk.no/globalassets/byggeregler/tidligere_regelverk/historisk-arkiv-1949---1987/lov-om-bygningsvesenet.pdf)



Wang, J., Belusko, M., Evans, M., Liu, M., Zhao, C., & Bruno, F. (2022). A comprehensive review and analysis on CO2 heat pump water heaters. *Energy Conversion and Management: X*, 15, 100277. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2022.100277>

Aanensen, T., & Holstad, M. (2012, februar 8). 08925: Kraftpriser i sluttbrukermarkedet (øre/kWh), etter statistikkvariabel, kontraktstype og år. Statistikkbanken. SSB. <https://www.ssb.no/system/>

Aanensen, T., & Holstad, M. (2024, februar 15). 09366: Kraftpriser i sluttbrukermarkedet (øre/kWh), etter kontraktstype, statistikkvariabel og år. Statistikkbanken. SSB. <https://www.ssb.no/system/>

## 7 Vedlegg

Tabell 23 Vedleggsoversikt

<b>Informasjon</b>	<b>Vedlegg 1</b>	Bygningsinformasjon
	<b>Vedlegg 2</b>	Utskrift av strømforbruk Dronningens gate 52A
	<b>Vedlegg 3</b>	Plantegninger
	<b>Vedlegg 4</b>	Fasadetegninger
	<b>Vedlegg 5</b>	Energiattest 2011
	<b>Vedlegg 6</b>	Energivurdering av ventilasjonsanlegg 2011
	<b>Vedlegg 7</b>	Energivurdering av kjelanlegg 2011
	<b>Vedlegg 8</b>	Arealberegning 2011
	<b>Vedlegg 9</b>	Brev Narvik kommune
	<b>Vedlegg 10</b>	Ytelseserklæring NorDan sikkerhetsvindu
<b>Befaringsreferat</b>	<b>Vedlegg 11</b>	Befaring 1 Befaring 2 Befaring 3
<b>Lønnsomhetsvurdering</b>	<b>Vedlegg 12</b>	Etterisolering yttervegg Nye vinduer Etterisolering tak Biokjel Varmepumpe Varmegjenvinner VAV og varmegjenvinner Solfanger Solcellepanel Solcellepanel plusskunde
<b>Simulering i Simien PRO</b>	<b>Vedlegg 13</b>	Standard bygg
	<b>Vedlegg 14</b>	Etterisolering yttervegg
	<b>Vedlegg 15</b>	Solvegg
	<b>Vedlegg 16</b>	Nye vinduer
	<b>Vedlegg 17</b>	Etterisolering tak
	<b>Vedlegg 18</b>	Biokjel
	<b>Vedlegg 19</b>	Varmepumpe
	<b>Vedlegg 20</b>	Varmegjenvinner
	<b>Vedlegg 21</b>	VAV og varmegjenvinner
	<b>Vedlegg 22</b>	Solfanger
	<b>Vedlegg 23</b>	Solcellepanel
<b>Vedlegg 24</b>	Solcellepanel plusskunde	

